



ТРАНСПОРТ

НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
№ 4 (10) 2009

НАЦИОНАЛЬНАЯ ГАЗОМОТОРНАЯ АССОЦИАЦИЯ



АФФИЛИРОВАНА
С МЕЖДУНАРОДНЫМ ГАЗОВЫМ
СОЮЗОМ



**Сжиженные углеводородные газы –
альтернатива нефти и нефтепродуктам**

Газовые электромагнитные форсунки типа ФЭК

**Мировые стандарты в обслуживании
топливных карт безналичной оплаты**

**Международный научно-технический журнал
«Транспорт на альтернативном топливе»
№ 4 (10) / 2009 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 «Газпром ВНИИГАЗ», д.т.н.

Члены редакционной коллегии

О.Ю. Бриллиантов

заместитель главного редактора

Б.В. Будзуляк

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

В.И. Ерохов

профессор «МАМИ», д.т.н.

А.А. Ипатов

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

Р.З. Каатардзе

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

А.В. Николаенко

ректор Московского государственного технического
университета («МАМИ»), профессор

С.И. Козлов

заместитель генерального директора
ООО «Газпром 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

зам. начальника Управления ОАО «Газпром»,
президент НГА

А.Д. Прохоров

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

В.Л. Стативко

исполнительный директор 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

Отдел подписки и распространения

В.Н. Бояринова, В.А. Ионова

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

transport.er@oeg.gazprom.ru

www.ngvrus.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в типографии «ГранПри»,

Ярославская обл., г. Рыбинск, ул. Луговая, д. 7

Номер заказа

Сдано в набор 12.05.2009 г.

Подписано в печать 24.06.2009 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: испытание ГБА
в лаборатории фирмы «ELPIGAZ» (Польша)**

В НОМЕРЕ:

- 13-я Международная специализированная выставка
газовой промышленности и технических средств «Рос-Газ-Экспо-2009»,
26-29.05.2009 г., Санкт-Петербург 2
- 4-й Международный конгресс «Топливный биоэтанол-2009»,
14-16.04.2009 г., Москва 5
- Б.С. Рачевский**
Сжиженные углеводородные газы – альтернатива нефти и нефтепродуктам 7
- А.С.Вандер, М.В. Никулин**
Европейский опыт эксплуатации АГНКС серии Gazpack
фирмы «ComAir» (Великобритания) 10
- Мировая статистика перевода автотранспорта
на КПГ по состоянию на 1 мая 2009 г. 12
- В.А. Шишков**
Работа системы управления ДВС с искровым зажиганием
на газовом топливе при пропусках воспламенения 14
- С.В. Гусаков, Махмуд Мохамед Эльгобаши Эльхагар**
Управление моментом воспламенения в двигателе с самовоспламенением
от сжатия путем добавления диметилэфира при работе на СПГ 22
- С.В. Заикин, В.Л. Страхов, В.О. Каледин**
Новый способ и средства огнезащиты для объектов нефтегазового комплекса 28
- В.А. Марков, А.Ю. Шустер, С.Н. Девянин**
Работа дизелей на смесях дизельного топлива
и метилового эфира рапсового масла 33
- «Паритет-строй»: серийное качество – индивидуальный подход 38
- А.Н. Иванов**
Мировые стандарты в обслуживании топливных карт
безналичной оплаты: идентификация 40
- А.А. Барабанов**
Безопасность технологических процессов на ГНС 43
- В.И. Бунин, А.В. Яковлев, Я.А. Евдокимов**
Типовые проблемы автоматики АГНКС,
выявленные при реновации САУ (капитальном ремонте) 46
- И.М. Коростышевский**
Газовые электромагнитные форсунки типа ФЭК 50
- П.П.Петров, А.М.Савенков, А.И.Савицкий**
Свободнопоршневые двигатели для газовой промышленности 53
- Г.С. Савельев, М.Н. Кочетков**
Расчет параметров топливной системы тракторного дизеля
при его адаптации к работе на рапсовом масле 60
- О.К. Алексеева, С.И. Козлов, Р.О. Самсонов, В.Н. Фатеев**
Системы хранения водорода 68
- А.Ю. Винаров, Е.Н. Дирина**
Биодизель из растительного сырья. Повышение конкурентоспособности
за счет переработки отходов производства 76

13-я Международная специализированная выставка газовой промышленности и технических средств «Рос-Газ-Экспо-2009», 26-29.05.2009 г., Санкт-Петербург

26-29.05.2009 г. в Петербургском СКК в очередной раз прошла 13-я Международная специализированная выставка газовой промышленности и технических средств для газового хозяйства «Рос-Газ-Экспо-2009». Организаторами мероприятия выступили: выставочная компания «ФАРЭКСПО», являющаяся членом Российского союза выставок и ярмарок (РСВЯ) и Всемирной ассоциации выставочной индустрии (UFI), ОАО «Газпром», ОАО «Газпромрегионгаз».



