



ТРАНСПОРТ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
№ 3 (3) 2008

НАЦИОНАЛЬНАЯ ГАЗОМОТОРНАЯ АССОЦИАЦИЯ



АФФИЛИРОВАНА
С МЕЖДУНАРОДНЫМ ГАЗОВЫМ
СОЮЗОМ



Использование диметилового эфира в дизельных двигателях
Огнезащита оборудования объектов хранения и потребления СУГ и СПГ
Концепция современного газодизеля и результаты ее реализации в РФ

**Международный научно-технический журнал
«Транспорт на альтернативном топливе»
№ 3(3) / 2008 г.**

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

Р.О. Самсонов

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

Члены редакционной коллегии

О.Ю. Бриллиантов

заместитель главного редактора

Б.В. Будзуляк

член Правления,

начальник Департамента ОАО «Газпром», д.т.н.

В.И. Ерохов

профессор «МАМИ», д.т.н.

А.А. Ипатов

генеральный директор ФГУП ГНЦ НАМИ, д.т.н.

А.Л. Карунин

ректор Московского государственного технического университета («МАМИ»), д.т.н.

С.И. Козлов

заместитель генерального директора
ООО «ВНИИГАЗ» по науке, д.т.н.

Ю.В. Панов

профессор МАДИ (ГТУ), к.т.н.

Н.Н. Патрахальцев

профессор Университета Дружбы народов, д.т.н.

Е.Н. Пронин

начальник Управления ОАО «Газпром»,
исполнительный директор НГА

А.Д. Прохоров

профессор РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, д.т.н.

В.Л. Стативко

президент НГА, к.т.н.

В.Н. Удут

генеральный директор ОАО «НПО Гелиймаш», к.т.н.

Представительство в Украине (г. Киев)

Ю.В. Лысенко, директор

(044) 422-88-74, 425-17-78

Редактор

О.А. Ершова

Корреспондент

М.С. Федорова

Компьютерная верстка

Ф.А. Игнащенко

Адрес редакции:

115304, Москва, ул. Луганская, д. 11, оф. 311.

Тел./факс: (495) 321-50-44, 363-94-17.

E-mail: transport.io@oeg.gazprom.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в типографии
«ГранПри», Ярославская обл., г. Рыбинск, ул. Луговая, д. 7
Номер заказа

Сдано в набор 01.04.2008 г.

Подписано в печать 4.05.2008 г.

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

Печать офсетная, печ. л. 5, усл. печ. л. 10.

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

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

На обложке:

**ЗАО «Комптех» представляет компрессор
Gazpack 9 компании «CompAir», стр. 38**

В НОМЕРЕ:

Е.Н. Пронин

Развитие газомоторного рынка Малайзии..... 2

Испанская компания «INDOX Cryo Energy»

на российском рынке СУГ и природного газа..... 6

Как не упустить будущую выгоду? Перспективные рынки сбыта СУГ 9

В.Л. Страхов, А.М. Крутов

Перспективный способ и средства огнезащиты технологического оборудования объектов хранения и потребления СУГ и СПГ 12

В.А. Шишков

Определение угла опережения зажигания при переключении с бензина на газ в зависимости от скорости горения топливной смеси 20

А.И. Гайворонский

Экспериментальные исследования теплового состояния поршня газожидкостного двигателя транспортного назначения ЯМЗ-236НЕ-ГД..... 24

Новости из-за рубежа 28

Я.Г. Осадчий, Е.Н. Крылов, Ю.И. Русинович, П.В. Кононов

Прочностная отработка металлокомпозитных баллонов высокого давления 30

В.С. Волков, С.В. Каплун, А.В. Зеря

Новые установки осушки природного газа для АГНКС и производства СПГ 33

С.П. Семенищев

Металлокомпозитные баллоны и создание изделий на их базе..... 36

А.С. Вандер, М.В. Никулин

ЗАО «Комптех» представляет АГНКС Gazpack 9 компании «CompAir» (Великобритания) на выставке «Нефтегаз 2008» на Красной Пресне 23-27.06.2008 г..... 38

Д.Н. Григорович

Особенности организации рабочего процесса двигателей газотепловозов на железнодорожном транспорте 40

Н.А. Лапушкин, А.М. Савенков, И.В. Федотов

Использование диметилового эфира в дизельных двигателях 43

Ю.Н. Шебеко, Д.М. Гордиенко, В.Л. Малкин, Д.С. Кириллов

Пожарная безопасность топливозаправочного пункта диметилового эфира..... 50

А.С. Хачиян, В.Ф. Водейко

Использование водорода в качестве моторного топлива для автомобильных двигателей внутреннего сгорания..... 57

С.А. Григорьев, В.И. Порембский, В.Н. Фатеев,

Р.О. Самсонов, С.И. Козлов
Получение водорода электролизом воды: современное состояние, проблемы и перспективы 62

А.С. Клементьев

Исследования экологической безопасности автомобиля ВАЗ-21213, работающего на КПП 70

В.И. Ерохов

Концепция современного газодизеля и основные результаты ее реализации 73

В ООО «ВНИИГАЗ» прошла 1-я Всероссийская олимпиада информационных и компьютерных технологий для старшеклассников..... 79

Поздравляем юбиляра 79

Развитие газомоторного рынка Малайзии



Е.Н. Пронин,
начальник Управления ОАО «Газпром»,
исполнительный директор Национальной
газомоторной ассоциации (НГА)



но развивающейся многоотраслевой экономикой. Производство каучука, пальмового масла, олова, деловой древесины, сельскохозяйственной продукции, текстиля, драгоценных и полудрагоценных металлов и минералов имеет многовековые традиции.

Радиоэлектроника, машиностроение, нефтегазовая промышленность – это уже черты современной Малайзии, которую часто характеризуют как одного из молодых «экономических тигров» Юго-Восточной Азии.

Малайзия занимает достойное место в мировом энергетическом клубе. Страна имеет развитую газовую промышленность (табл. 1). Кстати, в 2012 г. она будет принимать Мировой газовый конгресс.



Малайзия имеет государственную нефтегазовую компанию «Petronas», которой уже 20 лет. В газовом сегменте компании работают шесть газоперерабатывающих заводов, три завода сжиженного природного газа (СПГ) и самый большой национальный флот танкеров СПГ в мире.

Природный газ в Малайзии используется не только для экспортных поставок, электрогенерации и в быту. Динамично развивается сектор газомоторного бизнеса: парк автомобилей, работающих на КПГ, насчитывает в настоящее время примерно 30 тыс. ед. В основном на метане работают такси и

В конце февраля 2008 г. в Малайзии состоялось очередное заседание Рабочего комитета 5 (Использование природного газа) Международного газового союза. В рамках общего заседания Комитета состоялись две сессии исследовательской группы 5.3 «Использование природного газа в качестве моторного топлива».

На заседании Исследовательской группы 5.3 РК МГС обсуждались следующие вопросы:

- обоснование численности мирового парка автомобилей, работающих на природном газе до 2030 г.; по итогам обсуждения решено продолжить работу над глобальной моделью и к сентябрю 2009 г. подготовить итоговый доклад;

- дальнейшее развитие пропаганды использования природного газа в качестве моторного топлива; по итогам обсуждения к сентябрю 2009 г. будет подготовлен и напечатан буклет о тех-

нических, экономических и экологических аспектах использования природного газа в качестве моторного топлива;

- универсализация нормативно-технической базы в области производства и использования природного газа в качестве моторного топлива; было решено организовать сверку терминологии и ее универсализацию;

- поддержать инициативу НГА России по проведению 15-22.09.2008 г. автопробега газовых автомобилей по маршруту Санкт-Петербург – Москва и 22.09.2008 г. Второй международной научно-практической конференции «Газ в моторах – 2008».

Что касается самой страны, то если бы не цунами, оползни, потопы и лесные пожары, Малайзию можно было бы считать раем на Земле. Расположенная всего в трехстах с небольшим километрах от экватора, эта тропическая страна с 25-миллионным населением обладает благоприятным климатом и богатыми природными ресурсами. Средняя продолжительность жизни в Малайзии сегодня оценивается в 72,7 лет. Для сравнения в России этот показатель не достигает даже 66 лет.

За последние тридцать лет эта мусульманско-буддистко-христианская страна сменила статус «сырьевого продукта» на статус государства с динамич-



Таблица 1

	Производство / добыча	Потребление	Экспорт	Импорт	Доказанные запасы
Электричество, млрд. кВт·ч	82,4	78,7	0,0	0,0	
Нефть, тыс. баррелей в день	751,8	501,0	611,2	278,6	3 трлн баррелей
Природный газ, млрд м ³	60,9	31,8	29,0	0,0	2 трлн м ³

Таблица 2

Показатели, руб.	Бензин		Дизельное топливо	КПГ
	премиум	обычный		
К оплате клиентом	14,82	14,51	12,19	5,25
Государственная субсидия, руб.	7,79	7,49	6,41	–
Итого розничная цена	22,61	21,99	18,60	5,25
Стоимость КПГ относительно других видов топлива	35%	36%	43%	

частные легковые автомобили, но стали появляться и автобусы на КПГ.

В стране уже действуют 65 АГНКС. По программе группы компаний «Petronas» к концу текущего года парк АГНКС должен составить 200 станций. Чтобы выйти на эти цифры в Малайзии освоена сборка АГНКС из импортных комплектующих. При этом собирают АГНКС как с электрическим приводом, так и при-



водом от газового двигателя внутреннего сгорания.

В Малайзии активно строят заправные комплексы, включающие в себя базовую и спутниковую станции, а также автомобильные газозавозы. Схема работы простая: базовая станция, обеспеченная сетевым природным газом ($P_{вх} = 18$ атм или 45 атм), заправляет автомобильные газозавозы (126 баллонов \times 70 л = 2200 м³, $P = 200$ атм), которые по прибытии на спутниковую станцию, не имеющую газопровода, скачивают сжатый газ в стационарный ресивер для дальнейшей заправки автомобилей.

Для максимального использования транспортируемого КПГ спутниковые станции оборудованы компрессорно-насосным оборудованием. Базовые станции могут заправлять одновременно до шести газозавозов. В среднем типовая АГНКС (базовая или спутниковая) компании «Petronas» может заправлять до 200 автомобилей в день. Состав стандартного КПГ таков: метан – 89-96%, этан – 2-5%, CO₂ – 0,6-3%.

Малайзийские АГНКС практически не имеют системы подготовки газа, поскольку, поступая с морских месторождений, природный газ проходит комплексную подготовку сразу же на берегу. В газораспределительную сеть он поступает практически в товарном виде. И все же в АГНКС есть небольшой блок очистки газа после компрессора.

Конъюнктура цен на жидкое нефтяное моторное топливо в Малайзии благоприятствует переходу на использование компримированного природного газа. Как видно из табл. 2, несмотря на то, что Малайзия добывает и перера-



батывает нефть, стоимость моторного топлива достаточно высока (практически на уровне России). Но при этом почти треть затрат, включенных в розничную цену, субсидирует государство.

Развитию национального рынка КПГ способствует гибкая система рассрочек платежей за автомобили и газобаллонное оборудование. Наиболее популярным автомобилем является «Протон» местной сборки. Автомобильные компании приобретают автомобили, газобаллонное оборудование, страховки и т. д., затем продают их в рассрочку водителям такси.

При приобретении автомобилей частными лицами широко применяется рассрочка. Заплатив первый взнос в размере 300 RM (чуть больше 2200 руб.), владелец автомобиля ежемесячно в течение 10 лет будет вносить по 100 RM до полного погашения задолженности и процентов по ней.

Аналогичная схема применяется и при установке газобаллонного оборудования. Таксист, нанимаясь на работу в автокомпанию, вносит залог за автомобиль в размере 4000 RM (29,4 тыс. руб.). Заплатить еще 3000 RM (22 тыс. руб.) за переоборудование он уже не может. Поэтому за установленную на автомобиль газобаллонную аппаратуру компания в течение трех лет вычитает у водителя по одному доллару США в день, и таким образом покрывается стоимость ГБО и его монтажа.

Фото автора

**6-я Международная специализированная выставка
по газораспределению
и эффективному использованию газа**

**The 6th International specialized exhibition
for gas supply and effective use of gas**

**Gas
SUF**



Газоснабжение и эффективное
использование газа
Gas supply and effective use of gas



Использование природного газа в качестве
моторного топлива
Use of natural gas as motor fuel



Сжиженный природный газ и синтетическое
жидкое топливо
Liquefied natural gas and synthetic liquid fuel

23 – 25 сентября 2008

September 23 – 25, 2008

Дирекция выставки / Exhibition Management:
E-mail: msa@mvk.ru
Тел./tel.: +7 495 105-34-42, 105-34-16





Организаторы:



НАЦИОНАЛЬНАЯ
ГАЗОМОТОРНАЯ
АССОЦИАЦИЯ

ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ

- Топливная аппаратура для газовых видов моторного топлива
- Автомобильные баллоны для компримированного природного газа и сжиженного нефтяного газа
- Автомобильные системы хранения, баки для сжиженного природного газа
- Арматура для компримированного и сжиженного природного и сжиженного нефтяного газа
- Системы и оборудование для диагностики газовой автомобильной аппаратуры
- Оборудование для центров переосвидетельствования автомобильных газовых баллонов
- Оборудование для центров по переоснащению автотранспортной техники для работы на газовых видах топлива и техническому обслуживанию
- Стационарные и мобильные средства заправки автотранспорта газовыми видами моторного топлива
- Проектирование и строительство объектов газозаправки и сопутствующей инфраструктуры
- Оборудование для сжижения, транспортировки, хранения и регазификации сжиженного природного газа
- Оборудование для получения, хранения и использования альтернативных энергоносителей на основе газовых технологий: СЖТ, ДМЭ, биогаза, топливных элементов
- Проектирование, строительство и эксплуатация стальных и полиэтиленовых газопроводов
- Оборудование и техника для строительства, изоляции, эксплуатации, диагностики и ремонта распределительных газопроводов
- Системы учета и контроля потребления газа

Неизменно насыщенной будет и деловая программа выставки. Семинары и конференции, которые традиционно проходят в рамках выставки, будут посвящены самым насущным вопросам развития и инновациям на рынке газового оборудования, газоснабжения и энергосбережения.



Испанская компания «INDOX Cryo Energy» на российском рынке СУГ и природного газа

И.А. Шинов, генеральный директор ЗАО «Айсай»
(дистрибьютор «ROS ROCA INDOX» в РФ)



щения в жизнь идей своего инженерно-конструкторского бюро по выведению на национальный и международный уровень своих разработок в области криогенного оборудования и соответствующей логистики, а также тригенерационных двигателей на СПГ.

Имея огромный опыт разработки и производства автоцистерн для криогенных продуктов и стационарных емкостей для хранения СПГ, мобильных и стационарных регазификационных станций, заправочных станций СПГ, компания является разработчиком уникальной системы трансформации двигателей и производства газогенераторов на основе СПГ, с сохранением 100% мощности двигателя. Имеются карты разработок двигателей марки «Каммингс», «Ивеко» (450 л. с.), «Рено», «Отто».

Компания активно принимает участие в разработках глобальных проектов по обеспечению электроэнергией и теплом при использовании СПГ как главного носителя энергии для регионов, городов, фабрик и заводов, на территории своей страны и в странах Европы и Латинской Америки (Польша, Аргентина, Перу, Чили, Голландия, Германия, Норвегия).



Испанская компания «INDOX Cryo Energy», входящая в состав «ROS ROCA GROUP», является одним из лидеров в следующих секторах:

- логистики криогенных газов;
- хранения и транспортировке СУГ;
- переоборудования дизельных двигателей транспортных средств на СПГ;
- проектирования и строительства газозаправочных станций для заправки автотранспорта КПГ и СПГ;
- проектирования, строительства и обслуживания энергетических установок.

Компания «INDOX Cryo Energy» обладает огромным уникальным опытом в логистике сжиженных

криогенных газов (азот, кислород, аргон, СПГ и CO₂), экспортирует технологии и знания во все части света, активно участвует в международных выставках, разрабатывает проекты и вводит в строй объекты, а также продает необходимое оборудование.

В начале 2007 г. было признано эффективным решение разделить компанию «INDOX» на две – компания «ROS ROCA INDOX EQUIPOS E INGENIERIA, S.L.» пошла далее по проторенной за многие годы дороге известной и признанной в Европе марки по строительству цистерн и контейнеров для пищевых продуктов, химии и топлива, а компания «ROS ROCA INDOX Cryo Energy S.L.» пошла по пути вопло-

I. Для транспортировки и хранения криогенных газов выпускается нижеследующее высококачественное оборудование:

1. Криополуприцепы (цистерны для СПГ) для транспортировки азота, кислорода, аргона, СПГ.

Изоляция: перлитно-вакуумная (бездренажность 21 день), полиуретановая (бездренажность 5 дней).

2. Криоемкости для хранения СПГ (от 6 до 300 м³).



Предназначены для хранения азота, кислорода, аргона, СПГ и CO₂.

Изоляция: перлитно-вакуумная.

Варианты расположения: вертикальное, горизонтальное.

3. ИМО контейнер 45 фут для СПГ, ИСО контейнер 20 и 40 фут.



Предназначены для транспортировки азота, кислорода, аргона, СПГ.

Изоляция: перлитно-вакуумная.

4. Полуприцеп-цистерна для азота, кислорода, аргона, СПГ и CO₂.

Предназначена для транспортировки азота, кислорода, аргона, СПГ и CO₂.



Изоляция: полиуретановая.

5. Самоходная криоцистерна на шасси грузовика для транспортировки СПГ.

Предназначена для транспортировки азота, кислорода, аргона, СПГ.

Изоляция: перлитно-вакуумная.

6. Специализированные проекты газификации.

Основные характеристики:

- модульная система свободной компоновки;
- оборудование транспортабельное;
- обеспечение местных нужд;
- обеспечение поставки в промышленность;
- выработка электроэнергии;
- уточнение проектов в соответствии с потребностями по давлению, потоку и т.п.

7. Агрегаты сжижения природного газа малой мощности.

Установки сжижения газа малой мощности от 5 до 250 т СПГ в сутки.

II. Для транспортировки и хранения СУГ выпускается следующее высококачественное оборудование:

1. Цистерны СУГ, установленные на автомобильных шасси.

Предназначены для транспортировки СУГ, с оборудованием для разгрузки, позволяющим производить заправку СУГ, с большим количеством различных комплектаций и опций. Устанавливаются на различные марки автомобильного шасси.

2. Самонесущие цистерны СУГ.

Предназначены для транспортировки СУГ. Устанавливаются на шасси с одной, двумя или тремя осями, снабжаются различным оборудованием для разгрузки; большой выбор комплектаций и опций.

3. Цистерны-контейнеры для транспортировки СУГ.

Предназначены для транспортировки СУГ при морских, железнодорожных и автодорожных перевозках.

Варианты по размерам – 20, 30 и 40 фут.

III. Решения для транспортных средств:

1. Переоборудование дизельных двигателей транспортных средств на газ:

- полная установка газобаллонного оборудования для СПГ, системы подачи и электроники управления двигателем, полностью разработанные компанией «INDOX»;
- переоборудование дизельных двигателей под полный цикл;
- переоборудование дизельных двигателей под двойной цикл.

2. Газозаправочные станции.

Типы газозаправочных станций:

- станция СПГ – обеспечивает заправку автотранспорта СПГ, в основном, тяжелых автотранспортных средств (грузовики и автобусы); производительность 100 автомобилей в сутки;
- станция КПП – обеспечивает заправку автотранспорта КПП, в основном парк малого грузового коммерческого транспорта или такси;
- станция СПГ и КПП – обеспечивает заправку автотранспорта СПГ и КПП, полученным от установки сжиженного природного газа на 30 автомобилей в сутки.

IV. Энергетические установки и решения для энергетики

Электрогенераторы на природном газе.

Назначение: в генераторных установках передается избыточная часть тепловой энергии на устройства для сушки, подогрева воды, производства пара, производства электроэнергии.

Стандартные технические характеристики: от 65 до 1000 кВт. Другие особые размеры возможны по заказу клиента.

Полное комплексное решение системы генерации совместно со всем необходимым дополнительным оборудованием.

Производимая энергия потребляется отдельными потребителями (гостиницы, больницы, и т.п.), либо подключается к общим сетям. Тепловая энергия может быть использована как для подогрева воды, так и в системах производ-

ства пара и других видах термических процессов.

Генераторы и группы генераторных агрегатов на природном газе для использования в сельском хозяйстве и животноводстве.

Назначение: установки позволяют обеспечивать необходимой электроэнергией для удовлетворения потребностей в электричестве, тепле или обеспечении работы оросительной насосной системы в сельском хозяйстве.

Компания «ROS ROCA INDOX Cryo Energy S.L.» берет на себя ответственность и предлагает другим фирмам различные решения по повышению энергетической эффективности.

Являясь членом ENGVA (Европейской газомоторной ассоциации), компания заботится о продвижении новых инициатив и участвует во всех совещаниях и конференциях

по поводу введения европейских нормативов использования природного газа в легковых и грузовых автомобилях.

В холдинге «ROS ROCA GROUP» не жалеют сил для того, чтобы поддержать собственный имидж, который базируется на большом опыте и высокой репутации в энергетике.

По вопросам закупок оборудования обращаться в Закрытое акционерное общество «Айсай»

Дистрибьютор компании «ROS ROCA INDOX EQUIPOS E INGENIERIA S.L.»

Российская Федерация, 125212, г. Москва, Ленинградское шоссе, д. 43А

**Тел.: + 7 (495) 159 76 12;
Моб. тел.: +7 (895) 765 94 69**

**www.RosRoca.ru,
www.indox.su**

**E-mail: shinov@rosroca.ru,
iashinov@mail.ru**

Как не упустить будущую выгоду? Перспективные рынки сбыта СУГ

По данным «World LP-Gas Association», в 2006-2007 гг. доля СУГ, израсходованного на отопление в странах Западной Европы и Северной Америки, достигла 48,2% от общего потребления. Нефтехимическая индустрия и газомоторный транспорт в сумме не набрали и 35%.

Бесспорно, такая тенденция не минует и Россию. В этой связи имеет смысл обратить самое пристальное внимание на бум индивидуального жилищного строительства. По заявлениям федеральных чиновников, к 2010 г. односемейные дома должны составлять более половины всего вводимого в эксплуатацию жилья.

Но на пути исполнения этих крайне оптимистичных прогнозов стоит вечная российская проблема – отсутствие современной инженерной инфраструктуры, в частности, объектов газового хозяйства. Напомним, что средний уровень газификации России не превышает 40%, при этом газификация страны крайне неравномерна и масштабы ее разнятся в зависимости от типа поселения и федерального округа. Так, по данным опроса, проведенного ВЦИОМ, при почти полной обеспеченности газовыми коммуникациями городов в селах, по заявлению их жителей, газом снабжены меньше половины опрошен-

ных. В Северо-Западном федеральном округе, например, этот показатель составляет более 70%, но не стоит забывать, что сюда входят и вполне благополучный Санкт-Петербург и Архангельская область, где газифицировано всего около 9% территории.

Тем не менее коттеджи и поселки растут как грибы, и все они нуждаются в тепле и энергии! Поэтому в ближайшие годы следует ожидать заметного прироста рынка альтернативного топливоснабжения, призванного заместить недостаток централизованных тепло- и энергогенерирующих мощностей.

Одну из главных ролей в ближайшей и среднесрочной перспективах может сыграть хорошо знакомый всем пропан. Выгоды и преимущества его применения (особенно в сравнении с затратами на прокладку магистральных газопроводов и специфическими особенностями дизельного топлива) очевидны. Так, стоимость 1 кВт·ч тепловой энергии, выработанной на про-

пан-бутане, почти в два раза ниже, чем на дизельном топливе, то есть для стационарных объектов эффективность пропана еще выше, чем при использовании в качестве газомоторного топлива. Сильные аргументы в пользу сжиженного углеродного газа (СУГ) – это технологичность транспортировки и хранения, чистота продуктов сгорания, существенно продлевающая ресурс оборудования. Неудивительно, что лучшего кандидата на роль резервного топлива в промышленном производстве, чем пропан, не найти.

В этой ситуации существующие сети автогазозаправочных станций могут стать прекрасной базой для дальнейшего развития бизнеса. Располагая квалифицированным персоналом и опытом работы с СУГ, компании, владельцы сетей АГЗС и газонаполнительных станций, могут развернуть широкое строительство комплексов автономного тепло- и энергоснабжения, использующих пропан. В дальнейшем компания, модернизировав базу хранения и парк автомобилей-газовозов (1 автомобиль-газозаправщик обеспечивает сжиженным углеводородным газом до 200-250 объектов в месяц), из категории розничных продавцов СУГ переходит в разряд оптовых поставщиков, обеспечивая газом как уже существующих потребителей, так и вновь строящиеся объекты.

Приведем некоторые экономические аргументы. Во-первых, само строительство комплексов автономного газоснабжения не требует больших инвестиций: например, для коттеджного поселка на 40 домов стоимость системы автономного газоснабжения на один коттедж не превысит 5-6 тыс. евро. Во-вторых, такой поселок будет стабильным и прогнозируемым потребителем СУГ, ведь среднее потребление каждого коттеджа в отопительный период составляет 1,5-2,0 тыс. л в месяц. В-третьих, для сооружения комплексов газоснабжения не нужны капитальные здания и значительные земельные участки, что заметно влияет на конечную стоимость работ. Таким образом, газификация пропаном за сравнительно короткий срок может обеспечить значительный



Рис. 1. Наземный резервуар для газоснабжения СУГ индивидуального коттеджа



Рис. 2. Оборудование для газоснабжения технологического участка производства полимерных материалов

прирост потребления сжиженного углеводородного газа.

Автономная газификация пропаном уже сегодня из разряда экспериментов перешла в сферу массового применения. Компания «Химгазкомплект», официальный представитель фирмы «FAS» (Германия) в России, предлагает современные и экономически эффективные решения, которые помогут уверенно действовать в новых областях сбыта СУГ.

Главным компонентом комплексов газоснабжения являются резервуары для хранения СУГ. В настоящее время успешно применяются емкости производства ООО «Фасхиммаш», выпускаемые на импортном немецком

оборудовании по самым современным технологиям, гарантирующим не менее чем 30-летний срок службы.

Для гарантированной подачи паровой фазы СУГ к мощным потребителям применяются испарительные установки непрямого подогрева. Компания «FAS» предлагает широкий ассортимент этих агрегатов производительностью от 32 до 14000 кг/ч. Испарительные установки насыщены устройствами автоматики и обеспечивают бесперебойную и надежную работу в заданном режиме.

В самых масштабных проектах применяются модульные котельные, полностью обеспечивающие теплом

и горячей водой крупные объекты. Главными преимуществами таких решений являются: оперативный ввод системы отопления и водоснабжения в действие (не более 3-5 дней с момента поступления оборудования и подключения внешних инженерных коммуникаций); отсутствие необходимости в строительстве капитальных зданий и сооружений; возможность произвольного перемещения котельной.

Мощность модульных контейнерных котельных для СУГ – от 100 кВт до 14 МВт. Особенно экономически эффективны котельные мощностью 500-1500 кВт. Высокая степень автономности обеспечивается не только запасом СУГ в емкостях, но и применением дизельных или газовых электрогенераторов, обеспечивающих независимость котельной от источников внешнего электроснабжения.

Подводя итог, можно утверждать, что пропан все увереннее заявляет о себе не только в качестве газомоторного топлива для автотранспорта, но и как основа автономных систем отопления, энергогенерации и газоснабжения. Комплексы оборудования апробированы и отлажены, а опыт таких компаний, как «Теплогазстрой» (Северо-Западный федеральный округ), «Стройинвест» (Приволжский и Южный федеральные округа), «Газрегионинвест» (Центральный федеральный округ), «Инвестстрой» (Сибирский федеральный округ), ТОО «ТГС» (Казахстан), «Сигма групп Инжиниринг» (Украина), «Latvijas Propana Gaze» (Латвия) и многих других доказывает, что перспективы у СУГ – отличные!



Рис. 3. Газовоз производства фирмы «Eurotank»



Рис. 4. Блочная автономная котельная фирмы «FAS», работающая на СУГ



Qualität качество по-немецки

Мы считаем, что высокое качество нашей продукции — это знак уважения к нашим партнерам и друзьям. Вы можете быть уверены: оборудование фирмы FAS отвечает самым высоким стандартам. Как и много лет назад...

www.fas.su

Подробную информацию вы можете получить в следующих компаниях:

FAS-GERMANY
+49 (5341) 86 9726
info@fas.de • www.fas.de

FAS-САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ООО «ХИМГАЗКОМПЛЕКТ»
(812) 335 4950, (495) 647 0577

FAS-НИЖНИЙ НОВГОРОД
ООО «СТРОЙИНВЕСТ»
(831) 456 4727



Перспективный способ и средства огнезащиты технологического оборудования объектов хранения и потребления СУГ и СПГ

В.Л. Страхов, зам. руководителя группы компаний «ТОЗ», профессор, д.т.н.,

А.М. Крутов, руководитель группы компаний «ТОЗ», к.т.н.

Предложен новый способ получения оптимальной по толщине, массе и стоимости композиционной огнезащиты объектов различного назначения. На его основе разработана разборная (быстро устанавливаемая, легкоъемная) огнезащита резервуаров для хранения сжиженного углеводородного газа (СУГ) на АГЗС.

(огнезащита). Основное назначение огнезащиты – сохранение работоспособности объекта в условиях пожара элементов технологического оборудования, определяющих уровень пожарной опасности соответствующих технологических процессов.

Дополнительная функция огнезащиты: уменьшение тепловых потерь или нежелательного нагрева при обычной эксплуатации оборудования (теплозащита).

Применение огнезащиты позволяет:

- повысить уровень пожарной безопасности объекта;
- ограничить распространение пожара;
- уменьшить прямой и косвенный ущерб;
- сократить противопожарные разрывы;
- снизить вероятность механического повреждения оборудования осколками в случае аварии;
- приравнять по способу размещения надземное оборудование к подземному оборудованию (в части воздействия на него пожара), сохранив преимущества надземного расположения;
- снизить затраты при строительстве и эксплуатации объекта.

Для тепло- и огнезащиты трубопроводов с запорной арматурой, фильтров, расходомеров и других элементов технологического оборудования за рубежом применяются съемные теплоизолирующие чехлы или кожухи из термостойких материалов. В качестве примера ниже в таблице, составленной по материалам фирмы «Thermohelp Corporation» (штат Иллинойс, США), дана характеристика области и экономического эффекта применения съемных чехлов, производимых фирмой.

В России до недавнего времени проблеме внедрения средств огнезащиты

По результатам проведенных огневых испытаний огнезащиты получены заключения ФГУ ВНИИПО МЧС РФ и Ростехнадзора РФ о возможности ее практического применения. Эти результаты послужили основой для разработки конструктивной композиционной огнезащиты технологического оборудования для хранения и потребления сжиженного природного газа (СПГ). Предварительные огневые испытания этой огнезащиты показали правильность принятых конструктивных решений и перспективность ее практического применения.

В статьях [1, 2] убедительно показана перспективность применения в России сжиженного углеводородного газа (СУГ), как одного из видов газомоторного топлива, и сжиженного природного газа, который используется в качестве газомоторного топлива, а также замещает дизельное топливо или топочный мазут на предприятиях с энергоемкой технологией.

Технологическое оборудование объектов хранения и потребления горючих газов (резервуары с патрубками и арматурой) отличается повышенной пожарной опасностью. Так, например, при нагреве стенки резервуара с СУГ до температур, превышающих критические значения для стали, из которой изготовлен резервуар, возможен взрыв последнего. Взрыв сосуда высокого давления, содержащего горючий газ, сопровождается образованием огненного шара, который, как известно,

обладает очень высокой поражающей способностью.

Среди аварий на АГЗС следует отметить инцидент, связанный с выходом всего содержимого резервуара при разгерметизации до запорной арматуры в Дмитровском районе Московской области, а также инциденты с пожарами и взрывами, повлекшие травмирование или гибель людей в гг. Омск, Барнаул, Камышин Волгоградской обл., Бузулук Оренбургской обл. и др.

За рубежом наглядным примером аварии на АГЗС с последствиями, близкими к катастрофическим, может служить инцидент в Южной Корее (2001 г.). Пожар на этой станции привел к двум последовательным взрывам наземного резервуара хранения СУГ и автоцистерны СУГ с образованием огненных шаров (наиболее опасное развитие пожара на таких объектах), распространению пожара на все окружающие АГЗС здания и сооружения в радиусе до 100 м, в результате чего выгорел целый квартал города. При этом в результате пожара и взрывов пострадало большое количество людей. Об этом пожаре был доклад на V Международном симпозиуме по пожарной науке и технологии (3-6.12.2001, г. Ньюкасл, Австралия).

Международный опыт работы по обеспечению пожарной безопасности технологического оборудования хранения и потребления горючих газов показывает, что с этой целью широко используется его защита термостойкими теплоизоляционными материалами

Характеристика области и экономического эффекта применения съёмных теплоизолирующих чехлов фирмы «Thermohelp Corporation» (США)

Потребители	Ежегодный объем заказов (тыс. долл. США)	Годовая экономия от применения (тыс. долл. США)
Нефтеперерабатывающие заводы		
MOBIL OIL REFINERY (JOLIET, ILLINOIS)	150	275
AMOCO OIL REFINERY (WHITING, INDIANA)	225	430
Uno-van oil refinery – Lemont (ILLINOIS)	250	485
Clark oil refinery – blue islands (ILLINOIS)	50	80
Газовые заводы и газонасосные станции		
Northern Illinois gas company	45	83
Enron gas & liquid pipe line co. (ILLINOIS)	10	24
American gas & pipe line co. (ILLINOIS)	7	17
Газовые, нефтяные, угольные ТЭЦ		
Commonwealth Edison co. (INDIANA)	40	75
Commonwealth Edison co. (ILLINOIS)	45	80
Northern Indiana public service co. – nipsco	20	38
Химзаводы (в том числе производство пластмасс)		
Quantum chemical use division (ILLINOIS)	220	510
Amoco chemical (ILLINOIS)	60	105
Basf international (ILLINOIS)	100	201
Dow chemical (ILLINOIS)	50	93

на объектах нефтегазового комплекса уделялось недостаточное внимание. Вместе с тем на конференциях «Безопасность в нефтегазовом комплексе», проходивших в Москве в 2000-2002 гг., отмечалось, что ежегодно значительная доля пожаров (30-40%) приходится на производственные объекты топливно-энергетического комплекса страны, а надежность используемых средств активной противопожарной защиты недостаточна [3].

На техническом совещании во ВНИИПО МЧС РФ, проведенном в 2002 г., а также на бизнес-семинаре «Газовые технологии для транспорта России» (30.09.2003 г.) были отмечены актуальность и важность проблемы повышения пожарной безопасности технологического оборудования АГЗС. К числу перспективных направлений решения этой проблемы отнесено использование средств пассивной огнезащиты резервуаров для хранения СУГ с трубопроводами и арматурой.

Для огнезащиты резервуаров хранения горючих газов и жидкостей, трубопроводов с арматурой, несущих и ограждающих строительных конструкций, элементов инженерных коммуникаций сотрудниками ЗАО «Теп-

лоогнезащита», входящего в состав группы компаний «ТОЗ», предложен новый способ ослабления воздействия потока энергии в виде света, тепла и конвективных газовых потоков на защищаемые объекты (патент № 2284202 от 27.09.06 г.).

Данным изобретением решается задача получения оптимальной по толщине, массе и стоимости композиционной огнезащиты за счет рационального сочетания различных физических эффектов, позволяющих блокировать лучисто-конвективный тепловой поток, поступающий от пламени к поверхности защищаемого объекта. Способ решения поставленной задачи заключается в формировании покрывающей защищаемый объект слоистой композиционной огнезащиты. Причем ее оптимальный состав и структура определяются путем моделирования процессов тепломассопереноса в композиционной огнезащите и защищаемом объекте с учетом влияния нагрева и термического разложения на теплофизические характеристики материала, влагопереноса и сопровождающих его тепловых эффектов испарения – конденсации влаги в системе композиционная огнезащита – защищаемый

объект, а также лучистого и конвективного переноса теплоты через слои этой системы. При этом для расчета каждого слоя защитного пакета используется универсальное уравнение сохранения энергии или нестационарной теплопроводности [4].

Проведенные авторами данного изобретения экспериментальные и теоретические исследования показали, что композиционная огнезащита обладает значительными преимуществами по сравнению с традиционными способами огнезащиты:

- пониженной массой и уменьшенными размерами;
- повышенной прочностью и жесткостью;
- пониженной паропроницаемостью;
- улучшенными защитно-декоративными качествами;
- повышенной технологичностью.

На основе данного способа был предложен целый ряд новых средств огнезащиты технологического оборудования нефтегазового комплекса:

- огнестойкий экран и огнезащитное укрытие на его основе, выполненные с огнестойкими и теплоустойчивыми слоями из кремнеземных,

базальтовых волокон или их комбинации (патент № 2229910 от 10.06.04 г.);

■ конструктивная огнезащита резервуаров со штатной обвязкой, предназначенных для хранения СУГ на АГЗС (патент № 2285554 от 20.10.06 г. и заявка № 2004134118 от 23.11.04 г.);

■ огнезащитный экран-чехол для защиты от пожара трубопроводов с выступающей на них запорной арматурой, содержащий гибкие наружные огнестойкие и промежуточные теплоустойчивые слои из волокнистых материалов (патент № 2284202 от 27.09.06 г.).

Сотрудниками ЗАО «Теплоогнезащита» в 2004-2005 гг. по контракту с Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере проведены научные исследования и разработка типовых конструкций средств огне- и теплозащиты резервуаров для хранения СУГ на автомобильных газозаправочных станциях.

В ходе НИОКР была разработана новая разборная (быстро устанавливаемая и легкоъемная) конструктивная огнезащита резервуаров со штатной обвязкой (патрубками с запорной арматурой, а также предохранительными и скоростными клапанами).

Разработке конструкции опытных образцов огнезащиты предшествовала достаточно глубокая теоретическая проработка рассматриваемой проблемы. В целях обеспечения оптимального проектирования средств огне- и теплозащиты резервуаров с обвязкой разработаны математическая модель, алгоритм и программа расчета нестационарного прогрева резервуара с огнезащитой, частично заполненного СУГ, при огневом воздействии пламени разливаемого горючего в непосредственной близости от резервуара.

Для расчета параметров огневого воздействия на резервуар в качестве проектной аварийной ситуации принята аварийная ситуация, связанная с разливом и воспламенением жидкого моторного топлива в непосредственной близости от резервуара. Принято, что на наружную поверхность резервуара в условиях пожара воздействует газовая среда, температура которой изменяется во времени по режиму горения углеводородного топлива.

Проведены экспериментальные исследования комплекса теплофизи-

ческих характеристик материалов, входящих в состав огнезащитного пакета, необходимых для проведения оптимизационных расчетов параметров огнезащиты по разработанной программе. На основе полученного численного решения задачи нестационарного прогрева резервуара с огнезащитой проведены расчеты оптимальных параметров конструктивной огнезащиты обечайки и днища резервуара. При этом использовались расчетные значения параметров проектной аварии и результаты определения комплекса теплофизических характеристик огнезащитных материалов.

Были также проведены расчеты параметров огнезащиты трубопроводов обвязки с арматурой типа:

- штуцеров наполнения резервуара;
- двустенных сливных патрубков резервуара;
- штуцеров установки манометра с электромагнитным клапаном резервуара.

При выбранных в результате расчетов составе и толщине слоев огнезащитного пакета надежно обеспечивается не только допускаемая температура на металлических элементах резервуара с обвязкой, но и работоспособность арматуры, в состав которой входят фторопластовые прокладки.

Были проведены также расчеты теплового состояния резервуара, частично заполненного СУГ с выбранной огне- и теплозащитой и без нее для различных климатических зон с учетом испарения СУГ.

В результате анализа полученных данных установлено следующее:

- при наличии огне- и теплозащиты потери СУГ вследствие срабатывания предохранительного клапана в летний период отсутствуют даже в наиболее теплом климатическом районе;
- при отсутствии огне- и теплозащиты имеют место потери СУГ вследствие срабатывания предохранительного клапана в летний период в климатических зонах, расположенных южнее г. Ростов-на-Дону.

Результаты проведенных ЗАО «Теплоогнезащита» теоретических и экспериментальных исследований позволяют обоснованно выбирать рациональные параметры конструк-

тивной огнезащиты резервуаров различных типоразмеров с обвязкой. С учетом полученных результатов была разработана конструкторская и технологическая документация на опытные образцы конструктивной огнезащиты резервуара со штатной обвязкой (патрубками с запорной арматурой, а также предохранительными и скоростными клапанами).

Основными элементами конструктивной огнезащиты являются термостойкие теплоизолирующие маты следующего состава: первый слой (от наружной поверхности) – кремнеземное иглопробивное полотно (самоармированный войлок); второй слой – прошивной материал на основе базальтовых волокон.

Для формирования облицовки – атмосферостойкого слоя, защищающего термостойкую теплоизоляцию обечайки и днища от атмосферных осадков и механических повреждений, – применены стальные оцинкованные листы. Облицовка и термостойкие теплоизолирующие маты крепятся к обечайке и днищам с помощью несущего каркаса замкнутого типа, состоящего из шпангоутов, стрингеров, полюсных пластин и тросов.

Огнезащита патрубков с арматурой была выполнена из профилированных термостойких теплоизолирующих матов аналогичного состава и атмосферостойких чехлов. Ее основным отличием от огнезащиты обечайки и днища резервуара является использование вместо относительно жесткой защитно-декоративной облицовки из стального листа атмосферостойкого чехла, выполненного из стеклоткани с водонепроницаемой пропиткой. Этот чехол не выполняет свою огнезащитную функцию (при огневом воздействии разрушается).

Конфигурация термостойких теплоизолирующих матов и облицовки конструктивной огнезащиты определяется в зависимости от формы и размеров конкретного резервуара с обвязкой. Требуемая толщина слоев огнезащитных матов определяется расчетом.

В настоящее время разработана и согласована с ФГУ ВНИИПО МЧС РФ и Ростехнадзором РФ «Методика огневых испытаний конструктивной огнезащиты резервуара для хранения сжиженных

углеводородных газов с трубопроводами и арматурой (без наполнения СУГ)», а также «Методика огневых испытаний конструктивной огнезащиты частично заполненного резервуара для хранения сжиженных углеводородных газов с арматурой и патрубками».

Огневые испытания конструктивной огнезащиты проводились на резервуарах РСГ-4 для СУГ объемом 4 м³, изготовленных по чертежам РЭ215.00.000СБ НП Корпорации «Центавр» на ОАО «Чеховский завод Гидросталь». Разрешение на изготовление выдано центральным округом Госгортехнадзора РФ (№ РРС 02-7208 от 25.11.2002 г.).

Резервуары были изготовлены в полном соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» ПБ 10-115-96 и техническими условиями на изготовление РЭ 202.00.000 ТУ.

Для проведения зачетных огневых испытаний спроектированной конструктивной огнезащиты было подготовлено следующее оборудование:

- резервуар РСГ-4 для СУГ объемом 4 м³ в сборе с типовыми патрубками и арматурой;
- комплект конструктивной огнезащиты резервуара и патрубков с арматурой;
- испытательный стенд на специальном полигоне ФГУП ФНПЦ НИИПХ, позволяющем проводить испытания потенциально опасных объектов с соблюдением всех требований техники безопасности;
- современная система дистанционных измерений температуры в характерных зонах испытываемого объекта и давления паров СУГ в резервуаре.

В процессе испытаний измерялись следующие параметры: температура в характерных зонах объекта испытаний и давление внутри резервуара.

Для регистрации в процессе огневого испытания температуры в характерных зонах объекта испытаний и давления внутри резервуара использована электронная система дистанционных измерений, в состав которой входят:

- компьютер (ноутбук) HP-Compaq nc 6000 с программой регистрации и обработки измерений «ACTest» Pro;
- модуль АЦП Е-270 Л-Кард – 3 шт.;

- двухканальные модули измерения температуры Н-27-Т ТУ 422714-027-42885515-02 – 22 шт.;

- двухканальный модуль измерения давления Н-27-И20 ТУ 422714-027-42885515-02;

- модуль контроля температуры холодного спая термопар Н-27-Р10 ТУ 422714-027-42885515-02;

- термопары ХА – 44 шт.;

- датчик контроля температуры холодного спая (термопреобразователь сопротивления ТEOСИ 50М.В2.20/0,2 ТУ 4211-001-18121253-96) – 1 шт.;

- преобразователь избыточного давления «Корунд-ДИ» ТУ 4212-001-17527421-93 с блоком питания БПД-2К ТУ 4218-001-12580824-94 – 2 шт.;

- кабель FTP 5 кат. OUTDOOR – 500 м;

- конвертор RS 485 → COM – 1 шт.

Измерительные модули Н-27-Т, Н-27-И20, Н-27-Р10 внесены в Государственный реестр средств измерений (Регистрационный номер 24576-03). Термопреобразователь сопротивления

ТEOСИ 50М.В2.20/0,2 внесен в Государственный реестр средств измерений (Регистрационный номер 14763-97).