мышленными опасными объектами Ростехнадзора А.А.Феокистов; вице-президент Ассоциации экономического взаимодействия субъектов Северо-Запада Российской Федерации Е.В.Хазова; генеральный директор ЗАО «ФАРЭКСПО» О.И.Шость; директор выставок ЗАО «ФАРЭКСПО» С.Н. Тюрнина.

На выставке свою продукцию представили 248 участников из 16 стран мира – России, Украины, Белоруссии, Армении, Австрии, Польши, Германии, Италии, Франции, Финляндии, Чехии, Турции, США, Китая, Японии, Литвы, что свидетельствует о высоком престиже и международном признании выставки.

Экспозицию посетили 8700 технических специалистов, покупателей и пользователей представляемой продукции. Среди них 61% – это руководители высшего и среднего звена.

На выставке «Рос-Газ-Экспо» экспонировались современные отечественные и зарубежные технологии, приборы и оборудование, используемые при строительстве, эксплуатации и реконструкции газораспределительных сетей, а также газоиспользующее оборудование коммунально-бытовых предприятий, жилых и общественных зданий. Было представлено много новинок.



Деловыми партнерами выставки выступили крупнейшие российские газовые компании и ведущие общественные организации: ОАО «Петербурггаз», ОАО «Леноблгаз», Ассоциация экономического взаимодействия субъектов Северо-Запада Российской Федерации, НП «Газовый клуб».

Выставка прошла при официальной поддержке аппарата Полномочного представителя Президента Российской Федерации по Северо-Западному федеральному округу РФ, Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, Федерального агентства по

энергетике, правительства Санкт-Петербурга.

На официальном открытии выставки со словами приветствия к участникам и гостям обратились: член правления, начальник департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа ОАО «Газпром» О.Е.Аксютин; председатель комитета по энергетике и инженерному обеспечению правительства Санкт-Петербурга О.Б.Тришкин; генеральный директор ОАО «Газпромрегионгаз» С.В.Густов; начальник отдела по надзору за объектами газораспределения и газопотребления управления по надзору за общепро-



Свою продукцию и услуги демонстрировали крупнейшие компании: ГРО «Петербурггаз», ООО «Газлюкс» (Москва), Группа компаний АНТ (Москва), ООО «Броен» (Москва), НПО «Вымпел» (Москва), ООО «Газрегионзащита» (Саратов), Группа компаний «Турбулентность-Дон», ООО «АКСИТЕХ» (Москва), ООО «Арзамасский завод газового оборудования», ОАО «Концерн Энергомера» (Ставрополь), Новогрудский завод газовой аппаратуры, ООО «КИП и Автоматика» (Москва), ЗАО «Росдиагностика» (Санкт-Петербург), «Газпром транс-

газ» (Санкт-Петербург), ООО «Устюггаз», Центр ТехФорм (Москва), «RMG REGEL+MESSTECHNIK GMBH» (Германия), «TECO SRL» (Италия), «Jouka Oy» (Финляндия), «Silea S.p.A» (Италия) и другие.

На стенде ОАО «Газпром» были представлены продукция, разработки и компьютерные презентации компаний Общества: ОАО «Газмаш» (Москва), ОАО «Газпромрегионгаз» (Санкт-Петербург), ОАО «Запсибгазпром» (Тюмень), ЗАО «Сибгазгазпарат» (Тюмень), ООО «Газпром трансгаз Сургут», ОАО «Газэнергосеть» (Мос-

ква), ООО «Газпром трансгаз Ставрополь», ОАО «Газаппарат» (Санкт-Петербург), ООО «Газпром экспо» (Москва) и других.

В рамках выставки прошла конференция на тему «Повышение эффективности бизнес-процессов в распределении и использовании газа», организаторами которой были ОАО «Газпром» и ОАО «Газпромрегионгаз».