Испытания на «сухом» резервуаре

Проведены два огневых испытания конструктивной огнезащиты на резервуаре с обвязкой в пламени разлитого горючего (дизельного топлива), в результате которых установлено следующее:

- представленные на огневые испытания образцы конструктивной огне- и теплозащиты резервуара для хранения СУГ с обвязкой сохраняют работоспособность защищаемого объекта в течение 1 ч огневого воздействия, вызванного горением дизельного топлива;
- запорная арматура, предохранительные и скоростные клапаны после огневого испытания в составе обвязки резервуара с конструктивной огне- и теплозащитой находятся в работоспособном состоянии;

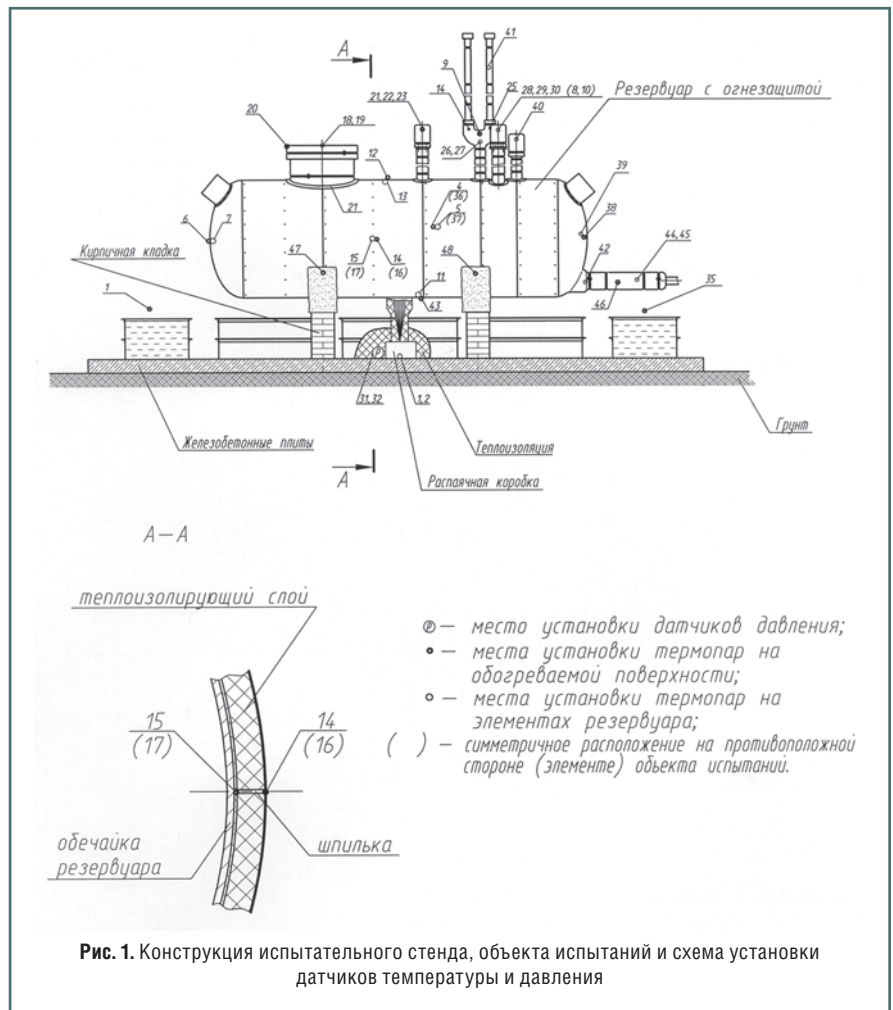


Рис. 1. Конструкция испытательного стенда, объекта испытаний и схема установки датчиков температуры и давления



а)



б)

Рис. 2. Состояние объекта испытаний перед началом (а) и в процессе огневого воздействия (б)

■ изменений в металле основных элементов (обечайки и днищ) резервуара СУГ в результате огневого воздействия при испытании конструктивной огнезащиты не выявлено.

Испытания на заполненном резервуаре

Перед огневым испытанием внутренний объем резервуара был заполнен на 50% сжиженной пропан-бутановой смесью в соотношении 9:1 (по объему). Заполнение проводилось специалистами ООО «Южнорусская промышленная компания» по разработанной штатной технологии.

В соответствии с методикой проведения огневых испытаний по периметру резервуара на расстоянии 200 мм от крайних точек огнезащиты обечайки и днищ (в плане) были установлены емкости для горючего.

Испытания конструктивной огнезащиты, смонтированной на резервуаре и его обвязке, проводились при непосредственном воздействии на наружную поверхность испытываемого объекта пламени сгорающего в атмосферных условиях жидкого дизельного топлива.

На проведенных испытаниях присутствовали представители ВНИИПО МЧС РФ, Ростехнадзора РФ, Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, Управления безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, Академии ГПС МЧС России, ГУ ФГУ «Российский морской регистр», ООО «Технологии: анализ и уп-

равление», ООО «Газобезопасность», Института «МосгазНИИпроект», ОАО «АК Нефтепродукт», НК «Лукойл», НК «Роснефть», Компании «Транснефть», Компании «Сахалин Энерджи Инвестмент Компани ЛТД», ОАО «СГ-транс», ОАО «ЮКОС-Москва».

Конструкция испытательного стенда, объекта испытаний и схема установки датчиков температуры и давления показаны на рис. 1.

В процессе огневого испытания велось визуальное наблюдение за поведением объекта испытаний и непрерывная видеосъемка с двух точек, а также контроль показаний основных

датчиков температуры и давления, выведенных на экран ноутбука в пункте регистрации измерений.

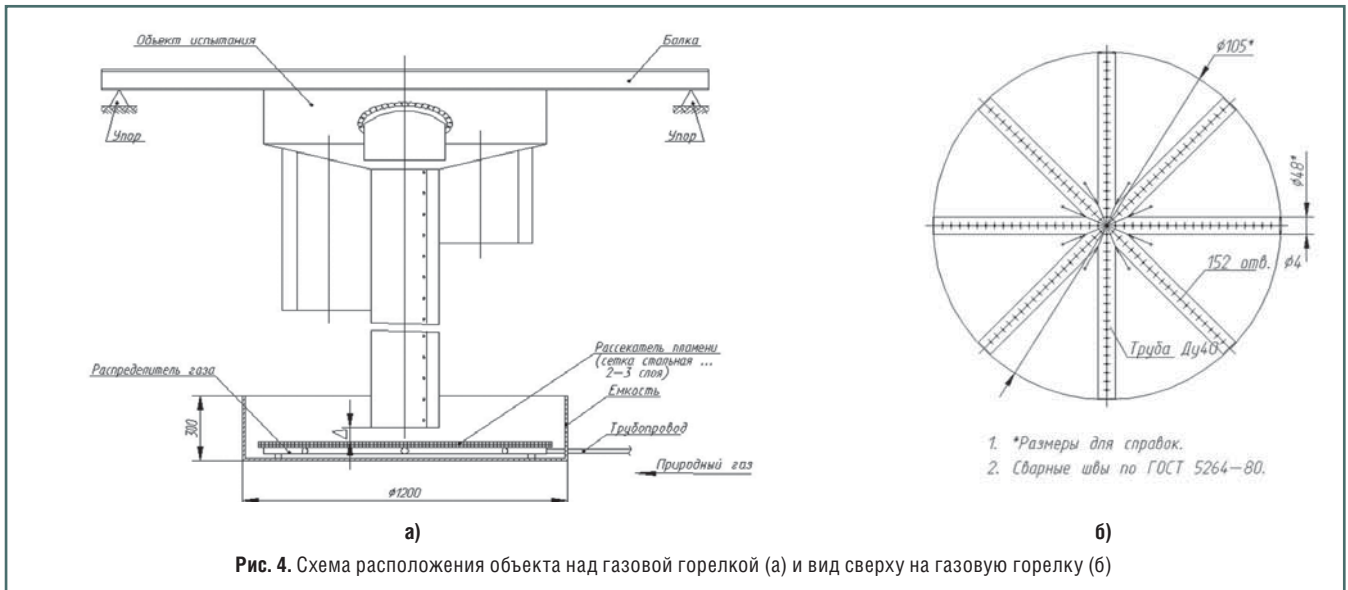
Внешнее состояние объекта перед огневым испытанием и в процессе огневого воздействия показано на рис. 2; его состояние после огневого воздействия, продолжавшегося в течение 80 мин, показано на рис. 3.

Обработка результатов измерений показала следующие результаты:

1. Температура газовой среды в области пламени вблизи поверхности резервуара в период активного горения топлива находилась в следующих пределах:



Рис. 3. Состояние объекта испытаний после огневого воздействия в течение 80 мин



- на подветренной стороне обечайки 1100-1300°C;
- на наветренной стороне обечайки 500-1200°C;
- на подветренной стороне днищ 1100-1300°C;
- на наветренной стороне днищ 800-1100°C.

2. Максимум температуры на поверхности резервуара (под огнезащитой) был достигнут в конце огневого воздействия. Наибольшее значение температуры (174°C) было на его боковой поверхности с подветренной стороны, обращенной к наблюдателям. Затем температура постепенно снижалась и выравнивалась по поверхности. Через 24 ч стенка резервуара еще была нагрета до 38°C.

3. В процессе огневого испытания (включая период после огневого воздействия) температура защищаемой поверхности резервуара была значительно ниже 400°C – температуры, при которой начинает существенно снижаться предел прочности стали.

4. Максимум температуры на прокладках фланцевых соединений был достигнут только через 3-4 ч после начала опыта и составил:

- на прокладке фланца люка-лаза 119°C;
- на прокладке фланца наливного патрубка 100°C.

На прокладках других фланцев уровень максимальной температуры был еще ниже.

5. Максимум температуры на поверхности шаровых кранов, имеющих

в своем составе фторопластовые прокладки, не превысил 100°C.

6. В процессе огневого испытания температура на прокладках фланцевых соединений и запорной арматуры была существенно ниже уровня, допускаемого «Техническими требованиями к средствам огнезащиты резервуаров (сосудов высокого давления) для хранения сжиженных углеводородных газов на автомобильных газозаправочных станциях», согласованными с ВНИИПО МЧС РФ и Ростехнадзором РФ.

7. Время огневого воздействия составило 1 ч 20 мин. При этом конструктивная огнезащита резервуара и его обвязки сохранила свою целостность.

8. Максимум избыточного давления паров СУГ в резервуаре (1,38 МПа) был достигнут через 4 ч после начала опыта.

9. Как в процессе огневого воздействия, так и после огневого испытания давление внутри резервуара не превысило уровня срабатывания предохранительных клапанов (1,8 МПа), и истечения СУГ не было.

Испытания на функционирование элементов обвязки резервуара после огневого испытания, проведенные специалистами ООО «Южнорусская промышленная компания», показали, что работоспособность запорной арматуры, предохранительных и скоростных клапанов, а также фланцевых соединений, защищенных данной конструктивной огнезащитой, полностью сохраняется.

Полученные результаты послужили основой для выдачи:

1. Заключения ФГУ ВНИИПО МЧС РФ о возможности практического использования разработанной ЗАО «Теплоогнезащита» конструктивной огнезащиты резервуаров для хранения СУГ с арматурой и патрубками.

2. Положительного заключения Ростехнадзора РФ на документацию по огневому испытанию резервуара для хранения СУГ с конструктивной огнезащитой и по разработке типовых конструкций средств огне- и теплозащиты резервуаров.

В настоящее время ЗАО «Теплоогнезащита» по контракту с Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (договор № 4523р/4390 от 30.06.2006 г.) проводит НИОКР, посвященные разработке средств огнезащиты технологического оборудования хранения и потребления СПГ.

Конструктивная композиционная огнезащита резервуара для хранения СПГ с арматурой и трубопроводами разрабатывается в соответствии с техническими требованиями, сформулированными ЗАО «Теплоогнезащита», ОАО «Криогенмаш», НПФ «ЭКИП» и согласованными с ФГУ ВНИИПО МЧС РФ.

На основе проведенных ранее теоретических и экспериментальных исследований были разработаны варианты конструктивного исполнения средств огнезащиты для следующих типовых элементов технологического оборудования, определенных техническими требованиями:

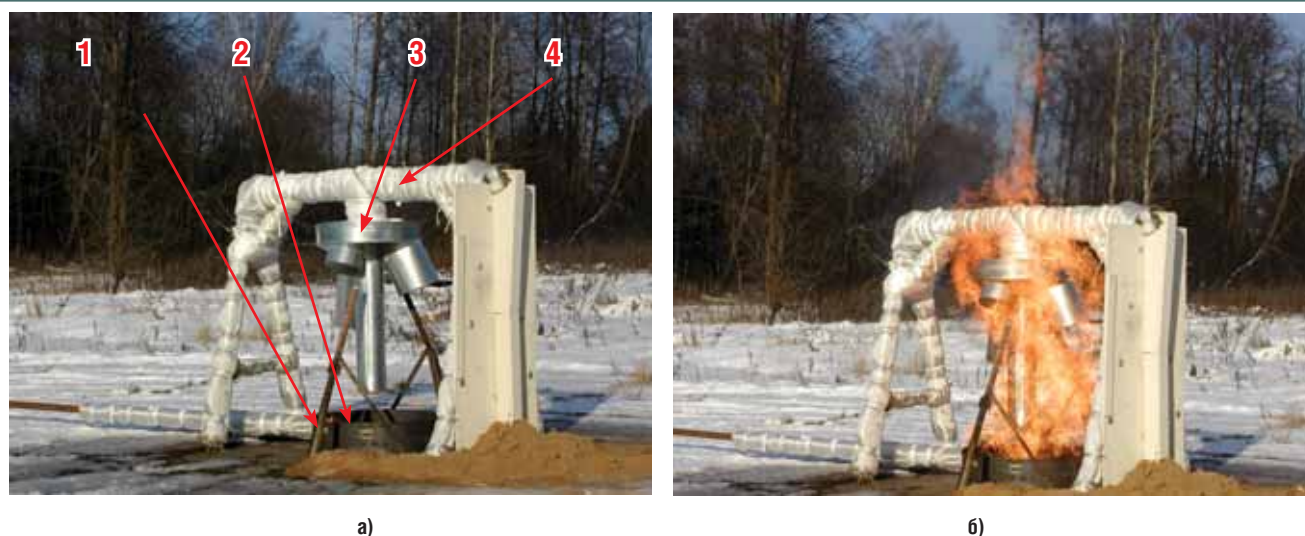


Рис. 5. Объект испытаний перед началом (а) и в процессе (б) огневого воздействия:

1 – термопара, предназначенная для замера температуры пламени; 2 – газовая горелка; 3 – испытываемый фрагмент дна резервуара со штатной арматурой и имитатором опоры, защищенной разрабатываемыми средствами огнезащиты; 4 – рама для установки объекта испытаний

1. Резервуаров для яСПГ с опорами и трубопроводами обвязки в пределах обваловки.

2. Узлов вакуумного вентиля и разрывной мембраны кожуха резервуара.

3. Метановой арматуры (вентили и клапаны) в щитах управления (в пределах обваловки и непосредственно за ней).

Основными элементами разработанной конструктивной композиционной огнезащиты в данном случае являются:

- устанавливаемые непосредственно на поверхность защищаемого элемента термостойкие маты из базальтоволокнистого материала, наружной обшивкой которых является стеклоткань с нанесенным на ее поверхность слоем вспучивающегося покрытия;

- наружный защитно-декоративный кожух, выполненный из тонколистовой оцинкованной стали и устанавливаемый с определенным зазором над термостойким матом.

Огневые испытания разработанных средств огнезащиты проводились в соответствии с методикой, разработанной ЗАО «Теплоогнезащита» и согласованной с ФГУ ВНИИПО МЧС РФ и ФГУП «Федеральный научно-производственный центр «НИИ прикладной химии» на специальном полигоне «НИИ прикладной химии».

В испытаниях участвовали представители следующих организаций: УГПН МЧС России, ФГУ ВНИИПО МЧС РФ, ООО «ВНИИГАЗ», ПК «НПФ ЭКИП», ЗАО «Унихимтек», Академии ГПС МЧС России;

Лаборатории автоматизированных систем АС и др.

Испытываемые средства огнезащиты были смонтированы на следующих элементах технологического оборудования:

- на фрагменте стального дна резервуара 800–8 ГОСТ 6533–78 внутренним диаметром 800 мм;

- на вакуумном вентиле 2082 403 341 4008 008 (изготовитель ОАО «Криогенмаш»);

- на задвижке 2082 364 2854 214056 АЗК 41-21/63 (изготовитель ОАО «Криогенмаш»);

- на разрывной мембране фланца 3 ОСТ 26-04-1211–75;

- на имитаторе стальной опоры резервуара – трубе диаметром 90 мм и с толщиной 4,5 мм ГОСТ 3262–75.

Огневые испытания проводились в пламени природного газа. Схема испытательного стенда показана на рис. 4. Общий вид объекта испытаний дан на рис. 5.

Проведенные испытания подтвердили работоспособность при натурном огневом воздействии разрабатываемых средств пассивной огнезащиты.

На последующих этапах НИОКР с учетом полученных результатов огневых испытаний будет разработана конструкторская документация на типовые средства пассивной огнезащиты технологического оборудования объектов производства, хранения и потребления СПГ. На заключительном этапе НИОКР будут проведены огневые испытания

разработанных средств пассивной огнезащиты на резервуаре со штатной обвязкой, заполненном сжиженным газом.

Выводы

1. Разработанные специалистами ЗАО «Теплоогнезащита» средства пассивной огнезащиты резервуаров хранения СУГ с патрубками и арматурой имеют положительные заключения ВНИИПО МЧС и Ростехнадзора РФ и уже находят достаточно широкое применение на практике.

2. Полученные положительные результаты огневых испытаний средств пассивной огнезащиты технологического оборудования хранения и потребления СПГ свидетельствуют о правильности принятого конструктивного исполнения и перспективности их практического применения.

Литература

1. **Сасайтис А.В.** Перспективы развития рынка АГЗС в России. // «Транспорт на альтернативном топливе», 2008 – № 1 – С. 22-26.
2. **Горбачев С.П., Копосов А.И.** Оценка эффективности малотоннажного производства СПГ на газораспределительных станциях // «Транспорт на альтернативном топливе», 2008 – № 1 – С. 65-68.
3. **Молчанов В.П.** О состоянии пожарной безопасности в Российской Федерации и мерах, принимаемых по ее стабилизации // Материалы конференции «Безопасность в нефтегазовом комплексе». – М.: Groteck, 2000.
4. **Страхов В.Л., Крутов А.М., Давыдкин Н.Ф.** Огнезащита строительных конструкций / Под ред. Ю.А. Кошмарова. – М.: ТИМР, 2000 – С. 433.



ООО «Балсити», опираясь на опыт и сложившиеся традиции в области разработки, производства и эксплуатации автомобильных баллонов для сжиженного углеводородного газа (пропана, бутана и их смесей), продолжает оставаться пионером среди отечественных производителей и занимает лидирующее положение на российском рынке.

Имея Разрешение Ростехнадзора на применение и сертификаты соответствия на производимую продукцию, фирма серийно изготавливает и поставляет потребителям более тридцати наименований автомобильных баллонов цилиндрической и блочной конструкции вместимостью от 30 до 220 л.



Автомобильные баллоны блочной конструкции являются интеллектуальной собственностью фирмы, патент № 36648, зарегистрирован в государственном реестре полезных моделей РФ 20.03.2004 года. Предприятия-изготовители подобной продукции несут ответственность в соответствии с законом. Баллоны блочной конструкции, состоящие из двух баллонов общей вместимостью 95-100 л, изготовлены ООО «Балсити» для пассажирского варианта автомобиля «Газель». Они устанавливаются на автомобиль без переноса топливного бака.

Наличие высококвалифицированного состава инженерно-технических работников и рабочих основных специальностей, а также технологичного производственного оборудования позволило ООО «Балсити» первым в РФ разработать, пройти сертификационные испытания и выйти на промышленные объемы изготовления автомобильных баллонов торовой конструкции.

Учитывая условия и требования внутреннего и внешнего рынков к качеству и безопасной эксплуатации изготавливаемой продукции, ООО «Балсити» уделяет большое внимание подготовке специалистов и рабочих ведущих специальностей, обновлению станочного оборудования и технологической оснастки, использованию современной технологии сварки в среде защитных газов, окраски баллонов порошковым напылением и т.д.

Продукция, изготовленная ООО «Балсити» с соблюдением требований технологии, прошедшая комплекс испытаний и 100%-ный контроль (рентгеноскопический, гидравлический и пневматический), по-прежнему пользуется на рынке повышенным спросом. На сегодняшний день фирма имеет потенциальные возможности значительно увеличить объемы производства и расширить номенклатуру предлагаемых автомобильных баллонов для сжиженного углеводородного газа. Кроме этого, в настоящее время готовится производство ресиверов для сжатого воздуха вместимостью до 500 л.

ООО «Балсити» приглашает к сотрудничеству региональных представителей в качестве дилеров.

Тел/факс: (495) 783-84-92 • E-mail: balcity@balcity.ru

Определение угла опережения зажигания при переключении с бензина на газ в зависимости от скорости горения топливной смеси

В.А. Шишков, зам. директора ООО «Газ-Ойл»,
к.т.н., доцент СГАУ им. С.П. Королева

В статье предложен алгоритм определения угла опережения зажигания при переключении двигателя с бензина для работы на газовом топливе в соответствии со скоростью горения топливной смеси, зависящей от многих параметров, и приближенного к реальным физическим процессам, происходящим в камерах сгорания ДВС. Сделан ориентировочный расчет изменения угла опережения зажигания для компримированного природного газа (КПГ) и сжиженного углеводородного газа (СУГ). Показаны возможные погрешности и пути их минимизации, а также порядок реализации алгоритма при определении коэффициентов влияющих параметров.

Определение угла опережения зажигания при работе карбюраторного двигателя обычно выполняется с точки зрения получения максимальной мощности, крутящего момента, снижения выбросов токсичных компонентов в отработавших газах (ОГ) на отдельных режимах работы при обедненной топливной смеси и для снижения расхода топлива [1]. С введением с 2006 г. норм токсичности «Евро-2», а с 2008 г. норм «Евро-3» испытания автомобилей на токсичность ОГ проводятся по специальным ездовым циклам, требованиям которых карбюраторные двигатели уже не удовлетворяют.

Фактически работа на богатой или бедной смеси не допускается. Состав смеси для норм токсичности «Евро-2» должен быть в пределах 0,98-1,02, то есть с допуском $\pm 2\%$, а для «Евро-3» в пределах 0,99-1,01 на всех стационарных режимах работы двигателя, допускается кратковременное отклонение от этих значений на переходных режимах работы. Это достигается только при использовании электронной системы управления двигателем с впрыском топлива. Соответственно условия зажигания и горения бензиновой и газовой топливных смесей не соответствуют режимам и параметрам, изложенным в [1].

Угол опережения зажигания для конкретного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и вида топлива обычно определяется следующими путями:

1. Длительными стендовыми испытаниями по определению угла опережения зажигания на всех режимах его работы как на стационарных, так и на переходных режимах для поставленных начальных условий. Этими условиями могут быть максимальные значения крутящего момента и мощность двигателя на всех режимах или минимальный расход топлива с учетом отсутствия детонации. Обычно определяются обе эти характеристики и используются в зависимости от условий

движения, нагрузки автомобиля и манеры езды конкретного водителя.

2. Для первого приближения углы опережения зажигания могут быть взяты с аналога данного ДВС с последующей коррекцией в процессе доводочных работ.

3. Углы опережения зажигания могут быть определены также расчетным путем, если известна скорость горения топливовоздушной смеси в различных условиях, которые реализуются на конкретном ДВС. Этот путь достаточно сложен, так как нет полной теории определения скорости горения в различных условиях [2-5], поэтому в данном случае требуется соответствующая проверка и корректировка углов опережения зажигания в процессе испытаний ДВС.

4. Пересчетом угла опережения зажигания, полученного при проведении испытаний, с одного вида топлива на другое в зависимости от скорости их сгорания в воздушной среде при различных составах смеси, температурах и давлениях с последующей корректировкой при доводочных работах.

Как видно, все эти варианты требуют проведения дополнительных специальных испытаний. Но если были проведены испытания для одного вида топлива по первому пункту, то целесообразно перейти к четвертому пункту, что позволит сократить на порядок объем проведения испытаний при доводочных работах для другого вида топлива.

На процесс воспламенения топливной смеси влияет также величина времени накопления энергии в катушке зажигания, которая может быть как одинаковой, так и различной для бензина и газового топлива. Увеличение угла опережения зажигания при работе на газовом топливе обычно приводит к уменьшению времени накопления энергии в катушке зажигания, если момент начала ее накопления неизменен по углу положения коленчатого вала двигателя. При работе на газовом топливе момент начала зажигания наступает раньше, чем при работе на бензине. В этом случае необходимо раньше начинать накопление энергии в катушке зажигания. Это выполняется для того, чтобы сохранить, а в лучшем случае и увеличить время накопления энергии для повышения энергии разряда при работе на газовом топливе.

Увеличение времени накопления энергии при работе на газовом топливе можно, например, определять в той же зависимости, что и изменение угла опережения зажигания. Повышенная энергия разряда на свече зажигания нужна потому, что для воспламенения газового топлива требуется большая энергия, чем для смеси паров бензина с воздухом.

Скорость горения зависит от химического состава топлива и, в частности, от содержания молекул водорода, который увеличивает число активных центров в начале процесса окисления. При одинаковом химическом составе топлива на скорость горения будет оказывать влияние и размер его молекул. Чем меньше молекула, тем меньше энергии необходимо на ее разложение с последующим окислением атомов водорода и углерода, а также тем проще доступ радикалов и

молекул кислорода к атомам углерода. В работе [2] изложено недостаточно полное теоретическое описание горения бимолекулярных реакций, которое не может быть применено в настоящее время для систем управления двигателем внутреннего сгорания.

Кроме этого, скорость горения зависит также и от качества приготовления смеси – от однородности топливовоздушной смеси, от степени турбулизации потока в камере сгорания ДВС и других параметров. В работах [3-5] приведены математические модели расчетов параметров при горении топлив. Они требуют значительного машинного времени для расчета параметров и неприемлемы для современных электронных блоков управления двигателем внутреннего сгорания, так как применение более мощных процессоров приведет к их удорожанию. Поэтому требуется более простой алгоритм, описывающий основные физические процессы при воспламенении и горении топливной смеси.

Для двигателей с одинаковыми степенью сжатия и степенью наполнения цилиндров топливовоздушной смесью давление в конце процесса сжатия как бензиновооздушной, так и газовой смеси можно считать одинаковым, так как объем поступившей смеси примерно одинаков. Но он отличается по количеству воздуха и топлива, поступившего в цилиндр.

Скорость нарастания давления в процессе сгорания зависит от количества активных центров горения или количества водорода в смеси. Чем выше эффективное давление в процессе сгорания, тем ниже будет скорость горения. Но чрезмерное увеличение давления в камере сгорания может привести к детонации, когда скорость горения на два порядка выше обычной скорости горения.

Возникает вопрос: насколько отличается угол опережения зажигания при работе ДВС на бензине, СУГ или КПГ? Угол опережения зажигания – это функция многих параметров. Выделим основные параметры, которые оказывают на него максимальное воздействие, и пренебрежем остальными, влияние которых незначительно.

$$\alpha_3 = f(\alpha; T; P; W_{гор}; N_{H_2}; V_{турб}; n; G_B; V_{кc} \text{ и т.д.}), \quad (1)$$

где α_3 – угол опережения зажигания;

α – состав смеси;

T – температура топливной смеси перед началом воспламенения, зависит от начальной температуры всасываемой топливной смеси, а также от степени ее сжатия и температуры стенок цилиндров, то есть от температуры двигателя;

P – давление топливной смеси перед началом воспламенения и в процессе горения изменяется с течением времени, то есть $P = f(t)$;

$W_{гор}$ – скорость горения топливовоздушной смеси;

N_{H_2} – количество атомов свободного водорода перед началом горения;

$V_{турб}$ – турбулизационная составляющая скорости топливной смеси перед воспламенением и в процессе горения изменяется с течением времени, то есть $V_{турб} = f(t)$;

n – частота вращения коленчатого вала (КВ) двигателя;

G_B – расход воздуха;

$V_{кc}$ – объем камеры сгорания, м³ (для расчета примем 0,0004 м³).

Температуру двигателя можно не учитывать, так как ее влияние определяется через температуру топливной смеси, которую можно выразить зависимостью от температуры двигателя.

Преобразуем зависимость (1) к другому виду:

$$\alpha_3 = A(n, G_B) \cdot f(Wf_{гор}; n; G_B), \quad (2)$$

$$\text{где } Wf_{гор} = f(W_H; \alpha; T; P; N_{H_2}; V_{турб}; V_{кc}; K_T; K_{O_2}; t_r) \quad (3)$$

функция скорости горения топливовоздушной смеси в зависимости от влияющих параметров;

W_H – скорость нормального горения топливовоздушной смеси, определяется экспериментальным путем для каждого вида топлива при стехиометрическом составе смеси по формуле Аррениуса, нормальном давлении, отсутствии в топливе свободного молекулярного водорода, а также при ламинарном движении топливовоздушной смеси и свободном объеме;

$A(n, G_B)$ – матрица коэффициентов коррекции угла опережения зажигания для заполнения при проведении испытаний по калибровке параметров по конкретному двигателю (в начале проведения работ все ячейки матрицы заполнены единицами);

K_T – концентрация паров топлива в смеси в процессе горения изменяется с течением времени, то есть $K_T = f(t)$;

K_{O_2} – концентрация кислорода в смеси в процессе горения изменяется с течением времени, то есть $K_{O_2} = f(t)$;

t_r – время горения топливовоздушной смеси.

Для упрощения зависимости (3) введем функцию концентрации топлива и кислорода в смеси от времени

$$f_k = f(K_T; K_{O_2}; t_r). \quad (4)$$

Тогда выражение (3) можно представить в следующем виде:

$$Wf_{гор} = f(W_H; \alpha; T; P; N_{H_2}; V_{з}; V_{турб}; V_{кc}; f_k). \quad (5)$$

В более полном виде скорость горения топливовоздушной смеси:

$$Wf_{гор}^{-E/(R \cdot T)} = (A \cdot e + V_{турб}) \cdot f_{\alpha} \cdot P \cdot (1 + \ln(N_{H_2})) \cdot (K_{va} \cdot \ln(V_{кc} + K_{vb})) \cdot f_{kr} \quad (6)$$

где A – постоянный коэффициент реакции горения;

$V_{турб}$ – турбулентная составляющая скорости горения топливной смеси (для простоты расчета примем одинаковой для всех трех видов топлив, равной 20 м/с);

f_{kr} – функция влияния состава смеси, в первом приближении ее можно принять в виде функции синуса $f_{\alpha} = \sin \beta$, где $\beta = 90 \cdot \alpha$;

E – энергия активации при окислении кислородом воздуха для паров бензинов 78,5-80 кДж/моль, для КПГ 86-89 кДж/моль, для СУГ 82,5-84 кДж/моль, для водорода примерно 67 кДж/моль;

R – газовая постоянная, 8,31441 кДж/(кмоль К);

e – основание натурального логарифма, величина постоянная, 2,71828...;

\ln – натуральный логарифм;

K_{va} – множитель влияния масштабности системы, для всех трех видов топлив примем равным б;

K_{vb} – коэффициент масштабности системы примем одинаковым для всех трех видов топлив 1,181;

$K_{va} \cdot \ln(V_{кc} + K_{vb})$ – функция влияния масштабности системы на процесс воспламенения.

Функцию концентрации топлива и кислорода в смеси в первом приближении можно взять для нормальной скорости горения. Реально функция концентрации топлива и кислорода в смеси зависит также от скорости горения, поэтому необходимо сделать несколько последовательных приближений.

Как видно из уравнения (6), функция скорости горения топливовоздушной смеси зависит не только от параметров

ее состояния, но и от времени протекания процесса, то есть изменяется с течением времени. Решение уравнения (6) в нестационарном процессе представляет собой сложную задачу, которая в настоящее время неприемлема для систем управления двигателем внутреннего сгорания, так как недостаточно быстродействие процессора контроллера для оперативного вычисления в процессе работы двигателя. Для упрощения решения можно задаться некоторыми условиями, которые позволяют решить уравнение (6) для стационарного процесса при некоторой средней скорости горения или ее максимальном значении.

Угол опережения зажигания для различных частот вращения КВ ДВС:

$$\alpha_{з \text{ газ}} = \alpha_{з \text{ бензин}} \cdot K_w \quad (7)$$

где $K_w = (Wf_{\text{гор. б}} / Wf_{\text{гор. г}})$.

Подставим выражение (6) для скорости горения бензина и газа в выражение K_w и сократим примерно одинаковые параметры:

$$K_w = \left\{ \frac{[(A_{\text{бенз}} \cdot e^{-E/(R \cdot T)} + V_{\text{турб}}) \cdot f_a \cdot P^{m_{\text{бенз}}} \cdot (1 + \ln(N_{H_2})) \cdot (K_{\text{ва}} \cdot \ln(V_{\text{кк}} + K_{\text{вб}})) \cdot f_c]_{\text{бенз}}}{[(A_{\text{газ}} \cdot e^{-E/(R \cdot T)} + V_{\text{турб}}) \cdot f_a \cdot P^{m_{\text{газ}}} \cdot (1 + \ln(N_{H_2})) \cdot (K_{\text{ва}} \cdot \ln(V_{\text{кк}} + K_{\text{вб}})) \cdot f_c]_{\text{газ}}} \right\} \cdot (8)$$

Нормальная скорость горения паров бензина и газа, энергия активации E , начальная температура топливной смеси (из-за отсутствия энергии на испарение капель топлива при работе на газе), влияние давления (показатель степени), скорость движения заряда и турбулентная составляющая (из-за различного объемного содержания топлива), коэффициент масштабности – все эти параметры различны для бензовоздушных и газозвушных топливных смесей.

Примем в первом приближении следующие условия:

- функции f_a влияния состава смеси на скорость горения одинаковы для паров бензина и газа;
- начальная концентрация молекул водорода в бензине и газовом топливах одинакова;
- функции концентрации f_k топлива и кислорода в смеси в процессе горения от времени одинаковы;
- давление P в конце процесса сжатия на всех видах топлива одинаково;
- турбулентную составляющую скорости $V_{\text{турб}}$ для известной конструкции камеры сгорания и системы впуска топливоздушной смеси при работе на бензине и газе считаем одинаковой.

Тогда уравнение (8) можно переписать в следующем виде:

$$K_w = P^{(m_{\text{бенз}} - m_{\text{газ}})} \cdot \left\{ \frac{[(A_{\text{бенз}} \cdot e^{-E/(R \cdot T)} + V_{\text{турб}}) \cdot (K_{\text{ва}} \cdot \ln(V_{\text{кк}} + K_{\text{вб}}))]_{\text{бенз}}}{[(A_{\text{газ}} \cdot e^{-E/(R \cdot T)} + V_{\text{турб}}) \cdot (K_{\text{ва}} \cdot \ln(V_{\text{кк}} + K_{\text{вб}}))]_{\text{газ}}} \right\}, \quad (9)$$

где $m_{\text{бенз}}$ – показатель степени влияния давления при работе двигателя на бензине при турбулентном горении ($m_{\text{бенз}} = -0,1 \div -0,4$) примем $-0,2$;

$T_{\text{окр}} \text{ } ^\circ\text{C}$	$G_{\text{ц.возд}} \text{ г/цикл}$	$G_{\text{ц.топл}} \text{ г/цикл}$	$r, \text{ кДж/кг}$	$C_{\text{рбн}} \text{ кДж/(кг} \cdot \text{ } ^\circ\text{C)}$	$C_{\text{рвк}} \text{ кДж/(кг} \cdot \text{ } ^\circ\text{C)}$	$T_{\text{газ}} - T_{\text{бенз}} \text{ } ^\circ\text{C}$
-30	0,3702	0,0254	348	1,73	1,0048	21,25
+45	0,2851	0,0195	328	1,72	1,0056	19,97

$T_{\text{окр}}$ – температура окружающего воздуха;

$G_{\text{ц.возд}}$ – цикловая подача воздуха в двигатель;

$G_{\text{ц.топл}}$ – цикловая подача топлива в двигатель;

r – теплота парообразования бензина (среднее значение для различных составов бензина).

$m_{\text{газ}}$ – показатель степени влияния давления при работе двигателя на газовом топливе примем из условия его пропорциональности детонационному числу топлива. Тогда для СУГ он будет равен $m_{\text{газ СУГ}} = -0,2 \cdot 95/105 = -0,18095$, для КПГ $m_{\text{газ КПГ}} = -0,2 \cdot 95/120 = -0,15833$. В данном расчете принято детонационное число бензина – 95, СУГ – 105, КПГ – 120. Например, давление в конце процесса сжатия 1200 кПа, тогда коэффициент влияния давления на угол опережения зажигания при работе на КПГ составит 0,744219, а при работе на СУГ 0,873658. То есть угол опережения зажигания при переходе с бензина на газовое топливо из-за различного влияния давления уменьшится на **25,57% для КПГ и на 12,63% при работе на СУГ**;

$E_{\text{бенз}}$, $E_{\text{газ КПГ}}$, $E_{\text{газ СУГ}}$ – энергия активации для паров бензина, КПГ, СУГ с воздухом приведены выше;

$T_{\text{бенз}}$ и $T_{\text{газ}}$ – отличаются на значение, обусловленное энергией парообразования капелек бензина, то есть начальная температура смеси воздуха и газовых топлив незначительно выше, чем для смеси бензина и воздуха. Например, зная массу воздуха и топлива, поступившего в цилиндр, а также количество энергии (по изменению энтальпии смеси воздуха с топливом), затраченное на парообразование всего количества бензина для прогретого двигателя или его части для непрогретого двигателя, можно определить разницу ($T_{\text{газ}} - T_{\text{бенз}}$). Пример расчета для двигателя 1,5 л, мощностью 54 кВт при $n = 5600 \text{ об/мин}^{-1}$ и составе стехиометрической смеси, равен 1, приведен ниже в таблице.

Примем разность температур топливной смеси при работе на бензине и газе, равной изменению температуры смеси бензина и воздуха до и после испарения бензина:

$$T_{\text{газ}} - T_{\text{бенз}} = T_{\text{нач}} - T_{\text{кон}}$$

где примем в первом приближении $T_{\text{нач}} = T_{\text{окр}}$;

$$T_{\text{кон}} = \frac{(C_{\text{рбн}} \cdot G_{\text{ц.топл}} + C_{\text{рвн}} \cdot G_{\text{ц.возд}}) \cdot T_{\text{нач}} - r \cdot G_{\text{ц.топл}}}{(C_{\text{рбк}} \cdot G_{\text{ц.топл}} + C_{\text{рвк}} \cdot G_{\text{ц.возд}})}, \quad (10)$$

где $C_{\text{рбн}}$ и $C_{\text{рбк}}$ – начальная и конечная теплоемкость бензина соответственно, кДж/(кг · град), примем среднее значение;

$C_{\text{рвн}}$ и $C_{\text{рвк}}$ – начальная и конечная теплоемкость воздуха соответственно, кДж/(кг · град), примем среднее значение.

Как видно из таблицы, разность температур газовой и бензиновой смеси с воздухом для различных крайних условий работы двигателя составляет примерно 20-21°С. По этим значениям можно определить крайние значения коэффициента влияния температуры топливной смеси и энергии активации на угол опережения зажигания. Как следует из формулы (9), при переходе с бензина на газ температура смеси для испаренного в газовом редукторе СУГ и для КПГ влияет одинаково. Отличия коэффициентов влияния температуры топливной смеси и энергии активации для СУГ и КПГ связаны с их различными энергиями активации, которая, в свою оче-

редь, зависит от температуры топливной смеси в процессе горения. При повышении температуры энергия активации снижается.

Определим влияние температуры и энергии активации, например, для степени сжатия 11. Зададим температуру в конце сжатия $T_{бенз} = 750 \text{ K}, 800 \text{ K}, 825 \text{ K}$ и $T_{газ} = 770 \text{ K}, 820 \text{ K}, 845 \text{ K}$, коэффициенты $A_{бенз}$ и $A_{газ}$ примем равными 70 млн. Вычислим коэффициент влияния для КПП и СУГ:

$$K_w = \frac{\left[(A_{бенз} \cdot e^{-E/(R \cdot T)} + V_{турб}) \cdot (K_{ва} \cdot \ln(V_{кв} + K_{vb})) \right]_{бенз}}{\left[(A_{газ} \cdot e^{-E/(R \cdot T)} + V_{турб}) \cdot (K_{ва} \cdot \ln(V_{кв} + K_{vb})) \right]_{газ}} \quad (11)$$

Диапазон изменения коэффициента K_w влияния температуры, энергии активации и масштабной функции составляет при $T_{газ} = 770 \text{ K}, 820 \text{ K}, 845 \text{ K}$ соответственно для КПП 1,467; 1,712; 1,671, а для СУГ 1,1395; 1,223; 1,189. Функция данного влияния имеет экстремум из-за различного влияния температуры и энергии активации. Как видим, увеличение угла опережения зажигания при переходе с бензина на газовое топливо в зависимости от температуры, энергии активации топлива и масштабного коэффициента **составит для КПП 46,7-71,2%, а для СУГ 13,95-22,3%**.

Тогда суммарное влияние всех параметров, а именно давления и коэффициента K_w по соотношению (11), на увеличение угла опережения зажигания по уравнению (9) составит для КПП $K_w = 1,092-1,274$, а для СУГ $K_w = 0,996-1,068$. Например, угол опережения зажигания на бензине был 25 град, тогда на КПП он увеличится на 9,2-27,4% и составит 27,3-31,85 град, то есть фактическое увеличение составит от **2,3 до 6,85** град по углу положения КВ двигателя. Аналогично для СУГ он увеличится на 0-6,8% и составит 25-26,7 град, то есть фактическое увеличение составит от **0 до 1,7** град по углу положения КВ двигателя.

Величина погрешности вычисления изменения угла опережения зажигания при переходе с одного вида топлива на другой складывается из следующих погрешностей:

- экспериментального подбора коэффициентов в формуле Аррениуса и эмпирических зависимостях, используемых в данном алгоритме;
- выполнения калибровочных работ на конкретном двигателе при подборе коэффициентов влияния для получения максимальной мощности, максимального крутящего момента и минимальной токсичности отработавших газов;
- измерения или вычисления температуры и давления в камере сгорания перед процессом воспламенения;
- задания состава топливной смеси (погрешность измерения и вычисления расхода воздуха и топлива);
- определения турбулентной составляющей скорости в процессе горения;
- определения количества атомарного водорода в топливной смеси и т.д.

При осмысленной постановке экспериментов и выполнении калибровочных работ все эти погрешности можно минимизировать до необходимого уровня для получения физической картины протекающих процессов.

Предлагается такой порядок определения необходимых для расчета коэффициентов. Последовательно определяются:

- нормальная скорость горения паров бензина и газа с воздухом при одинаковых условиях;
- влияние состава смеси на нормальную скорость горения при одинаковых условиях;
- показатель влияния давления на нормальную скорость горения при одинаковых условиях для смесей паров бензина и газа с воздухом;
- по нормальной скорости горения – энергия активации и коэффициент A в формуле Аррениуса;
- количество атомарного водорода в топливе по химическому составу топлива или по расходу дополнительного водорода;
- турбулентная составляющая скорости определяется оптическим методом;
- коэффициенты в функции влияния объема камеры сгорания на нормальную скорость горения;
- матрица коэффициентов $A(n, G_b)$ определяется в процессе проведения калибровочных работ электронного блока управления двигателем; при правильно выбранных коэффициентах в формуле (9) коэффициенты матрицы $A(n, G_b)$ будут близки к единице.

Для ускорения процесса адаптации часть коэффициентов и функций, используемых в данной методике, можно найти в соответствующей специализированной литературе по теории горения паров бензина и газовых топлив в смеси с воздухом. Часть коэффициентов в первом приближении можно задать, при этом не нарушая физических процессов, а погрешности их задания компенсировать матрицей калибровочных коэффициентов $A(n, G_b)$. В случае использования более мощного процессора в электронном блоке управления двигателем алгоритм вычисления угла опережения зажигания при переходе с одного вида топлива на другое можно расширять введением алгоритмов вычисления соответствующих параметров влияния.

Заключение

1. Данная работа позволяет определить угол опережения зажигания при переходе с бензина на газовое топливо с учетом физического влияния основных факторов.
2. Предложенный алгоритм изменения угла опережения зажигания можно использовать в электронном блоке управления в системах управления ДВС, работающего на газовом топливе.

Литература

1. **Злотин Г.Н., Захаров Е.А., Кузьмин А.В.** Регулировка бензинового ДВС при переводе его на сжиженный нефтяной газ. Журнал «Двигателестроение» №2, С.-Петербург, 2007. С.29-31.
2. **Гардинер У., Диксон-Льюис Г., Цельнер Р.** и др. Химия горения: Пер. с англ / Под ред. У.Гардинера, - М.: Мир, 1988. С. 464.
3. **Zaslavsky M.Yu., Pergament A.Kh., Plushchenkov B.D.** Dynamics and Stability of One-Dimensional Combustion Problems Preprint, Inst. Appl. Math. Naim M.V. Keldysh, the Russian Academy of Science. Moskau, 2002.
4. **Сабденов К.О.** Теплофизические и гидрогазодинамические эффекты при горении газов и ракетных топлив. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Томск, 2007. С. 41.
5. **Матиевский Д.Д., Сеначин П.К., Свердлов М.Ю., Ильина М.А.** Новый подход к проблеме моделирования сгорания смеси в ДВС с искровым зажиганием. 20 с. Источник http://aomai.secna.ru:8080/Books/Files/1999-02/HTML/12/pap_12.html.

Экспериментальные исследования теплового состояния поршня газожидкостного двигателя транспортного назначения ЯМЗ-236НЕ-ГД

А.И. Гайворонский, начальник отдела ООО «Севморнефтегаз», к.т.н.

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований по определению теплового состояния поршня газожидкостного двигателя ЯМЗ-236НЕ-ГД, созданного на базе дизеля ЯМЗ-236НЕ, с последующим сопоставлением с тепловым состоянием поршня дизельного прототипа. Результаты испытаний показывают, что переход на газодизельный рабочий процесс должен привести к снижению тепловой напряженности поршня.

вых или газожидкостных модификаций двигателей. Если раньше на природный газ переводились в основном атмосферные двигатели, то в настоящее время конвертированию подвергаются двигатели с высокофорсированным рабочим процессом. Как следствие, на практике известно множество примеров выхода двигателей из строя по причине прогорания поршней, клапанов, головок цилиндров, задиров поршней и т. п., что приводит к дискредитации самой идеи использования природного газа как моторного топлива.

Следует отметить, что теплонапряженное состояние газовых и газожидкостных двигателей в мировой практике недостаточно исследовано. В качестве примера можно назвать известные монографии и сборники по газовым двигателям [1-3], а также работу [4], в которых вопросы теплонапряженного состояния поршня или других основных деталей практически не затронуты. Это лишний раз подчеркивает значимость исследований в этой области.

Использование природного газа в качестве моторного топлива возможно не только в чисто газовом, но и в газожидкостном рабочих процессах. Если учитывать весь комплекс вопросов, связанных с переходом на новое моторное топливо, включая экономические, экологические, технические, эксплуатационные и другие вопросы, то и в том, и в другом случаях есть свои преимущества и недостатки, на которых останавливаться не будем. При этом двигатель может изначально проектироваться как газовый (газожидкостный), а может также быть конвертирован из бензиновых (дизельных) прототипов. Очевидно, что способ организации рабочего процесса не должен негативно сказываться на работоспособности и надежности конвертированного двигателя по сравнению с двигателем-прототипом.

В Российской Федерации наибольшее распространение (по сути единственное) получило конвертирование бензиновых или дизельных двигателей в газовые и газожидкостные модификации. При этом приходится констатировать, что специализирующиеся на этом организации, как правило, уделяют недостаточное внимание исследованиям рабочего процесса и теплового состояния создаваемых образцов, предлагая

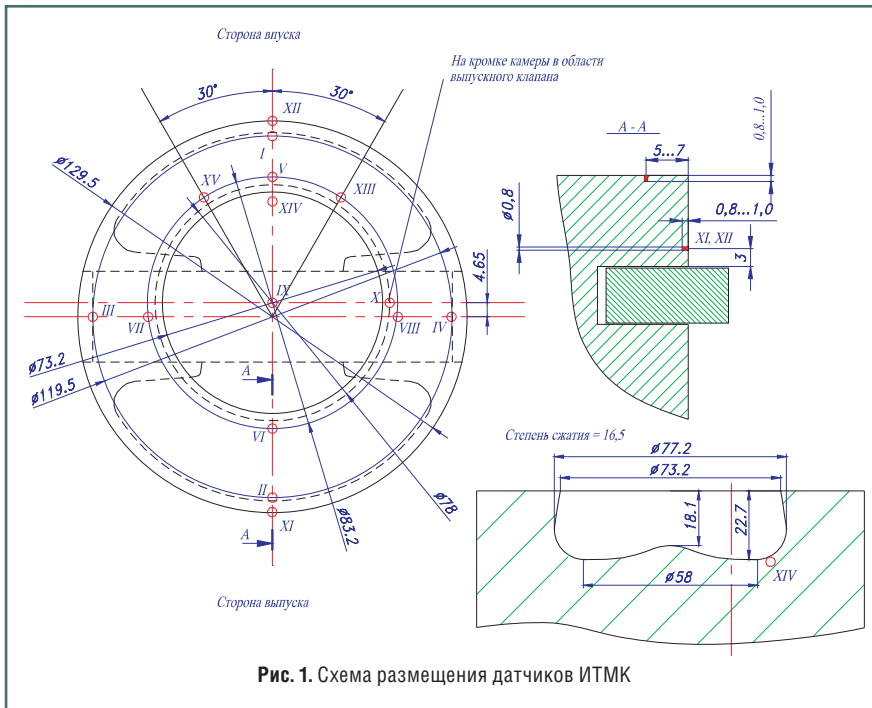
различные способы подачи природного газа без учета возможных последствий, связанных со снижением технико-экономических и эксплуатационных показателей конвертированных образцов двигателей. В результате потребитель получает «сырую» продукцию, не отличающуюся высокими технико-экономическими показателями.

В частности, в отечественной литературе практически невозможно обнаружить каких-либо результатов исследования теплонапряженности создаваемых при конвертировании газо-

Таблица 1

Значения измеряемых параметров двигателей ЯМЗ-236НЕ и ЯМЗ-236НЕ-ГД для номинального режима и режима максимального крутящего момента

Измеряемые значения	Дизель		Газодизель	
	$N_e=161,75$ кВт; $M_e=750$ Н·м; $n=2060$ мин ⁻¹	$N_e=119,77$ кВт; $M_e=880$ Н·м; $n=1300$ мин ⁻¹	$N_e=161,75$ кВт; $M_e=750$ Н·м; $n=2060$ мин ⁻¹	$N_e=119,77$ кВт; $M_e=880$ Н·м; $n=1300$ мин ⁻¹
n , мин ⁻¹	2060	1300	2060	1300
M_e , Н·м	750	880	750	880
$G_{дт}$, кг/ч	39,13	26,01	7,4	6,97
G_g , кг/ч	–	–	25,5	18,26
G_b , кг/ч	1185	558	1030	508
T_1 , °C	560	608	515	580
T_2 , °C	580	635	530	585
P_k , bar	1,89	1,48	1,85	1,34
P_r , bar	1,98	1,40	1,98	1,30
$P_{атм}$, мм.рт.ст.	745	745	745	745



В данной работе исследования были выполнены с участием специалистов МГТУ им. Н.Э. Баумана и ООО «ВНИИГАЗ». В проведенных исследованиях был

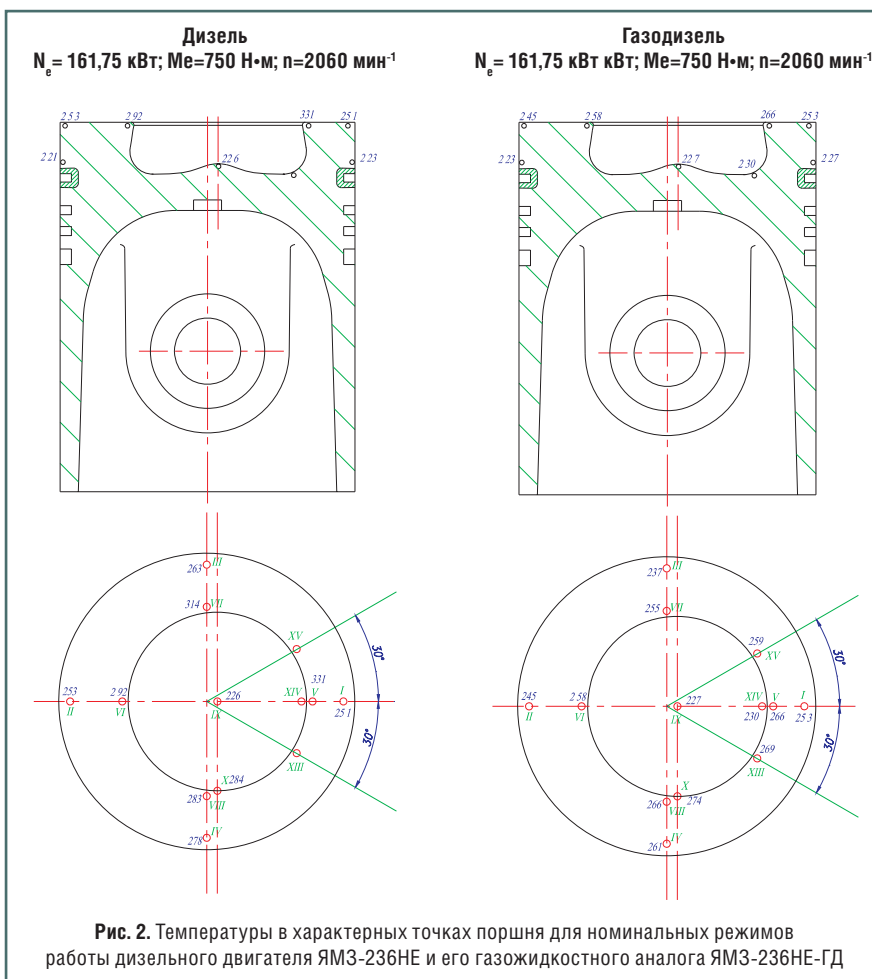
применен бесконтактный метод измерения температур на огневом днище поршня двух двигателей ЯМЗ-236НЕ и ЯМЗ-236НЕ-ГД для номинального режи-

ма и режима максимального крутящего момента. В табл. 1 приведены значения основных измеряемых параметров для этих режимов работы, где $G_{дт}$ – массовый расход дизельного топлива; $G_{г}$ – массовый расход газового топлива; $G_{в}$ – массовый расход воздуха; T_1 и T_2 – температуры отработавших газов после турбины в левом и правом выпускных коллекторах; P_k – давление наддува; P_r – давление после турбины; $P_{атм}$ – давление окружающей среды.

При исследовании теплового состояния двигателя на установившемся режиме работы достаточно было регистрации стационарных температур деталей, которые имеют небольшие (по сравнению с температурой рабочего тела) амплитуды колебаний и затухают уже на глубине 2-3 мм от поверхности [5].

Для термометрирования были использованы измерители максимальной температуры кристаллические (ИМТК), разработанные в ИАЭ им. И.В. Курчатова РАН [6, 7]. Рабочим веществом ИМТК могут служить облученные в ядерном реакторе мелкозернистый алмаз или карбид кремния кубической модификации. При облучении нейтронами в этих веществах накапливаются точечные дефекты типа пар Френкеля, состоящих из промежуточного атома и вакансии [8]. Наличие этих дефектов приводит к изменению многих свойств используемого вещества (алмаза или карбида кремния) и, в частности, к увеличению параметра α их кристаллической решетки. При нагревании облученного вещества до температуры, превышающей температуру облучения, дефекты начинают исчезать. Вследствие этого происходит постепенное восстановление кристаллической решетки, и параметр α , определяемый рентгенографически, стремится к значению, которое имел до облучения. Восстановление решетки происходит плавно, в широком диапазоне температур и времени отжига.

Действие ИМТК основано на зависимости величины параметра α от температуры и времени отжига. Алмаз или карбид кремния, предназначенные для использования в качестве рабочего вещества ИМТК, подвергаются градуи-



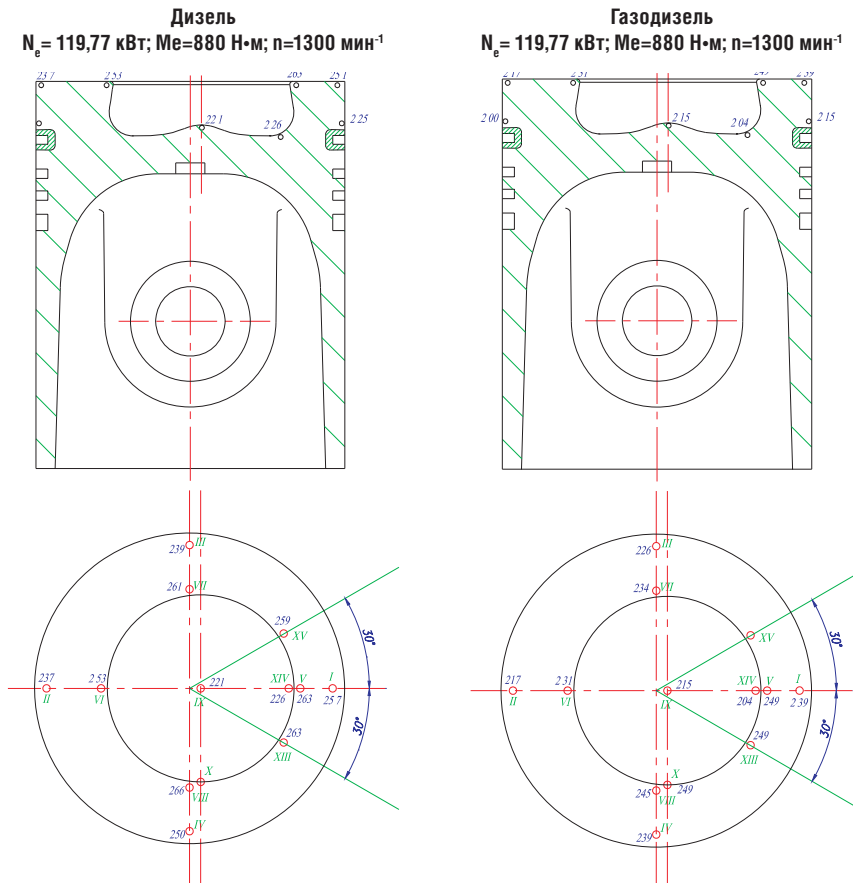


Рис. 3. Температуры в характерных точках поршня для режимов максимального крутящего момента дизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ и его газожидкостного аналога ЯМЗ-236НЕ-ГД

ровке, то есть отжигаются при известных температурах в течение известного времени. После каждого отжига рентгенографически определяется параметр кристаллической решетки.

На практике при измерении температуры используется диаметр кольца рентгеновской линии, величина которого однозначно связана с параметром кристаллической решетки. При этом три параметра – расширение решетки, температура и время отжига – связаны между собой известной функциональной зависимостью. Поэтому, если известно время отжига при некоторой неизвестной температуре и расширение решетки после этого отжига, то с помощью этой зависимости можно определить температуру.

Стандартный ИМТК представляет собой заваренную с торцов капсулу из нержавеющей стали, внутри которой располагается смесь порошков облученного (~1 мг) и эталонного необлученного (~1 мг) алмаза или карбида

кремния. Эталон служит для повышения точности измерения диаметра кольца рентгеновской линии. Среднее квадратичное отклонение измеряемой температуры в интересующем нас температурном интервале 200-350°C при использовании в качестве рабочего вещества ИМТК карбида кремния составляет 2-3°C.

На рис. 1 приведена схема размещения датчиков температуры на поршне газожидкостного и дизельного двигателей. Схема предусматривала установку 15 датчиков ИМТК: на периферии плоской части днища поршня (поз. I-IV), в районе кромки камеры сгорания (поз. V-VIII, X, XIII-XV), на боковой поверхности поршня в районе верхней поршневой канавки (поз. XI-XII), а также в углублении камеры сгорания (поз. IX и XIV). Глубина установки датчиков составляла ~1 мм от тепловоспринимающей поверхности. В теле поршня датчики фиксировались в предварительно высверленных отверстиях с по-

мощью высокотемпературного клея и после проведения испытаний механически извлекались. Показания датчиков обрабатывались в ИАЭ им. В.И. Курчатова РАН.

На рис. 2, 3 для номинальных режимов работы и режимов максимального крутящего момента представлены результаты измерений. Особую ценность в данных исследованиях представляет то, что при испытаниях удалось выдержать абсолютно идентичные режимы работы для дизельного двигателя и его газожидкостного аналога. В связи с этим можно утверждать, что сравнение данных термометрирования является абсолютно корректным.

Для удобства последующего анализа все экспериментальные данные помещены в табл. 2.

Анализ данных, полученных в результате термометрирования огневой поверхности днища поршня дизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ и его газожидкостной модификации ЯМЗ-236НЕ-ГД, позволяет отметить следующее:

1. Для газодизельного варианта имеет место ярко выраженная тенденция снижения температур на плоской части днища поршня, особенно в районе периферии (температура в точке 1 для режима $M_e=750$ Н·м и $n=2060$ мин⁻¹ исключение из правила). При этом существенно снижаются и температуры на кромке камеры сгорания (на 40-50°C). В то же время на поверхности камеры сгорания в районе центрального выступа температуры для дизельного и газожидкостного вариантов практически идентичны.

Это объясняется следующим. Над плоской частью днища поршня, очевидно, создаются более благоприятные (по сравнению с дизелем) условия для гомогенизации топливовоздушной смеси за счет того, что при впрыске запальной дозы дизельного топлива в эту область попадает незначительное количество дизельного топлива в виде капель или пара, и свежая смесь состоит, в основном, только из воздуха и природного газа. Несмотря на то, что общий коэффициент избытка воздуха в газодизельной модификации несколько меньше ди-

Таблица 2

Значения температур в характерных точках поршня для различных режимов работы двигателя в дизельном и газодизельном вариантах, °С

Наименование	Дизельный режим		Газодизельный режим	
	№ _г =161,75 кВт М _г =750 Н·м N=2060 мин ⁻¹	№ _г =119,77 кВт М _г =88 Н·м N=1300 мин ⁻¹	№ _г =161,75 кВт М _г =750 Н·м N=2060 мин ⁻¹	№ _г =119,77 кВт М _г =880 Н·м N=1300 мин ⁻¹
1	251	257	253	239
2	253	237	245	217
3	263	239	237	226
4	278	250	261	239
5	331	263	266	249
6	292	253	258	231
7	314	261	255	234
8	283	266	266	245
9	226	221	227	215
10	284	-	274	249
11	221	-	223	200
12	223	225	227	215
13	-	263	269	249
14	-	226	230	204
15	-	259	259	-

зельного прототипа ($\alpha_{д}=2,12$, $\alpha_{д}=1,89$), локальные коэффициенты избытка воздуха в периферийных областях камеры сгорания выше и более однородные, чем в случае чисто дизельного способа организации рабочего процесса. Это приводит к тому, что процессы крекинга дизельного топлива в этой области с последующим нагарообразованием должны практически полностью отсутствовать.

В части камеры сгорания, расположенной в поршне, локализуется фактически все впрыснутое дизельное топливо и условия смесеобразования близки к тем, которые имеют место в чисто дизельном процессе. В этом случае при одних и тех же интегральных показателях дизеля и газодизеля (частота вращения КВ двигателя, крутящий момент и мощность) через поршень в систему охлаждения газодизеля должно отводиться больше теплоты, чем для дизеля. Подтверждением этому является существенное (на 45-50°C) снижение температуры отработавших газов газодизеля по сравнению с дизелем, которое имело место при ис-

пытаниях. Еще одной причиной уменьшения температуры на днище поршня газодизеля может быть более растянутая во времени характеристика тепловыделения по сравнению с дизельным прототипом.

2. Из-за снижения температур на днище поршня газодизеля уменьшается перепад температур по телу поршня, в связи с чем можно ожидать снижение термических напряжений

в теле поршня и уменьшение деформаций. При этом изменятся условия работы пары трения поршень-гильза цилиндра.

3. Температуры в районе верхней поршневой канавки для сравниваемых вариантов практически одинаковые, то есть условия работы верхнего компрессионного кольца остаются неизменными. В связи с этим можно ожидать, что переход на газодизельный процесс не скажется на работе масляной системы двигателя, расход масла на угар не изменится и специального подбора масла не потребуется.

4. Приведенные выше замечания справедливы как для номинального режима работы, так и для режима максимального крутящего момента.

5. На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что переход на газодизельный рабочий процесс при прочих равных условиях должен приводить к снижению тепловой напряженности поршня. Известные на практике случаи прогорания поршня и клапанных перегородок головки цилиндра газодизельных модификаций связаны, очевидно, с проблемами в работе газотопливной аппаратуры и к самой идеи перехода на газожижкостный процесс не имеют никакого отношения. Кроме того, снижение температуры отработавших газов в газожижкостной модификации снижает эмиссию оксидов азота в окружающую среду по сравнению с дизельным прототипом.

Литература

1. Генкин К.И. Газовые двигатели. М.: «Машиностроение», 1977. – С. 196.
2. Кудряш А.П., Пашков В.В., Маринин В.С., Москаленко Д.А. Природный газ в двигателях. – Киев: «Наукова думка», 1990. – С. 200.
3. Duzynski A. (Edit). Proceeding of the VI International Scientific Conference GAS ENGINES. Czestochova, 2003. P. 751.
4. Гайворонский А.И., Марков В.А., Илатовский Ю.В. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. С. – 480.
5. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – С. 591.
6. Николаенко В.А., Морозов В.А. Разработка и опыт использования измерителя максимальной температуры кристаллического. – М.: Труды Института атомной энергии им. И.В. Курчатова, 1979. – С. 36.
7. Николаенко В.А., Карпунин В.И. Измерение температуры с помощью облученных материалов. – М.: Энергоатомиздат. 1986. – С. 120.
8. Конобеевский С.Т. Действие облучения на материалы. – М., Атомиздат, 1967.

Новости из-за рубежа

США:

Новые контейнеровозы на страже экологии

Южнокалифорнийская газовая компания («SoCalGas»), предприятие «California Cartage Co.» («Cal Cartage») и компания «Autocar» объединились в борьбе за чистоту воздуха. Вскоре на побережье залива Сан Педро (там находятся порты Лос-Анджелес и Лонг-Бич) появятся грузовики на компримированном природном газе (КПГ). На этой территории они будут перевозить контейнеры, доставленные по морю.

Пять таких автомобилей придут в июле 2008 г. Грузовики изготовит компания «Autocar». На них поставят двигатели от компании «Cummins Westport ISLG». Эти системы соответствуют самым высоким экологическим стандартам, принятым в США. Кроме того, через год-полтора от начала проекта компания «SoCalGas» планирует начать использовать в качестве топлива для грузовиков смесь КПГ и водорода, что уменьшит уровень выбросов оксида азота на 30-50 %.

NGV Global

Швейцария:

Метановые автомобили на Женевском автосалоне

Корпорация «Hyundai» представила на Женевском автосалоне концепткар i-blue. Несмотря на то, что компания также разработала дизельный вариант, она называет КПГ-версию «окончательным решением экологически оптимизированного транспортного средства». На этой модели стоит 0,8-литровый трехцилиндровый мотор нового типа с турбонаддувом, работающий на КПГ и имеющий мощность 96,6 л.с. При этом у новой модели очень низкий уровень выбросов



отработавших газов двигателя – всего 65 г/км. Модельный ряд i-blue использует существующие технологии для того, чтобы показать, что еще может быть сделано для создания более «зеленого» автомобиля. С этой целью увеличена эффективность двигателя, понижено трение в трансмиссии, сделан акцент на аэродинамике, зажигании и покрышках, подвеска снижена на 15-20 мм.



От корпорации «Hyundai» не отстает фирма «Volkswagen». Немецкая компания также презентовала метановый концепткар Passat TSI EcoFuel. Автомобиль укомплектован газобензиновым турбонаддувным двигателем объемом 1,4 л мощностью 150 л.с. Расход топлива – не более 5,2 кг КПГ на 100 км. КПГ хранится в двух баллонах, в которые можно заправить в общей сложности 22 кг природного газа. Кроме баллонов, на автомобиле установлен также бензиновый бак вместимостью 31 л. Таким образом, общий пробег автомобиля на одной заправке газом и бензином составляет почти 500 км. Выбросы автомобиля Passat TSI EcoFuel соответствуют требованиям «Евро-5».

NGV Global

Международные газомоторные новости

Италия

Италия – лидер по развитию газомоторной отрасли в Европе. Это при том, что объемы рынка «голубого топлива» в этой стране продолжают расти. Как сообщалось ранее, в этом году в Италии должны разрешить водителям самостоятельно производить заправку автомобилей газом (без участия персонала АГНКС), а также ис-



пользовать многотопливные топливораздаточные колонки. Эти изменения существенно повлияют на состояние газомоторного рынка в целом. Подготовка ко 2-й Международной газомоторной ярмарке набирает обороты. Она пройдет с 25 по 27 сентября 2008 г. в Турине.

Продвижением и организацией ярмарки занимаются компании «Consorzio NGV System» и «NGV Communications Group». Внимание к мероприятию поражает: участники уже давно арендовали все павильоны. Организаторы добавили еще 1,5 тыс. м². На сегодняшний день арендованы и они.

Генеральный спонсор мероприятия – компания «Fiat Group». Также выставку спонсируют компании «Gruppo Torinesi Trasporti», «Landi Renzo», «Safe» и «Torino Metano». Мероприятие поддержали власти Пьемонта, провинции Турин, г. Турин и Туринского политехнического института (автомобильный университет).

Время проведения выставки совпадает с другой инициативой: отрасль хочет добиться, чтобы впредь природный газ называли не альтернативным, а основным видом топлива.

Бельгия

Компания «The Society for the Inter Communal Transport», в ведении которой находится общественный транспорт Брюсселя, объявила о новых инвестициях и планах работы. В них включена покупка в течение 2008 г. 70 автобусов, работающих на природном газе. Ожидается, что их доставят в Брюссель в 2009 г.

Великобритания

С февраля 2003 г. организация, которая руководит лондонским транспортом (Transport for London, TfL), начала

взимать плату за въезд в зоны с перегруженным движением в центральной части столицы. В феврале 2007 г. деньги за проезд начали брать не только в центре Лондона, но и в Западном районе.

Если вы на рабочей неделе (с понедельника по пятницу) проехали или припарковались в облагаемой пошлиной зоне с 7 утра до 6 вечера, то придется заплатить: 8-10 фунтов стерлингов за частный транспорт и 7 фунтов за автомобиль, принадлежащий предприятию. При этом владельцы газовых двигателей получают стопроцентную скидку.

Турция

В Анкаре строят еще одну АГНКС. Работы должны закончиться в этом году. Ожидается строительство еще нескольких заправочных станций, но когда и где они появятся, еще не определено. В декабре 2007 г. в Турции было две с половиной тысячи транспортных средств, работающих на природном газе. Их обслуживали пять заправочных станций. Если сравнить с мировой статистикой, то это 0,03% мирового газомоторного парка и 0,04% от общего числа заправок. Всего на планете эксплуатируются около 7,95 млн автомобилей, автобусов и грузовиков на КПП.

Австрия: «Harley Davidson» прибавляет газу

Компания «Harley Davidson» совместно с австрийской компанией «BUELL Händler Linz» разработали мотоцикл на природном газе. Авторы проекта – Том Зайтлингер и Вилли Треффлингер. Новую модель они создавали 9 мес. Разработка прототипа Harley Davidson FHLX Street Glide с газовым двигателем уже обошлась в 20 тыс. евро. Мощность нового мотоцикла – 82 л.с. На 100-километровом тест-драйве особых проблем эксперты не выявили.

Возможно, уже через год начнется его серийное производство. Партнером проекта выступает также компания «Upper Ferngas AG». Руководитель этой компании Йохан Грюнбергер заявил: «Новый мотоцикл будет не только стильным, но экологически чистым и экономичным. Вот почему проект получил нашу поддержку».

Индия:

Международная газомоторная выставка – 2009

Международная газомоторная выставка – 2009 пройдет в Нью-Дели (Индия). Это первое мероприятие подобного уровня в Южной Азии. Современный выставочный центр Экспо – XXI век примет гостей с 24 по 26 марта 2009 г. Организаторы – компании «Allworld Exhibitions» и «NGV Network». Именно они проводили первую международную выставку в Маниле (2003 г.) и последнюю в Бангкоке (2007 г.). Кстати, именно там большинство участников проголосовали за Индию как следующую хозяйку мероприятия.

Почему именно Индия? Во-первых, эта страна занимает пятое место в мире по количеству транспортных средств, работающих на КПП (450 тыс. ед.). Во-вторых, учитывались темпы развития отрасли и экономики страны в целом. Так, например, ВВП Индии ежегодно растет на 9%. Темпы промышленного развития – 11-13%. 220 индийских городов включены в государственную программу по развитию рынка компримированного природного газа.

К 2012 г. длина газопровода в этой стране составит 12 тыс. км. Он станет частью сети, соединяющей Индию с Ираном и Пакистаном с одной стороны, а также с Туркменией, Афганистаном и Пакистаном с другой. К газопроводу будут подключены 15 штатов. К 2012 г. газ будет доступен 160 млн. индийцев.

Планируется, что на выставке будут показаны последние технические достижения отрасли, а также представлен опыт лучших финансовых решений на мировом уровне. В 2007 г. в мероприятии подобного рода приняли участие более 9 тыс. специалистов из 60 стран и около 200 компаний из 25 стран.

NGV News

Франция:

Новая услуга – аренда автомобиля с газовым двигателем

Французская компания «Communauté d'Agglomération of Poitiers» (CAP) открыла агентство по аренде автомобилей, работающих на природном газе. Его назвали «Otolis». Менеджмент доверили компании «Vitalis», которая контролирует работу французского транспорта. Проект включает четыре заправки, ко-

торые обслуживают нужды клиентов. Система работы проста: предприятие или обычный гражданин заказывают автомобиль, предварительно оплатив услугу, и получают его заправленным газом в назначенное время, в нужном месте. Автотранспорт можно зарезервировать через Интернет или по телефону. Стоимость учитывает километраж и время использования автомобиля. Сервис рассчитан на средние по размеру города. Систему работы будут налаживать в течение трех лет.

NGV Global

Китай:

6 млрд. долл. США за чистый воздух

Сейчас Китай находится на седьмом месте в мире по количеству транспортных средств, работающих на природном газе. В этой стране на «голубом» топливе ездят более 200 тыс. автомобилей.

До 2010 г. правительство Китая планирует вложить в борьбу за чистоту воздуха 5,89 млрд. долл. США. Одним из основных пунктов этой программы является переход легковых и грузовых автомобилей на природный газ.

В начале апреля этого года Китайский национальный исследовательский центр ГБА (National NGV Engineering Research Center) посетила делегация транспортного департамента торгово-промышленной палаты Макао. Визит привел к тому, что в ближайшие два года и в этом специальном административном районе КНР существенно увеличится число транспортных средств, работающих на природном газе.

Недавно к проекту по переходу на сжиженный природный газ (СПГ) присоединился и город Далянь (провинция Ляонин). Здесь на изменение топливной структуры планируют потратить более 1 млрд. долл. США (7700 млн. юаней).

4 апреля 2008 г. в городе Хуэйчжоу открылась первая станция по выработке СПГ. Она построена совместными усилиями компаний «Financial Street Huizhou Properties Co., Ltd» и «Huizhou City Gas Development Co., Ltd». Площадь станции – 4,200 м². СПГ может храниться в двух низкотемпературных цистернах по 50 м³ каждая. Максимальный объем хранения – 100 м³. В час такая станция может произвести 2 тыс. м³ СПГ.

Прочностная отработка металлокомпозитных баллонов высокого давления

Я.Г. Осадчий, генеральный директор ЗАО НПП «Маштест»,
академик Российской академии космонавтики, д.т.н.,

Е.Н. Крылов, директор ООО «ЭСО-Экспертиза»,

Ю.И. Русинович, зам. генерального директора по НИОКР
ЗАО НПП «Маштест», к.т.н.,

П.В. Кононов, и.о. зам. начальника управления государственного
энергетического надзора Федеральной службы Ростехнадзора

Область нормирования охватывает все стадии создания и эксплуатации металлокомпозитных и композитных баллонов высокого давления: (иногда они называются металлопластиковыми). Это проектирование и выпуск конструкторской документации, изготовление и выпуск технологической документации, экспериментальная отработка и выпуск программ (методик испытаний), надзор за техническим состоянием баллонов при эксплуатации.

аппаратах пожарных, в автомобилях, автобусах и на автозаправщиках.

Научно-производственное предприятие «Маштест» (г. Королев) серийно выпускает баллоны всех упомянутых типов вместимостью до 1000 л на рабочее давление до 800 кгс/см² для различных рабочих сред. Выпуск этих баллонов обеспечен нормативными документами [1-3], в создании которых принимали участие специалисты НПП «Маштест».

Основная особенность композитных баллонов состоит в том, что композиционный материал формируется в процессе изготовления конструкции из высокопрочных волокон с применением эпоксидных смол. Поэтому наиболее важными областями нормирования являются технологический процесс намотки и исходные данные для его разработки.

К основным исходным данным относятся характеристики композитных материалов, которые определяются более сложными, чем металлы, методами как по видам образцов материала («сухой» жгут, микропластик, кольцо, равнополюсная модель), так и по их количеству. Это следует из большого разброса характеристик составляющих композитного материала и их

Существуют три основных типа металлокомпозитных баллонов:

■ **металлокомпозитные** – баллоны с металлической внутренней оболочкой (лейнером) и кольцевой намоткой различными высокопрочными волокнами, которые скреплены эпоксидными связующими; по международной классификации – тип баллона 2 (рис. 1);

■ **металлокомпозитные** – баллоны с металлическим лейнером, кольцевой и спиральной обмоткой по всей поверхности лейнера (обмотка типа

«кокон»); по международной классификации – тип баллона 3 (рис. 2);

■ **композитные** – баллоны со структурой предыдущего типа намотки волокон, но имеющие неметаллические лейнеры (резина, полимеры и т.п.) с закладными металлическими элементами со штуцерами; по международной классификации – тип баллона 4 (рис. 3).

Металлокомпозитные баллоны применяются там, где есть ограничения по массе. В настоящее время такие баллоны широко применяются в России в системах пожаротушения, в дыхательных

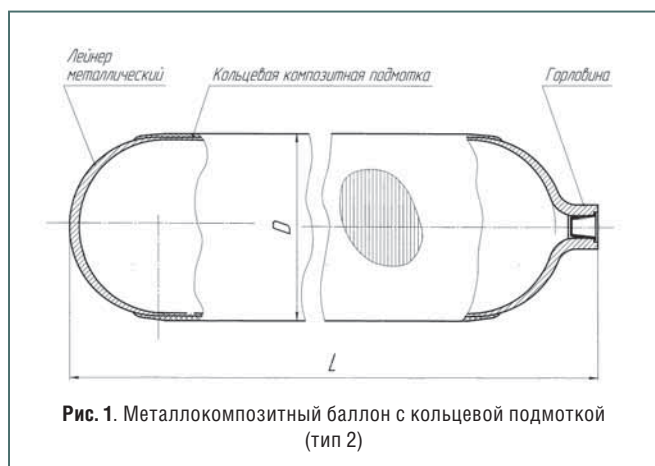


Рис. 1. Металлокомпозитный баллон с кольцевой подмоткой (тип 2)

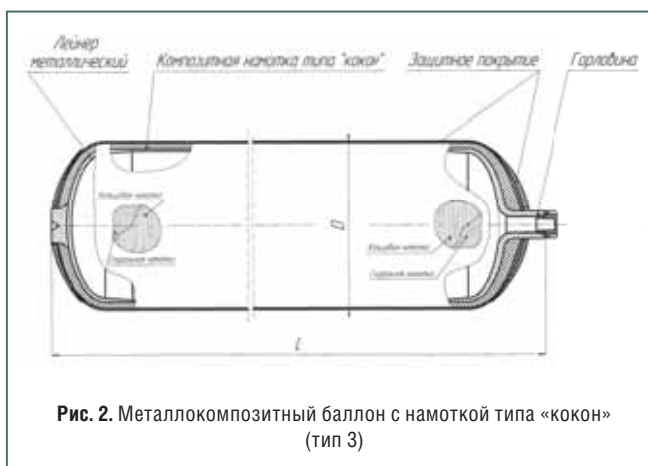


Рис. 2. Металлокомпозитный баллон с намоткой типа «кокон» (тип 3)

Таблица 1

Основные прочностные характеристики намоточных материалов

Марка материала, страна-изготовитель	Плотность, г/см ³	Прочность, ГПа	Модуль упругости, ГПа	Удлинение при разрыве, %
Стекловолокно и базальтоволокно				
Стекловолокно, Россия	2,48	4,59	86	5,0 – 6,0
Базальтоволокно, Россия	2,66	2,9 – 3,2	85 – 95	3,2
Органоволокна				
Армос, Россия	1,43	4,2-4,5	145	4,0
Дайнима, Голландия	0,97	3,4-3,5	100-120	3,0-6,0
Углеволокна				
Торейка T-700S, Япония	1,82	4,9-5,5	235	2,1
Торейка T-800H, Япония	1,81	5,7	300	1,9
Сталь (для сравнения)				
	7,8	1,8	200	15

Таблица 2

Квалификационные испытания материалов

Наименование испытания	Материал			
	сталь	алюминий	композит	полиэтилен
Определение механических свойств	x	x	x	x
Испытание на ударный изгиб	x	-	-	-
Испытание на стойкость к коррозионному растрескиванию в среде сероводорода	x	-	-	-
Испытание на коррозионное растрескивание под напряжением	-	x	-	-
Испытание на межкристаллитную коррозию	-	x	-	-
Определение температуры размягчения	-	-	-	x

Таблица 3

Квалификационные испытания баллонов

Наименование испытания	Количество баллонов	Тип баллона			
		1	2	3	4
Определение давления разрушения баллона	3	x	x	x	x
Определение давления разрушения лейнера	1	-	x	x	x
Испытание на циклическую долговечность	3	x	x	x	x
Испытание на циклическую долговечность при экстремальных температурах (климатика)	1	-	x	x	x
Испытание на воздействие пламенем	2	x	x	x	x
Испытание на прострел	1	x	x	x	x
Испытание на устойчивость к дефектам на оболочке из композиционного материала	1	-	x	x	x
Испытание на длительное воздействие нагрузок	1	-	x	x	x
Испытание на устойчивость к ударам	1	-	x	x	x
Испытание на устойчивость к воздействию кислоты	1	-	x	x	x
Испытание на газопроницаемость	1	-	-	-	x
Испытание на циклическую долговечность природным газом	1	-	-	-	x
Испытание на скручивание	1	-	-	-	x

большой чувствительности для различных стадий и режимов технологического процесса. В табл. 1 приведены основные прочностные характеристики наиболее распространенных намоточных материалов.

Для расчета прочности композитных конструкций применяются наиболее современные методы (типа методов конечных элементов и т.п.), которые широко распространены и освоены инженерным сообществом. Несмотря на применение весьма сложных методов расчета, основные ответы на вопросы о прочности и эксплуатационной надежности получаются из прямого эксперимента по разрушению баллонов внутренним давлением.

Поэтому особое внимание уделяется нормированию всех этапов подготовки и проведения испытаний баллонов по основным случаям эксплуатации. В табл. 2 и 3 приведен типовой перечень квалификационных испытаний материалов и баллонов. Как видно из этих таблиц, объем отработки металлокомпозитных баллонов существенно больше, чем у стальных (тип 1).

Действующий ГОСТ Р 51753-2001 [3] в основном соответствует требованиям международного стандарта ISO 11439 [4].

Металлокомпозитные баллоны более опасны при разрушении, чем металлические, так как упругие деформации в момент разрушения у металлокомпозитных баллонов значительно больше, чем у металлических. Это значит, что запас упругой энергии, высвобождаемой при разрушении, в системе «металлокомпозитный баллон + жидкость» значительно больше, чем в системе «металлический баллон + жидкость».

Результаты испытаний показали, что металлокомпозитные баллоны менее чувствительны к дефектам композитного слоя, чем металлические баллоны, так как многослойная структура и большое количество волокон в композите позволяют перераспределять напряжение на бездефектные зоны (слои) конструкции.

При пневмоиспытаниях металлокомпозитных баллонов требуется дли-

Литература

1. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, ПБ 10-115-96 (в настоящее время они переизданы и имеют номер ПБ-03-576-03).

2. Нормы пожарной безопасности. «Техника пожарная. Баллоны для дыхательных аппаратов со сжатым воздухом для пожарных. Общие технические требования. Методы испытаний», НПБ 190-2000.

3. Баллоны высокого давления для сжатого природного газа, используемого в качестве моторного топлива на автомобильных транспортных средствах. Общие технические условия. ГОСТ Р 51753-2001.

4. **Осадчий Я.Г., Строганов А.В., Строганов В.И.** Национальный стандарт по автомобильным баллонам. Успехи и проблемы. // «Автогазоправочный комплекс+Альтернативное топливо», № 6, 2005.

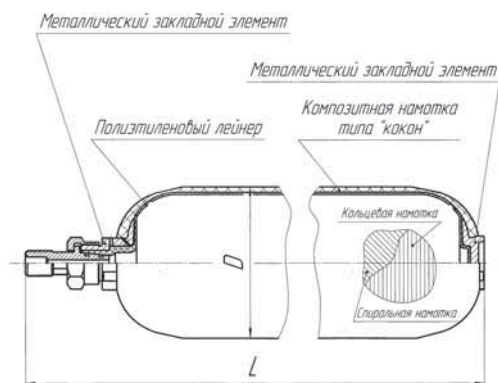


Рис. 3. Композитный баллон с полиэтиленовым лайнером (тип 4)

тельная выдержка для выхода воздуха из толщины композитного слоя.

Трудоемкость изготовления металлокомпозитных баллонов меньше чем стальных, но стоимость их выше.

Особенность эксплуатации металлокомпозитных баллонов состоит в необходимости защиты композитного

слоя. При эксплуатации баллоны должны устанавливаться на транспортных средствах в специально приспособленных местах, где должны быть защищены от прямого солнечного излучения, атмосферных осадков и дорожных воздействий (выбросы гравия, соль, кислота и др.).



ГАЗОБАЛЛОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Продажа современного газобаллонного оборудования (ГБО) для пропан-бутана, метана – итальянского производства

Система последовательного впрыска газа 4 поколения STELLA, ELISA и AEB

Широкий выбор баллонов для пропан-бутана POLMOKON (цилиндрические, тороидальные)

Электронные редукторы ELPIGAZ, современная электроника AEB (все оборудование сертифицировано)

Установка ГБО на автомобили отечественного и зарубежного производства (карбюратор, инжектор, с лямбда-зондом)

Сервисное обслуживание (высококвалифицированный персонал)

Обучение специалистов по монтажу ГБО: Карбюраторы, инжекторы, электроника и впрысковые системы



Предлагается сотрудничество по продаже оборудования по регионам России.



www.elpigaz.com

ЗАО «МАКРОГАЗ» г. Москва, ул. Горбунова, д.8 стр.1
тел./факс (8-495) 447-46-12 тел.(8-495) 507-54-25
e-mail: Inforu@elpigaz.com, manager1.ru@elpigaz.com

Новые установки осушки природного газа для АГНКС и производства СПГ

В.С. Волков, генеральный директор ОАО «МОПАЗ»,
С.В. Каплун, генеральный директор ООО «Калугагазмаш»,
А.В. Зеря, генеральный конструктор ООО «КНПП «Метанмаш»

Мировой парк автомобилей, работающих на сжатом природном газе (КПГ), стремительно развивается: в марте 2008 г. он практически достиг отметки 8 млн. ед. Нарастание темпов развития этого парка в России возможно только при условии значительного расширения существующей сети АГНКС и улучшения качества отпускаемого потребителям газомоторного топлива.

Одним из главных требований, предъявляемых к природному газу, как качественному газомоторному топливу, является обеспечение его точки росы на уровне -70°C . И этот вопрос на сегодняшний день является весьма актуальным как для сжатого до 20 МПа природного газа, так и для сжиженного (СПГ).

Теоретическая база и научно-исследовательские работы, проведенные специалистами ООО «ВНИИГАЗ» в период 1985-1995 гг., в сочетании с нашими опытно-конструкторскими работами позволили создать и внедрить в производство ряд эффективных установок осушки природного газа, располагаемых за компрессорными установками. На наш взгляд, наиболее успешными и минимальными по энергозатратам являются установки осушки для АГНКС-45 и АГНКС-40 производства КНПП «Экотранспал» (г. Сумы), которые до настоящего времени находятся в эксплуатации, и их прототипы выпускаются в составе ряда АГНКС различными производителями. Главные преимущества таких установок – низкое энергопотребление и невысокая их стоимость. Однако наряду с тем, что такая установка осушки газа **не защищает компрессор и его системы** от скопления влаги, она имеет еще один существенный недостаток. Так, например, на АГНКС-75 и АГНКС-200 производства ОАО «Сумыгазмаш» после остановки АГНКС при низких температурах окружающей среды наблюдается перемерзание (закупоривание) газопро-

водов в установках осушки газа из-за выделения значительного количества влаги из остывшего адсорбента и ее скопления в нижних трактовых полостях.

Таким образом, периодически система осушки природного газа, располагаемая после компрессорных установок, становится сама источником появления влаги, которая, в конечном итоге, поступает в аккумуляторы газа, заправочные колонки, баллоны автомобилей.

Как показали практика ввода оборудования АГНКС в эксплуатацию и последующий авторский надзор за его работой, влажность газа в под-

водящих газопроводах является величиной переменной во времени, а реальное содержание паров воды в природном газе может быть весьма существенным, поэтому условно выделим для рассмотрения следующие категории:

1. Критическое содержание паров воды в природном газе при низких избыточных давлениях до $1,5 \text{ кгс/см}^2$ может находиться в пределах $5-7 \text{ г в } 1 \text{ м}^3$, что и наблюдалось на ряде АГНКС в период их запуска в эксплуатацию и в первые месяцы эксплуатации. Мы столкнулись с этим явлением в Крыму и при вводе в эксплуатацию АГНКС-90 в г. Мариуполь, наблюдались такие явления также и в Пакистане.

2. Высокое содержание паров воды в природном газе в пределах $2-5 \text{ г в } 1 \text{ м}^3$. Такое явление периодически возникает в газопроводах, расположенных недалеко от газовых скважин, в локальных газопроводах и в городских сетях.

3. Повышенное содержание паров воды в природном газе в пределах $0,4-2 \text{ г в } 1 \text{ м}^3$ периодически возникает во многих газопроводах и в городских сетях.

Таблица

Показатель	Блоки осушки УОГМ-1000/1-6, УОГМ-1000/1-6К	Блоки осушки УОГМ-2000/6-12, УОГМ-2000/6-12К
Давление на входе в осушку, избыточное, МПа, кгс/см ²	Минимальное – 0,1 (1,0) Максимальное – 0,6 (6,0)	Минимальное – 0,6 (6,0) Максимальное – 1,2 (12,0)
Объемные расходы газа, прокачиваемые через установку осушки, приведенные к нормальным условиям, при различных избыточных давлениях, м ³ /ч	P = 1,0 кгс/см ² V = 1 000	P = 6,0 кгс/см ² V = 2 000
	P = 2,0 кгс/см ² V = 1 500	P = 7,0 кгс/см ² V = 2 285
	P = 3,0 кгс/см ² V = 2 000	P = 8,0 кгс/см ² V = 2 570
	P = 4,0 кгс/см ² V = 2 500	P = 9,0 кгс/см ² V = 2 850
	P = 5,0 кгс/см ² V = 3 000	P = 10,0 кгс/см ² V = 3 140
	P = 6,0 кгс/см ² V = 3 500	P = 11,0 кгс/см ² V = 3 430

В данной статье мы ограничимся рассмотрением только этих трех категорий, как наиболее характерных при создании установок осушки природного газа для получения газомоторного топлива.

Уже при повышенном содержании паров воды на входе в компрессорную установку владелец АГНКС сильно рискует, устанавливая осушку газа после компрессора, так как ему придется столкнуться со следующими серьезными проблемами в работе АГНКС:

- гидроударами в трактовых полостях компрессорных установок при температурах окружающей среды ниже +5°C;

- скоплением и замерзанием влаги в нижних и зауженных трактовых полостях (электроклапанах, вентилях, сложных переходах и т. д.), что особенно характерно для оборудования АГНКС, устанавливаемого в контейнерах, и что, как правило, доставляет много неприятностей обслуживающему персоналу АГНКС при температурах окружающей среды ниже -18°C.

Чем ниже давление газа в подводящем трубопроводе и чем выше производительность компрессорной установки АГНКС, тем сложнее избежать гидроударов и перемерзания в узких трактовых полостях АГНКС в холодный период года.

В период 2004-2007 гг. мы изучали опыт эксплуатации отечественных и зарубежных АГНКС, установленных на территориях Украины и России, а также конструктивные и эксплуатационные особенности установок осушки природного газа различных производителей, оборудование АГНКС ряда ведущих зарубежных фирм, работающих в Аргентине, Иране, Пакистане и Китае. В результате мы пришли к выводу о необходимости создания ряда установок осушки природного газа на входе в АГНКС и нового ряда отечественных АГНКС нового поколения.

Для решения этих важных задач в декабре 2006 г. было создано новое научно-производственное объединение, в состав которого вошли:

- завод «МОПАЗ» (г. Малоярославец, Российская Федерация);

- предприятие «Калугагазмаш» (г. Малоярославец, Российская Федерация);

- КНПП «Метанмаш» (г. Сумы, Украина).

Задачи, стоящие перед новым Научно-производственным объединением «Калугагазмаш», – это разработка новых видов оборудования для АГНКС, производство, поставка и сервисное обслуживание этого оборудования.

В настоящее время конструкторским научно-производственным предприятием «Метанмаш» успешно ведутся конструкторские работы по созданию широкого спектра новых видов оборудования АГНКС с газовыми технологиями пятого поколения, которое по своим технологическим возможностям в значительной мере превосходит оборудование АГНКС, находящееся в эксплуатации и предлагаемое на рынке сегодня.

Специально для АГНКС была создана первая установка осушки природного газа УОГМ-1000/1-6, работающая при низких давлениях газа до 6 кгс/см², которая обеспечивает глубокую осушку природного газа, подаваемого в компрессорные установки станции при 100%-ной влажности входящего газа, а в абсолютных величинах – до 7 г воды в 1 м³ газа, что практически соответствует критическому содержанию паров воды в природном газе. Новая установка осушки природного газа выпускается в блочном и блочно-контейнерном исполнении, что позволяет выполнять ее быстрый монтаж на месте установки.

Допустимое поступление водяных паров в установку осушки (в пересчете на воду) при номинальных режимах работы осушки – 5 л/ч, при максимальных режимах работы – 7 л/ч.

Объемные расходы газа, приведенные к нормальным условиям, на номинальных режимах работы первых из ряда установок осушки природного газа даны выше в таблице.

Размещение установки осушки на входе в АГНКС радикальным образом решает проблемы, возникающие в зимний период эксплуатации:

1. Защищает компрессор и его системы от гидроразрушений, исключает появление гидроударов в трубопроводах малых сечений и системах воздушного охлаждения (в теплообменниках).

2. Устраняет отложение гидратов на седлах запорной и регулирующей арматуры.

3. Не снижает расходные характеристики АГНКС, так как не требуется отбора 12-15% газа высокого давления для регенерации адсорбента в адсорберах.

Установка осушки газа УОГМ-1000/1-6 очищает газ от механических примесей и капельной влаги, затем осушает его с помощью адсорбционных гранул, находящихся в адсорберах. Суммарная масса адсорбента в установке осушки природного газа составляет 1500 кг. Максимальная потребляемая мощность электропотребителями блоков установок осушки газа УОГМ-1000/1-6 и УОГМ-2000/6-12 при выполнении цикла «регенерация» – не более 21 кВт.

Установка осушки газа обеспечивает концентрацию паров воды в природном газе на выходе из блока осушки не более 9 мг/м³ в течение длительного периода эксплуатации.

Принципиальная схема осушки газа выполнена в классическом стиле с использованием двух адсорберов, работающих поочередно в режимах «осушка» и «регенерация»: 4 ч – режим осушки, 4 ч – режим регенерации.

В качестве базового режима заложен среднециклового режим работы.

САУ обеспечивает работу установки осушки газа в автоматическом или полуавтоматическом режимах, предусмотрен также канал подключения САУ установки осушки к САУ высшего уровня.

В настоящее время Научно-производственное объединение «Калугагазмаш» активно участвует в реализации ряда проектов АГНКС с использованием установок осушки природного газа УОГМ-1000/1-6, причем в проектах АГНКС с различными производителями компрессорного оборудования и различным числом компрессорных установок – от одной до четырех.

ООО «КНПП «Метанмаш»

40004, Украина, г.Сумы,
ул.Леваневского, 10/1
Тел/факс:+38 (0542) 619-418
Тел.:+38 (0542) 619-417
E-mail:info@metanmash.com
www.metanmash.com

**ООО «Калугагазмаш»**

249096, Россия, Калужская обл.,
г.Малоярославец, ул.Кирова,1
Тел/факс:+7 (48431) 2-62-58
Тел/факс:+7 (48431) 2-64-74
E-mail:metan@mopaz.ru
www.kalugagazmash.ru

Наше предприятие является первым серийным производителем Автомобильных газоаппаратных компрессорных станций АГНКС на территории Российской Федерации

Мы осуществляем полный комплекс работ включая индивидуальное проектирование оборудования АГНКС, производство и продажу полнокомплектных АГНКС и отдельных технологических блоков; монтажные и пуско-наладочные работы оборудования собственного производства и других производителей, сервисное гарантийное и постгарантийное обслуживание, модернизацию действующих АГНКС, поставку и монтаж баллонов высокого давления производства компании Worthington Cylinders GmbH, Австрия и ГБО ведущих мировых производителей.

Сегодня мы предлагаем:

- Полнокомплектные станции АГНКС-100 / 150 / 200 / 300 на базе газовых компрессоров типа АГШ производства Уральского компрессорного завода;
- Полнокомплектные станции АГНКС – 100 / 150 / 200 / 250 / 300 / 400 на базе компрессоров типа 680DE и 750DE производства компании Sicom s.r.l., Италия;
- Установку осушки газа УОГМ-1000/1-6 пятого поколения (возможна привязка к АГНКС любых производителей);
- Компенсаторы давления газа блочного исполнения объемом 2,4 / 3,6 / 4,8 м³;
- Баллоны высокого давления (автомобильные) и ГБО, для переоборудования автотранспорта на газомоторное топливо.



Международные выставки и конференции по внедрению альтернативных видов моторных топлив на автотранспорте в 2008 г. / NGV Global

Время проведения	Место проведения	Название	Контактная информация
27-30 мая	Санкт-Петербург, Россия	Рос-Газ-Экспо - 2008	gas@orticon.com
3-5 июня	Рио-де-Жанейро (RioCidadeNova Convention Center)	NGV2008. IANGV biennial conference and exhibition (IANGV конференция и выставка, проходящие раз в два года)	ngv2008.com.br
14-15 июня	Лос-Анджелес, США (Antelope Valley Fairgrounds)	1st Annual Children's Charities Alt Fuels Expo (Первая ежегодная выставка альтернативного топлива в поддержку детских благотворительных заведений)	altfuelsmgr@gmail.com
17-19 июня	Киев, Украина	World of Liquefied and Compressed Gases 2008 (Международная выставка ГСН и КПП 2008)	medvin.kiev.ua
30 июня – 1 июля	Великобритания, Лондон	Gas Storage. 2nd Annual Gas Storage Conference (Хранение газа. Вторая ежегодная конференция по хранению газа)	smi-online.co.uk
7-9 сентября	Швеция	Biogas Highway 2008	miljoteknik.com
23-25 сентября	Москва, Россия	GASSUF' 2008 – Организаторы ОАО «Газпром» и НГА	e.pronin@adm.gazprom.ru
25-27 сентября	Турин, Италия	II World Fair of NGV & Hydrogen (2-я международная ярмарка автомобилей на метане и водороде)	ngvworldfair.com
4-5 октября	США, Сан-Диего	2008 National NGV Conference-Summit (Национальная саммит-конференция ГБА – 2008)	ngvamerica.org

Металлокомпозитные баллоны и создание изделий на их базе



С.П. Семенищев,
директор ООО НПФ «Реал-Шторм», к.т.н.

Известно, что главной проблемой метановой топливной системы транспортных средств является использование баллонов минимального веса при давлении до 320 атм и выше для увеличения пробега автомобилей. Применение стальных тяжелых баллонов значительно ограничивает перевод автотранспорта, в особенности легкового транспорта и автобусов, на компримированный природный газ (КПГ). Поэтому во всем мире растет спрос на легкие и высокопрочные баллоны высокого давления.

Ижевское предприятие ООО «Научно-производственная фирма «Реал-Шторм» и созданное новое предприятие «Первый механический завод» приступили в 2007 г. к серийному выпуску металлокомпозитных баллонов для автомобилей (тип 3 по ГОСТ Р 51753–2001 и ISO 11439) вместимостью от 47 до 185 л и рабочим давлением 20 МПа и 24,5 МПа (для ПАГЗов на 31,4 МПа). Диаметр баллонов – 327 и 401 мм соответственно.

В настоящее время проводятся опытно-конструкторские работы по созданию баллонов на давления 35 и 39,5 МПа.

Завод вышел на объемы серийного выпуска 12,5–15 тыс. баллонов в год. Наибольшим спросом наши баллоны пользуются в Таджикистане, Украине, предприятиях ОАО «Газпром» в России.

Качество этих баллонов обеспечивается уникальной технологией, защищенной патентами. Бесшовный лайнер из алюминиевого сплава производится из трубной заготовки, прочность которой усиливается холодным деформированием с последующей закаткой горловин лайнера, который затем подвергается термообработке.

Без силовой композитной обмотки лайнер используется в качестве баллона на рабочее давление 40

кгс/см². При серийном изготовлении каждый лайнер контролируется расчетным пробным давлением с целью интегральной оценки его качества по параметру остаточной объемной деформации. В автомобильных баллонах композитная силовая оболочка, выполненная базальтовым ровингом с эпоксидным связующим, обеспечивает требуемый запас прочности по разрушению и нагрузке 15 000 циклов с давлением, равным 1,3 Рраб.

Кроме автомобильных баллонов, наше предприятие производит также баллоны для систем пожаротушения с горловиной диаметром 65; 68 и резьбой М80×2 мм.

Ближайшие перспективные направления работы нашей фирмы – это создание, сертификация и серийный выпуск следующей новой продукции:

1. Баллонов и моноблоков аккумуляторов кислорода, в том числе медицинского с концентрацией до 99,96%.
2. Баллонов для дыхательных аппаратов вместимостью 2; 5; 7 и 10 л на рабочее давление 300 кгс/см², совместно с ЗАО НПП «Маштест» (г. Королев).
3. Криогенных баков для сжиженного природного газа (СПГ) без сосуда Дюара с временем бездренажного хранения не менее 7 сут., совместно с ЗАО «Метан-Моторс» (г. Омск).

4. Баллонов для хранения сжатого водорода на рабочее давление до 400 кгс/см².

5. Баллонов на более высокие давления (до 450 кгс/см²).

В Концерн «Реал», кроме ООО НПФ «Реал-Шторм», входит также предприятие ООО «Первый механический завод», который по заданию НПФ «Реал-Шторм» выпускает следующую продукцию:

1. Баллоны автомобильные (БА) для КПГ, используемого в качестве моторного топлива на автомобильных транспортных средствах (ГОСТ Р 51753–2001 и ISO 11439). Этот тип баллонов используется также в блоках аккумуляторов давления (БАГ) и передвижных автомобильных газовых заправщиках (ПАГЗ), предназначенных для перевозки метана и технических газов – аргона, гелия, кислорода, в том числе медицинского.

2. Баллоны систем пожаротушения (БИ) для хладонов, их заменителей и огнетушащих жидкостей на рабочие давления 40; 60 и 150 кгс/см².

3. Баллоны (БК), используемые в качестве аккумуляторов воздуха и кислорода для заправки дыхательных аппаратов. Разработка проведена совместно с ЗАО НПП «Маштест» (г. Королев).

4. Блоки аккумуляторов газов (БАГи) для АГНКС на 1200 и 2000 л на рабочее давление 250 кгс/см².

5. Передвижные автомобильные газовые заправщики (ПАГЗ) двух типов:

■ монтируемые на полуприцепах ПАГЗ 2700–24,5;

■ на базе автономных кассетных модулей, самостоятельно работающих при заправке транспортных средств или для питания горелок, ПАГЗ-К-3000–24,5.

Разработка совместно с ЗАО «Метан Моторс» (г. Омск).

Информацию о нашей продукции можно найти на нашем сайте www.realstorm.ru. По конкретным заявкам, ценам и срокам выполнения обращайтесь письменно по e-mail: realstorm@udm.ru или по тел./факсу (3412) 43-94-45, 43-94-46.

Предлагает металлокомпозитные баллоны для КПП и систем пожаротушения



**Баллоны
для сжатого природного газа**
На рабочее давление 20 МПа

Тип баллона	V (л)	Ø (мм)	L (мм)	M (кг)
БА 47.20.327 / 860	47	327	860	36,0
БА 50.20.327 / 900	50	327	900	37,5
БА 67.20.327 / 1140	67	327	1140	47,5
БА 80.20.327 / 1360	80	327	1360	56,5
БА 100.20.327 / 1660	100	327	1660	69,0
БА 123.20.327 / 2000	123	327	2000	83,5
БА 67.20.401 / 840	67	401	840	49,5
БА 80.20.401 / 965	80	401	965	57,0
БА 85.20.401 / 1015	85	401	1015	60,0
БА 96.20.401 / 1125	96	401	1125	67,0
БА 100.20.401 / 1165	100	401	1165	69,0
БА 132.20.401 / 1485	132	401	1485	88,5
БА 160.20.401 / 1765	160	401	1765	105,5
БА 185.20.401 / 2005	185	401	2005	120,0

На рабочее давление 24,5 МПа

Тип Баллона	V (л)	Ø (мм)	L (мм)	M (кг)
БА 80.24.5.334 / 1360	80	334	1360	65,5
БА 100.245.334 / 1660	100	334	1660	89,5
БА 123.24.5.334 / 2000	123	334	2000	97,0
БА 100.24.5.408 / 1160	100	408	1165	77,0
БА 132.24.5.408 / 1450	132	408	1485	99,5
БА 160.24.5.408 / 1765	160	408	1765	118,5
БА 185.24.5.408 / 2005	185	408	2005	135,0

На рабочее давление 31,4 МПа

Тип баллона	V (л)	Ø (мм)	L (мм)	M (кг)
БА 185.31.4.415 / 2005	185	415	2005	160

**Баллоны
систем пожаротушения**

На рабочее давление 4 МПа

Тип баллона	V (л)	Ø (мм)	L (мм)	M (кг)
БИ-60-40	60	370	943	25
БИ-70-40	70	370	1043	27
БИ-80-40	80	370	1143	29
БИ-100-40	100	370	1343	34
БИ-130-40	130	370	1643	38
БИ-160-40	160	370	1943	44

На рабочее давление 6 МПа

Тип баллона	V (л)	Ø (мм)	L (мм)	M (кг)
БИ-80-60	80	380	1626	30
БИ-100-60	100	380	1826	39
БИ-160-60	160	380	1826	56

На рабочее давление 15 МПа

Тип Баллона	V (л)	Ø (мм)	L (мм)	M (кг)
БИ-60-150	60	387	894	37
БИ-70-150	70	387	994	41
БИ-80-150	80	387	1094	45
БИ-100-150	100	387	1294	55
БИ-130-150	130	387	1594	67
БИ-160-150	160	387	1894	80



ЗАО «Комптех» представляет АГНКС Gazpack 9 компании «CompAir» (Великобритания) на выставке «Нефтегаз 2008» на Красной Пресне 23-27.06.2008 г.

А.С. Вандер, генеральный директор ЗАО «Комптех», к.ф.-м.н.
М.В. Никулин, руководитель направления АГНКС ЗАО «Комптех»

Впервые в России и странах СНГ демонстрируется компрессор АГНКС CompAir Gazpack 9. Это событие состоится нынешним летом на выставке «Нефтегаз 2008» (Москва) на Красной Пресне.

На сегодняшний день компрессор Gazpack 9 (GP9) по праву считается в Европе одной из самых надежных «рабочих лошадок» в системах метановых заправок для небольших парков частного, коммерческого, муниципального автомобильного транспорта (в том числе для карет скорой помощи), обслуживающего транспорта крупных авиа- и железнодорожных узлов и складских помещений, вилочных погрузчиков и т. п.

Поэтому из целого семейства компрессоров АГНКС серии Gazpack, выпускаемого компанией «CompAir», мы выбрали для выставки «Нефтегаз 2008» именно этот заправочный модуль.

Там, где эксплуатация крупной АГНКС является экономически неэффективной, а использование мини-АГНКС гаражного типа не удовлетворяет потребностям автопарка (например, из-за короткого моторесурса поршневого блока и малой производительности), использование компрессора GP9 компании «CompAir» является самым идеальным сбалансированным решением.

Поэтому только по предварительным оценкам экспертов ЗАО «Комптех» в ближайшие годы потребность народного хозяйства в компрессорах АГНКС

такого класса может составить около 500-1500 ед.

Остановимся подробнее на характеристиках компрессора Gazpack 9.



Основные преимущества компрессора Gazpack 9:

- небольшая стоимость, низкий уровень шума, компактная установка заправки типа «стартер»;

- компрессор устанавливается во всепогодном шумопоглощающем кожухе (с возможностью эксплуатации до -25°C);

- в компрессоре установлены системы защиты электронного типа, отключающие его в случае низкого входного давления природного газа, повышенной температуры газа, низкого уровня масла и утечки газа; имеется также встроенная система возвращения природного газа из выделенного конденсата (исключается возможность попадания газа в атмосферу);

- антивибрационные опоры компрессионного блока и отличная сбалан-

сированность работы поршневого блока исключают необходимость сооружения фундамента под газовую станцию.

Основные технические характеристики:

1. Производительность – $60 \text{ м}^3/\text{ч}$.
2. Количество заправляемого транспорта за день (12 ч) – 5 автобусов или 45 легковых автомобилей или 72 вилочных погрузчика.
3. Система осушения сжатого газа – картриджного типа.
4. Система конденсатоотвода – автоматическая электронного типа.
5. Система охлаждения – воздушная.

Ресурс компрессора Gazpack 9

Надо отметить, что достаточно сложно определить срок эксплуатации поршневого компрессора АГНКС малой производительности, так как существует много факторов, влияющих на этот показатель. Небольшие компрессоры с воздушным охлаждением серии GP5-GP9, безусловно, имеют не такой эксплуатационный ресурс, как компрессоры большой производительности с воздушным охлаждением серии CompAir GP50-GP70 или машины с водяным охлаждением серии CompAir GP37-GP42. Они предназначены для работы в прерывистом режиме. В результате, несмотря на то, что моторесурс этих компрессоров меньше, чем у компрессоров GP50-70, общий срок эксплуатации (в годах) у них получается почти такой же.

Соблюдение межсервисных интервалов, качество обслуживания, эксплуатации и т. д. также имеют большое значение в реальных сроках эксплуатации компрессоров. На компрессоре Gazpack 9 требуется проведение капитального ремонта после 8 тыс. ч работы (для сравнения, максимальный ресурс эксплуатации «гаражных» мини-АГНКС, предлагаемых другими производителями, всего 500 ч). После проведения нескольких капитальных ремонтов жизнь компрессора может быть продлена путем замены изношенного блока сжатия на новый компрессорный блок.





Основные причины, по которым приобретение этой АГНКС является не только полезным, но и выгодным:

- во-первых, это позволяет уменьшить вредные выбросы в атмосферу (уровень свинца и угарного газа от бензиновых двигателей, выхлопы от дизельных двигателей, уровень шума от дизелей и т. д.);

- во-вторых, при переводе автопарка на компримированный природный газ (КПГ) происходит уменьшение его износа и затрат на его обслуживания.

Природный газ воспламеняется медленнее, чем топливо в бензиновом или дизельном двигателе, в результате уменьшается износ и увеличивается ресурс двигателя. В природном газе отсутствует свинец, что увеличивает ресурс свечей зажигания в 2-3 раза;

- в третьих, из-за значительной разницы в стоимости природного газа и бензина для заправки автотранспорта положительный экономический эффект от использования АГНКС может быть достигнут в короткие сроки.

Для справки: 1 м³ природного газа соответствует 1,1 л бензина или 1,0 л дизельного топлива, при этом КПГ стоит на 60% меньше, чем другие традиционные виды топлива, а стоимость несжатого природного газа меньше стоимости бензина на 90%.

Конечно же, возврат средств на переоснащение автомобиля для работы на КПГ зависит от его типа и среднегодового пробега. В качестве примера приведем расчет, произведенный специалистами компании ООО «Лентрансгаз» для автопарка карет скорой помощи типа «Газель» в одном из городов Ленинградской области, для которой была предложена установка АГНКС в виде медленной заправки, состоящей из одного компрессора Gazpack 9 и нескольких распределительных постов.

Расчет рентабельности проекта перевода автомобилей на КПГ производился для двух вариантов: для парка, состоящего из трех автомобилей, и для парка, состоящего из 10 автомобилей соответственно.

1-й вариант (перевод трех автомобилей на газ)

Инвестиции составляют:

- оборудование газозаправочного пункта – 4 млн. руб.;

- стоимость переоборудования одного автомобиля – 45 тыс. руб., стоимость переоборудования трех автомобилей – 135 тыс. руб.;

- итого инвестиции – 4,135 млн. руб.

Стоимость пробега в год:

- на бензине 930 750 руб.;

- на КПГ при заправке на общественной АГНКС (газ по 6,5 руб. за 1 м³) 302494 руб.;

- на КПГ при заправке на своей АГНКС (газ по 2 руб. за 1 м³) 93075 руб.

Экономия в год (газ по 6,5 руб. за 1 м³) – 628256 руб. Окупаемость через **6,58 г.**

Экономия в год (газ по 2 руб. за 1 м³) – 837675 руб. Окупаемость через **4,94 г.**

2-й вариант

(перевод 10 автомобилей на газ)

Инвестиции составляют:

- оборудование газозаправочного пункта 4 млн. руб.;

- стоимость переоборудования одного автомобиля 45 тыс. руб., стоимость переоборудования 10 автомобилей 450 тыс. руб.;

- итого инвестиции 4,45 млн. руб.

Стоимость пробега в год:

- на бензине 3 102 500 руб.;

- на КПГ при заправке на общественной АГНКС (газ по 6,5 руб. за 1 м³) 1008313 руб.;

- на КПГ при заправке на своей АГНКС (газ по 2 руб. за 1 м³) 310 250 руб.

Экономия в год (газ по 6,5 руб.) – 2 094 188 руб. Окупаемость через **2,12 г.**

Экономия в год (газ по 2 руб.) – 2792250 руб. Окупаемость через **1,59 г.**

Таким образом, можно сделать вывод, что возврат затраченных средств на переоснащение автомобиля и закупку оборудования зависит от среднегодового пробега автомобилей и их количества: чем выше пробег и больше количество автомобилей, тем быстрее окупаемость проекта.

В дальнейшем, по мере увеличения парка автомобилей, медленная система может быть преобразована в быструю однолинейную систему заправки путем установки дополнительных аккумуляторов сжатого газа баллонного типа.

Основанная в 1898 г. компания «Comptech» обладает более чем 80-летним опытом в проектировании и производстве газовых компрессоров (из них – 25 лет производства компрессоров CNG).

Поставщиком АГНКС является ЗАО «Комптех», официальный представитель в России и странах СНГ компании «Comptech» (Великобритания), выпускающей АГНКС.

Компрессоры АГНКС серии Gazpack для КПГ с рабочим давлением до 250 бар и производительностью до 20 м³/мин обеспечивают автоматическую безопасную заправку транспортных средств, в том числе и в условиях густонаселенной местности. Для установки компрессоров этой серии не требуется сооружение фундаментов. В настоящее время получены все разрешительные документы на применение газовых компрессоров Gazpack для АГНКС в Российской Федерации.

Служба сервиса и инжиниринга нашей компании производит как гарантийное (в течение 24 мес.), так и постгарантийное обслуживание поставляемого нами оборудования для АГНКС.

Приглашаем посетить наш стенд №12В40 в первом Павильоне на 12-й международной выставке «Нефтегаз 2008» в выставочном комплексе «Экспоцентр» на Красной Пресне 23-27.06.2008 г. На стенде вы сможете увидеть компрессор Gazpack 9 и пообщаться с нашими специалистами по вопросам подбора АГНКС.

Контактная информация:

ЗАО «Комптех»:

191025, Россия, Санкт-Петербург,

Дмитровский пер., 13, офис 5

тел. +7 (812) 320 0511, +7 (812) 312 3711,

+7 (812) 320 0566;

факс +7 (812) 320 0581,

e-mail: info@comptechspb.com

www.comptechspb.com

Особенности организации рабочего процесса двигателей газотепловозов на железнодорожном транспорте



Д.Н. Григорович,
ведущий научный сотрудник ВНИИЖТ, к.т.н.

В статье отражены вопросы организации рабочего процесса тепловозного двигателя с использованием природного газа в качестве моторного топлива. Проанализированы схемы маневровых и магистральных газотепловозов для работы на природном газе. Сделаны выводы о целесообразности применения на тепловозных двигателях газодизельного цикла.

Работы по переводу тепловозов на природный газ ведутся уже несколько десятилетий. Опробованы различные схемы маневровых и магистральных газотепловозов для использования как сжатого, так и сжиженного природного газа. В настоящее время на дорогах ОАО «РЖД» эксплуатируются несколько опытных газотепловозов. Широкое внедрение газотепловозов сдерживается, главным образом, из-за нерешенного вопроса устойчивого газоснабжения, что в свою очередь связано с необходимостью больших капиталовложений в инфраструктуру путевого хозяйства ОАО «РЖД».

При проведении НИОКР по переводу тепловозов на природный газ возникли также различные вопросы организации рабочего процесса газодизеля таким образом, чтобы не произошло заметного снижения мощности двигателя и были минимизированы конструктивные изменения.

Возможны два варианта организации рабочего процесса тепловозного двигателя с использованием природного газа в качестве моторного топлива. Один вариант – организация работы на природном газе без добавки дизельного топлива с искровым зажиганием

газовоздушной смеси в цилиндре (газовый режим); другой вариант – организация работы двигателя с зажиганием газовой смеси с помощью порции дизельного топлива (газодизельный режим). Во втором варианте зажигание газовой смеси происходит от ее сжатия, вследствие чего повышается температура.

Температура самовоспламенения дизельного топлива составляет 250°C, а природного газа – 540°C. Температура, достигаемая в результате сжатия природного газа, недостаточна для его воспламенения, поэтому добавляется порция дизельного топлива. Способ воспламенения газового топлива дозой жидкого дизельного топлива запатентовал Р.Дизель еще в 1898 г. Практическое применение этот способ получил только с 1938 г. – сначала для стационарных двигателей, потом для двигателей транспортных средств.

В отличие от внешнего способа смесеобразования в карбюраторных бензиновых двигателях и от внутреннего смесеобразования в дизелях, смесеобразование в газодизельном процессе смешанное: внутреннее для дизельного топлива и внешнее для природного газа. Дизельное топливо подается в цилиндр

через форсунку, а природный газ – через продувочный клапан вместе со свежим зарядом воздуха. При переоборудовании дизельных двигателей, имеющих высокую степень сжатия, для работы в газодизельном режиме большая часть газовой смеси в общем цикловом заряде сгорает практически без детонации, при этом мощность двигателя остается на уровне базового двигателя.

Оба варианта организации работы тепловоза на природном газе имеют свои достоинства и недостатки. Работа тепловоза по газовому циклу снимает необходимость двойной заправки – топливом и газом. В этом случае также отпадает необходимость в топливной аппаратуре – форсунках и насосах высокого давления, которые требуют тщательной настройки и периодической проверки на стендах. Однако оба эти преимущества нивелируются присущими недостатками. Во-первых, эквивалентное по энергоемкости дизельному топливу количество природного газа занимает в несколько раз больший объем, что сокращает межзаправочный период. Во-вторых, для зажигания газовой смеси в цилиндре необходимо устанавливать электронные свечи, которые не могут обеспечивать качественное воспламенение в большом объеме (по сравнению с автомобильным цилиндром) и работают в условиях повышенных давлений, что снижает их ресурс.

Перечисленные особенности двух способов организации работы тепловозных дизелей не дают преимуществ ни одному из них, поэтому решающим фактором является ход протекания рабочего процесса, склоняющий чашу весов в сторону использования газодизельного процесса.

Полезную работу газов за цикл характеризует среднее индикаторное давление, численно равное разности работ газов на фазах расширения и сжатия:

$$p_i = \int_{V_a}^{V_c} \frac{p_p - p_c}{V_h} dV,$$

где V_h – рабочий объем цилиндра;
 V_c – объем камеры сжатия;
 V_a – объем цилиндра, соответствующий началу сжатия;
 p_p – давление газов на участке расширения;
 p_c – давление газов на участке сжатия.

Предельно допустимыми значениями среднего индикаторного давления для большинства эксплуатируемых тепловозных дизелей являются: $p_i = 1,6-2,0$ МПа – для четырехтактных дизелей; $p_i = 1,2-1,4$ МПа – для двухтактных дизелей.

На рис. 1 приведена индикаторная диаграмма четырехтактного тепловозного дизеля. На ее примере показана графическая интерпретация вычисления среднего индикаторного давления. Работа сил расширения равна площади графика под индикаторной диаграммой справа от верхней мертвой точки (ВМТ), а работа сил сжатия – слева. Индикаторная диаграмма показывает протекание рабочего процесса, а ее положение относительно ВМТ сильно влияет на работу цикла. Например, для дизелей 10Д100 смещение индикаторной диаграммы на 1° угла поворота коленчатого вала двигателя от ВМТ приводит к изменению расчетного значения среднего индикаторного давления на 8-10 %.

Ход протекания рабочего процесса двигателя, работающего по газодизельному циклу с поджиганием рабочей смеси от сжатия, значительно эффективнее по сравнению с газовым процессом с искровым зажиганием. На рис. 2 приведена индикаторная диаграмма двигателя, работающего по газодизельному циклу, а на рис. 3 – по газовому. Угол начала впрыскивания топлива $\Theta_{н.вп}$ для газодизельного цикла и угол $\Theta_{о.з.}$ опережения зажигания для газового цикла на представленных диаграммах примерно одинаковы, однако длитель-

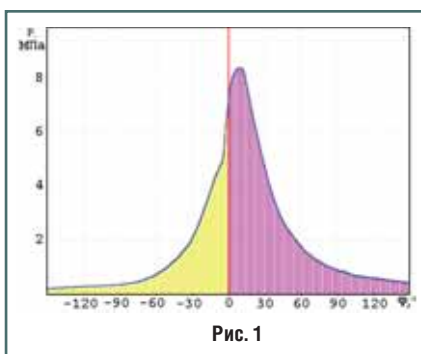


Рис. 1

ности первой фазы горения Θ_1 существенно отличаются.

Первая фаза горения при газодизельном процессе составляет период задержки воспламенения и определяется как интервал времени от начала впрыскивания топлива до того момента, когда давление в цилиндре становится выше давления сжатия. Этот период включает в себя время, необходимое для распада струи топлива на капли, продвижения капель по объему камеры сгорания, их прогрева, частичного испарения и смешения топливных паров с газозудной смесью.

Неоднородность смеси определяет достаточно большой период до начала ее воспламенения, что способствует более качественному смесеобразованию. Относительно большой период задержки воспламенения сдвигает вправо фазы быстрого горения, диффузионного горения и догорания, что в свою очередь повышает среднее индикаторное давление. Сдвинутая вправо последняя фаза горения – догорание – способствует более полному выгоранию сажи, образовавшейся в течение предыдущих фаз сгорания.

Первая фаза горения или фаза формирования фронта пламени при газовом процессе определяется как интервал времени от момента проскакивания электрической искры до того момента, когда давление в цилиндре становится выше давления сжатия. Длительность этой фазы намного короче, чем при газодизельном процессе. Она определяется характеристиками искрового разряда, составом смеси, степенью сжатия, частотой вращения коленчатого вала двигателя, величиной нагрузки. Развитие сгорания в течение этой фазы определяют закономерности мелкомасштабного турбулентного горения.

Более раннее чем при газодизельном цикле начало второй фазы горения повышает работу газов на стадии сжатия, что определяет снижение среднего индикаторного давления. Эта фаза слабо зависит от физико-химических свойств рабочей смеси. Уменьшению длительности второй фазы горения способствует расположение свечи зажигания ближе к центру камеры сгорания, а также усиление турбулизации заряда. Фаза догорания при газовом цикле двигателя, так же как и при газодизельном цикле, начинается в момент достижения максимального давления цикла.

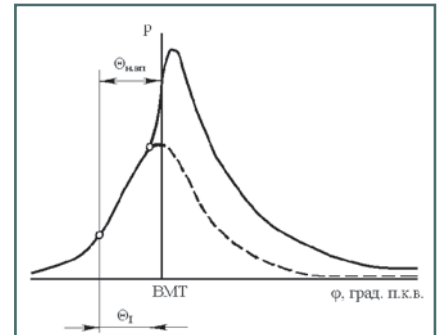


Рис. 2

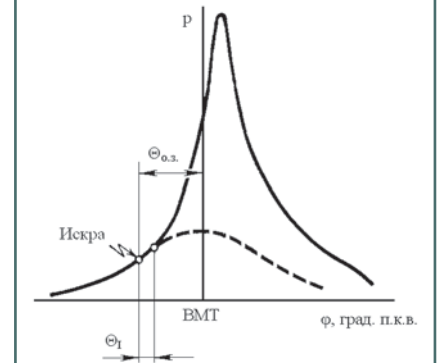


Рис. 3

Однако к этому моменту значительная часть рабочей смеси уже сгорела, и правая ветвь индикаторной диаграммы проходит ниже, чем при газодизельном процессе. Заканчивается фаза догорания с концом тепловыделения.

Приведенное сравнение газового и газодизельного рабочих циклов двигателя показывает преимущество последнего. Кроме того, при газовом цикле выше вероятность появления детонационного сгорания. В большом рабочем объеме цилиндра тепловозного дизеля газозудная смесь воспламеняется порциями с задержкой по мере удаления от источника воспламенения (электрической искры). Почти весь процесс воспламенения происходит на стадии сжатия. Таким образом, отдаленные от центра воспламенения порции рабочей смеси нагреваются от сжатия и от повышения температуры вследствие сгорания первых порций смеси.

При слишком коротком времени самовоспламенения в последних порциях заряда могут возникнуть очаги воспламенения от сжатия, и процесс самовоспламенения приобретет взрывной характер. При этом возможно возникновение и распространение по заряду ударных волн, которые со своей стороны способствуют самовоспламенению остальной несгоревшей смеси.

Такой процесс сгорания называется детонационным. Скорость ударных волн во много раз больше скорости распространения фронта турбулентного пламени. Внешним проявлением детонации служит звонкий стук, вызванный отражением ударных волн от стенок цилиндра. Работа двигателя при детонации связана с большими тепловыми и механическими нагрузками на его детали, в результате чего могут обгореть кромки поршней, цилиндрические крышки и электроды свечей.

Для перевода дизеля в газодизельный режим необходимы минимальные конструкторские изменения, так как степень сжатия двигателя (геометрические размеры цилиндропоршневой группы) не изменяются. В конструкцию тепловоза добавляются система регулирования подачи газа, механизм ограничения подачи дизельного топлива, а также электронное оборудование, которое обеспечивает необходимую информативность и защиту дизеля от нештатных режимов работы. Управление топливным насосом высокого давления производится от распределительного вала дизеля, а подача газа – через механические клапаны, приводимые в движение от этого же вала, или через электромагнитные клапаны, управляемые электронной системой.

Немаловажным обстоятельством является и то, что при применении газодизельного режима обеспечивается конвертируемость двигателя, то есть возможность его работы как на газовом, так и на дизельном топливе. В реальных условиях эксплуатации, с учетом большой протяженности железных дорог, это свойство имеет большое значение для обеспечения надежности перевозок как маневровыми, так и магистральными тепловозами. В соответствии с этим в конструкции газотепловозов должны быть предусмотрены емкости как для газа, так и для дизельного топлива, а также возможность конвертирования работы дизелей простым переключением, без каких-либо дополнительных операций.

Организация работы дизеля по газовому режиму требует уменьшения степени сжатия двигателя, изменения камеры сгорания, создания системы электрического зажигания. Практически эти работы связаны с большими финансовыми затратами и соизмеримы с

созданием нового двигателя. Перевод дизельного двигателя на работу по газовому режиму ведет к уменьшению мощности и ухудшению топливной экономичности двигателя. Например, нижегородское ОАО «Румо» предлагает: двигатели 6ЧН22/28 в дизельном варианте мощностью 750 кВт, в газодизельном варианте с теми же показателями, а в газовом варианте с мощностью, сниженной до 560 кВт (на 26%), и увеличенным удельным расходом топлива на 12%; дизели типа 10Д100 имеют мощность 2050 кВт, в то время как их газовые модификации 11ГД100 – 1500 кВт.

Для получения эффективного рабочего процесса в цилиндрах двигателя необходимо обеспечивать равномерное зажигание газовой смеси по всему объему цилиндра. В дизельных и газодизельных режимах это достигается за счет воспламенения от сжатия, а при работе двигателя в газовом режиме необходимо обеспечить искровое зажигание.

В больших диаметрах цилиндров, характерных для тепловозных двигателей, пока еще не достигнута надежная продолжительная работа систем искрового зажигания. Поэтому для зажигания газовой смеси на таких газовых двигателях обычно применяются предкамеры или вихревые камеры, размещаемые в крышках цилиндров в дополнение к впускным и выпускным клапанам. Предкамеры требуют внесения серьезных конструктивных изменений, снижают надежность крышек цилиндров и уменьшают КПД двигателя из-за возрастающих насосных потерь. Такое решение приводит также к значительной разукрупнению дизельных и газовых двигателей одного типа.

Преимуществом организации работы двигателя по газовому режиму является полное замещение дизельного топлива природным газом. Однако расчеты показывают, что при этом экономия от увеличения замещения дизельного топлива газом сводится на нет затратами на дополнительный расход газа, вызванный его увеличенным удельным расходом. Относительно высокую степень сжатия у газопоршневого (газового) двигателя удается получить только на двигателях малой мощности, в несколько раз меньшей, чем у тепловозных дизелей.

Перечисленные специфические особенности газопоршневых двигателей объясняют отсутствие практики их применения на тепловозах во всем мире.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. В случае применения газовой (газопоршневой) модификации двигателя на тепловозе будет иметь место снижение мощности двигателя и увеличение удельного расхода топлива.

2. Приемистость газовых двигателей не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к двигателям тепловозов в отношении скорости приема нагрузки – не менее 100-120 кВт·с. На газодизельных двигателях нужная скорость приема нагрузки достигается при повышении мощности увеличением подачи жидкого топлива, что не может быть сделано на газовом двигателе.

3. На газопоршневых двигателях с открытыми камерами сгорания и большими диаметрами цилиндров (в том числе на зарубежных двигателях) не достигнута надежная продолжительная работа систем зажигания газовой смеси.

4. Применяемый в газодизельных двигателях способ воспламенения газовой смеси в цилиндрах впрыском запальной дозы жидкого дизельного топлива является наиболее надежным и экономичным.

5. Двухтопливные газодизельные двигатели, работающие с использованием природного газа в количестве до 80-85% от общего расхода топлива и допускающие мгновенный переход на дизельное топливо и обратно, являются в настоящее время наиболее выгодным видом энергоустановок для тепловозов, использующих природный газ.

Простота и относительно малая стоимость переоборудования тепловозного дизеля для работы на природном газе, сохранение мощности и топливной экономичности, обеспечение надежности и удобства эксплуатации позволяют сделать вывод о целесообразности применения на тепловозных двигателях газодизельного цикла. Конвертируемость двигателя позволяет избежать сбоев в движении поездов на железнодорожном транспорте при неисправности в газовой системе двигателя или локомотива, а также в случае перебора в газоснабжении газотепловозов.

Использование диметилового эфира в дизельных двигателях

Н.А. Лапушкин, ст. научный сотрудник ООО «ВНИИГАЗ», к.т.н.,

А.М. Савенков, начальник лаборатории ООО «ВНИИГАЗ»,

И.В. Федотов, ст. научный сотрудник ООО «ВНИИГАЗ», к.т.н.

В качестве альтернативных видов топлив, получаемых из природного газа и обеспечивающих соответствие перспективным экологическим нормам, рассмотрены жидкие продукты метанол и этанол, синтетические бензины и дизельное топливо, диметиловый эфир (ДМЭ) и их физико-химические свойства. Представлены основные системы топливоподачи диметилового эфира, которые нашли применение на опытных образцах автомобилей. Приведены их особенности по условиям подачи ДМЭ. Представлена, разработанная в ООО «ВНИИГАЗ», система топливоподачи, в которой диметиловый эфир используется в качестве запального топлива для воспламенения смеси воздуха и природного газа в цилиндре двигателя. Приведены результаты испытаний газожидкостного двигателя ЯМЗ-236НЕ при использовании в качестве запального топлива дизельного топлива и диметилового эфира. Даны скоростные и нагрузочные характеристики и результаты замеров токсичных выбросов с отработавшими газами. Показано, что имеется потенциальная возможность создания газожидкостного двигателя с высокой степенью экологической чистоты при использовании ДМЭ в качестве запального топлива.

Ужесточение экологических требований к поршневым двигателям транспортных средств вызывает необходимость проведения целого комплекса мероприятий по их выполнению: совершенствование рабочего процесса; применение альтернативных топлив; использование систем нейтрализации; применение установок с рекуперацией энергии и нетрадиционным приводом ведущих колес. Альтернативные виды топлива находят все большее применение на автотранспортных средствах, обеспечивая значительную экономию традиционных нефтяных жидких топлив, а также снижение токсичных выбросов с отработавшими газами.

В качестве альтернативных топлив, получаемых из природного газа и обеспечивающих соответствие перспективным экологическим нормам, можно рассматривать следующие жидкие продукты:

- метанол и этанол;
- синтетические бензины и дизельное топливо;
- диметиловый эфир.

Наиболее перспективным направлением по оценкам отечественных специалистов и ряда зарубежных компаний, например, «Марубени Корп.» (Япония), «Амоко-Бритиш Петролеум» (США, Великобритания), является разработка коммерческой технологии переработки природного газа в ДМЭ, который по своим физико-химическим показателям близок к СУГ, но обладает высоким цетановым числом и может служить экологически чистой альтернативой дизельному топливу. Использование ДМЭ в качестве моторного топлива дизелей требует учета его физико-химических свойств, в первую очередь таких как плотность, вязкость, сжимаемость, теплотворная способность, поверхностное натяжение и др.

Как топливо диметиловый эфир интересен не только универсальностью его применения и высокими экологическими характеристиками, но, в первую очередь, возможностью производства в местах разработки отдаленных газовых месторождений и

применением эффективных схем его транспортировки.

Диметиловый эфир обладает уникальными в химотологическом отношении физико-химическими свойствами: испаряемость, воспламеняемость, высокое содержание связанного кислорода, отсутствие способствующих сажеобразованию при горении химических углеродо-углеродных связей и др. (табл. 1).

Находящиеся в эксплуатации дизели могут быть приспособлены в качестве переходного варианта к работе на ДМЭ путем замены топливоподающей аппаратуры и регулировки ее применительно к двигателю, что позволит таким простым способом обеспечить бездымную работу и пониженный выброс окислов азота. Однако основным вариантом при расширении использования ДМЭ является применение двигателей, специально спроектированных для этого. С учетом того, что по своим параметрам, тепловой и механической нагруженности эти двигатели будут подобны бензиновым, их стоимость будет соизмерима со стоимостью бензиновых двигателей, то есть на 20-25% меньше стоимости дизельного двигателя той же мощности.

В настоящее время в Российской Федерации разработано несколько модификаций топливных систем для дизелей, работающих на ДМЭ.

В научно-исследовательском институте двигателей (НИИД) разработана топливная аппаратура, позволяющая в штатном режиме эксплуатировать дизельный двигатель на двух видах моторного топлива, что особенно важно в условиях неразвитости топливозаправочной инфраструктуры ДМЭ. При этом основным назначением дизельного топлива в автомобиле является его использование для запуска двигателя.

Во ФГУП «НАМИ» для автомобиля ЗИЛ 5301 «Бычок» была разработана и изготовлена топливная аппаратура, которая значительно отличается от разработанной в НИИД прежде всего тем, что является однопаливной.

Физико-химические и моторные свойства основных топлив

Параметры	Метан	Пропан	Бутан	Пропан-бутан	ДМЭ	Метанол	Этанол	СПГ	Диз. топливо	Бензин	Водород
Химическая формула	CH_4	C_3H_8	C_4H_{10}	$\text{C}_3\text{H}_8 + \text{C}_4\text{H}_{10}$	CH_3OCH_3	CH_3OH	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	CH_4	$\text{C}_n\text{H}_{1,8n}$	C_xH_y	H_2
Углерод, %	75	82	83		52,2	37,5	52,0	75	87		
Водород, %	25	18	17		13,0	12,5	13,0	25	13		
Кислород, %	0	0	0		34,8	50	36,0	0	—		
Молекулярная масса, кг/кмол	16,04	44,1	58,12	50,9	46	32	46	16,04	239	144,0	1,02
Удельный вес в газообразном состоянии, кг/м ³	0,717	2,019	2,703	2,361	1,59					5,08	0,089
Плотность жидкости, кг/м ³		509	582	542	668	796,1	789	422	840	720-750	0,09
Вязкость: динамич. $\eta \cdot 10^{-6}$, Н·с/м ² кинемат. ν , сСт	10,38 14,71 _г	7,65 3,81 _г	6,97 2,63 _г	3,12	100 0,15 _ж	600 0,7537	1200 1,521		3300 3-6	500 0,65-0,7	8,35 93,8
Температура кипения, К	111	230	272	231	248	333	352	111	443-633	>308	20
Давление паров при 311 К, Па	0,7					0,37·10 ⁵	0,21·10 ⁵		—		
Теплота парообразов. при 1,013·10 ⁵ Па, кДж/кг		344	386	412	460	1104	841	510	250	289	0,912
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	49,96	46,3	45,7	46,0	28,8	20,2	26,8	49,96	42,5	44,0	8,52
Низшая теплота сгорания, МДж/м ³	35,82	86,5	114,2	24,3	18,2	15,78	21,16	35,82	35,7	223,52	12,7
Теоретическое количество воздуха в стехиометрической смеси, м ³ /м ³ кг/кг	9,52 17,2	23,81 15,6	30,94 15,2	27,43 15,2	9,13	6,52	9,074	9,52 17,2	14,2	58,6 14,5	2,38 34,8
Теплота сгорания стехиометрич. смеси, МДж/м ³	3,41									3,83	
Температура самовоспламенения, К	920-1020	763-823	743-813	853	508	743	693	920-1020	473-493	633-653	803-863
Температура вспышки, К						284	294		348		
Температура пламени, К	2065	2240	2245	2243				2065		2335	2459
Минимальная энергия зажигания, Вт	6,0							6,0		3,6	
Скорость распространения пламени в смеси с воздухом (максимальная), м/с	0,37	0,46	0,38	0,37	0,49			0,37		1,2	2,67
Пределы воспламенения смеси с воздухом (по объему), %	5,28-15,4	2,3-9,5	1,8-8,5	2,1-9,2	4,3-18	6,7-36	4,3-19	5,28-15,4	1,58-8,2	1,5-4,7	4-74,2
Коэффициент избытка воздуха по пред. горюч.	0,6-2,0	0,4-1,7	0,35-1,7	0,5-1,8				0,6-2,0		0,7-1,65	0,6-5,0
Октановое число	110	112	95,8	93-113		110	100			76	70
Цетановое число	10	16	25	20-25	>55	3	8	10	38-53	10-22	
Коэффициент молекулярного изменения, м ³ /м ³	1,0	1,042	1,047			1,21	1,14	1,0	1,065	1,05	0,851
Коэффициент сжимаемости при 20°C и 0,1 МПа, 1/МПа					210·10 ⁻¹¹				86·10 ⁻¹¹		
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	3,056										
Минимальная энергия воспламенения, мДж	0,23										0,02

В Московском государственном техническом университете (МГТУ им. Н.Э. Баумана) была разработана топливная аппаратура для автомобиля-рефрижератора, позволяющая использовать в качестве топлива смесь дизельного топлива и ДМЭ в различных процентных соотношениях за счет импульсной подачи ДМЭ.

Работы проводились в рамках выполнения городской целевой программы использования альтернативных видов моторного топлива на автомобильном транспорте (постановление Правительства г. Москва № 170-ПП от 12.03.2002 г.).

Зарубежные фирмы также уделяют много внимания использованию альтернативных видов топлив. В США, Японии, Швеции, Дании проведены большие научно-исследовательские работы по изучению свойств ДМЭ как моторного топлива. Исследованы характеристики систем хранения и топливоподачи, процессы впрыскивания, распыливания ДМЭ и образования горючей смеси, процессы воспламенения и сгорания, а также образование токсичных компонентов при сгорании. Конкретным результатом этих работ является создание опытных двигателей, а также перевод городского автобуса фирмы «Volvo» на диметиловый эфир.

В ООО «ВНИИГАЗ» для максимального использования компримированного природного газа (КПГ) и минимального внесения изменений в штатную дизельную топливную аппаратуру разработана оригинальная топливная система, использующая диметиловый эфир в качестве запального топлива для газодизельного двигателя (рис. 1).

Такие газодизели с воспламенением метановоздушной смеси запальной порцией ДМЭ могут составить конкуренцию чисто газовым двигателям с искровым зажиганием.

Система питания (рис. 1) газодизельного двигателя 1 содержит бак 2 хранения дизельного топлива, используемого в качестве гидрожидкости, баллон 3 хранения ДМЭ, газовый баллон 4 с КПГ, топливный насос 5 высокого давления, электрический топливоподкачивающий насос 6 для подачи ДМЭ, дозатор ДМЭ 7, газовый редуктор 8, трубопровод его подачи в смеситель, установленный на входе во впускной коллектор, а также газовый дозатор 9 и заслонку управления режимами работы двигателя.

В разработанной системе питания ДМЭ и измерения его расхода предложены схемотехнические решения, позволяющие:

- заправлять баки ДМЭ;

- вводить антифрикционную присадку «Лубризол»;

- измерять расход ДМЭ;
- удалять воздушные пробки из системы перед подачей ДМЭ, а также остатки ДМЭ после окончания работы или при отладочных работах.

Для воспламенения газозавоздушной смеси используется запальная доза диметилового эфира, который поступает из баллона в подкачивающий насос с электроприводом и создает гарантированное давление 1,5 МПа, предотвращающее появление паровых пробок. Из топливного подкачивающего насоса 6 ДМЭ поступает в дозатор 7, представляющий собой регулируемый плунжерный насос со следящим гидроприводом, основными элементами которого являются плунжер (поршень), всасывающий и нагнетательный клапаны.

Каждый цилиндр газодизельного двигателя снабжен дозатором ДМЭ, встраиваемым в линию высокого давления дизельной топливной аппаратуры. Нагнетается ДМЭ в полость форсунки с помощью плунжера (поршня), управляемого гидрожидкостью (дизельным топливом). Система подачи ДМЭ (рис. 2) включает: гидроусилитель 1, в цилиндре которого под действием дизельного топлива, подаваемого от штатного топливного насоса высокого давления, перемещается подпружиненный поршень 2. На поршень 2 воздействует гидрожидкость, в качестве которой используется дизельное топливо, подаваемое штатным топливным насосом высокого давления через штуцер 3. Диметиловый эфир подводится к гидроусилителю через штуцер подвода ДМЭ 4, штуцер 3 и нагнетается в магистраль высокого давления после открытия нагнетательного клапана 6 через штуцер 7. Поршень 2 сжимает и подает запальную порцию диметилового эфира в специальную топливную форсунку, установленную в головке цилиндра.

После окончания процесса топливоподачи в рабочем объеме дозатора ДМЭ создается разрежение, за счет которого в его полость всасывается следующая порция ДМЭ. Излишки дизельного топлива сливаются через жиклер 8 и канал 9 в сливную магистраль 10,

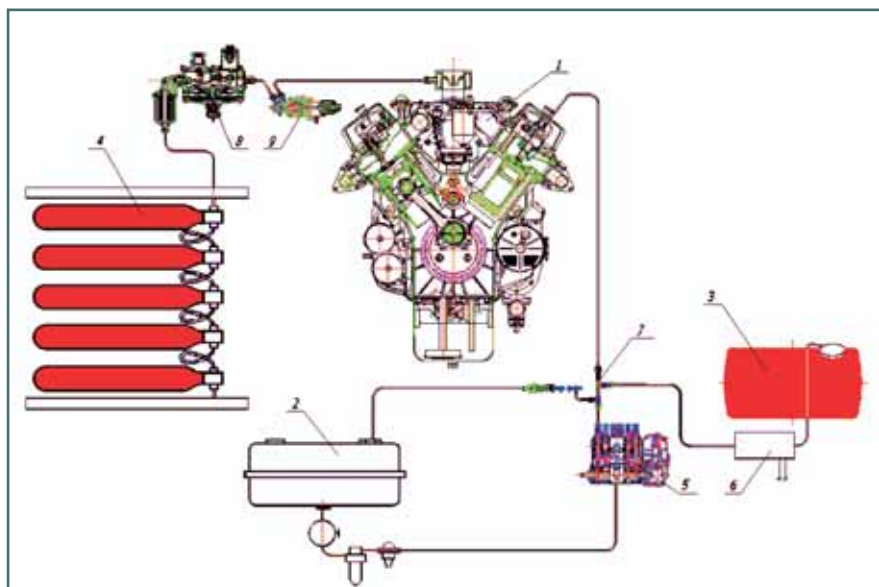


Рис. 1. Комбинированная система топливоподачи ООО «ВНИИГАЗ»:

1 – газодизельный двигатель ЯМЗ-236НЕ; 2 – бак дизельного топлива; 3 – баллон с ДМЭ; 4 – баллоны с КПГ; 5 – топливный насос высокого давления; 6 – насос подачи ДМЭ; 7 – дозатор ДМЭ; 8 – газовый редуктор; 9 – газовый дозатор

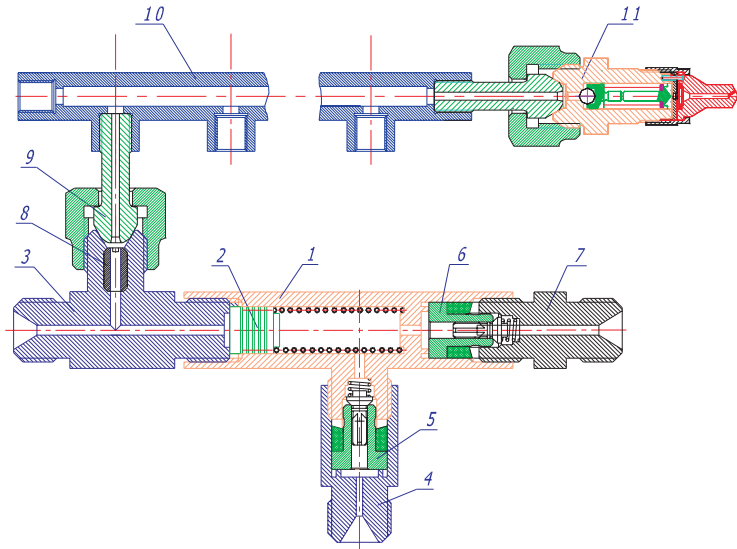


Рис. 2. Система подачи диметилево́го эфира:

1 – гидроусилитель; 2 – подпружинный поршень; 3 – штуцер подвода гидрожидкости; 4 – штуцер подвода ДМЭ; 5 – всасывающий клапан; 6 – нагнетательный клапан; 7 – штуцер нагнетания ДМЭ; 8 – жиклер; 9 – канал слива гидрожидкости; 10 – сливная магистраль; 11 – устройство регулирования и поддержания давления

объединяющую все дозаторы топливной системы. На выходе из сливной магистрали 10 установлено устройство 11 регулирования и поддержания давления в сливной магистрали.

Конкретная реализация разработанного технического решения применительно к ТНВД двигателя ЯМЗ-236НЕ показана на рис. 3. Каждая секция ТНВД снабжена узлом подачи ДМЭ, встраиваемого в штуцер нагнетательного клапана штатного насоса. Основными деталями устройства являются: коллектор 1, специальный штуцер 2, седло клапана 3, упор клапана 4, плунжер 5 и втулка плунжера 6. Все детали описанного устройства размещены в штуцере 7. Процесс всасывания, нагнетания и подачи ДМЭ в форсунку понятен из рисунка. Преимуществом разработанного узла подачи ДМЭ является его простота и обеспечение работоспособности за счет конструктивных мероприятий (без применения противозадирных присадок типа «Лубризол»).

Время и продолжительность подачи ДМЭ определяются моментом и продолжительностью подачи дизельного топлива штатным ТНВД. Давление в гидроприводе ДМЭ и расход гидрожидкости регулируются сбросным устройством. Утечки дизельного топлива направляются в бак, а утечки ДМЭ – во впускной трубопровод.

Данная система фактически не требует конструктивных изменений штатной дизельной топливоподающей аппаратуры, дело ограничивается ее перерегулировкой, связанной с иными, чем у дизельного топлива, плотностью ДМЭ и изменением коэффициента подачи штатного ТНВД. При использовании такой системы удастся избежать утечек топлива в линии низкого давления (в картер ТНВД), что может иметь место в системах с подачей жидкого ДМЭ в линию низкого давления. Это увеличивает безопасность использования ДМЭ в двигателях. Кроме того, отпадает необходимость охлаждения жидкого ДМЭ, подаваемого в линию высокого давления, с целью исключения образования паровоздушной фазы.

Важным преимуществом предлагаемой системы питания является ее способность работать на ДМЭ без добавления присадок (типа «Лубризор»), то есть конструктивными мероприятиями обеспечиваются хорошие трибологические характеристики ее прецизионных элементов. Для газодизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ предложена аккумуляторная система подачи топлива с электроуправляемыми форсунками. Она позволяет устанавливать оптимальный закон впрыска запальной дозы топлива в зависимости от

скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя, оптимизировать фазы начала и конца впрыска топлива, что благоприятно сказывается на экономичности двигателя и возможности выполнения требований норм «Евро-3» на выброс в атмосферу токсичных веществ без использования нейтрализатора. Схема клапанно-щелевой форсунки с электронным управлением показана на рис. 4.

Давление открытия клапана форсунки определяется жесткостью пружины 3. Продолжительность впрыска топлива на различных режимах работы двигателя регулируется электрическим сигналом, поступающим от блока управления на электромагнит 10. В исходном состоянии клапан форсунки закрыт под действием силы упругости пружины 3, которая превышает силу, действующую на клапан от давления топлива в камере распылителя. При подаче напряжения на электромагнит форсунки возникает

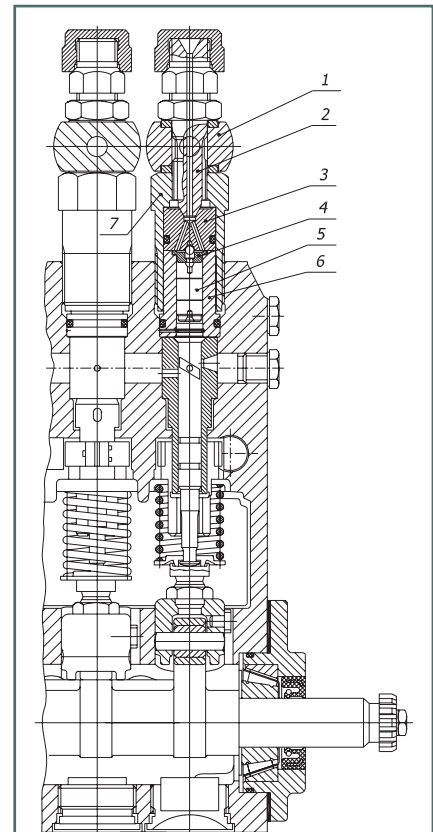


Рис. 3. Секция подачи диметилево́го эфира:

1 – коллектор; 2 – специальный штуцер; 3 – седло клапана; 4 – упор клапана; 5 – плунжер; 6 – втулка плунжера; 7 – штуцер

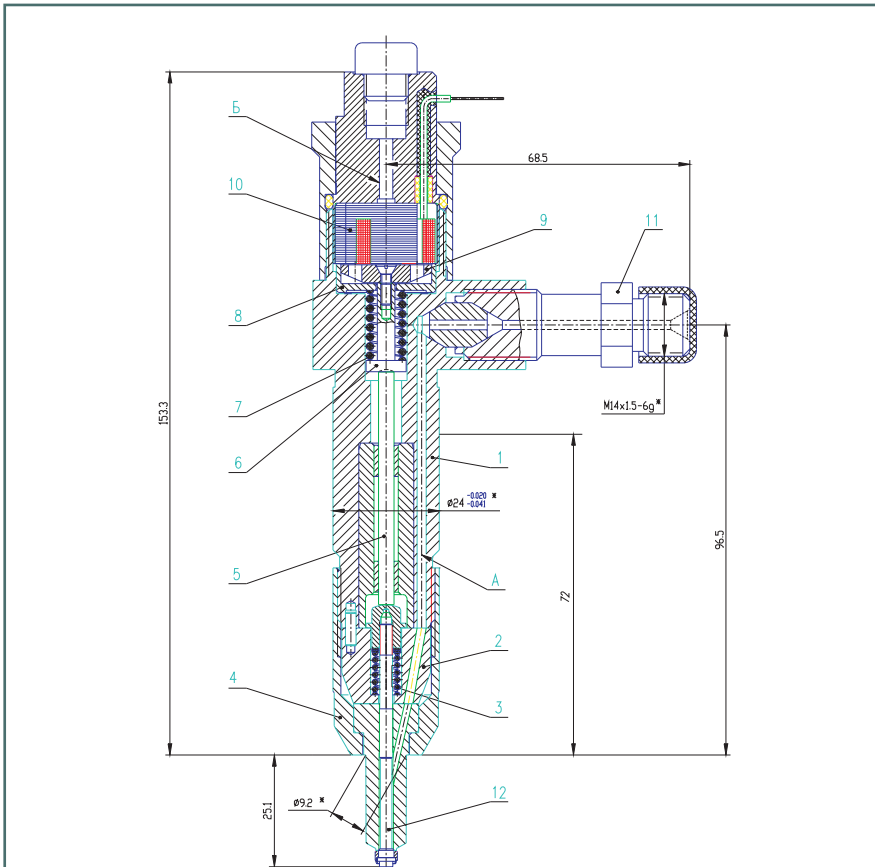


Рис. 4. Клапанно-щелевая форсунка с электронным управлением:

1 – корпус форсунки; 2 – прокладка; 3 – пружина форсунки; 4 – гайка распылителя; 5 – штанга; 6 – упор; 7 – пружина; 8 – экран; 9 – якорь; 10 – электромагнит; 11 – штуцер подвода топлива; 12 – клапан форсунки; А – канал подвода топлива высокого давления; Б – канал отвода топлива в дренажную систему

дополнительная сила, действующая на якорь 9 и направленная в сторону клапана форсунки. Эта сила через упор 6 и штангу 5 передается на клапан форсунки 12, перемещая его до упора на заданную величину. Оптимальный ход клапана подбирается при доводке рабочего процесса двигателя. При снятии напряжения с электромагнита под действием пружины 3 клапан закрывается.

Для определения объемного расхода ДМЭ при испытаниях двигателя разработана оригинальная система измерения (рис. 5). Она снабжена пультом управления, а также содержит пять электромагнитных клапанов, два топливоподкачивающих насоса, фильтр, два манометра, дроссель, два редукционных клапана, прозрачную вставку для визуального контроля отсутствия кавитации.

Расход ДМЭ измеряется объемным методом, при этом двумя топливоподкачивающими насосами обеспечивается

достаточный уровень давления, исключая выделение в трубопроводах паровой (газообразной) фазы ДМЭ. Это

позволяет избежать погрешности, связанной с возможным разрывом непрерывности измеряемого расхода ДМЭ.

Устройство для измерения расхода ДМЭ (рис. 6) представляет собой цилиндр 1, выполненный из немагнитной нержавеющей стали, внутри которого перемещается фторопластовый поршень 2, снабженный мощным магнитом 3. Напротив первого магнита в поршне установлен второй магнит 4, который ориентирует поршень нижним магнитом вниз к магнитной направляющей 5. Это удерживает поршень от проворачивания внутри цилиндра. Снаружи его перемещение отслеживается кареткой 6, которая при движении по поверхности трубы вызывает срабатывание двух фотодатчиков 7. При срабатывании первого включается отсчет времени измерения расхода, срабатывание второго завершает процесс измерения. Объем расходуемого топлива – 280 см³.

При работе двигателя ДМЭ подается насосом 1 (рис. 5), через электромагнитный клапан К2 в двигатель, при этом поршень измерительного устройства находится в левом крайнем положении. При нажатии кнопки «пуск» на панели блока измерителя расхода открывается электромагнитный клапан К1, а электромагнитный клапан К2 закрывается. Насос подает ДМЭ в левую часть измерительного цилиндра, поршень начинает движе-

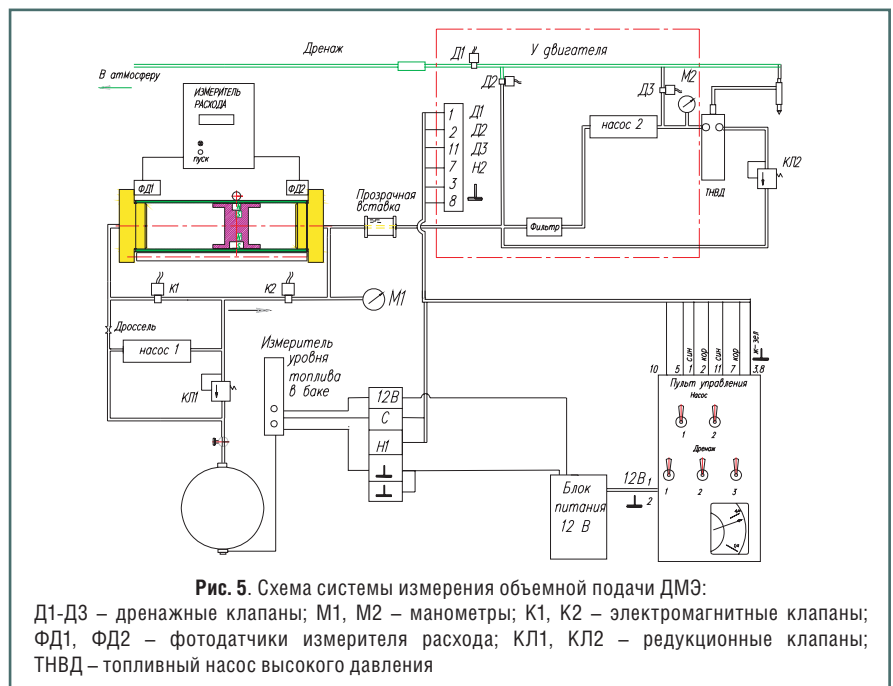
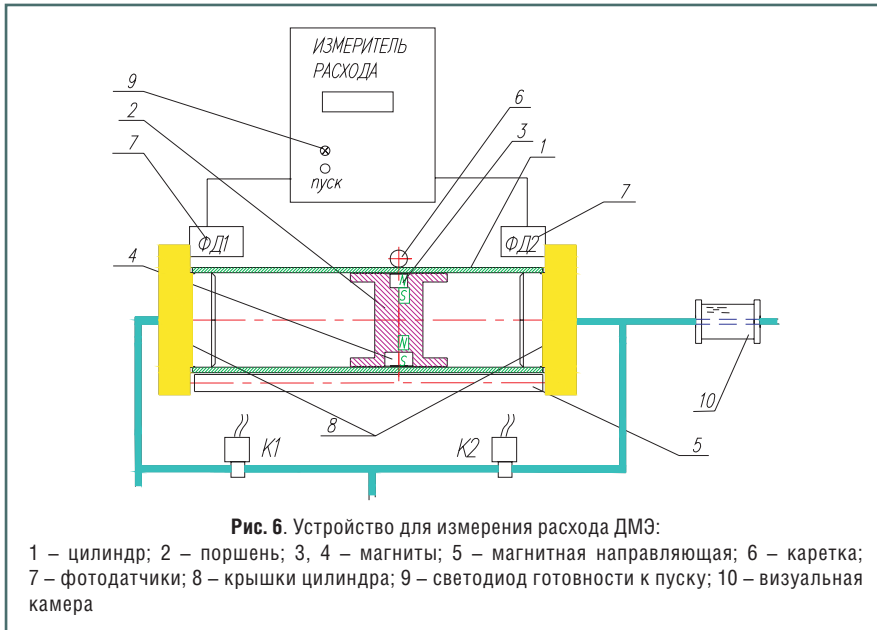


Рис. 5. Схема системы измерения объемной подачи ДМЭ:

Д1-Д3 – дренажные клапаны; М1, М2 – манометры; К1, К2 – электромагнитные клапаны; ФД1, ФД2 – фотодатчики измерителя расхода; КЛ1, КЛ2 – редукционные клапаны; ТНВД – топливный насос высокого давления



ние вправо, отмеряя объем топлива, подаваемого ТНВД в двигатель.

Каретка имеет магнитную связь с поршнем, поэтому, повторяя его перемещение, движется вверх трубы вправо. Когда каретка отходит от фотодатчика ФД1, включается секундомер, при прерывании светового потока фотодатчика ФД2 секундомер останавливается, одновременно клапан К1 закрывается, а электромагнитный клапан К2 – открывается.

Топливо снова подается насосом в двигатель через клапан К2, поршень «взводится» в исходное положение за счет вытекания топлива из левой полости трубы через дроссель на вход насоса 1. При достижении поршнем левого крайнего положения световой поток фотодатчика ФД1 прерывается, на панели измерителя расхода включается светодиод, индицирующий состояние готовности к следующему циклу измерения.



Рис. 7. Газодизельный двигатель ЯМЗ-236НЕ

При проведении испытаний газодизельного двигателя (рис. 7) регистрировались основные теплотехнические параметры двигателя: расход дизельного топлива и расход газа, температура отработавших газов, температуры воды и масла, частота вращения КВ двигателя, развиваемая двигателем мощность. Дополнительно проводились измерения токсичности отработавших газов: дымность по ГОСТ 17.2.2.02–98 по степени поглощения светового потока, просвечивающего столб отработавших газов определенной длины (коэффициент ослабления светового потока в %), а также концентрация оксида углерода СО, несгоревших углеводородов СН и оксидов азота NO_x .

Были также проведены стендовые испытания двигателя ЯМЗ-236НЕ с тремя системами топливоподачи: дизельной, газодизельной с воспламенением газозвушной смеси запальной порцией дизельного топлива, газодизельной с воспламенением газозвушной смеси запальной порцией диметилового эфира.

При работе газодизеля с воспламенением газозвушной смеси запальной порцией диметилового эфира по внешней скоростной характеристике (рис. 8) обеспечивается получение тех же величин мощности и крутящего момента. Потребление газа по всей внешней характеристике при воспламенении запальной порцией ДМЭ меньше, чем в газодизельном двигателе с за-

пальной дозой дизельного топлива.

Анализ протекания показателей токсичных выбросов в газодизеле при воспламенении дизельным топливом и ДМЭ показывает, что выделение NO_x в газодизеле с ДМЭ при совпадении на высоких частотах вращения КВ двигателя значительно меньше на низких частотах вращения. Выделение СН и CO_2 практически совпадает по всей внешней характеристике. Выделение СО в газодизеле с ДМЭ на высоких частотах вращения КВ двигателя немного превышает выделение СО в газодизеле с запальной дозой дизельного топлива. В газодизеле на ДМЭ отсутствует выделение сажи.

На рис. 9 показаны нагрузочные характеристики газодизеля при воспламенении газозвушной смеси дизельным топливом и ДМЭ, снятые на частоте вращения КВ двигателя 2100 и 1300 об/мин⁻¹.

Мощность и крутящий момент имеют те же величины, что и при работе газодизеля с воспламенением

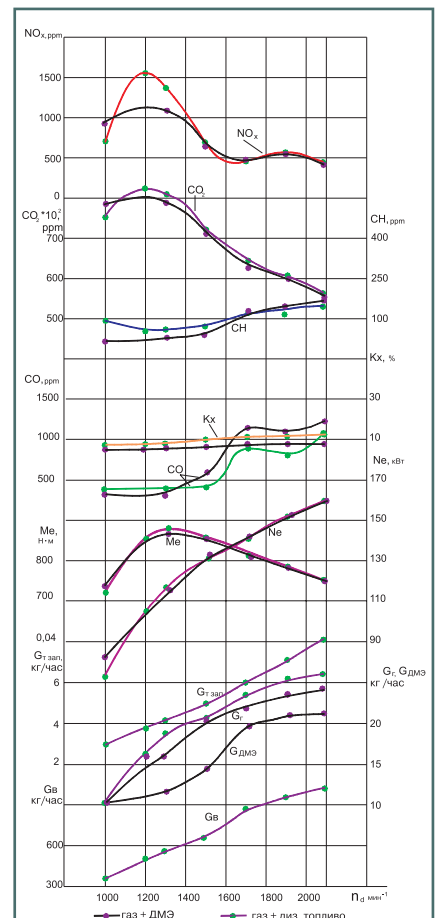


Рис. 8. Скоростные характеристики газодизеля ЯМЗ-236НЕ

Таблица 2

Удельные цикловые выбросы двигателя при испытаниях по 13-ступенчатому циклу

Двигатель	NO _x , г/кВт·ч	CO, г/кВт·ч	СН, г/кВт·ч
Газ + дизельное топливо	8,252	7,248	0,746
Газ + ДМЭ	6,786	6,154	0,819
Нормы «Евро-2»	7,0	4,0	1,1
Нормы «Евро-3»	5,0	2,1	0,66

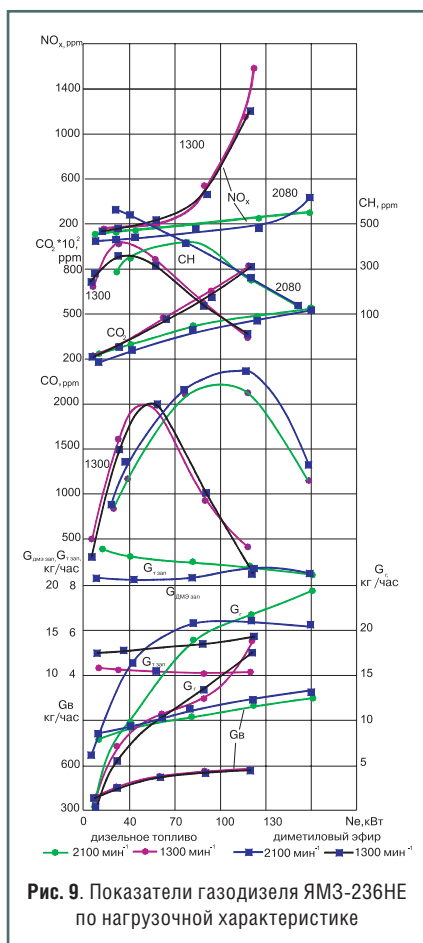


Рис. 9. Показатели газодизеля ЯМЗ-236НЕ по нагрузочной характеристике

газовоздушной смеси запальной порцией дизельного топлива. На высоких частотах вращения КВ двигателя потребление газа несколько меньше, чем в газодизельном двигателе с запальной дозой дизельного топлива. Максимальный расход газа составляет 24,8 кг/ч. Максимальный расход диметилового эфира – 21,9 кг/ч, что составляет 38% от величины введен-

ной теплоты с дизельным топливом на номинальном режиме.

Проведенные испытания газодизельного двигателя по 13-ступенчатому циклу (ГОСТ Р 41.49–2003) показывают (табл. 2), что двигатель с воспламенением смеси запальной дозой ДМЭ по выбросам вредных веществ укладывается в нормы требований «Евро-2» без нейтрализатора, за исключением выделений СО.

В результате стендовых испытаний опытного образца топливной системы с воспламенением газового топлива запальной дозой ДМЭ на двигателе ЯМЗ-236НЕ получены следующие данные:

- замещение газом жидкого топлива составляет до 85% на отдельных нагрузочных режимах при сохранении технических характеристик базового двигателя по частоте вращения КВ двигателя и крутящему моменту;
- токсичность отработавших газов двигателя при наличии нейтрализатора укладывается в нормы «Евро-2»;
- эффективный КПД двигателя повышается до 42%;
- за счет применения двух подкачивающих насосов, обеспечивающих

давление >1,5 МПа, в линии подачи от топливного баллона до входа в топливный насос высокого давления ДМЭ поддерживается в жидком агрегатном состоянии;

■ управление рабочим процессом двигателя производится как за счет регулировки количества диметилового эфира, так и за счет количества подаваемого газа, что зависит от настройки системы регулирования запальной дозы жидкого топлива;

■ обеспечивается регулирование запальной дозы ДМЭ по началу впрыска.

Резюмируя вышесказанное о работе двигателя на ДМЭ, можно отметить следующее:

- имеется потенциальная возможность создания газодизеля с высокой степенью экологической чистоты;
- с учетом высокой стоимости диметилового эфира экономически оправдано на переходный период конвертировать автотранспорт на базе газодизельного процесса с использованием диметилового эфира в качестве запального топлива.

Началась сборка газовых «КамАЗов»

На производственных площадях ООО «РариТЭК» начат серийный выпуск большегрузов «КамАЗ», работающих на КПГ. ООО «РариТЭК» – официальный дилер завода «КамАЗ» по продажам автомобилей и запасных частей, а также партнер по сервису автомобильной и автобусной техники с газовыми двигателями.

Единственный в России сервисный центр по ремонту и обслуживанию авто-техники с газовыми двигателями, открытый в ООО «РариТЭК» в сентябре 2007 г., приступил к установке газового оборудования на автомобили «КамАЗ». До этого

газовые двигатели устанавливались преимущественно на автобусы «НЕФАЗ» на базе шасси «КамАЗ», а газовые грузовики выпускались только по индивидуальным заказам потребителей.

Обладая хорошей производственно-технической базой для испытаний, доводки и установки газового оборудования, ООО «РариТЭК» уже сейчас имеет возможность выпускать до семи автомобилей «КамАЗ» в сутки с перспективой увеличения объемов в дальнейшем. Автомобили и силовые агрегаты предоставляет завод «КамАЗ». Сборку конечного продукта ве-

дет «РариТЭК», закупая остальные комплектующие со стороны.

Газовая тематика – одно из самых перспективных и приоритетных направлений развития автомобильной и автобусной техники «КамАЗ». Испытания техники с газовыми двигателями показали, что она не уступает автомобилям с дизельными моторами, а по некоторым характеристикам – превосходит их. Эти преимущества обеспечивает природный газ – самый доступный, дешевый и экологичный энергоноситель в России. Газовые двигатели «КамАЗ», как и дизельные, отвечают требованиям международных экологических стандартов «Евро-4».

<http://tatar-inform.ru/news/2008/02/12/97151/>

Пожарная безопасность топливозаправочного пункта диметилового эфира

Ю.Н. Шебеко, зам. начальника центра Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (ВНИИПО), профессор,
Д.М. Гордиенко, зам. начальника отдела ВНИИПО, к.т.н.,
В.Л. Малкин, ведущий научный сотрудник ВНИИПО, к.т.н.,
Д.С. Кириллов, научный сотрудник ВНИИПО

Настоящая статья посвящена вопросам обеспечения пожарной безопасности топливозаправочного пункта (ТЗП*) диметилового эфира (ДМЭ), выполненного на базе передвижной автомобильной газозаправочной станции с теплоизолированным двустенным резервуаром хранения ДМЭ, оборудованным устройствами безопасного перекрытия* возможных утечек топлива из резервуара.

В работе проанализированы возможные аварийные ситуации и сценарии развития аварий. Определены зоны поражения опасными факторами пожара и взрыва. Рассчитаны значения пожарного риска.

Результаты расчетов сопоставлены с существующими критериями предельно допустимого риска. Предложены мероприятия по повышению уровня обеспечения пожарной безопасности указанного объекта.

работе, целью которой является оценка потенциального пожарного риска для указанного объекта.

Описание объекта

В настоящей статье проводится оценка пожарного риска для ТЗП, на котором производится заправка транспортных средств ДМЭ.

ДМЭ (C_2H_6O) – горючий газ, температура кипения $-24,8^{\circ}C$, теплота сгорания 28740 кДж/кг, плотность жидкой фазы 700 кг/м³, концентрационные пределы распространения пламени в смеси с воздухом при нормальных условиях (нижн./верх.): $3,67/26,7\%$ (об.), температура самовоспламенения $350^{\circ}C$.

ТЗП выполнен на базе передвижной автомобильной газозаправочной станции* с теплоизолированным двустенным резервуаром хранения ДМЭ, отвечающей требованиям норм [1] для моторного топлива, являющегося сжиженным углеводородным газом (СУГ).

В состав технологической системы* ТЗП входят: резервуар хранения сжиженного ДМЭ; газобаллонная установка со сжатым метаном; газораздаточное оборудование, соответствующие технологические линии (линия выдачи жидкой фазы ДМЭ, линия паровой фазы, линия сжатого метана) и линии сброса горючих газов и паров на сбросные трубы.

Резервуар хранения ДМЭ – двустенный (сосуд в сосуде), имеет геометрический объем 10 м³, уровень заполнения жидкой фазой ДМЭ 85% его геометрического объема. Внешний резервуар выполняет роль аварийного и отвечает нормативным требованиям, предъявляемым к резервуару хранения (внутреннему). Теплоизоляция резервуара выполнена из негорючих материалов, размещена в межстенном пространстве и обеспечивает его защиту от внешнего очага пожара в течение не менее одного часа. Конструкция технологической системы обеспечивает защиту резервуара и его арматуры от воздействия осколков, образующихся

В настоящее время все актуальнее становится замена жидкого нефтяного моторного топлива (бензина и дизельного топлива) на альтернативные виды моторного топлива, что диктуется как экономическими, так и экологическими проблемами, возникающими в городах в связи с резким увеличением количества автомобилей.

Россия обладает приблизительно 40% всех мировых разведанных запасов природного газа. Поэтому перспективными видами альтернативных моторных топлив могут являться синтетические топлива, первичным сырьем для получения которых является природный газ. В настоящее время в России и за рубежом ведутся интенсивные работы по созданию эффективных процессов переработки природного газа в различные синтетические моторные топлива. Одним из таких моторных топлив является ДМЭ, который по своим физическим параметрам близок к пропан-бутановой смеси.

Вместе с тем автозаправочные станции (АЗС), работающие как на жидком, так и на газообразном моторном топливе, являются объектами повышенной пожарной опасности, в связи с чем большое значение приобретает задача обеспечения пожарной безопасности АЗС, заправляющих транспортные средства ДМЭ.

Следует отметить, что в настоящее время отсутствуют нормы, регламентирующие требования пожарной безопасности к таким АЗС (пп. 1 и 2 норм [1]).

Разработка соответствующих мероприятий по обеспечению пожарной безопасности базируется, прежде всего, на детальной оценке пожарной опасности объекта. При этом для оценки пожарной опасности все более широко используются вероятностные методы, использующие понятие риска. Актуальность использования понятия пожарного риска для нормирования уровня обеспечения пожарной безопасности объектов существенно возросла в связи с принятием Федерального закона «О техническом регулировании». Критерии риска использованы и в настоящей

* термины приведены в соответствии с положениями норм [1]

при разрушении другого оборудования технологической системы и баллона топливной системы транспортного средства в очаге пожара.

Все выпуски трубопроводов жидкой и паровой фаз ДМЭ из резервуара оборудованы устройствами гарантированного безопасного перекрытия возможных утечек топлива из резервуара (скоростными и электромагнитными клапанами с ручным дублированием закрытия). Кроме того, технологические линии оборудованы ручной запорной арматурой.

ДМЭ выдается из резервуара посредством создания избыточного давления метана в паровом пространстве резервуара и передавливания жидкой фазы в газовый баллон транспортного средства. Предназначенная для этого газобаллонная установка состоит из 15 баллонов со сжатым метаном (избыточное давление 20 МПа). Объем каждого баллона 55 л. Указанная газобаллонная установка обеспечивает поддержание рабочего давления в резервуаре с ДМЭ, включая холодное время года. Между газобаллонной установкой и резервуаром хранения ДМЭ имеется редуктор, понижающий избыточное давление до 1,6 МПа. Трубопровод с жидкой фазой ДМЭ имеет диаметр 50 мм, с газовой фазой – 32 мм. Длина обоих трубопроводов 4 м. К трубопроводам с ДМЭ подсоединены заправочные рукава, длина каждого 4 м, диаметр – 20 мм.

Резервуар с ДМЭ, газобаллонная установка с метаном и отсекаемые запорной арматурой трубопроводы оборудованы предохранительными клапанами. При этом для трубопроводов технологических линий предусмотрена возможность принудительного, дистанционно управляемого сброса избыточного давления на сбросные трубы.

На ТЗП заправляются транспортные средства, имеющие баки с дизельным топливом и баллоны с ДМЭ. Объем бака с дизельным топливом и баллона с ДМЭ – 40 л.

Методика расчета и анализ аварийных ситуаций

В данной работе были рассчитаны значения потенциального риска. Потенциальный пожарный риск – годовая

частота возникновения опасных факторов пожара в определенной точке пространства. Потенциальный риск не зависит от количества работающих людей на предприятии и их размещения по территории объекта, а определяется исключительно используемой технологией и надежностью применяемого оборудования. Потенциальный риск используется как критерий допустимости пожарной опасности для населения, для которого величины потенциального и индивидуального рисков принимаются равными.

Индивидуальный риск – частота поражения отдельного человека опасными факторами пожара – используется как критерий допустимости пожарной опасности для работников той или иной профессии, учитывает время пребывания той или иной категории работников в опасной зоне с высокими значениями потенциального риска.

В настоящей статье использован метод оценки риска на основе анализа последовательности событий, регламентированный стандартом [2] и руководством [3].

Опасными факторами, типичными для аварий с пожарами и взрывами на рассматриваемом объекте, являются:

- тепловое излучение при пожаре пролива, факельном горении и огненном шаре;

- тепловое воздействие высоко-температурных продуктов сгорания газопаровоздушных смесей при возникновении пожара-вспышки;

- избыточное давление при сгорании газопаровоздушных смесей в открытом пространстве.

Для расчета опасных факторов пожара рассматривались следующие возможные сценарии развития событий: пожар пролива, факельное горение, пожар-вспышка, взрыв газопаровоздушного облака, реализация огненного шара.

Одним из наиболее важных этапов оценки риска является определение частоты событий, инициирующих аварию. При этом качество соответствующей статистической информации в значительной мере определяет достоверность полученных результатов оценки риска.

В настоящей работе частоты инициирующих событий заимствованы из [4-6]. Значения этих частот приведены ниже в табл. 1-3. При этом для аварийных ситуаций, связанных с разгерметизацией технологического оборудования, рассматривались утечки при различных диаметрах отверстия, из которого происходит истечение.

Для оценки пожарного риска также необходима и другая статистическая информация (например, данные по вероятности воспламенения различных

Таблица 1

Частота отказов погрузочных/разгрузочных шлангов

Тип отказа	Частота отказов погрузочных/разгрузочных шлангов, 1/ч
Утечка	$3 \cdot 10^{-6}$
Аварийный разрыв	$3 \cdot 10^{-8}$

Таблица 2

Частота утечек на трубопроводах

Характер утечки	Частота утечки, 1/(год•м)
Утечка	$8,8 \cdot 10^{-6}$
Аварийный разрыв	$8,8 \cdot 10^{-7}$

Таблица 3

Частота утечек из сосудов под давлением

Диаметр отверстия истечения, м	Частота утечки, 1/г
0,005	$4 \cdot 10^{-5}$
0,025	$5 \cdot 10^{-6}$
0,050	$5 \cdot 10^{-6}$
Разрушение по полному сечению	$2 \cdot 10^{-6}$

Частота реализации аварийных ситуаций

Наименование аварийной ситуации	Размер утечки, мм	Частота аварийной ситуации, 1/г	Частота сценариев развития аварий, 1/год				
			факельное горение	огненный шар	пожар-вспышка	взрыв облака	пожар пролива
Разгерметизация заправочного рукава с жидкой фазой ДМЭ	20	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	0	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$6,9 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
Разгерметизация линии с жидкой фазой ДМЭ	7	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$	0	$5,1 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$
	50	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$	0	$5,1 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$
Разгерметизация линии с паровой фазой ДМЭ	7	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$	0	$5,1 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$	0
	32	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$	0	0	0	0
Разгерметизация линии с метаном	8	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$	0	0	0	0
Разгерметизация баллонной установки с метаном	8	$5,2 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0	0	0	0
Истечение паровой фазы ДМЭ из резервуара	7	$3,5 \cdot 10^{-9}$	$7,0 \cdot 10^{-10}$	0	$5,1 \cdot 10^{-11}$	$2,2 \cdot 10^{-11}$	0
	32	$3,5 \cdot 10^{-10}$	$7,0 \cdot 10^{-11}$	0	$5,1 \cdot 10^{-12}$	$2,2 \cdot 10^{-12}$	0
Истечение жидкой фазы ДМЭ из резервуара	7	$3,5 \cdot 10^{-9}$	$7,0 \cdot 10^{-10}$	0	$5,1 \cdot 10^{-11}$	$2,2 \cdot 10^{-11}$	$7,0 \cdot 10^{-10}$
	50	$3,5 \cdot 10^{-10}$	$7,0 \cdot 10^{-11}$	0	$5,1 \cdot 10^{-12}$	$2,2 \cdot 10^{-12}$	$7,0 \cdot 10^{-11}$
Разгерметизация резервуара	5	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$3,2 \cdot 10^{-10}$	0	$2,4 \cdot 10^{-11}$	$1,0 \cdot 10^{-11}$	$3,2 \cdot 10^{-10}$
	25	$2,5 \cdot 10^{-11}$	$5,0 \cdot 10^{-12}$	0	$3,7 \cdot 10^{-13}$	$1,6 \cdot 10^{-13}$	$5,0 \cdot 10^{-12}$
	50	$2,5 \cdot 10^{-11}$	$5,0 \cdot 10^{-12}$	0	$3,7 \cdot 10^{-13}$	$1,6 \cdot 10^{-13}$	$5,0 \cdot 10^{-12}$
	Полное разрушение	$4,0 \cdot 10^{-12}$	0	0	$5,9 \cdot 10^{-14}$	$2,5 \cdot 10^{-14}$	$8,0 \cdot 10^{-13}$
Разгерметизация баллона с ДМЭ	5	$5,2 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$	0
Разгерметизация бака с ДТ	–	$1,0 \cdot 10^{-4}$	0	0	0	0	$2,0 \cdot 10^{-5}$

горючих веществ, вероятности воспламенения с задержкой и т. д.).

Поскольку территория ТЗП характеризуется наличием постоянно действующих источников воспламенения (транспортные средства), при оценке риска условная вероятность воспламенения принималась равной 0,5 (максимальная условная вероятность воспламенения для промышленного объекта [7, 8]). Условная вероятность мгновенного воспламенения принималась равной 0,4, а воспламенения с задержкой – 0,6 [7, 8].

Реализация таких сценариев развития аварии, как пожар-вспышка или взрыв газопаровоздушного облака, возможна только при задержке воспламенения и наличии образовавшегося газопаровоздушного облака. При этом газопаровоздушное облако образуется только при определенных метеороло-

гических условиях (должно выполняться условие «безветрия», иначе облако будет рассеяно). По данным [9] повторяемость штиля на территории г. Москва составляет 7%. Вероятность взрыва газопаровоздушного облака при условии воспламенения с задержкой можно принять равной 30% (на основе данных, приведенных в работе [7]).

Для оценки последствий возможных пожаров и взрывов прежде всего необходимо провести анализ характерных типовых аварийных ситуаций и определить количество пожароопасных веществ, поступающих в окружающее пространство в результате их реализации.

Для выявления возможных аварийных ситуаций на исследуемом объекте было проведено деление технологической системы на участки. Указанное деление проводилось с учетом возможности раздельной изоляции этих

участков при возникновении аварии. Перечень рассматриваемых аварийных ситуаций, частота их реализации, а также частота реализации рассматриваемых сценариев развития аварии приведен в табл. 4.

Расчетное время перекрытия аварийной запорной арматуры принималось равным 300 с. Вероятность отказа закрытия запорной арматуры принималась равной 0,01 [5].

При проведении оценки риска предполагалось следующее:

- теплоизоляция резервуара хранения ДМЭ обеспечивает защиту от внешнего очага пожара в течение времени, достаточного для принятия мер по тушению пожара или задействования средств водяного орошения резервуара, поэтому возможность возникновения огненного шара на указанном резервуаре не рассматривалась;

Таблица 5

Количество веществ, поступающих в окружающее пространство при различных аварийных ситуациях

Наименование аварийной ситуации	Размер утечки, мм	Массовый расход, кг/с	Масса горючего вещества, поступившего в окружающее пространство, кг
Разгерметизация заправочного рукава с жидкой фазой ДМЭ	20	5,0	1
Разгерметизация линии с жидкой фазой ДМЭ	7	0,6	189
	50	31,3	5
Разгерметизация линии с паровой фазой ДМЭ	7	0,2	55
	32	2,1	93
Разгерметизация линии с метаном	8	0,1	40
Разгерметизация баллонной установки с метаном	8	1,8	93
Истечение паровой фазы ДМЭ из резервуара	7	0,2	55
	32	3,8	1150
Истечение жидкой фазы ДМЭ из резервуара	7	0,6	180
	50	31,3	6000
Разгерметизация резервуара хранения ДМЭ	5	0,3	94
	25	7,8	2350
	50	31,3	6000
	Полное разрушение	-	-
Разгерметизация баллона с ДМЭ	5	0,3	24
Разгерметизация бака с ДТ	-	-	33

Таблица 6

Размеры зон поражения при факельном горении

Наименование аварийной ситуации	Диаметр отверстия истечения, мм	Размер зоны (м) при условной вероятности поражения человека, равной 17%
Разгерметизация заправочного рукава с жидкой фазой ДМЭ	20	17
Разгерметизация линии с жидкой фазой ДМЭ	7	7
	50	36
Разгерметизация линии с паровой фазой ДМЭ	7	5
	32	15
Разгерметизация линии с метаном	8	5
Разгерметизация баллонной установки с метаном	8	14
Истечение паровой фазы ДМЭ из резервуара	7	5
	32	16
Истечение жидкой фазы ДМЭ из резервуара	7	7
	50	36
Разгерметизация резервуара хранения ДМЭ	5	6
	25	21
	50	36
Разгерметизация баллона с ДМЭ	5	6

■ системы сброса избыточного давления из отсекаемых участков трубопроводов и из газобаллонной установки предотвращают возможность разрушения указанного оборудования в очаге пожара, поэтому поражающее действие осколков в настоящей работе не рассматривалось;

■ в настоящей работе рассматривалась возможность реализации огненного шара при разгерметизации баллона с ДМЭ заправляемого транспортного средства;

■ скоростные клапаны обеспечивают перекрытие разгерметизированной линии при расходе топлива, соответствующем разности давлений на клапане 0,2 МПа;

■ время, в течение которого производится заправка транспортных средств на ТЗП (то есть общее время, в течение которого газовый баллон транспортного средства присоединен к технологической системе ТЗП), составляет 1 ч в сутки;

■ для аварийных ситуаций с истечением метана в окружающее пространство не рассматривались сценарии аварии, связанные с реализацией сгорания газозооного облака, что вызвано следующим – плотность метана меньше плотности воздуха, что обуславливает невозможность скопления метана в открытом незагроможденном пространстве. Поступление метана из газобаллонной установки характеризуется большой скоростью истечения, обеспечивающей создание зоны загазованности с концентрацией выше нижнего концентрационного предела распространения пламени с размерами, близкими к размеру струи истекающего метана. При этом принималось, что в струе истекающего газа отсутствуют препятствия, которые могут существенным образом турбулизовать фронт пламени при сгорании газозооной смеси (низкая степень загазованности окружающего пространства). Поэтому возникновение пожара-вспышки и взрыва облака для таких ситуаций не рассматривались.

Важным вопросом является правильный выбор методов расчета поражающих факторов аварий с пожарами и взрывами. Для оценки зна-

Таблица 7

Размер зон поражения при реализации огненного шара

Наименование аварийной ситуации	Диаметр огненного шара, м	Размер зоны поражения (м) при вероятности гибели человека		
		1%	10%	99%
Разгерметизация баллона с ДМЭ	15,0	13	10	8

Таблица 8

Размер зон поражения при пожаре-вспышке

Аварийная ситуация	Диаметр отверстия истечения, мм	Размер зоны (м) при условной вероятности поражения человека, равной 100%
Разгерметизация заправочного рукава с жидкой фазой ДМЭ	20	14
Разгерметизация линии с жидкой фазой ДМЭ	7	83
	50	25
Разгерметизация линии с паровой фазой ДМЭ	7	55
Истечение паровой фазы из резервуара	7	55
	32	150
Истечение жидкой фазы из резервуара	7	82
	50	260
Разгерметизация резервуара хранения ДМЭ	5	66
	25	191
	50	260
	Полное разрушение	260
Разгерметизация бака с ДМЭ	5	42

Таблица 9

Размер зон поражения при взрыве газопаровоздушного облака

Наименование аварийной ситуации	Диаметр отверстия истечения, мм	Размер зоны поражения (м) при вероятности гибели человека		
		1%	10%	99%
Разгерметизация заправочного рукава с жидкой фазой ДМЭ	20	1	–	–
Разгерметизация линии с жидкой фазой ДМЭ	7	26	17	4
	50	2	2	1
Разгерметизация линии с паровой фазой ДМЭ	7	12	8	2
Истечение паровой фазы из резервуара	7	12	8	2
	32	87	56	13
Истечение жидкой фазы из резервуара	7	26	17	4
	50	238	159	37
Разгерметизация резервуара хранения ДМЭ	5	17	11	3
	25	138	90	20
	50	238	159	37
	Полное разрушение	238	159	37
Разгерметизация баллона с ДМЭ	5	7	4	1

чений поражающих факторов аварий с пожарами и взрывами при различных сценариях аварий в основном использованы методы, регламентированные стандартом [2] и руководством [3]. При необходимости применялись также методы, изложенные в работах [5, 10, 11].

Результаты оценки риска и их обсуждение

Результаты оценки количества веществ, поступающих в окружающее пространство при различных аварийных ситуациях, приведены в табл. 5.

Типичные результаты расчета размеров зон поражения при реализации аварийных ситуаций представлены в табл. 6-10. При этом в указанных таблицах приведены размеры зон поражения, на границах которых условная вероятность поражения человека, определяемая с использованием пробит-функций [2,3], составляет фиксированные значения, приведенные в этих таблицах (1%, 10%, 17%, 99%).

При сравнении полученных результатов видно, что наибольшие размеры зон поражения реализуются в случае пожара-вспышки и сгорания облака с развитием избыточного давления (взрыв облака). При этом максимальные размеры зон поражения соответствуют сценариям аварий, связанных с пожаром-вспышкой. Данный вывод не является неожиданным, так как при возникновении пожара-вспышки высокотемпературное облако продуктов сгорания имеет радиус, приблизительно на 70% больше характерного размера зоны загазованности с концентрацией горючего газа, превышающей нижний концентрационный предел распространения пламени. Интенсивность же теплового излучения от пожара пролива или факельного горения достаточно быстро уменьшается с расстоянием от очага пожара, в связи с чем радиус поражения оказывается меньше, чем в случае пожара-вспышки.

Результаты оценки потенциального риска представлены ниже на рисунке в виде зависимости величины риска от расстояния до ТЗП (до технологического оборудования).

Таблица 10

Размер зон поражения при пожаре пролива

Наименование аварийной ситуации	Диаметр отверстия истечения, мм	Площадь пролива, м ²	Размер зоны поражения (м) при вероятности гибели человека		
			1%	10%	99%
Разгерметизация линии с жидкой фазой ДМЭ	7	41	11	9	4
	50	1	2	1	1
Истечение жидкой фазы ДМЭ из резервуара	7	40	11	9	4
	50	1285	77	67	36
Разгерметизация резервуара хранения ДМЭ	5	20	7	6	3
	25	503	46	40	20
	50	1285	77	67	36
	Полное разрушение	1285	77	67	36
Разгерметизация бака с ДТ	-	6	4	3	2

Исходя из приведенной ниже на рисунке зависимости потенциально-го риска от расстояния до ТЗП, можно сделать вывод о том, что в связи с конструктивными особенностями технологической системы передвижной заправочной станции ДМЭ наибольший вклад в величину потенциально-го риска вносят аварийные ситуации, связанные с разгерметизацией трубопроводов технологических линий и газобаллонной установки сжатого метана.

Анализ полученных результатов оценки потенциального риска позволяет также сделать вывод о том, что индивидуальный риск для населения на регламентированных для АГЗС расстояниях с приравненными к подземным резервуарами хранения сжиженного газа нормами [1] (не менее 60 м) не превышает предельно допустимую стандартом [2] и руководством [3] величину 10^{-6} год⁻¹. На территории объекта, где постоянно присутствует обслуживающий

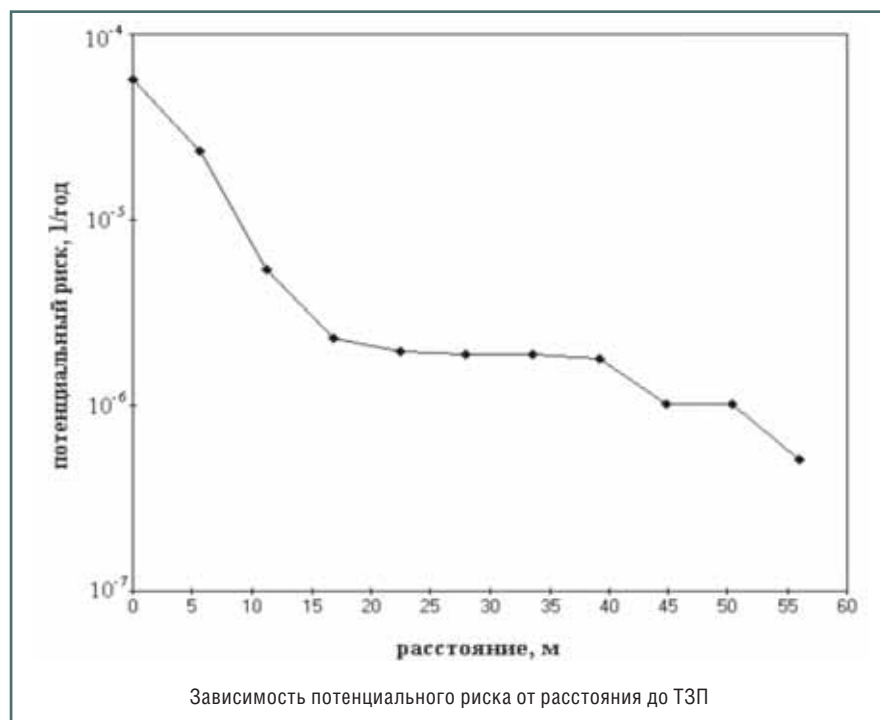
персонал, вблизи оборудования ТЗП величины потенциального риска для персонала не превышают значение 10^{-4} год⁻¹. Следовательно, величина индивидуального риска для персонала при 40-часовой рабочей неделе не превышает $2,4 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹.

В руководстве [3] значения индивидуального пожарного риска меньше 10^{-4} год⁻¹, но больше 10^{-6} год⁻¹ предлагается рассматривать как допустимые для обслуживающего персонала тогда, когда приняты меры, позволяющие его снизить настолько, насколько это практически целесообразно. В качестве таких мер для рассматриваемого ТЗП предлагаются следующие основные мероприятия:

- замена рабочего газа газобаллонной установки, предназначенной для поддержания рабочего давления в резервуаре хранения ДМЭ и выдачи жидкой фазы ДМЭ, на азот;

- оснащение технологической системы ТЗП резервной (дублирующей основную систему подачи азота в резервуар хранения ДМЭ) подсистемой подачи азота, давление которого не должно автоматически сбрасываться при пожаре;

- оснащение оборудования (под давлением) дублирующей азотной системы теплоизоляцией, обеспечивающей сохранение его целостности при воздействии пожара.



Выводы

В настоящей работе дана оценка пожарного риска для ТЗП, заправляющего транспортные средства ДМЭ и отвечающего требованиям норм [1]. Расчеты сделаны в соответствии со стандартом [2] и руководством [3].

Было установлено, что на ТЗП возможны крупные аварии с пожарами и взрывами, при которых зоны поражения опасными факторами пожара и взрыва могут достигать десятков метров.

Для населения, проживающего вблизи рассматриваемого объекта, величины риска можно считать допустимыми, если расстояние между ТЗП и жилыми и общественными зданиями составляет не менее 60 м [1]. Были разработаны дополнительные защитные мероприятия, направленные на снижение пожарного риска, при реализации которых величины индивидуального риска для персонала ТЗП можно рассматривать как допустимые.

Литература

1. НПБ 111–98*. Автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности.
2. ГОСТ Р 12.3.047–98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
3. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. М.: ВНИИПО, 2006.
4. Rijnmond Public Authority. A Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area – A Pilot Study. COVO, D.Reidel Publishing Co., Dordrecht, 1982.
5. CPR 18E. Guidelines for quantitative risk assessment. ("Purple Book"). Den Haag, Committee for the Prevention of Disasters, 1999.
6. **Crossthaite P.J.**, Fitzpatrick R.D. & Hurst N.W. "Risk Assessment for the Siting of Developments near Liquefied Petroleum Gas Installations", IChemE Symposium Series No 110, 1988.
7. **Lees F.P.** "Loss Prevention in the Process Industries", 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 1996, p.16/153.
8. **Cox A.W., Lees F.P., Ang M.L.** Classification of Hazardous Locations, Institution of Chemical Engineers, Rugby, UK, 1990.
9. СНиП 23-01-99. Строительная климатология.
10. CPR 14E. Methods for the calculation of physical effects. ("Yellow Book"). Den Haag, Committee for the Prevention of Disasters. 1997.
11. CPR 16 E. Methods for the determination of possible damage. Den Haag, Committee for the prevention of Disasters, 1989.

**Общество с ограниченной ответственностью
"Гамард РСТ"**

Оборудование для автогазозаправочных станций,
баз хранения сжиженного газа

Насосы для перекачивания сжиженного газа и топлива,
поршневые компрессоры

Запорная и предохранительная арматура
для сжиженных углеводородных газов

117647, г.Москва,
ул. Профсоюзная, д 123 "а", стр.13,
тел./факс. +7 495 739 5986
E-mail: gamard@gamard.ru,
www.gamard.ru

Использование водорода в качестве моторного топлива для автомобильных двигателей внутреннего сгорания

А.С. Хачиян, профессор МАДИ (ГТУ), к.т.н.,
В.Ф. Водейко, доцент МАДИ (ГТУ), к.т.н.

В статье приведен теоретический анализ свойств водорода применительно к его использованию в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) с внешним и внутренним смесеобразованием.

Рассмотрены особенности конструкции и показатели одного из первых созданных и испытанных водородных двигателей – 12-цилиндрового двигателя фирмы «BMW». Показатели его оценены с использованием результатов теоретического анализа.

Внимание к использованию водорода в двигателях внутреннего сгорания и в других энергетических установках продолжает расти. Во-первых, вследствие огромных его запасов в природе, и, во-вторых, благодаря почти полному отсутствию в продуктах сгорания основного парникового газа – двуокиси углерода.

Для оценки перспектив эффективного использования водорода в ДВС рассмотрим свойства самого водорода

и продуктов его сгорания в сравнении с другими традиционными и альтернативными топливами (табл. 1).

Отметим наименьшую плотность, наибольшую низшую теплотворность топлива и стехиометрической смеси, наиболее широкие пределы воспламеняемости (взрывоопасности) водорода. При работе на воздухе последнее свойство водорода не представляется опасным ввиду его малой плотности, что препятствует образованию взрыво-

опасных концентраций водорода в воздухе. В то же время это свойство позволяет обеспечивать, при необходимости, качественное регулирование ДВС.

Важное значение для условий хранения водорода имеет очень низкая температура его кипения. Температура самовоспламенения водорода меньше по сравнению с метаном, хранение которого в жидком виде сопряжено с трудностями.

В табл. 2 приведен состав продуктов сгорания для тех же видов топлив.

Отметим наименьшее содержание в продуктах сгорания стехиометрических водородно-воздушных смесей трехатомных газов, что, как известно, может способствовать повышению экономичности цикла двигателя. Следует отметить, что в случае использования водорода трехатомные газы состоят из водяного пара, обладающего наибольшей теплоемкостью, что может отрицательно влиять на показатели цикла.

Таблица 1

Параметры	Дизельн. топливо	СУГ		Метан	Метанол	Этанол	Бензин	Диметил-эфир	Водород
		пропан	бутан						
Н _и , МДж/кг	42,5	46,35	45,75	50	19,5	25	44	27,6	120
ρ, кг/м ³ при t = 0°, p = 1 бар	840	502	578	0,66	790	810	750	660	0,092
Цетановое число	40-55	5	12	–	5	8	–	>55	–
Температура самовоспламенения, °С	280	504	431	650	450	420	415	235	570
Октановое число	–	111,5	95	130	111	108	92	–	90-95
I _о , кг/кг	14,4	15,8	15,6	17,4	6,5	9	14,96	9	34,8
Н _и /I _о , МДж/кг	2,95	2,93	2,93	2,87	3	2,78	2,94	3,07	3,44
Точка (пределы) кипения, °С	180-370	-42	-0,6	-162	65	78	35-190	-25	-252,8
Пределы взрывоопасности (% газа в воздухе)	0,6-6,5	2,05-11,38	1,68-10,3	5-15	5,5-26	3,5-15	1,5-5,9	3,4-18	4-76
Кажущаяся молек. масса, μ	180-200	44,097	58,124	16,0	32	46	110-120	46	2
Массовая доля углерода	0,86	0,817	0,827	0,75	0,375	0,522	0,855	0,522	0
Массовая доля водорода	0,14	0,183	0,173	0,25	0,125	0,13	0,145	0,13	1
Массовая доля кислорода	0	0	0	0	0,5	0,348	0	0,348	0

Таблица 2

Топливо	Продукт							
	CO ₂	H ₂ O	CO ₂ +H ₂ O	N ₂	Σ	CO ₂ %	H ₂ O, %	Трехатомные газы, %
Дизельное	3,19	1,134	4,324	11,256	15,45	20,65	7,35	28
Бензин	3,135	1,305	4,44	11,1519	15,96	19,04	8,16	27,8
Пропан	2,9957	1,647	4,6427	121,166	16,8	17,80	9,8	27,6
Бутан, изобутан	3,032	1,557	4,589	12,012	16,6	18,20	9,4	27,6
Метан	2,75	2,25	5	13,4	18,4	14,95	12,25	27,2
Метанол	1,375	1,125	2,5	5,02	7,52	18,30	14,9	33,2
Этанол	1,914	1,17	3,084	6,976	10,06	19	11,65	30,65
Диметилэфир	1,914	1,17	3,084	6,976	10,06	19	11,65	30,65
Водород	0	9	9	26,78	35,78	0	25,15	25,15

В табл. 3 приведены значения теоретического коэффициента молекулярного изменения при внешнем смесеобразовании для ряда моторных топлив.

При использовании водорода μ_0 имеет наибольшее значение, что должно способствовать, при прочих равных условиях, повышению давления в цилиндре в процессе горения и, как следствие, повышению работы цикла.

Приведенные выше данные подтверждают возможность работы водородного двигателя с качественным регулированием. Что же касается экономичности цикла при использовании водорода, то свойства продуктов сгорания без специальных расчетных исследова-

ний не позволяют прогнозировать, в каком направлении по сравнению, например, с бензином могут изменяться показатели цикла при использовании водорода.

Расчеты проведены по методике и программе, разработанным на кафедре «Теплотехники и автотракторных двигателей» МАДИ (ГТУ) под руководством одного из авторов [3], [4].

В табл. 4 приведены результаты расчетного анализа применительно к традиционным видам моторного топлива и водороду. В случае использования водорода варьировался коэффициент избытка воздуха. Расчеты выполнены для размерности двигателя S/D=80/89

при отсутствии наддува. Программа обеспечивала оптимизацию момента воспламенения. Коэффициент наполнения вычислялся для случаев внешнего смесеобразования по количеству и плотности смеси, а для случая внутреннего смесеобразования – по количеству и плотности воздуха.

Поэтому значения коэффициента наполнения получены достаточно близкими. Это не значит, что во всех случаях в цилиндры поступает одинаковое количество свежей смеси. При внешнем смесеобразовании поступление воздуха в случае использования водорода меньше, чем в случае бензина даже в предположении полного ис-

Таблица 3

Топливо	Бензин	Пропан	Бутан	Метан	Метанол	Этанол	Диметилэфир	Водород
μ_0 , теоретический коэффициент молекулярного изменения при внешнем смесеобразовании	1,052	1,084	1,081	1	1,14	1,105	1,105	1,21

Таблица 4

Топливо	Способ смесеобразования	α	η_v	Q_w / Q_c	P_i , МПа	η_i	P_z , МПа	T_{max} , К	T_{cp} , К	$T_{рез}$, К	Θ_0 восплам. град до ВМТ
		г тц, кг/ч									
Водород	Внешнее	1,0	0,984	0,129	1,05	0,336	7,72	3016	988	1642	-6
		11,66									
“_”	“_”	1,6	0,986	0,109	0,944	0,482	5,45	2145	788	1236	-1
		8,18									
“_”	Внутреннее	1,0	0,93	0,12	1,1468	0,306	7,55	3087	1064	1646	-1
		15,41									
“_”	“_”	1,6	0,94	0,119	0,9876	0,417	6,12	2555	866	1257	1
		9,73									
Бензин	“_”	1,0	0,945	0,118	1,226	0,382	6,23	2806	1050	1535	9
		36,4									
Дизельное топливо	“_”	1,6	0,955	0,142	0,979	0,479	7,89	2112	801	1206	9
		23,6									



парения последнего. Расчеты показали, что сокращение длительности тепловыделения с 30 до 20° ПКВ в случае использования водорода не сопровождается повышением КПД цикла. В табл. 4 результирующая по теплообмену температура заряда за цикл, от которой в значительной мере зависят потери в систему охлаждения, определялась по выражению:

$$T_{\text{рез}} = \frac{\int_H^K T \alpha_T d\varphi}{\int_H^K \alpha_T d\varphi},$$

где α_T – коэффициент теплоотдачи.

В отличие от средней за цикл температуры, результирующая температура учитывает то обстоятельство, что в период наибольших температур цикла велика интенсивность теплопереноса. Естественно, $T_{\text{рез}}$ выше при меньших избытках воздуха. Повышение $T_{\text{рез}}$ и абсолютных потерь теплоты в среду охлаждения при внутреннем смесеобразовании объясняется увеличением количества поступающего в цилиндры топлива в связи с увеличением количества поступающего воздуха при равных значениях α . Индикаторный КПД, естественно, выше при больших избытках воздуха.

Внутреннее смесеобразование при работе на водороде существенно повышает удельную работу цикла. При $\alpha=1,0$ переход на внутреннее смесеобразование обеспечивает увеличение p_i на 9,2%, что объясняется большим парциальным объемом водорода при поступлении его через впускную систему. В то же время КПД цикла снижается примерно на 9% из-за больших температур и большего влияния диссоциации.

Сравнение с показателями, полученными на бензине при внутреннем смесеобразовании и $\alpha=1$, выявляет более чем на 20% меньшую экономичность и уменьшение на 6,5% удельной работы цикла при работе на водороде.

Первое связано с заметно большими относительными потерями теплоты в среду охлаждения (на 18%) и большим влиянием диссоциации вследствие более высоких максимальных температур заряда. Оказывает влияние и превалирующее воздействие большей теплоемкости водяного пара.

Снижение среднего давления цикла меньше, чем снижение экономичности из-за большего значения теплотворной способности водородно-воздушной смеси по сравнению с бензо-воздушной (в 1,17 раза).

Наибольшая экономичность цикла была получена при использовании дизельного топлива. Так, при равных избытках воздуха ($\alpha=1,6$) КПД цикла при работе на дизельном топливе выше, чем при использовании водорода, на 8,4%, несмотря на вдвое большую длительность тепловыделения. Это связано с более благоприятным (по величине теплоемкости) составом продуктов сгорания и большей степенью сжатия.

В случае использования водорода максимальные значения температуры и давления заряда при прочих равных условиях несколько выше, что связано с меньшей принятой при расчетах длительностью тепловыделения. В реальных же условиях меньшая длительность тепловыделения объясняется высокой скоростью сгорания водородно-воздушных смесей.

Результаты проведенного анализа были использованы при оценке основных показателей работы двигателя на водороде, устанавливаемого на опытной серии автомобилей класса «люкс» фирмы «BMW».

Ввиду того, что необходимая инфраструктура для применения водородных автомобилей пока еще отсутствует, разработчики фирмы «BMW» выбрали битопливную концепцию ДВС.

Базовой моделью являлся V-образный 12-цилиндровый двигатель автомобиля «BMW» 760i с рабочим объемом 6 л, имеющий непосредственный впрыск бензина и электронную систему «Valvetronic» [1], [2].

Для предотвращения возможных детонации, калильного зажигания и обратных вспышек степень сжатия ϵ была уменьшена с 11,5 до 9,5. Изменена была также геометрия камеры сгорания. Для уплотнения газового стыка были разработаны специальные стальные прокладки. Особенности стехиометрического процесса сгорания водорода при нагрузках, близких к полной и заключающихся в более высокой скорости сгорания и интенсивной теплоотдаче, приводили, по сравнению с работой на бензине, к более высоким локальным



Рис. 1. Поршень с кольцевым каналом

термическим и механическим нагрузкам на поршень и кольца.

Для уменьшения термического напряжения поршня был предусмотрен кольцевой канал в зоне поршневых колец (рис. 1).

При подборе колец разработчики стремились уменьшить до минимума прорыв выпускных газов, чтобы исключить возможность попадания части водорода и воды внутрь блок-картера. Компрессионное кольцо толщиной 1,2 мм разработано на основе компромисса между формой, механической прочностью и жесткостью.

Конструктивно прорвавшиеся газы возвращаются обратно в камеру сгорания с помощью отсасывающего устройства. Для исключения обратных вспышек в блок-картере был предусмотрен дополнительный запорный клапан, встроенный в систему вентиляции. При работе ДВС на водороде, помимо всего, были оптимизированы качество моторного масла и параметры масляного насоса.

Подобно всем газовым двигателям, необходимо было тщательно подбирать пару – клапан и седло клапана. Для материала седел клапанов была разработана специальная износостойкая легирующая присадка. Сами клапаны были изготовлены из термостойкой легированной стали с присадками никеля и молибдена. Как впускные, так и выпускные клапаны дополнительно имели защитное покрытие.

Система смесеобразования при работе на H_2 основана на распределенной подаче H_2 по патрубкам цилиндров под некоторым давлением из расположенного рядом с ними газосборника (рис. 2). Избыточное давление возникало вследствие испарения водорода, находящегося в криогенном баке. Поэтому необходимости в насосе не было. Тем-



Рис. 2. Система питания двигателя водородом:

1 – электромагнитный клапан, регулирующий давление; 2 – трубопровод из нержавеющей стали; 3 – газосборник, расположенный на впускном коллекторе; 4 – клапаны для подачи водорода

лота, потребная для испарения, отбиралась от охлаждающей жидкости. Ее количество регулировалось изменением подачи горячей жидкости насосом с электроприводом.

Водород в газообразном состоянии проходил через электромагнитный клапан,



Рис. 3. Установка клапана для подачи водорода

пан, регулирующий давление 1, гибкий трубопровод из нержавеющей стали 2 и поступал к газосборнику 3, расположенному на впускном коллекторе. От него питались клапаны, которые подавали водород в соответствии с порядком работы по цилиндрам, смешивая его с воздушным зарядом (рис. 3). Давление в газосборнике регулировалось по датчикам давления и температуры.

Водород, вследствие своих молекулярных особенностей, требует максимальной плотности всей топливной системы. Все резьбовые соединения, уплотнения, имеющиеся в конструкции, были выполнены с учетом этого требования. Возможные протечки определялись благодаря установке сенсора, реагирующего на присутствие водорода.

Система зажигания с распределителем зажигания была заимствована у бензинового двигателя. Были применены также свечи гоночного двига-

теля и многоискровое зажигание. По калильному числу были выбраны свечи с меньшим, чем у бензинового двигателя, калильным числом.

Ввиду повышенного содержания воды в прорывающихся через неплотности картерных газах были приняты специальные меры по управлению надежностью двигателя. В частности, применена надежная система фильтрации масла, которая обеспечивала нормальные трибологические условия работы двигателя. В систему охлаждения двигателя был включен теплообменник для водорода, связанный с баком-хранилищем H_2 (рис. 4). Этот добавочный круг циркуляции являлся самостоятельной системой и использовал тепловую энергию двигателя для

создания давления H_2 . Терморегулятор поддерживал температуру в системе в пределах $50^\circ C$. Управление дополнительным водяным насосом в малом циркуляционном круге обеспечивало потребность в теплоте.

Максимальные значения крутящего момента и мощности при самых низких значениях вредных выбросов были достигнуты при стехиометрических условиях сгорания водорода.

При значении α близком к 1 энергия искрообразования и необходимость изменения опережения зажигания уменьшались, а скорость сгорания, градиент повышения давления при сгорании оказывался выше по сравнению с бензиновым двигателем.

Для получения оптимальных условий сгорания необходимый угол опережения зажигания составляет около 1° ПКВ до ВМТ. При этих условиях 12-цилиндровый водородный двигатель развивает мощность 191,2 кВт и наибольший крутящий момент 390 Н·м (рис. 5).

При работе на водороде не образуются первичных выбросов CO_2 , CO и CH . К сожалению, из-за расхода масла на угар появлялось незначительное количество продуктов CH , однако, они окислялись в трехкомпонентном нейтрализаторе, и концентрация вредных выбросов с отработавшими газами была настолько мала, что ею можно пренебречь.

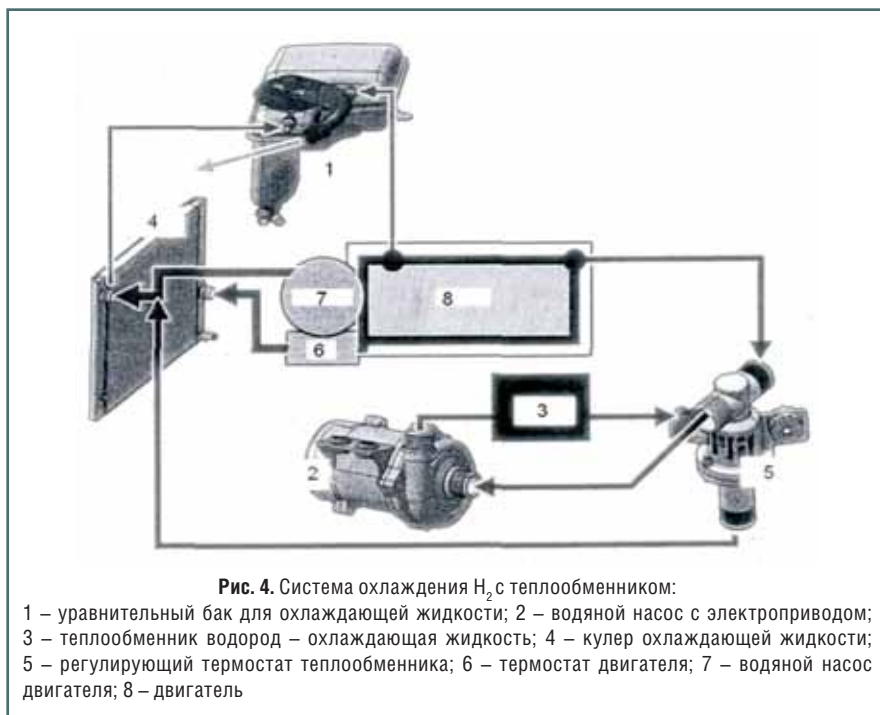
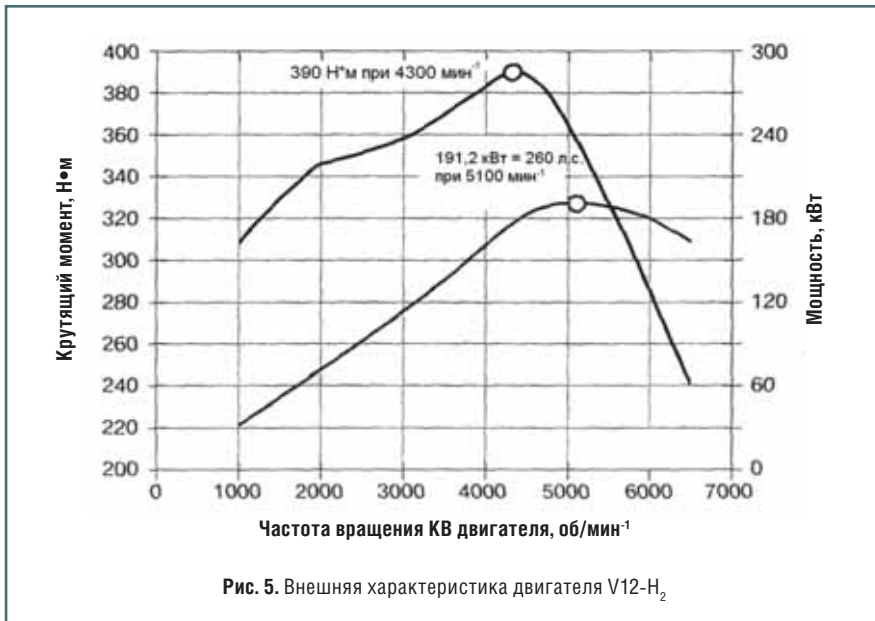


Рис. 4. Система охлаждения H_2 с теплообменником:

1 – уравнильный бак для охлаждающей жидкости; 2 – водяной насос с электроприводом; 3 – теплообменник водород – охлаждающая жидкость; 4 – кулер охлаждающей жидкости; 5 – регулирующий термостат теплообменника; 6 – термостат двигателя; 7 – водяной насос двигателя; 8 – двигатель



Единственно возможным вредным выбросом в водородном двигателе является NO, образованию которого способствует высокая температура процесса, особенно при использовании стехиометрической смеси.

Ввиду того, что водородные двигатели могут работать на гомогенных смесях в широких пределах изменения α , благодаря более широким границам воспламенения водородно-воздушных смесей (от 4 до 76% по воздуху), открывается возможность новых путей уменьшения NO_x без применения наддува. На режимах с высокими коэффициентами избытка воздуха ($\alpha > 1,8$) рабочие температуры низки, и поэтому достигаются малые выбросы NO_x.

На режиме максимальной мощности, при составе смеси, слегка отличающемся от стехиометрического, количество окислов азота с незначительным избытком водорода (около 1%) может быть обеспечено применением трехкомпонентного нейтрализатора. Вследствие высокой реакционной способности водорода достигается очень низкая остаточная концентрация NO после нейтрализатора. В нейтрализаторе, кроме восстановления оксидов азота, обеспечивалось окисление избыточного водорода и углеводородов, проникающих в камеру сгорания с маслом.

При высоких нагрузках двигатель работал при слегка обогащенной смеси. Происходило количественное регулирование за счет изменения подъема впускных клапанов. При малых нагруз-

ках двигатель работал с $\alpha > 1,8$. На этих режимах достижение минимальных выбросов NO не требует применения нейтрализатора.

Система управления обеспечивала переход с одного топлива на другое, плавное изменение восприятия нагрузки, стабильную работу двигателя на всех режимах, предотвращение детонации и защиту нейтрализатора. Эта же система обеспечивала в целом безопасную работу автомобиля на водороде.

Свыше $\alpha = 4$ работа двигателя на водороде оказалась невозможной из-за пропусков вспышек. Для того, чтобы достичь оптимальных значений расходов при работе на бедных смесях, необходима была комбинация качественного и количественного регулирования, начиная с некоторого значения коэффициента избытка воздуха.

Пробег автомобиля с водородным двигателем составил 200 км. Был зафиксирован разгон автомобиля с автоматической шестиступенчатой коробкой скоростей от 0 до 100 км/ч за 9,5 с. Максимальная скорость 230 км/ч была ограничена блоком управления.

Расход топлива при работе автомобиля на водороде составил 3,6 кг/100 км, что эквивалентно в бензиновом варианте расходу 13 л/100 км. Это несколько ниже по сравнению с бензиновым приводом (13,9 л/100 км).

Проведенные расчетные исследования позволили более глубоко и адекватно оценить результаты испытаний работы ДВС на водороде.

Так, в работах по двигателю BMW 760i утверждается, что эксплуатационная экономичность автомобиля несколько выше при использовании водорода. Расчеты в то же время показали, что при равных значениях α и одинаковом способе смесеобразования КПД цикла выше на бензине. Поэтому уместно предположить, что несколько лучшая экономичность автомобиля связана в основном с применением в определенных диапазонах избытков воздуха качественного регулирования.

Кроме того, из расчетов следует, что на автомобиле не была достигнута предельно возможная удельная эффективная работа. Для рассматриваемой размерности и оборотности среднее давление механических потерь, согласно накопленному опыту, не может превышать 0,2 МПа. Поэтому на номинальном режиме при четырехклапанном газораспределении среднее эффективное давление может достигать 0,85 МПа. Была же получена существенно меньшая цифра – 0,75 МПа. Это свидетельствует о недостаточной доведенности рабочего процесса двигателя и его систем.

Тем не менее, описанный опыт в целом свидетельствует о принципиальной возможности использования водорода в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания. В то же время следует при этом иметь в виду ряд трудностей, которые должны преодолеваются создателями водородных ДВС.

Литература

1. **Kiesgen G., Klütting M., Bock C., Fischer H.** Новый 12-цилиндровый водородный двигатель. Начался век применения водорода в ДВС. Журнал SAE, март 2006.
2. **Enke W., Gruber M., Hecht L., Staar B.** Двухтопливный V-образный 12-цилиндровый двигатель на водороде легкового автомобиля БМВ. Журнал MTZ 061, 2007. С. 446-453.
3. **Хачиян А.С., Синявский В.В.** Расчет и анализ действительного цикла дизеля. – М., МАДИ (ГТУ), 2004.
4. **Хачиян А.С., Синявский В.В.** Расчет цикла четырехтактного газового двигателя. – М., МАДИ (ГТУ), 2001.

Получение водорода электролизом воды: современное состояние, проблемы и перспективы

С.А. Григорьев,

начальник лаборатории ФГУ РНЦ «Курчатовский институт», к.т.н.,

В.И. Порембский,

начальник отдела ФГУ РНЦ «Курчатовский институт»,

В.Н. Фатеев,

директор института водородной энергетики ФГУ РНЦ «Курчатовский институт», профессор, д.х.н.,

Р.О. Самсонов,

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

С.И. Козлов,

зам. генерального директора ООО «ВНИИГАЗ», д.т.н.

В 80-х гг. прошлого века мировой нефтяной кризис дал мощный импульс развитию научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области поиска альтернативных топлив, прежде всего для транспортных двигателей. Одним из таких экологически чистых топлив, которое может применяться в качестве горючего благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, является водород. Настоящая статья посвящена анализу современного состояния и перспективам получения водорода электролизом воды.

Общие сведения о процессе электролиза воды

Электролиз воды был впервые проведен в 1800 г. английским ученым Вильямом Николсоном, а месяцем позже немецкий ученый Иоганн Риттер повторил эти опыты, причем Риттеру впервые удалось собрать выделяющиеся водород и кислород по отдельности. Но только через сто лет электролиз становится одним из первых промышленных методов получения водорода.

В 1927 г. норвежская компания «Norsk Hydro Electrolysers» изготовила первый промышленный образец водно-щелочного электролизера для завода по производству аммиака. В Норвегии же были построены два крупнейших электролизных завода с 300 электролизерами, производящие более 60 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ водорода [1].

В 1833-1834 гг. английский ученый Майкл Фарадей открыл количественные законы электролиза, устанавливающие связь между количеством прошедшего через электролит электричества q , массой m и химической природой веществ, участвующих в процессе:

$$m = k_3 q,$$

где $k_3 = \frac{M}{nF}$ [кг/Кл = кг/(А×с)] – электрохимический эквивалент;

M [кг/моль] – молярная масса вещества, выделившегося на электроде; n – число электронов, участвующих в электрохимической реакции; $F = 96485,3$ Кл/моль – постоянная Фарадея.

Зная величину тока I и время его протекания t , можно рассчитать теоретическое (максимальное) количество полученного водорода (или кислорода) при электролизе воды:

$$V_{\text{теор}} = \frac{k_3 I t}{\rho},$$

где $V_{\text{теор}}$ – теоретический объем выделившегося газа, м^3 ; I – сила тока, А; t – время, с; ρ – плотность газа, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Важной характеристикой электролизера является выход по току, который характеризует эффективность преобразования электрической энергии в химическую и представляет собой отношение реально произведенного объема газа к теоретическому, которое должно было бы выделяться в соответствии с законами Фарадея:

$$\eta_T = \frac{V_{\text{реальн.}}}{V_{\text{теор.}}},$$

где $V_{\text{реальн.}}$ – количество газа, выделившегося в процессе электролиза (производительность электролизера), м^3 .

Причиной отклонения от теоретических значений являются расход электроэнергии на электролиз примесей, обратная реакция образования воды из водорода и кислорода и т.п.

С точки зрения термодинамики максимальный (то есть при 100%-ном выходе по току) КПД электролизера – это отношение теплоты сгорания произведенного водорода к изменению энергии Гиббса в процессе электролиза (электрической энергии, необходимой для электролиза):

$$\eta_{\text{ТД}} = \frac{\Delta H}{\Delta G} = \frac{E_{\text{ТН}}}{E},$$

где $E_{\text{ТН}}$ – термонеutralное напряжение; E – равновесное напряжение электролизной ячейки (противоЭДС), равное $\frac{\Delta G}{n \cdot F}$ для реакции $2\text{H}_2\text{O} = \text{O}_2 + 2\text{H}_2$.

Термонеutralным напряжением называется напряжение, необходимое для электрохимического разложения воды при постоянной температуре без теплообмена с внешней средой:

$$E_{\text{ТН}} = \frac{\Delta H}{nF}.$$

Таким образом, при термонеutralном напряжении ($\approx 1,48$ В при температуре ниже 100°C) разложение воды происходит только за счет подводимой электрической энергии, без выделения или поглощения теплоты. При напряжениях выше термонеutralного процесс электролиза является экзотермическим, то есть идет с выделением теплоты. Значение E (ЭДС), как и изменение энергии Гиббса, зависит от температуры, парциальных давлений реагентов и/или активности (концентрации) воды, а также ряда менее существенных факторов. Для электролиза воды:

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{P_{\text{O}_2}^{1/2} P_{\text{H}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}},$$

где E^0 – стандартное значение равновесной разности потенциалов (равное 1,229 В при 25°C , если вода находится в жидкой фазе), зависящее от темпе-

ратуры; $R = 8,31$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная; T – температура; P_{O_2} , P_{H_2} и P_{H_2O} – парциальные давления продуктов реакции и реагента (если вода находится в жидкой фазе, то ее активность принимается за 1).

При обратимом протекании химической реакции в изотермических условиях:

$$\Delta G_T^\circ = \Delta H_T^\circ - T\Delta S_T^\circ \text{ и } \Delta G_T^\circ = nFE^\circ.$$

При нормальных условиях для электролиза воды в жидкой фазе $\Delta G^\circ = 237,23$ кДж/моль (2,94 кВт·ч/м³ водорода); $\Delta H^\circ = 285,83$ кДж/моль (3,54 кВт·ч/м³ водорода); $\Delta S^\circ = 163,09$ кДж/моль; если используются пары воды, то учет изменения энергии при испарении дает $\Delta G^\circ = 228,61$ кДж/моль (2,84 кВт·ч/м³ водорода),

$\Delta H^\circ = 241,81$ кДж/моль (или 3,00 кВт·ч/м³ водорода) и $\Delta S^\circ = 44,32$ кДж/моль.

Энтальпия процесса разложения воды мало зависит от температуры, а положительное значение изменения энтропии ведет к уменьшению энергии Гиббса и уменьшению ЭДС, то есть термодинамический КПД растет с температурой (таблица и рис. 1).

Равновесные термодинамические процессы протекают с бесконечно малыми скоростями, то есть при напряжении на электролизной ячейке, равной E , практическое производство водорода невозможно. Для проведения процесса электролиза с заметной скоростью требуется соответствующее смещение потенциалов электродов от равновесия, и

напряжение на ячейке растет по сравнению с величиной E : увеличивается на перенапряжение катодной (выделение водорода) (η_k) и анодной (выделение кислорода) (η_a) реакций. Кроме того, в системе возникают омические (IR) потери, связанные с сопротивлением электролита и электронных проводников при прохождении тока. В связи с этим напряжение на ячейке электролизера (U) отличается от равновесного значения (E):

$$U = E + \eta_k + \eta_a + IR.$$

Значения η_k и η_a в первом приближении связаны с плотностью тока уравнением Тафеля:

$$\eta = a + b \cdot \ln i,$$

$$\text{где } a = -\frac{RT}{\alpha \cdot n \cdot F} \ln i_0 \text{ и } b = 2,303 \frac{RT}{\alpha \cdot n \cdot F},$$

где α – коэффициент переноса, приблизительно равный 0,5.

Таким образом, увеличение температуры электролиза ведет к увеличению КПД за счет уменьшения E и η , а также снижению сопротивления электролита.

Отсюда:

$U = E + IR + (a_a + b_a \cdot \ln i) + (a_k + b_k \cdot \ln i)$, то есть отличие U от E растет с плотностью тока (рис. 1).

Реальный КПД электролиза (с учетом выхода по току) равен $\eta_r \frac{U}{E_{TH}}$.

Так как для электролиза воды требуется постоянный ток, то значение КПД должно также учитывать КПД выпрямителя.

В качестве характеристики электролизера воды на практике используется величина удельных затрат электроэнергии (W) на производство 1 м³ водорода при нормальных условиях (выход по энергии) с размерностью кВт·ч/м³. Удельные энергозатраты определяются уравнением:

$$W = \frac{I U t}{V_{\text{реальн.}}}$$

где I – сила тока, А; U – напряжение электролизера, В; t – время, ч; $V_{\text{реальн.}}$ – объем произведенного газа, м³.

Для корректного сравнения эффективности различных электролизеров (батарей электролизных ячеек) в значение удельных энергозатрат (как и в КПД) не включают затраты на работу вспомогательных систем, водоподготовку и т.п.

Равновесные разности потенциалов (противоЭДС) и термодинамический КПД реакции электролиза воды при различных температурах и атмосферном давлении

t, °C	25	90	800	1000
E, В	1,229	1,176	0,978	0,920
η_{TH}	1,205	1,251	1,316	1,407

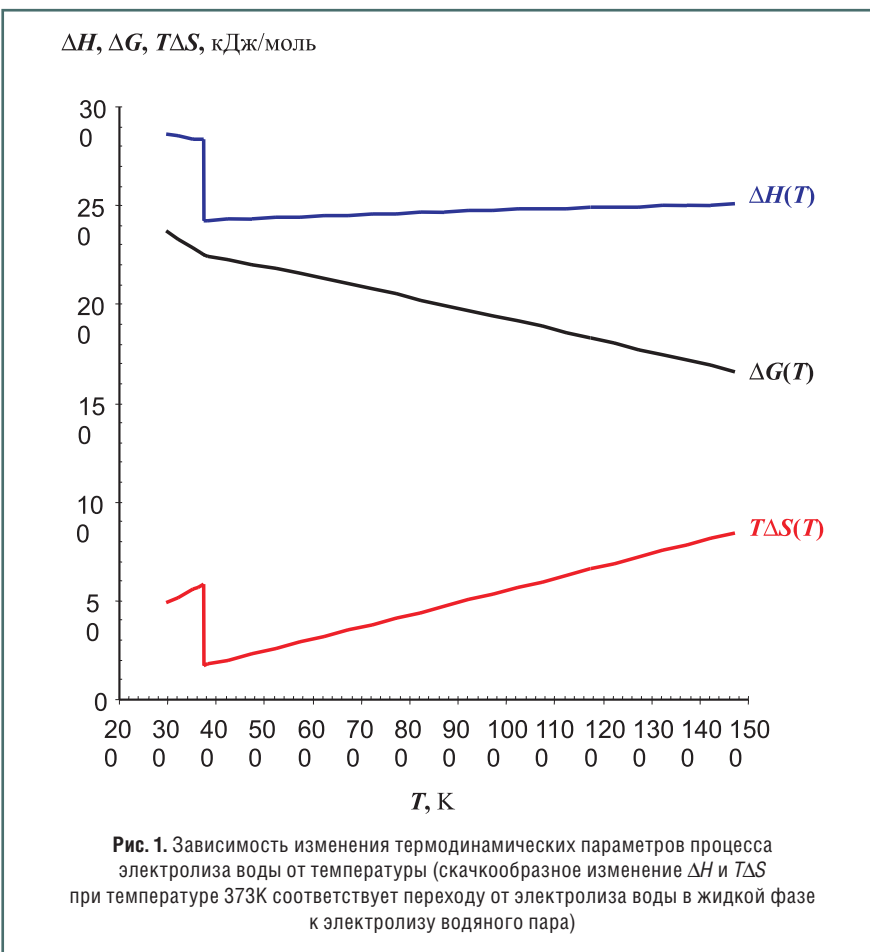


Рис. 1. Зависимость изменения термодинамических параметров процесса электролиза воды от температуры (скачкообразное изменение ΔH и $T\Delta S$ при температуре 373К соответствует переходу от электролиза воды в жидкой фазе к электролизу водяного пара)

Основные виды электролизеров

Среди различных типов электролизеров наибольшее распространение получили водно-щелочные электролизеры, электролизеры с твердым полимерным электролитом (ТПЭ) и твердооксидные электролизеры, основные характеристики которых представлены на рис. 2.

Как следует из данных рис. 2, КПД электролизера может достигать 1, а плотности тока – 1 А/см² и более, что для электрохимических систем весьма велико.

Принципиальная схема электролизной установки показана на рис. 3 на примере электролизера с ТПЭ [2].

Электролизные установки оснащены насосами для циркуляции воды/электролита, что обеспечивает охлаждение электролизной батареи, так как процесс электролиза (как и в случае водно-щелочных электролизеров) идет при напряжениях выше $E_{тн}$. В случае высокотемпературных электролизеров в состав установки входит также испаритель воды.

Особенности основных типов электролизеров рассмотрены ниже.

Водно-щелочные электролизеры

До настоящего времени основным процессом получения водорода разложением воды является водно-щелочной электролиз (рис. 4). Существенным моментом в развитии этой технологии явилось создание заводов по обогащению тяжелой воды. Первые заводы для этой цели были построены в Норвегии.

В качестве электролита в водно-щелочном электролизере применяются водные растворы КОН или NaOH. Концентрация электролита в растворе, как правило, до 40%_{масс}, чтобы обеспечить максимум электропроводности при рабочих температурах до 90°C. Удельная электропроводность раствора КОН составляет $54,34 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ при 25°C [3].

В качестве электродов используются стальные сетки, покрытые иногда слоем пористого никеля, получаемого выщелачиванием цинка из сплава Ni-Zn (никель Ренея). Пористую диафрагму, разделяющую катодное и

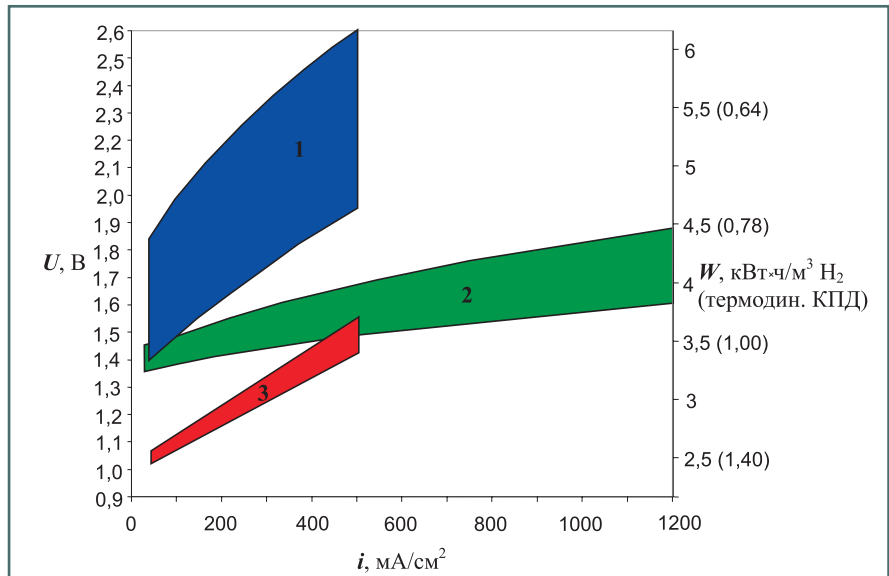


Рис. 2. Зависимость напряжения на ячейке (U), удельных энергозатрат (W) и термодинамического КПД от плотности тока для электролизеров различных типов: 1 – промышленные щелочные электролизеры (70-95°C); 2 – электролизеры с ТПЭ (90-110°C; 0-3,0 МПа); 3 – высокотемпературные твердооксидные электролизеры (900°C) с дополнительным подводом тепловой энергии

анодное пространства, изготавливают, как правило, из асбеста. Следует отметить, что наличие пористой диафрагмы создает определенные проблемы с безопасной эксплуатацией электролизеров, особенно при повышенных давлениях, за счет возмож-

ного смешения получаемых газов, а также снижает их чистоту.

Достоинством данного типа электролизеров является относительно низкая стоимость материалов для электродов, диафрагм, отработанная технология их производства и эксплу-

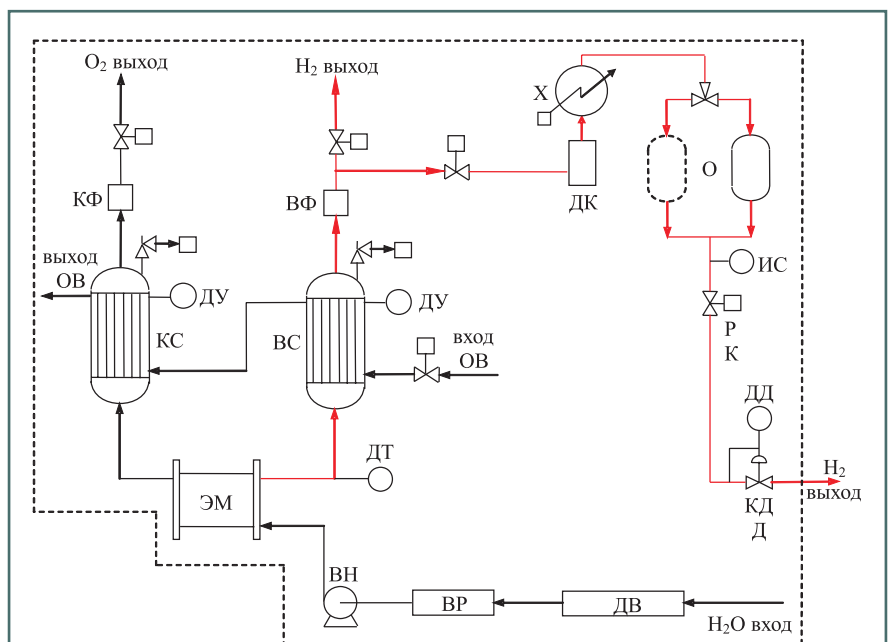


Рис. 3. Схема электролизной установки на основе электролизера с ТПЭ: ЭМ – электролизный модуль; ОВ – охлаждающая вода; КФ – кислородный фильтр; КС – кислородный сепаратор; ДУ – датчик уровня; ВС – водородный сепаратор; ВФ – водородный фильтр; ВН – водяной насос; ВР – водяной резервуар; ДВ – дистиллятор воды (ионообменный фильтр); ДТ – датчик температуры; КДД – клапан датчика давления; РК – регулирующий клапан; Х – холодильник; ДК – дожигатель кислорода; О – осушитель водорода; ИС – индикатор состава; ДД – датчик давления

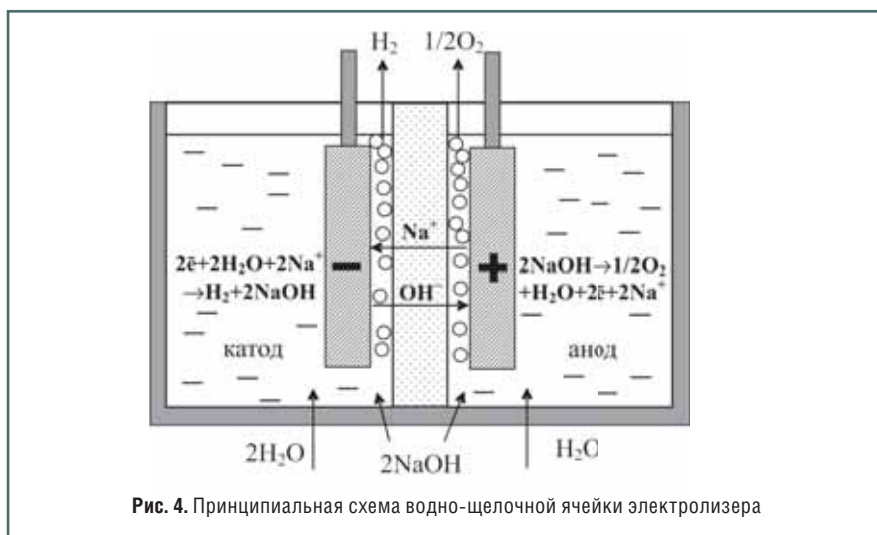


Рис. 4. Принципиальная схема водно-щелочной ячейки электролизера

атации. Однако качество водорода (и кислорода) без дополнительной очистки достаточно низкое – получаемый водород содержит примеси кислорода, водяного пара со щелочью и т.п. Выше уже упоминалась проблема безопасности при работе под давлением. Разработанные композиционные пористые диафрагмы на основе полимерных материалов не снимают этих проблем.

Водно-щелочные электролизеры работают при плотностях тока 0,2-0,3 А/см² и требуют энергозатрат для производства водорода от 4,1 до 4,5 кВт·ч/нм³, причем с ростом удельной производительности (плотности тока) быстро увеличиваются и удельные энергозатраты. Рост энергозатрат связан с экранированием поверхности электродов и увеличением омических потерь в верхней части электролизных ячеек за счет выделяющихся газовых пузырьков (рис. 4).

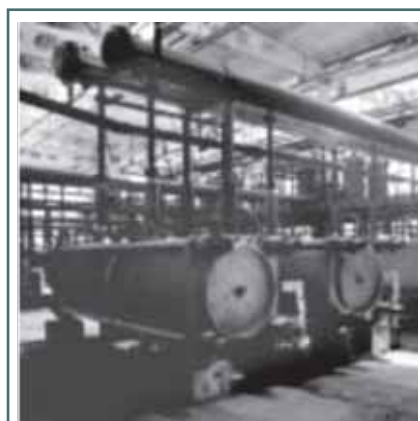


Рис. 5. Электролизная установка производства ОАО «Уралхиммаш»

Водно-щелочные электролизеры промышленно производятся компаниями «Norsk Hydro Electrolysers AS» [1], «Hydrogenics Corporation» [3], в состав которой входит канадская компания «Stuart Energy Systems Corp.», и др.

В России водно-щелочные электролизеры производятся предприятием «Уралхиммаш» (рис. 5). Электролизеры с асбестовыми диафрагмами, производительностью по водороду от 4 до 250 нм³/ч, работают при давлении до 1,0 МПа, а электролизная установка ФВ-500, с производительностью по водороду до 500 нм³/ч, работает при атмосферном давлении. Безасбестовые электролизеры в России пока не созданы.

Масса и габариты водно-щелочных электролизеров достаточно велики. Например, масса отечественной установки СЭУ-3М-10 (производительность 8 м³/ч при давлении 1,0 МПа) составляет 3032 кг, а габаритные размеры

2050x915x1080 мм. Аналогичные параметры зарубежных установок примерно на 10% меньше.

Электролизеры воды с твердополимерным электролитом

Электролиз воды в аппаратах с ТПЭ рассматривается как наиболее безопасная и эффективная технология производства водорода [5].

Разработка электролизеров с ТПЭ (рис. 6) исторически связана с созданием фирмой «DuPont» перфторированной ионообменной мембраны марки «Nafion» [6]. Первые электролизеры с ТПЭ были созданы в 1966 г. компанией «General Electric» [7]. Эти изделия первоначально предназначались для специальных целей (космические корабли, подводные лодки, производство полупроводников, оборудование для газовой хроматографии и т.п.).

Ионообменная мембрана, используемая в электролизерах с ТПЭ, представляет собой перфторированный полимер с функциональными сульфогруппами (рис. 7).

Мембрана представляет собой эластичную прозрачную пленку толщиной от нескольких десятков до нескольких сотен микрон с ровной поверхностью. Мембрана обладает высокой химической и электрохимической стабильностью, что обеспечивает ресурс в десятки тысяч часов. При контакте с водой мембрана набухает и происходит диссоциация ионогенных групп, в результате чего ионы водорода получают возможность перемещаться в объеме полимера от одного электрода к другому по системе фиксированных

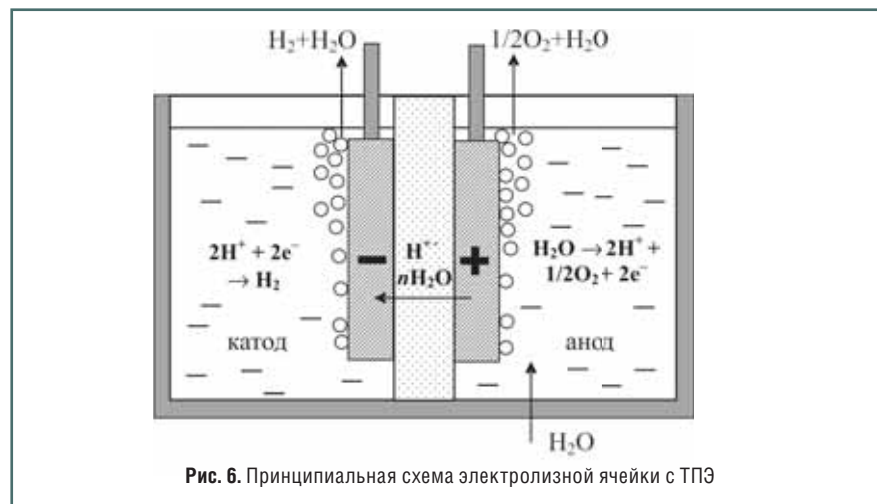


Рис. 6. Принципиальная схема электролизной ячейки с ТПЭ

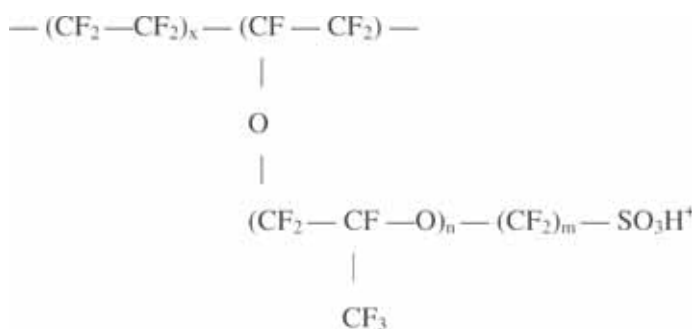


Рис. 7. Структурная формула мембраны марки «Nafion» фирмы «DuPont de Nemours»

сульфогрупп. Гидратированная мембрана по кислотным свойствам эквивалентна 10%-ной серной кислоте.

Удельное сопротивление мембраны существенно выше сопротивления водных растворов щелочей (11-12 Ом/см при 20°C и 5-6 Ом/см при 80-90°C [8]), и для снижения омических потерь при электролизе целесообразно использовать мембрану толщиной 100-300 мкм (меньшая толщина нежелательна из-за роста скорости переноса газов через мембрану).

Достоинства электролизеров с ТПЭ обусловлены следующими факторами:

- мембрана малопроницаема для газов, что увеличивает надежность работы при повышенном давлении, чистоту газов и безопасность;
- отсутствие зазора между мембраной и электродами снижает омические потери и повышает общую эффективность, так как отсутствует экранирование электродов пузырьками газа;
- применение высокодисперсных электрокатализаторов обеспечивает высокую удельную производительность и низкое перенапряжение;
- использование деионизированной воды в качестве реагента обеспечивает высокую чистоту газов и экологичность в целом [9, 10].

Указанные свойства обеспечивают высокую плотность тока (до 3 А/см²), низкое энергопотребление (до 3,6-3,9 кВт·ч/м³ при 1 А/см²), степень чистоты водорода (более 99,99%). Возможность получения водорода под высоким давлением (до 3,0 МПа и более) [8] непосредственно в электролизере позволяет исключить первую ступень компримирования при хранении водорода под давлением и упрощает его очистку от паров воды.

В электролизерах воды с ТПЭ применяются электрокатализаторы на основе металлов платиновой группы. К сожалению, обладающий максимальной каталитической активностью Ru неустойчив при анодной поляризации в кислых средах, и в настоящее время лучшими анодными катализаторами являются Ir, его оксид и смешанные оксидные композиции, такие как Ru_xIr_ySn_{1-x-y}O₂ и Ru_xTi_ySn_{1-x-y}O₂ с расходом катализатора порядка 2,0 мг/см². На катоде могут быть использованы Pt или Pd, в том числе на углеродном носителе [11]. Pt также может использоваться в качестве анодного электрокатализатора, однако, в этом случае напряжение ячейки будет на 100-200 мВ выше.

В качестве материала для коллекторов тока электролизеров используется пористый титан (пористость около 30%) толщиной 600-1000 мкм. Следует отметить, что для защиты коллекторов тока от окисления также используются металлы платиновой группы (например, наносится пленка Pt с расходом до 1 мг/см²).

Основными производителями промышленных электролизеров воды с ТПЭ за рубежом являются компании «Hamilton Sundstrand», «Distributed Energy Systems» (в последнюю компанию входит «Proton Energy Systems»), «Norsk Hydro Electrolysers AS» (Норвегия) [1]. Этими компаниями созданы электролизеры, работающие под давлением до 2,8 МПа, производительностью до 26 м³/ч с возможной комбинацией электролизеров в установке производительностью 260 м³/ч.

Возможность дальнейшего прогресса в области создания электролизеров с ТПЭ продемонстрирована в рамках Японской программы «WE-

NET» [12] – создана электролизная ячейка с площадью 2500 см², рабочим напряжением 1,556 В при 80°C и плотности тока 1 А/см² с эффективностью преобразования энергии 95,1%, что объясняется близостью напряжения электролиза к термонеutralному потенциалу (1,48 В).

Исследования по дальнейшему совершенствованию электролизных ячеек с ТПЭ направлены на создание новых газоплотных мембран, высокоэффективных наноструктурных электрокатализаторов (в том числе неплатиновых) и бипористых коллекторов тока для повышения эффективности процессов массопереноса.

В России наибольших успехов в исследовании процессов электролиза и создании электролизеров с ТПЭ достигли ФГУ РНЦ «Курчатовский институт» и ФГУП «Красная Звезда», где разработаны электролизные установки с ТПЭ производительностью от нескольких миллилитров до нескольких м³ водорода в час. Организовано мелкосерийное производство некоторых типов электролизеров различного назначения [12].

Основные характеристики отечественных электролизных установок с ТПЭ соответствуют лучшим зарубежным аналогам: энергозатраты 4,0-4,3 кВт·ч/м³ водорода, t=80-90°C (напряжение на ячейке U = 1,68-1,74 В), чистота водорода > 99,98% (без дополнительной очистки), рабочее давление до 3,0 МПа, ресурс работы до 10 тыс. ч.

В настоящее время достигнутый уровень производительности единичного электролизного модуля с ТПЭ (до 26 м³/ч) уступает уровню водно-щелочных электролизеров, что во многом связано с более высокой удельной ценой на единицу производительности установки. Сегодня электролизеры с ТПЭ на 30-40% дороже водно-щелочных. Это обусловлено высокой стоимостью мембраны (около 200 долл. США на 1 м³ водорода/ч при 1 А/см²), электрокатализаторов с драгоценными металлами (Pt, Ir, Ru) и необходимостью применения в качестве конструкционного материала дорогого титана.

Высокотемпературные твердооксидные электролизеры

Твердооксидные электролизеры (рис. 8) служат для производства во-

дорода и кислорода из водяного пара при температуре 800-1000°C. В качестве электролита, так же как и в твердооксидных топливных элементах, используется диоксид циркония (ZrO_2), стабилизированный оксидами иттрия и скандия.

Ионная проводимость в диоксиде циркония достигается путем переноса отрицательных ионов кислорода по дефектам кристаллической структуры керамического электролита. Удельное сопротивление твердого электролита относительно велико по сравнению с сопротивлением растворов щелочей и ионообменных мембран и составляет около 30 Ом/см даже при 900-1000°C [13], что требует уменьшения толщины электролита до 30-50 мкм. На обе поверхности керамического электролита наносятся электроды. Ячейка имеет или плоскую (аналогичную ячейкам электролизеров других типов), или трубчатую конфигурацию. Следует отметить, что высокие температуры позволяют существенно снизить требования к каталитической активности электродных материалов и исключить применение металлов платиновой группы.

В качестве материала водородного электрода используется металлокерамический сплав на основе Ni и Zr. Материал кислородного электрода – платина или легированный стронцием манганит лантана [14]. Однако полностью исключить применение благородных металлов затруднительно, и на данном этапе развития они используются для организации электрического контакта между ячейками.

Уникальная способность высокотемпературного твердооксидного электролизера одновременно разлагать водяной пар и углекислый газ позволяет создать эффективную систему жизнеобеспечения, например, на космических или подводных объектах.

Равновесная разность потенциалов разложения воды в твердооксидных электролизерах при 900-1000°C составляет менее 1 В (табл. 1), и процесс электролиза с достаточной производительностью может протекать уже при 1,2-1,3 В, что соответствует затратам электроэнергии 2,8-3,0 кВт·ч/м³ водорода. Однако при этом для поддержания рабочей температуры необходимо подводить около 0,4-0,5 кВт·ч на 1 м³ водорода энергии в виде теплоты в рабочую зону электролизера и к испарителю. В связи с этим преимущества твердооксидных электролизеров становятся очевидными, если они используют источники отходящей высокопотенциальной теплоты, например, теплоту ядерных реакторов или концентрированную солнечную энергию.

Высокие рабочие температуры и использование тонкостенных керамических пленок твердого электролита создают определенные технологические проблемы с конструктивными материалами и конструкцией в целом. Весьма перспективным направлением является создание твердых электролитов и электролизеров на их основе, рассчитанных на более низкие температуры – 500-700°C. Однако разработанные материалы твердых электролитов на

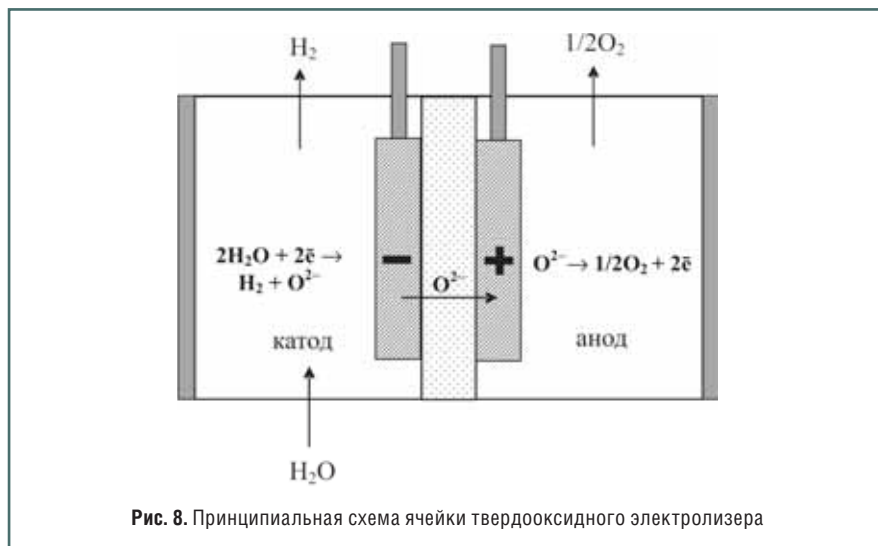
эти температуры, например, Bi_2O_3 , пока не соответствуют требованиям практики (высокие удельные сопротивления, недостаточная стабильность, наличие смешанной электронно-ионной проводимости, снижающей выход по току, и т.п.).

Таким образом, высокотемпературные твердооксидные электролизеры являются привлекательными с точки зрения термодинамики (равновесная разность потенциалов электролиза составляет менее 1 В при 900°C) и кинетики (низкое перенапряжение, низкий уровень диффузионных ограничений). Твердооксидные электролизные ячейки не требуют благородных металлов для электрокатализаторов и менее чувствительны к чистоте воды.

Однако сложность решения технологических проблем для высоких рабочих температур обуславливает достаточно медленное развитие твердооксидных электролизеров с керамическим электролитом, несмотря на то, что над решением этих проблем работают такие исследовательские центры как «Siemens-Westinghouse» (США–Германия), Институт высокотемпературной электрохимии РАН (г. Екатеринбург), ФГУ РНЦ «Курчатовский институт» (г. Москва), ГНЦ «Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского» (г. Обнинск) и др.

Высокотемпературные электролизеры имеют еще один недостаток – достаточно длительное время пуска и останова из-за ограничений на градиент температуры при разогреве (остывании) рабочей зоны, определяемых различием коэффициентов термического расширения элементов конструкции. Поэтому использование таких аппаратов при периодическом режиме работы (транспорт, возобновляемая энергетика) нецелесообразно.

Этот недостаток исчезает при использовании высокотемпературных электролизеров для утилизации «даровой» теплоты высокотемпературных ядерных реакторов. Таким образом, коммерциализация технологии получения водорода в электролизерах с твердооксидными электролитами задача отдаленного будущего.



Потребность и использование электролитического водорода

В России современные потребности промышленности в водороде [15] составляют:

- электронная промышленность – 10000-15000 м³/ч (потребная производительность электролизеров 10-40 м³/ч);

- металлургия – около 8000 м³/ч водорода (потребная производительность электролизеров более 100 м³/ч);

- стекольная промышленность – около 5000 м³/ч водорода (потребная производительность электролизеров 10-40 м³/ч);

- пищевая промышленность – около 2000 м³/ч (потребная производительность электролизеров 10-100 м³/ч, и намечается рост потребления водорода в основном для гидрогенизации жира);

- энергетика (использование водорода на электростанциях для охлаждения) – около 1000 м³/ч (потребная производительность электролизеров 10-20 м³/ч).

Однако в России электролитные технологии для промышленного производства водорода практически не используются. В настоящее время электролизеры применяются лишь при производстве тяжелой воды, кислорода и перекиси водорода, разделении изотопов водорода и т.п.

По экспертным оценкам с развитием водородной энергетики и, в первую очередь, транспортных силовых установок, работающих на водороде (или с добавкой водорода к основному топливу), потребность в водороде будет постоянно возрастать.

Зарубежные компании интенсивно проводят разработки пилотных образцов водородных заправочных станций. Например, компанией «Hydrogenics Corporation» созданы и введены в эксплуатацию станции для заправки автотранспорта сжатым до 40,0 МПа водородом [2].

При создании демонстрационно-экспериментального парка водородного автотранспорта потребуются электролитные установки производительностью 10-100 м³/ч. Для дальнейшего развития инфраструктуры заправки водородом необходимо создание промышленных электролитных установок с производительностью 100-1000 м³/ч.

К сожалению, в России работы по решению технических, технологических и организационных проблем, связанных с развитием водородной инфраструктуры (в частности, водородных заправочных станций), целенаправленно практически не проводятся.

Экономические аспекты получения водорода электролизом

Несмотря на высокий КПД процесса электролиза стоимость водорода, получаемого этим методом, относительно высока, так как для получения водорода необходима электрическая энергия, КПД производства которой не превышает 50%. Это увеличивает стоимость электролитного водорода, и, как следствие, доля электролитного водорода в общем объеме его промышленного производства составляет лишь 4%. Основным сырьем промышленного производства водорода в настоящее время служит природный газ – 48%, нефть – 30%, уголь – 18% [16].

Цена электролитного водорода зависит от величины капитальных и эксплуатационных затрат. Соотношение этих затрат, в свою очередь, определяется в основном сроком службы, загрузкой в течение года и удельной производительностью электролитной установки. Срок службы водно-щелочных и твердополимерных электролизеров до капитального ремонта ~ 5 лет. При загрузке электролизера ~ 5000 ч/г. стоимость водорода на 65-70% определяется стоимостью электроэнергии.

Выше было отмечено, что электролизеры с ТПЭ имеют определенные преимущества перед водно-щелочными: обеспечивают высокую чистоту получаемого водорода, возможность проведения электролиза при высоких давлениях, меньший расход электроэнергии, а также имеют в 2-3 раза большую плотность тока, что позволяет варьировать производительность электролизера в широких пределах. Однако получаемый водород на 30-40% дороже газа, получаемого в водно-щелочных электролизерах.

Сравнительные экономические оценки, проведенные для одинакового срока эксплуатации в пять лет,

показали, что стоимость водорода, произведенного методом электролиза с ТПЭ, может быть меньше, чем стоимость водорода, произведенного методом водно-щелочного электролиза, особенно если принять во внимание стоимость зданий, вспомогательного оборудования и систем очистки водорода. Однако при уменьшении загрузки до 2000-3000 ч/г. и менее, снижении удельной производительности и стоимости электроэнергии, доля капитальных затрат в стоимости водорода начинает превалировать, и водно-щелочные электролизеры становятся экономически более выгодными, чем твердополимерные.

В настоящее время средняя стоимость водорода, произведенного методом конверсии природного газа, составляет около 1,5-2,0 долл. США за 1 кг, а стоимость электролитного водорода составляет 3-4 долл. США за 1 кг [17].

Существуют реальные предпосылки для снижения стоимости электролизеров с ТПЭ, так как в конструкциях электролизеров с ТПЭ используются те же материалы и технологии, что и в топливных элементах с ТПЭ (мембраны, электрокатализаторы). Очевидно, что коммерциализация энергоустановок с топливными элементами с ТПЭ повлечет за собой и коммерциализацию электролизеров с ТПЭ. Главным препятствием для коммерциализации технологий с ТПЭ в топливных элементах и электролизерах является использование металлов платиновой группы. Над решением актуальной задачи снижения расхода драгоценных металлов работают ведущие научные центры мира.

Лучше обстоит дело с другим дорогостоящим элементом – твердополимерной мембраной. Уже сегодня разработанные технологии позволили снизить оптовую цену мембраны Nafion до 50-100 долл. США за 1 м², в то время как стоимость ее в начале разработки составляла 1000 долл. США за 1 м².

Следует сказать также об электролизе морской воды, которая за счет растворенных солей является достаточно хорошим электролитом. Однако морская вода имеет большое сопротивление, и для повышения эф-

фективности процесса электролиза требуется введение дополнительных добавок щелочей или солей. Наиболее существенной проблемой при электролизе морской воды является выделение хлора на «кислородном» электроде. Выход хлора по току может быть уменьшен за счет использования селективных электрокатализаторов, варьирования условий проведения процесса и т.п., однако, полностью исключить процесс выделения хлора практически нереально. Очистка же морской воды процесс дорогостоящий – для дистилляции морской воды требуется затратить 2500 кДж/кг_{воды} (около 2000 кДж на 1 м³_{водорода}), что экономически невыгодно. В связи с этим использование морской воды для промышленного получения водорода в ближайшее время маловероятно.

Заключение

Результаты проведенного анализа проблем получения водорода электролизом воды позволяют сделать вывод о том, что в области создания высокоэффективных электролизеров воды достигнут существенный прогресс, созданы новые типы аппаратов, что открывает перспективы создания водородной инфраструктуры децентрализованного производства водорода и, в частности, сети водородных заправочных станций.

Пример Норвегии показывает, что сложившаяся за десятилетия инфраструктура делает существование водородных производств экономически выгодным.

К сожалению, экономическая база для создания новых производств водорода методом электролиза в нашей стране пока отсутствует, и для решения этой задачи в ближней перспективе более реально рассматривать создание водородных заправочных станций на основе автономных установок конверсии природного газа.

В долгосрочной же перспективе для экологически чистого производства водорода более целесообразно его получение на основе электролиза воды, тем более что цена на электролизный водород приближается к цене водорода, получаемого из непрерыв-

но дорожающего природного газа метана.

Электролизеры с ТПЭ – наиболее перспективный тип аппаратов для получения водорода, особенно с учетом идентичности технологий ТПЭ, применяемых в конструкциях энергоустановок на топливных элемен-

тах и электролизерах. Практическое использование высокотемпературных электролизеров целесообразно лишь в составе атомно-водородных комплексов с высокотемпературными реакторами, что является крайне важной, но достаточно отдаленной перспективой.

Литература

1. <http://www.hydro.com/en/>, www.hydroelectrolysers.com
2. **Lymberopoulos N.** «Hydrogen production from renewables» Report on RES2H2.
3. **Кулешов Н.В., Коровин Н.В., Терентьев А.А., Рыжиков А.В.** Отечественные электролизеры – необходимая составляющая водородной энергетики России – Труды Международного симпозиума по водородной энергетике. Москва, 1-2 ноября 2005 г. - М.: Издательство МЭИ, 2005. – С. 156-162.
4. <http://www.hydrogenics.com>
5. <http://www.hydro.com/en/Press-room/News/Archive/2006/April/16965>
6. **Mosdale R., Srinivasan S.** Analysis of performance and of water and thermal management in proton exchange membrane fuel cells // *Electrochim. Acta.* – 1995. – Vol. 40. – No 4. – P. 413-421.
7. **Davenport R.J., Schubert F.H.** «Space water electrolysis: space station through advanced missions» // *Journal Power Sources.* - 1991. - V. 36. P. 235-250.
8. **Григорьев С.А., Халиуллин М.М., Кулешов Н.В., Фатеев В.Н.** Электролиз воды в системе с твердым полимерным электролитом/ *Электрохимия*, т. 37, № 8, 2001. – С. 953-957.
9. **Пахомов В.П., Фатеев В.Н.** Электролиз воды с твердым полимерным электролитом. – М.: ИАЭ им. И.В. Курчатова, 1990.
10. **Фатеев В.Н., Арчаков О.В., Лютикова Е.К., Куликова Л.Н., Порембский В.И.** Электролиз воды в системах с твердым полимерным электролитом. *Электрохимия*. 1993. Т. 29. С. 551. № 4. С. 551-557.
11. **Grigoriev S.A., Millet P., Fateev V.N.** «Evaluation of carbon-supported Pt and Pd nanoparticles for the hydrogen evolution reaction in PEM water electrolyzers» // *Journal of Power Sources*, vol. 177, issue 2, March 2008. P. 281-285.
12. **Yamaguchi M., Horiguchi M., Nakanori T.** «Development of Large-Scale Water Electrolyzer Using Solid Polymer Electrolyte in WE-NET» *Proceedings of the 13th World Hydrogen Energy Conference (Beijing, China, June 12-15, 2000)*, vol. 1. P. 274-281.
13. **Перфильев М.В., Демин А.К., Кузин Б.Л.** «Высокотемпературный электролиз газов». – М.: Наука, 1988. С. 232.
14. **Коробцев С.В.** «Разработка основ технологии производства и использования водорода на основе высокотемпературных твердооксидных электрохимических обратимых систем» // Доклад на заседании круглого стола «Российские исследования и разработки в области водородных технологий» (Москва, 8 февраля 2006 г.).
14. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. Справочник. – М.: Химия, 1989.
16. **Trogisch S., Baske W.E.** «Biogas Powered Fuel Cells» ISBN 3-85487-626-2, 2004, Trauner Verlag.
17. **Болдырев В.** Водородная энергетика. – Промышленные ведомости: экспертная общероссийская газета, № 5, 2006.

Окончание в следующем номере

Исследования экологической безопасности автомобиля ВАЗ-21213, работающего на КПГ

А.С. Клементьев,

студент Чайковского технологического института (филиала ИЖГТУ)

В статье приведены экспериментальные результаты исследования экологической безопасности автомобиля ВАЗ-21213 с карбюраторным двигателем объемом 1,7 л, работающего на бензине и КПГ. Эти результаты позволяют частично решить проблему снижения вредных выбросов и улучшения акустических показателей легкового автомобильного транспорта путем перевода его на КПГ.

нентам в 1,5-5 раз менее опасны, чем выхлопы двигателей, работающих на традиционных жидких моторных топливах. Использование же КПГ сокращает выбросы парниковых газов автотранспортными средствами более чем на 25%.

Моторные топлива, получаемые из природного газа, не содержат ароматических углеводородов, серы и характеризуются полнотой сгорания, поэтому задача более широкого применения природного газа является одной из важнейших [1].

В пользу применения КПГ выступает его ресурсная обеспеченность. По различным оценкам запасов нефти должно хватить всего на 40-60 лет, а газа – на 100-150 лет [3]. Более того, согласно постановлению Правительства России № 31 от 15.01.1993 г., даже в условиях свободного рынка стоимость 1 м³ природного газа для транспортных средств не будет превышать 50% стоимости 1 л бензина А-76 или А-80, эквивалентного ему по энерго-содержанию (то есть 1 л бензина эквивалентен 1 м³ КПГ) [4].

Перевод автомобилей на компримированный природный газ производится преимущественно путем установки газовой аппаратуры в ус-

Экологические проблемы, связанные с защитой окружающей среды от вредного воздействия автотранспортных средств, сегодня особенно актуальны для крупных российских городов. Однако постоянный рост автопарка, изношенность автотранспортных средств, отсутствие законодательной базы, регламентирующей и стимулирующей как развитие автомобильной промышленности в области производства экологически чистых автомобилей, так и использование альтернативного моторного топлива, обернулись сегодня серьезной проблемой, связанной с высокой токсичностью автомобильных выбросов [1].

В составе отработавших газов автомобилей, а они содержат более

300 различных вредных веществ, наибольший удельный вес по объему имеет окись углерода (до 10%), окислы азота (до 0,8%), несгоревшие углеводороды (до 3%), альдегиды (до 0,2%) и сажа. Так, при сжигании 1000 л топлива бензиновые двигатели выбрасывают в окружающую среду с отработавшими газами 200 кг окиси углерода, 25 кг углеводородов, 20 кг окислов азота, 1 кг сажи и 1 кг сернистых соединений [2].

В настоящее время одним из основных способов снижения токсичности отработавших газов является применение в качестве моторного топлива компримированного природного газа (КПГ). Отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания, использующих природный газ (метан), по наиболее вредным компо-



Рис. 1



Рис. 2

Таблица 1

Количественный химический анализ загрязненности рабочего места водителя

Определяемые показатели	Результаты исследований, мг/м ³	Величина допустимого уровня, мг/м ³
<i>При работе двигателя на КПГ</i>		
Углерода оксид	Менее 5,8	20
Азота оксид	Менее 1,9	5
Углеводороды	Менее 100	900
<i>При работе двигателя на бензине</i>		
Углерода оксид	Менее 5,8	20
Азота оксид	Менее 1,9	5
Углеводороды	Менее 100	900

Примечание. Нормативный документ на методы исследований ГОСТ12.1.014–84.

Таблица 2

Результаты замеров виброакустических параметров

Режим работы двигателя	Результаты измерений, дБ			
	шума		вибрации	
	допустимое значение по норме	максимальный уровень шума	эквивалентный	допустимый
На КПГ	80,0	65,3	85	101
			91	112
На бензине	80,0	68,5	87	101
			89	112



Рис. 3

ловиях эксплуатации. Рабочий процесс газового и бензинового двигателя практически аналогичен [5].

Целью нашего исследования является оценка использования природного газа по критериям экологической безопасности.

Объект исследования – автомобиль ВАЗ-21213, 2000 г. выпуска с карбюраторным двигателем объемом 1,7 л, имеющий две системы питания: бензин или КПГ (рис. 1). Автомобиль, кроме топливного бака, дополнительно снабжен двумя баллонами емкостью по 35 л (рис. 2).

Предметом исследования является влияние бензина и КПГ на экологическую безопасность автомобиля.

Испытания выбросов загрязняющих веществ с отработавшими газами производились в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52033–2003 и ГОСТ Р 17.2.02.06–99, внешний шум на рабочем месте – ГОСТ 12.1.050–86 и СН 2.2.4/2.1.8.562–96, вибрации – ГОСТ 12.1.012–90 и СН 2.2.4/2.18.566–96.



Рис. 4

Автомобили с двигателями с искровым зажиганием испытывались на выброс СО и СН на холостом ходу при минимальной и повышенной частотах вращения коленчатого вала (КВ) двигателя [2].

Исследования проводились при следующих климатических условиях:

- температура окружающей среды, °С.....12
- относительная влажность окружающей среды, %..... 66
- барометрическое давление, кПа.....98,2.

Замеры выбросов оксида углерода СО, двуокси углерода СО₂, углеводородов C_nH_m производились с помощью микропроцессорного газоанализатора «Инфракар М» (рис. 3).

В результате экспериментальных исследований установлено, что

содержание оксида углерода (СО) в отработавших газах при работе на КПГ в диапазоне частот вращения КВ двигателя от 1000 до 3500 об/мин⁻¹ меньше, чем при работе на бензине, в 29,2-42,9 раза, двуокси углерода (СО₂) – в 1,14-2 раза, а углеводородов (СН) – в 1,26-1,98 раза.

Количественный экспресс-контроль загрязненности воздуха в кабине автомобиля проводился с помощью сертифицированных ручного насоса-пробоотборника НП-3М (аспиратора) и индикаторных трубок (ТИ). Результаты замеров представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что в рабочей зоне обнаружены вредные вещества в пределах предельно допустимых концентраций (ПДК), что соответствует гигиеническим нормам ГН 2.2.5.1313–03.

Виброакустические параметры снимались во время движения автомобиля с помощью анализатора звука и вибрации SVAN 912 AE, капсуля, предусилителя SV 01A, микрофона ВМК-205, виброметра SVAN 946 и вибропреобразователя AP-98-100-01, имеющих государственную поверку (рис. 4). Результаты виброакустических замеров приведены в табл. 2.

В результате проведенных измерений и на основании данных хронометражных карт максимальный уровень шума, воздействующий на водителя при работе на газе, на 3,2 дБ меньше по сравнению с работой на бензине и соответствует требованиям СН 2.2.4/2.1.8.562–96. При работе на КПГ двигатель обеспечивает более плавный рабочий процесс и мягкую работу.

Принято считать, что повышение уровня шума на 1 дБ – это 1% снижения производительности труда и здоровья человека. В то же время уровни вибрации исследуемого автомобиля

с разными видами топлива приблизительно одинаковые.

Как показали экспериментальные исследования по переводу автомобиля ВА3-21213 с бензина на питание КПГ, это позволяет в какой-то степени

решить проблему снижения вредных выбросов и улучшения акустических показателей. Расход топлива на бензине составляет 13-14 л/100 км, а двух баллонов газа объемом по 35 л каждый хватает на 185-195 км пути.

Литература

1. **Линник Г., Брусницына А.** Опыт перспективы использования КПГ в Краснодарском крае // Автогазозаправочный Комплекс + Альтернативное топливо. – 2007, № 2 (32). – С. 52-56.
2. **Вахламов В.К.** Автомобили: Основы конструкции. Учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.К.Вахламов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – С. 528.
3. **Клементьев А.С., Федоров В.М.** Альтернативные виды топлива: проблемы выбора ближайшей перспективы // Автогазозаправочный Комплекс + Альтернативное топливо. – 2006, № 3 (27). – С. 63-65.
4. **Кириллов Н.Г.** Технологии производства и методологические основы расчета стоимости СПГ для автотранспорта РФ // Автогазозаправочный Комплекс + Альтернативное топливо. – 2007, № 4 (34). – С. 60-65.
5. **Ерохов В.И.** Легковые газобаллонные автомобили: Устройство, переоборудование, эксплуатация, ремонт. – ИКЦ «Академия», 2003. – С. 238.



А18 Автомобильные топлива XXI века.

Учебное пособие, С.М. Клементьев, В.М. Пономарев, В.М. Федоров. Издание второе. Издательство института экономики УрО-РАН, 2008. С. 139.

В книге рассматриваются основные физико-химические свойства, технико-экономические и эксплуатационные показатели качества бензинов, дизельных и других альтернативных моторных топлив, особенности и перспективы их применения.

Учебное пособие предназначено для специалистов, занимающихся переводом автотранспорта на новые виды альтернативного топлива и эксплуатацией автомобильного транспорта, а также для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям 190500 «Эксплуатация транспортных средств» и 190600 «Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования».

Концепция современного газодизеля и основные результаты ее реализации

В.И. Ерохов, профессор МГТУ («МАМИ»), д.т.н., Заслуженный деятель науки РФ

Основными задачами настоящей работы являются: теоретические и экспериментальные обоснования основных положений и концепции современного газодизеля; разработка метода организации рабочего процесса современного газодизеля нового поколения с микропроцессорной системой управления; разработка и обоснование закона подачи запальной дозы дизельного топлива (ЗДТ), величины и момента ее подачи; разработка и реализация конструкции современного газодизеля; проведение комплексных экспериментальных исследований при работе газодизеля на дизельном и смешанном видах топлив.

Энергетические и экологические аспекты автомобильного транспорта относятся к числу важных и приоритетных задач отечественной национальной экономики. Автомобильный транспорт представляет собой наиболее энергоемкую отрасль народного хозяйства.

Применение альтернативных видов топлива позволяет эффективно решить взаимосвязанные проблемы энергетической и экологической безопасности страны.

Объектом исследования является рабочий процесс газодизеля с микропроцессорной системой управления, а предметом исследования – конструкция газодизельной аппаратуры нового поколения.

Характерные параметры испытуемых двигателей: $iV_n=10,35-11,96$ л, $S/D=1,25-1,0$.

Реальным заменителем традиционного жидкого моторного нефтяного топлива в ближайшем будущем станет компримированный природный газ (КПГ). Это подтверждает положительный отечественный и зарубежный опыт

газификации автомобильного транспорта. Значительные запасы природного газа (ПГ), высокие темпы его добычи и разветвленная сеть магистральных газопроводов открывают широкие возможности для использования КПГ в качестве моторного топлива. ПГ представляет собой наиболее эффективный экологический вид моторного топлива, содержащий по массе до 24% водорода. Повышенное содержание водорода обеспечивает высокую эффективность рабочего процесса газодизеля. В ПГ отсутствуют ароматические углеводороды и сернистые соединения, что является наиболее важным для снижения выбросов твердых частиц.

Физико-химические и моторные свойства ПГ позволяют считать его наиболее перспективным моторным топливом XXI в. Газовое топливо из альтернативного превратилось в самостоятельный вид моторного топлива. Данное утверждение основано на достаточном ресурсном обеспечении потребностей автомобильного транспорта в газомоторном топливе, его

энергетической полноценности, экологической эффективности и экономической целесообразности применения. Однако доля потребления ПГ в качестве моторного топлива составляет менее 1%. Производственные мощности АГНКС в России загружены на 10-15%.

Дизелизация представляет собой традиционное направление совершенствования структуры автомобильного транспорта. Ее развитие сопровождается значительным ростом абсолютного расхода дизельного топлива. Определяющими критериями технического уровня дизелей являются экологические параметры и величина замещения базового топлива альтернативным. Международные экологические стандарты «Евро-3» и «Евро-4» предъявляют повышенные требования к снижению выбросов CO , C_mH_n , NO_x и твердых частиц (табл. 1).

Газодизель обладает рядом известных экологических и топливно-энергетических преимуществ по отношению к базовому двигателю. Коренное повышение технического уровня современных газодизелей обеспечивается путем оснащения их современными микропроцессорными системами и электронными средствами управления. Известные материалы в данной области автомобильной техники до настоящего времени по ряду причин носят, как правило, иллюстративный характер.

МГТУ «МАМИ» разработаны теоретические основы проектирования газодизельной аппаратуры [1]. Дальнейшим этапом этой работы является создание газодизельной аппаратуры, оснащенной электронными средствами управления.

Таблица 1

Нормы токсичности ОГ по правилам 49 ЕЭК ООН

Наименование	Компоненты ОГ				Дата введения
	CO , г/(кВт·ч)	C_mH_n , г/(кВт·ч)	NO_x , г/(кВт·ч)	РТ (частицы) г/(кВт·ч)	
49-01	11,2	2,4	14,4	–	–
49-02A («Евро-1»)	4,5	1,1	8,0	0,36	Окт. 1995 г.
49-02A («Евро-1»)	4,0	1,1	7,0	0,15	Окт. 1996 г.
49-02D («Евро-2»)	2,0	0,6	5,0	1,0	1999 г.
«Евро-3»	1,5	0,5	3,5	0,08	2003-2005 гг.
«Евро-4»	1,0	0,5	2,0	0,05	2005-2009 гг.

Величина запальной дозы определялась в процентах для каждого скоростного режима относительно дизельного топлива на номинальном режиме. Исследования проводились на различных скоростных режимах дизеля ($n = 1200, 1800$ и 2600 мин^{-1}) при постоянных значениях средних эффективных давлений (P_e). При этом величина запальной дозы ($\Delta G_{зд}$) изменялась в широких пределах от 8 до 45%.

Воспламенение от сжатия в дизеле ограничивает минимальное значение степени сжатия до 13-14 ед. Условия бездетонационной работы газового двигателя не допускают повышения степени сжатия выше 12-13 ед., то есть на пределе детонации.

Сущность разработанной концепции современного газодизеля связана с теоретическим обоснованием эффективной его работы при одновременном сгорании газозооной смеси и рациональной дозы запального дизельного топлива. В основу концепции положены теоретические представления самовоспламенения газодизельной смеси, особенности ее сгорания и протекания рабочего процесса.

Концепция современного газодизеля предусматривает сочетание низкого расхода топлива и выброса вредных веществ (ВВ). Работы по созданию модификаций автомобильных дизелей нового поколения, работающих по газожидкостному циклу, в РФ (ФГУП ГНЦ «НАМИ», ФГПУ «НИИАТ», МГТУ «МАМИ», МАДИ, ведущие заводы отрасли ЯМЗ, ЗИЛ, КамАЗ) возобновлены после 2000 г. В РФ была разработана и реализована принципиальная схема питания газодизеля, в основе которой заложен качественный принцип регулирования мощности. Для его реализации разработаны конструкции топливного насоса высокого давления (ТНВД) с двухрежимным регулятором.

Методологической особенностью технологии использования газа в дизелях является определение топливного эквивалента газового топлива по отношению к дизельному топливу, полученному в соответствии с уравнениями энергетического и мощностного баланса работы двигателя и автомобиля [5]. Обобщенный топливный эквивалент для пересчета газового топлива на дизельное может быть представлен формулой:

$$\tau_r^A = H_u^z / H_u \cdot \rho_m,$$

где H_u^z – теплотворная способность газа, кДж/кг; H_u – теплотворная способность дизельного топлива; ρ_m – удельная плотность дизельного топлива (ДТ) г/см³.

Концепция современного газодизеля представляет собой систему конструктивно-технологических и технических решений реализации новой технологии совместного использования традиционного дизельного и альтернативного вида топлив. Исходными принципами при разработке газодизельной конструкции является полное сохранение базовой конструкции двигателя, достигаемое путем применения дополнительных к нему навесных систем и узлов. Важным условием при этом является сохранение возможности работы двигателя в дизельном режиме без ухудшения его показателей, а также полное сохранение эффективных и экономических показателей базовой модели двигателя при работе в газодизельном режиме. На первом этапе была исследована эжекторная газодизельная система.

Концепция современного газодизеля предусматривает конвертирование базовых двигателей в газодизельные с сравнительно незначительными конструктивными изменениями и создание системы нового поколения. Оправданным также является стремление к сохранению на всех режимах работы двигателя постоянной цикловой подачи жидкого топлива, равной подаче на режимах холостого хода (ХХ).

На втором этапе была применена микропроцессорная система с впрыском в ВТ по аналогии с бензиновой системой. Электрическая часть разработанной системы управления включает электронный блок управления, исполнительные устройства и датчики: регистрации начала впрыскивания, частоты вращения КВ двигателя, расхода воздуха и газа, температуры охлаждающей жидкости и воздуха, положения педали управления и топливной рейки ТНВД и давления воздуха [3].

Электронный блок управления учитывает показания датчиков, сравнивает их с эталонными значениями и выдает командные параметры для управления величиной запальной дозы и началом ее впрыскивания в зависимости от ре-

жима и данного рабочего состояния двигателя.

ТНВД снабжен датчиком положения и электромагнитным приводом топливной рейки, датчиком частоты вращения кулачкового вала ТНВД и гидравлически связан с топливным баком. Электромагнитный привод рейки ТНВД обеспечивает автоматическое включение ТНВД как в режиме впрыскивания дизельного топлива, так и в газодизельном режиме. Датчики частоты вращения КВ двигателя, температуры и давления позволяют в реальном масштабе времени выдавать на электронный блок управления соответствующую информацию о текущем состоянии двигателя для формирования команд управления работой двухтопливной системы питания газодизеля. Микропроцессорное управление обеспечивает оптимальный закон подачи запальной дозы и газа.

Электронное управление при этом обеспечивает эффективность реализации закона подачи запальной дозы и наиболее экономичные режимы движения автомобиля.

В разработанном газовом дизеле (ГД) использовано смешанное (внутреннее и внешнее) смесеобразование, то есть вне и внутри цилиндра дизеля. При внешнем смесеобразовании ПГ подается форсункой во впускной трубопровод, где смешивается с воздухом с образованием горючей смеси. При внутреннем смесеобразовании величина запальной дозы поступает традиционным способом.

Важным фактором создания газодизеля является обеспечение подачи оптимальной величины запальной дозы дизельного топлива. Величина запальной дозы определяется с учетом условий минимального расхода жидкого топлива, оптимальных показателей, надежной работы дизеля и его топливной аппаратуры при одновременной работе на смеси ДТ и ПГ.

Для проведения работ по выбору оптимальной величины жидкого нефтяного топлива было разработано, изготовлено и смонтировано специальное устройство, содержащее электромагнитный клапан и рычаг.

При работе по газодизельному циклу суммарный часовой расход дизельного топлива и газа определялся по формуле:

$$G_m^{\Sigma} = \Delta G_{зд} + G_2 (H_u^{\Sigma} / H_u^{\text{дм}}), \text{ кг/ч,}$$

где $\Delta G_{зд}$ – часовой расход запальной дозы топлива, кг/ч; G_2 – часовой расход газа, кг/ч; $H_u^{\Sigma} / H_u^{\text{дм}}$ – низшие весовые теплотворные способности газа и дизельного топлива, МДж/кг.

Теплотворная способность КПГ составляет 48,39 МДж/ч, а плотность ПГ при нормальных условиях равна 0,676 кг/м³. Плотность дизельного топлива составляет 0,83 г/м³, а теплотворная способность – 42,4 МДж/кг.

Приведенный удельный расход топлива определяется по формуле:

$$g_{\Sigma}^{\Sigma} = G_m^{\Sigma} / N_n^{\Sigma}, \text{ кг/ч.}$$

Приведенный коэффициент избытка воздуха рассчитывается по формуле:

$$\alpha^{\Sigma} = Q_{\alpha} x \gamma_{\alpha} / (\Delta G_{30} x L_{\alpha}^{30} + G_2 x L_{\alpha}^{\Sigma}),$$

где $Q_{\alpha} x \gamma_{\alpha}$ – весовое наполнение двигателя воздухом, кг/ч; L_{α}^{30} и L_{α}^{Σ} – теоретически необходимые количества воздуха для сгорания 1 кг ДТ и газового топлива, равные соответственно 14,5 и 17,4.

Двухкомпонентное топливо находится одновременно в газовой и жидкой фазах, что представляет определенные сложности для самовоспламенения горючей смеси. С уменьшением коэффициента избытка воздуха $\alpha < 2$ температура самовоспламенения горючей смеси возрастает. При достижении температуры самовоспламенения смеси в камере сгорания происходит неконтролируемое сгорание (детонация).

Важным моментом является улучшение стабильности и эффективности распыления запального дизельного топлива. На режимах частичных нагрузок учитывался способ создания рабочей смеси.

Параметры газозвушной смеси определяются величиной давления и температуры. Факел впрыскиваемого топлива поджигается от самовоспламеняющегося локального объема, образованного практически в момент начала впрыска смешанного топлива. Локальный объем имеет стехиометрический состав горючей смеси. В цилиндре происходит поступление, прогрев ЗДТ до температуры кипения и последующее адиабатическое сжатие и испарение. Топливная струя в камере сгорания обдувается вихрем. Факел воспламеняется на поверхности топливной струи, где

образуются микрообъемы с испарившимся топливом, и состоит из мельчайших капель.

Однако обеспечить такой режим работы газодизеля без применения определенных мер затруднительно, а порой и невозможно. На малых нагрузках воспламенение газовой смеси проблематично из-за низкой концентрации газа. Осуществить подачу жидкого топлива меньшую, чем подача на ХХ, без переделки топливной системы нельзя из-за возможных пропусков воспламенения в отдельных цилиндрах.

При расчете ЗДТ вначале определяется доля жидкого топлива, соответствующая ХХ дизеля с оценкой цикловой подачи. Контрольной величиной при этом является часовой расход жидкого топлива при сохранении ранее найденной цикловой подачи на ХХ при одновременном определении необходимого количества газообразного топлива, добавляемого в располагаемый воздух для получения заданной мощности.

При работе двигателя в газодизельном режиме сгорание запальной дозы в силу малой ее величины происходит достаточно быстро (до начала активного тепловыделения газового топлива). Сгорание ДТ происходит при высоких значениях коэффициента сгорания топлива независимо от нагрузочного режима.

Величина запальной дозы является определяющим параметром эффективности газодизеля. Закон подачи запальной дозы топлива устанавливает общую закономерность и заключается в том, что впрыскивание запальной дозы следует производить ступенчато или применять предварительное ее впрыскивание во время фазы задержки. В начале впрыскивания величина запальной дозы должна быть минимальной.

Регулятор ТНВД работает в двух режимах, поэтому перевод на ГД обеспечивает трехрежимное регулирование подачи топлива. Двухрежимные регуляторы обеспечивают одинаковое положение рейки (разворот плунжерных пар) при постоянном положении рычага привода регулятора.

В городских условиях эксплуатации более эффективна система с двухрежимным регулированием дизеля (рис. 1). В этом случае важно приме-

нять регулирование цикловой подачи топлива (ЦПТ) с горизонтальными характеристиками (линии 3-5). В момент начала движения автомобиля с места путем нажатия на педаль управления подачей топлива рейка ТНВД находится в положении, обеспечивающем ЦПТ для режима холостого хода (точка 7). При полном нажатии на педаль управления ЦПТ практически мгновенно возрастает до максимального значения (точка 11). При этом она превышает номинальную величину в 1,5 раза. Если педаль управления нажата на 3/4 (кривая 3) от полного хода (точка 10), соответствующее увеличение составит 1,3. При нажатии на педаль управления на величину 0,5 от полного ее хода двигатель на режимах разгона будет работать с подачей топлива близкой к номинальной величине (точка 9). Точка 8 характеризует величину подачи запальной дозы топлива.

Наклонная левая 6 и правая ветви характеризуют крайние (минимальное и максимальное) положения рычага регулятора с механическим управлением ТНВД.

Пуск и работа газодизеля на режимах ХХ с минимальной частотой вращения КВ двигателя производятся только на дизельном топливе. Мощность газодизеля регулируется путем изменения количества газа, подаваемого в цилиндры двигателя.

Горизонтальный характер протекающей регуляторной характеристики сопровождается неустойчивой работой

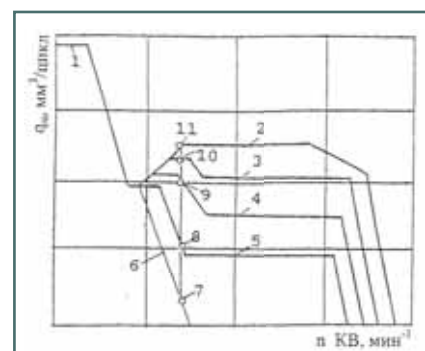


Рис. 1. Скоростная характеристика ТНВД с двухрежимным регулятором частоты вращения КВ дизеля:
1 – пусковая доза; 2 – внешняя скоростная характеристика; 3-5 – горизонтальные линии; 6 – минимальное положение рычага регулятора; 7 – режим холостого хода; 8 – величина запальной дозы; 9, 10 – области высокой нагрузки, близкой к полной; 11 – полная нагрузка

двигателя при меньшей частоте вращения КВ дизеля. На промежуточных скоростных режимах дизель работает неустойчиво. Управление транспортным дизелем с двухрежимным регулятором в условиях быстроизменяющейся нагрузки затруднено.

Двухрежимный регулятор в городских условиях обеспечивает снижение расхода топлива на 5-6% по сравнению с всережимным. В магистральных дорожных условиях движения автомобиля расход топлива практически одинаков. Пологое (благоприятное) протекание регуляторных характеристик может быть получено при трехрежимном регулировании. При фиксированном положении рычага управления регулятором, соответствующем 35-40% полного хода рычага, обеспечивается формирование требуемой характеристики $q_{\text{чзд}} = f(n)$ запальной дозы.

Наиболее эффективным является трехрежимный регулятор с наклонными или гиперболическими кривыми. Регулятор с гиперболическими характеристиками обеспечивает получение постоянной мощности при уменьшении частоты вращения КВ дизеля [2].

При известном законе подачи топлива относительное количество сгоревшего топлива (x) от общего его количества может быть определено с помощью уравнения И.И. Вибе.

Значительный вклад в исследование газодизеля внесли теоретические и экспериментальные работы специалистов ФГУП ГНЦ «НАМИ» В.В. Карницкого,

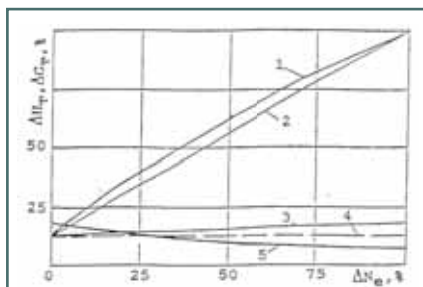


Рис. 2. Изменение расхода газа и величины запальной дозы в газодизельном режиме двигателя 8VЧ (12/12):

- 1 – выделение теплоты с учетом неполного сгорания (максимальная экономичность);
- 2 – выделение теплоты без учета неполного сгорания;
- 3 – величина запальной дозы без учета неполного сгорания;
- 4 – фактическая величина запальной дозы;
- 5 – величина запальной дозы с учетом неполного ее сгорания; ΔN_T – теплота сгорания; ΔG_T – запальная доза

Г.С. Корнилова, В.А. Лукшо и Т.Р. Филиппянца. В настоящее время разработана эжекторная дизельная топливная аппаратура для работы в ГД-режиме с микропроцессорной системой управления [4].

Изменение расхода газа и величины запальной дозы в газодизельном режиме работы дизеля 8VЧ (12/12) показано на рис. 2.

Газодизельная рабочая смесь характеризуется физическими параметрами жидкой и газообразной ее составляющих. В цилиндре газодизеля протекают сложные взаимосвязанные процессы смешивания и диффузии газозвушной фазы в газообразную (летучесть) в условиях камеры сгорания представляет сложный динамический диффузионный процесс.

В газодизеле сгорание запальной дозы топлива в силу ее малой величины происходит достаточно быстро до начала активного сгорания газового топлива. Сгорание ДТ происходит при высоких значениях коэффициента избытка воздуха независимо от нагрузочного режима работы двигателя.

Наиболее эффективное горение газообразного топлива происходит в узком диапазоне значений. Газодизельный цикл имеет относительно узкую зону оптимального горения горючей смеси. Существует возможность улучшения топливной экономичности до 25-30% на режимах малых и средних нагрузок при одновременном снижении массовых выбросов ВВ.

Максимально возможная экономичность газодизеля достигается в случае выделения теплоты сгорания по прямолинейной зависимости (кривая 1). Величина запальной дозы несколько возрастает (2-4%) и протекает по прямолинейной зависимости (кривая 3).

Выделение теплоты с учетом неполноты сгорания представлено кривой 1. Выделение теплоты без учета неполноты сгорания представлено кривой 2. Величина запальной дозы без учета неполноты сгорания представлена кривой 3. Фактическая величина запальной дозы представлена кривой 4. Параметры запальной дозы с учетом неполноты ее сгорания представлены кривой 5.

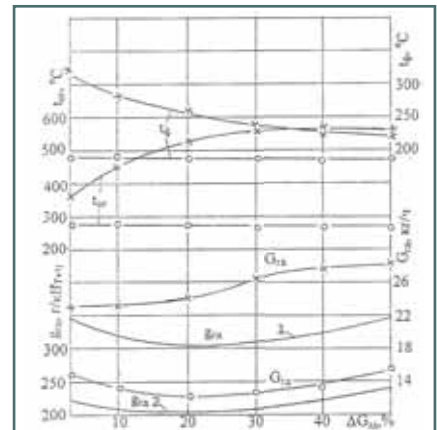


Рис. 3. Влияние величины запальной дозы дизельного топлива на показатели токсичности ОГ газодизеля при различной его нагрузке: 1 – $x-x-0,75$ МПа; 2 – $o-o-0,35$ МПа; $n = 1800$ мин⁻¹; t_p – температура носка форсунок

Анализ теплофизических и физико-химических свойств газодизельных смесей показал, что увеличение доли газа в газодизельной смеси в диапазоне 0-80% сопровождается некоторым снижением ее метанового числа и возрастанием задержки воспламенения смеси с 2 до 3,7 мс.

Для поддержания оптимального соотношения количества выделившейся теплоты и увеличения нагрузки количество газа возрастает по выпуклой кривой, а количество запальной дозы убывает по вогнутой кривой. Этому способствует падающая зависимость отношения запальной дозы к газовому топливу и практически прямолинейная зависимость обратного отношения.

Влияние величины запальной дозы дизельного топлива на показатели токсичности ОГ газодизеля приведено на рис. 3.

Возможности работы в газодизельном цикле при больших значениях α и при средних и малых нагрузках обеспечиваются высокой энергией источника воспламенения и его многоочаговой формы (факел запальной дозы). Однако эффективность сгорания газозвушной смеси возможна лишь в узком диапазоне α . Поэтому, несмотря на более высокую экономичность на максимальных нагрузках, на режимах малых и средних нагрузок при работе в газодизельном режиме по сравнению с работой на дизельном топливе эконо-

мичность резко ухудшается и увеличиваются выбросы CO и $C_m H_n$.

Расход топлива на малых нагрузках резко снижается по мере увеличения запальной дозы и уменьшается содержание $C_m H_n$ и CO в ОГ. При этом концентрация NO_x возрастает незначительно. На больших нагрузках имеет место более существенное увеличение выбросов окислов азота и значительно меньшее влияние на выброс несгоревших углеводородов и окиси углерода. По мере увеличения запальной дозы в заданных пределах процесс сгорания интенсифицируется. Особенно это сильно происходит на малых нагрузках, то есть при работе двигателя на обедненных газоздушных смесях.

Увеличение запальной дозы положительно влияет на температуру носка распылителя форсунки, которая при больших нагрузках и частотах вращения КВ двигателя достигает 300°C. Снижение температуры распылителя носка форсунки по мере увеличения запальной дозы вполне закономерно, так как происходит улучшение его охлаждения за счет большего количества подаваемого дизельного топлива.

Повышение эффективности сгорания газоздушной смеси на частичных нагрузках возможно путем изменения параметров дизельной фазы. Были также применены распылители с уменьшенными проходными сечениями 0,16 вместо 0,2 мм² с меньшей интенсивностью нагнетания.

Оптимальная величина запальной дозы должна изменяться в зависимости от нагрузки. При этом целесообразно запальную дозу увеличивать в области малых и больших нагрузок. Минимизация величины запальной дозы зависит от двух факторов – температуры носка распылителя форсунки, которая не должна превышать определенных значений, вызывающих закоксовывание отверстий распылителя, и достижения минимальной токсичности и дымности отработавших газов (ОГ).

При работе двигателя в газодизельном режиме по сравнению с дизельным без изменения угла опережения впрыска на больших нагрузках наблюдается снижение расхода топлива, а на малых – его резкое увеличение до 15%. При переменном угле впрыскивания за-

пальной дозы в диапазоне 18-24° ПКВ до ВМТ в зависимости от нагрузки удельные расходы топлива по сравнению с постоянным углом опережения впрыскивания у газодизеля уменьшается до 40 г/кВт. Дымность ОГ газодизеля при различных регулировках углов впрыскивания практически не изменяется, но в два-четыре раза ниже по сравнению с базовой конструкцией.

Для получения хороших результатов установочный угол опережения впрыскивания запальной дозы дизельного топлива должен изменяться в зависимости от нагрузки – с 24° на малых нагрузках и до 13° на больших нагрузках двигателя.

Увеличение запальной дозы (в % от максимального часового расхода для каждого скоростного режима) оказывает заметное влияние на экономические и экологические параметры двигателя. С увеличением запальной дозы с 8-10% до 14-17% происходит улучшение топливной экономичности на 11% на малых и на 5% на больших нагрузках. Содержание $C_m H_n$ снижается на 35% на малых нагрузках.

Термометрирование головки цилиндров и форсунки проводилось с помощью хромель-копелевых термопар, которые препарировались на поверхности головки первого цилиндра. Перед проведением испытаний головка с термопарами тарировалась, температура определялась с помощью автоматического потенциометра ЭПП-093. Измерение производилось в наиболее характерных точках, находящихся в области клапанной перемычки. Температура носка распылителя форсунки снижалась на 50°C.

Чтобы носовой наконечник распылителя не перегревался до сверхпредельной температуры 280°C, минимальный расход ДТ через форсунку был установлен в количестве 10 мг за цикл.

Уменьшение величины запальной дозы топлива и в особенности при невысокой нагрузке приводит к перепаду температур пояса на величину 80-100°C. По мере роста величины запальной дозы температура носка форсунки снижается.

Влияние величины запальной дозы на температуру носка распылителя наиболее заметно в диапазоне ее изменения от 8-10 до 20%. При величине за-

пальной дозы, равной 10%, температура соответствует 320°C, а при увеличении запальной дозы до 20% температура снижается до 250-270°C. Дальнейшее увеличение запальной дозы до 40-50% приводит к снижению температуры до 180-200°C.

Подача минимального количества ДТ (на уровне 8-10%) не является оптимальной, так как это приводит к ухудшению топливной экономичности на 5-6%, росту выброса вредных веществ и в первую очередь – $C_m H_n$ на 5-10%, что указывает на плохое воспламенение и сгорание газовой смеси. Это приводит к недопустимо высокой температуре носка распылителя (до 50%) из-за недостаточного охлаждения топливом.

Для практического применения можно выбрать величину запальной дозы топлива на уровне 15-20% для создания условий нормальной работы газодизельного двигателя и экономии дизельного топлива.

Оптимальная характеристика величины запальной дозы топлива требует регулирования по двум ее переменным – по частоте вращения КВ двигателя и его нагрузке. Управление величиной запальной дозы топлива и положением воздушной заслонки достаточно сложно выполнить механическими методами. Применение микропроцессорной системы управления дозирующими средствами и рабочим процессом двигателя позволяет обеспечить снижение вредных выбросов на малых нагрузках в 1,1-1,4 раза, а при полной нагрузке – в несколько раз.

Сокращение продолжительности впрыска приводит к ухудшению воспламенения газоздушной смеси и к повышению теплонапряженности распылителя форсунки. Величина запальной дозы топлива подбиралась с целью достижения максимальной экономичности на больших и малых нагрузках. Она оказывает заметное влияние на выброс ВВ, и с повышением ее величины снижается содержание углеводородов, окиси углерода и окислов азота. Минимальная величина ЗДТ должна быть не ниже 15%.

Влияние величины запальной дозы дизельного топлива на показатели токсичности приведено на рис. 4. Изменение величины запальной дозы

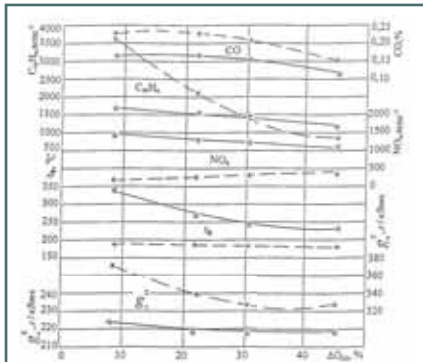


Рис. 4. Влияние величины запальной дозы дизельного топлива на показатели токсичности ОГ газодизеля 8V4 (12/12) при различной его нагрузке:
1 – x-x – 0,75 МПа; 2 – o-o – 0,25 МПа;
n = 1800 мин⁻¹

($\Delta G_{зд}$) оказывает заметное влияние на выброс NO_x и $C_m H_n$. По мере увеличения запальной дозы концентрация NO_x (при высоких P_e) и особенно $C_m H_n$ (при малых P_e) в ОГ снижаются. Увеличение запальной дозы $\Delta G_{зд}$ с 10 до 40% снижает выброс NO_x в 1,5-2,0 раза и $C_m H_n$ – в 3,0-3,5 раза.

Концентрация CO в ОГ меняется незначительно при изменении величины запальной дозы дизельного топлива на всех режимах. Величина запальной дозы, равная 10%, не является оптимальной, так как это приводит к ухудшению топливной экономичности, росту $C_m H_n$, что обусловлено плохим воспламенением и сгоранием газовой смеси.

Минимально возможная величина запальной дозы для транспортных двигателей составляет 15-20%.

Энергия запальной дозы топлива в 10^2 - 10^4 раз больше энергии искробразования свечи зажигания. Это обеспечивает надежное воспламенение бедной газовой смеси, а также быстрое сгорание основной порции топлива. Снижение величины запальной дозы дизельного топлива ниже минимального уровня неизбежно приводит к пропускам воспламенения или даже невозможности воспламенения газовой смеси.

Возможности работы в газодизельном цикле при больших значениях α при средних и малых нагрузках обеспечиваются высокой энергией источника воспламенения и его многоочаговой формой (факел-запал запальной дозы). Эффективность сгора-

ния газовой смеси возможна лишь в узком диапазоне α . Поэтому, несмотря на более высокую экономичность на максимальных нагрузках, на режимах малых и средних нагрузок при работе в газодизельном режиме, по сравнению с работой на дизельном топливе, экономичность резко ухудшается и увеличиваются выбросы CO и $C_m H_n$. Оптимальная величина начала впрыскивания жидкого топлива для дизеля соответствует 18° , а для газодизеля – 16° .

Физико-химические процессы, предшествующие воспламенению дозы запального топлива, начинают активно протекать с момента $\varphi=310^\circ$ ПКВ. Период индукции может быть представлен следующей зависимостью:

$$\tau_i = K_M \cdot e^{-E_0/RT}, \text{ мс,}$$

где K_M – коэффициент диффузии (концентрация) метана, полученный расчетным или экспериментальным методами, E_0 – условная энергия активации топлива, кДж/кмоль.

Коэффициент молекулярной диффузии метана в воздушный поток изменяется в пределах $0,1$ - $1 \text{ см}^2/\text{с}$, а при диффузии его в дизельное топливо составляет $0,04 \text{ см}^2/\text{ч}$.

Значение коэффициента K_M может быть определено по экспериментальным данным. В расчете принималась величина активации, равная $E=22,5 \cdot 10^3$ кДж/кмоль. Средняя температура (T) за период задержки воспламенения определена путем моделирования процесса сжатия. Для данного типа газодизеля получено значение $K_M = 0,075$.

При поздней величине угла впрыскивания запальной дозы $Q_{впр}=18^\circ$ ПКВ воспламенение газодизельной смеси на режиме $P_{ен}$ происходит через $\tau_i=0,8$ - $1,1$ мс (7 - 11° ПКВ) после впрыскивания дизельного топлива и заканчивается условно в интервале 8 - 11° ПКВ до ВМТ. За начало $\tau_{i,зап}$ принималась величина, равная $\varphi_0=310$ - 315° ПКВ до ВМТ, после которого начинают активно протекать предпламенные реакции. В этом случае получено $\tau_{i,зап} = 3,80$ - $4,20$ мс (34 - 38°C), то есть воспламенение запального топлива происходило за 11 - 12° ПКВ до ВМТ (большее значение $\tau_{i,зап}$ соответствует $\varphi_0 = 310^\circ$).

Начало процесса сгорания может быть рассчитано с учетом величины

задержки воспламенения. Количество КПП в газодизеле ограничивают величину пропусков воспламенения вследствие большого значения τ_i из-за низкого цетанового числа (ЦЧ) смеси. Величина ароматических $C_m H_n$ характеризует склонность топлива к самовоспламенению. Добавление в КПП присадок, повышающих ЦЧ, несколько улучшает эффективность самовоспламенения. ПГ имеет низкую воспламеняемость, представляющую определенные трудности при организации рабочего процесса газодизеля. Температура самовоспламенения газового топлива составляет 600K , что превышает температуру самовоспламенения дизельного топлива в два раза.

При работе дизеля на дизельном топливе величина τ_i складывается из продолжительности впрыскивания и распыливания топлива, его испарения и диффузии, протекания предпламенных реакций, неоднородности многостадийного воспламенения, прохождения холодного и голубого пламени.

Литература

1. Карунин А.Л., Ерохов В.И. Газодизельные автомобили. Учебное пособие. М, МГТУ «МАМИ», 1999. – С. 345.
2. Марков В.А., Трифонов В.Л., Сиротин Е.А. Оптимизация характеристик топливоподачи транспортного дизеля. Грузовик. 2000. N11. – С. 14-18.
3. Карунин А.Л., Ерохов В.И., Гелашвили О.Г. Микропроцессорная система управления газодизелем. Научные труды IV Международной научно-практической конференции, Сочи, 2001. – С. 87-91.
4. Лукшо В.А., Мовчанюк А.Л., Строганов А.В., Чеповой А.В. О токсичности отработавших газов газодизельных автомобилей. «Автомобили и двигатели». Сб. научн. трудов. Вып. 228.; М.: Изд. ГНЦ РФ-ФГУП НАМИ, 2001. С. 210-217.
5. Ерохов В.И., Иванов В.Н. Перспективы применения сжатого природного газа. // «Автотранспорт Украины», 1981, – № 2.
6. Ерохов В.И., Иванов В.Н. ГБА: совершенствование их качества и техническая эксплуатация. // «Автомобильный транспорт Казахстана», 1982. – № 2.

Окончание в следующем номере



В ООО «ВНИИГАЗ» прошла 1-я Всероссийская олимпиада информационных и компьютерных технологий для старшеклассников

25 марта 2008 г. в ООО «ВНИИГАЗ» прошла 1-я Всероссийская олимпиада информационных и компьютерных технологий «Наука нефтегазовой отрасли – школьникам России». В рамках олимпиады также состоялась защита лучших исследовательских проектов школьников-победителей регионального этапа V Всероссийской межвузовской конференции молодых исследователей «Образование. Наука. Профессия».

В олимпиаде приняли участие 225 талантливых старших школьников и лицейцев из 34 городов Российской Федерации. Организаторами олимпиады выступили ООО «ВНИИГАЗ», образовательный фонд МАДО, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, при поддержке Федерального агентства РФ по образованию, Департамента по управлению персоналом ОАО «Газпром», администрации Ленинского муниципального района Московской области.

В первом туре состязаний «Информатика» прошла защита исследовательских проектов старшеклассников по информационным технологиям. Во втором туре конкурсанты состязались в знании тонкостей компьютерной графики, в третьем туре блеснули навыками программирования. Также в рамках олимпиады прошли интеллектуальные состязания, творческие конкурсы, профориентационные встречи, мастер-классы для преподавателей по вопросам подготовки старшеклассников к олимпиадам по информатике и программированию, применению информационно-телекоммуникационных технологий в нефтегазовой промышленности, а также подготовки квалифицированных кадров для газовой отрасли.

По итогам олимпиады были названы победители и призеры в командном и личном зачетах в трех номинациях. Наибольшее число побед – у команд из Ангарска Читинской области, Волгограда, Байконура и подмосковного Видного. Победители награждены дипломами и призами, ценными подарками от ООО «ВНИИГАЗ», а также рекомендованы к обучению в профильных вузах Москвы и Санкт-Петербурга.

Олимпиада «Наука нефтегазовой отрасли – школьникам России» проводится с целью популяризации информационных технологий; практического распространения новейших достижений в области информатики программирования и компьютерных технологий;



Победители олимпиады с генеральным директором
ООО «ВНИИГАЗ» Р.О. Самсоновым

профессиональной ориентации учащихся, оказания помощи в осознанном выборе будущей специальности и образовательного учреждения; повышения интереса выпускников к получению специальностей, связанных с научными и инженерными направлениями, в том числе, в области нефтегазовых технологий.

*Поздравляем
Юбилера*



22 апреля 2008 г. академик Российской академии космонавтики, доктор технических наук, генеральный директор ЗАО НП «Маштест» Я.Г. Осадчий отметил свой юбилей.

Руководство Национальной газомоторной ассоциации, редакция журнала сердечно поздравляют Якова Григорьевича со знаменательной датой – 75-летием со дня рождения.

Более 50 лет Яков Григорьевич Осадчий плодотворно работает в головном научно-исследовательском институте отрасли – ЦНИИМаш, награжден медалями от имени Федерации космонавтики России, носит почетное звание «Заслуженный испытатель космической техники».

Ученый и испытатель Я.Г. Осадчий принимал участие и ведет активную работу в следующих областях:

- разработке методик экспериментального исследования и создании уникальной экспериментальной базы отрасли для отработки прочности изделий ракетно-космической техники;
- отработке статической прочности элементов ракетно-космической системы «Энергия-Буран»;
- создании научно-производственного предприятия «Маштест»;
- разработке и создании металлокомпозитных баллонов для применения в аппаратах защиты органов дыхания, баллонов для систем автоматического пожаротушения, хранения и использования компримированного природного газа.

Мы высоко ценим Якова Григорьевича, как талантливого руководителя и ученого, решающего сложнейшие научные, технические и организационные вопросы.

Высокий профессионализм, настойчивость в достижении цели, требовательность в сочетании с доброжелательностью, искренность и простота в общении – вот только часть отличительных качеств, которые характеризуют Якова Григорьевича как человека с большой буквы.

От всей души желаем Якову Григорьевичу крепкого здоровья, душевной молодости, уверенности в будущем. Счастья и благополучия, долгих лет жизни.

**Руководство НГА
Редакция журнала**

Подписка – 2008

Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе»

Россия, 115304, Москва, ул. Луганская, д. 11.
Тел.: 321-50-44, 363-94-17, e-mail: transport.io@oeg.gazprom.ru

Уважаемые читатели!

Редакция продолжает подписку на 2008 г.

Расценки на подписку на 2008 г. (с учетом почтовых расходов)	Годовая, 6 номеров	Полугодовая, 3 номера
Россия	2640 руб. (2400 руб. + 10% НДС)	1320 руб. (1200 + 10% НДС)
Страны СНГ: Азербайджан, Армения, Белоруссия, Грузия, Казахстан, Киргизия, Молдавия, Таджикистан, Туркмения, Узбекистан, Украина	2640 руб. (110 долл. США или 70 евро)	1320 руб. (55 долл. США или 35 евро)
Страны Европы	150 евро	100 евро
Австралия и Океания, Азия, Африка, Северная и Южная Америка	220 долл. США	155 долл. США

Отдельные экземпляры журнала – **(400 руб. + 10% НДС = 440 руб.)** можно приобрести в редакции.
Электронная версия журнала за 2008 г. (формат PDF, 6 номеров) – **1000 руб., включая НДС 18%**.

Годовую подписку на 2008 г. (шесть номеров) можно оформить по факсу, электронной почте или непосредственно в редакции; на II полугодие 2008 г. (3 номера) – 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)	17 тыс.+18% НДС	820	575
1+1 (разворот, 420×290 мм)	30 тыс. + 18% НДС	1450	1000
½ страницы (210×145 мм)	10 тыс. + 18% НДС	480	330
¼ страницы (105×145 мм)	6 тыс. + 18% НДС	290	200
На обложке			
1-я страница (210×150 мм)	17 тыс. + 18% НДС	820	575
2-я или 3-я страницы (210×290 мм)	30 тыс. + 18% НДС	1450	1000
4-я страница (210×290 мм)	40 тыс. + 18% НДС	1925	1330

Технические требования к рекламным модулям:

Макет должен быть представлен в электронном виде: форматы qxd, ai, eps, tiff, cdr.

Носители: CD, DVD, Zip 250.

Требуемые разрешения: полноцветные и монохромные материалы не менее 300 dpi.

Макет должен быть представлен также в распечатанном виде.