В конференции приняли участие около 300 специалистов, среди которых были технические руководители региональных газораспределительных организаций, руководители



компаний по реализации газа, представители крупных потребителей газа, федеральных и муниципальных органов исполнительной и законодательной власти, СМИ.

На конференции были представлены 11 докладов по ключевым проблемам газификации регионов России – промышленной безопасности на объектах газораспределения и газопотребления, инвестициям в газораспределение, развитию отраслевой науки, новым формам торговли газом, развитию российского рынка природного газа в качестве моторного топлива, техническому состоянию, автоматизации и реконструкции газораспределительных систем. Прошло также расширенное заседание секций на-



учно-технического совета ОАО «Газпромрегионгаз».

На мероприятии присутствовали руководители и специалисты департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа, департамента стратегического развития и департамента по информационной политике ОАО «Газпром». С основным докладом на конферен-

ции выступил член правления, начальник департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа ОАО «Газпром» О.Е. Аксютин.

По итогам работы выставки были определены победители конкурса в номинации «Лучшее представление продукции газораспределительной отрасли на выставке». Лучшими были

признаны стенды: ОАО «Газпром» (Москва), ООО «Газлюкс» (Москва), группа компаний АНТ (Москва), ООО «Акситех», ГРО «Петербурггаз».

В рамках выставки Инновационным центром «Энергоэффективные и энергосберегающие техника и технологии» и ЗАО «ФАРЭКСПО» был проведен профессиональный конкурс. Конкурсная экспертная комиссия под председательством Заслуженного изобретателя РФ, академика АВН Кириллова Н.Г., рассмотрев представленные материалы предприятий-участников, приняла решение признать победителями в номинации «Лидер в разработке и реализации технологий в области ЖКХ и городского хозяйства»: ОАО «Авангард» (Санкт-Петербург) за разработку «Система мониторинга окружающей среды АВУС-СКЗ»; ООО «Инфотех» (Рязань) за разработку «Программный комплекс «Абонент +»; ЗАО ПКФ «Гефест» (Таганрог) за бытовые котлы «Гефест» мощностью от 6 до 25 кВт. Были определены победители и в других номинациях.

IV Международная конференция «Альтернативное топливо–2009», 5.06.2009 г., Киев (Украина)

5.06.2009 г. в Киеве прошла IV Международная конференция «Альтернативное топливо–2009», организованная компанией «FuelAlternative». Впервые в Восточной Европе подобное мероприятие проходило в формате биотопливного круиза на борту теплохода, заправленного биодизелем. Судно, оснащенное дизельным двигателем, использовало в качестве моторного топлива топливную смесь В10 (10% – биодизеля и 90% – традиционного дизельного топлива), имеющую улучшенные эксплуатационные и экологические свойства.

В конференции приняли участие около 100 представителей из 50 компаний и фирм стран СНГ и дальнего зарубежья. Среди них – представители компаний «Эвоник» (Москва), «Палтех» (Украина), «Техносоюз» (Украина), СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН, международная корпорация «Интертех» и др. Среди участников конференции был и директор представительства на Украине журнала «Транспорт на альтернативном топливе» Лысенко Ю.В.

Главная задача, которая стояла перед участниками конференции «Альтернативное топливо–2009», – доказать, что производство альтернативных видов топлива и энергии даже в неблагоприятных экономических условиях может стать успешным и эффективным бизнес-проектом.

Рыночные условия требуют внедрения принципиально новых подходов и технологий в производстве и реализации альтернативных видов моторного топлива. Ведь существующий сегодня скептицизм по отношению к биотопливной отрасли как со стороны инвесторов, так и потребителей, вызван именно отставанием многих компаний от современных тенденций и технологических решений. Также необходимо принимать во внимание кардинальные изменения на рынке традиционных энергоресурсов.

Участники конференции прослушали доклады и обменялись мнениями на темы государственной стратегии в области развития возобновляемых видов моторного топлива,

рынка биодизеля и биоэтанола, финансирования биотопливных проектов, технологий производства биотоплива, в том числе биотоплива второго поколения и др.

Оживленную дискуссию на конференции вызвало состояние законодательства, касающегося производства биотоплива, а также закон о «зеленых» тарифах, принятый недавно на Украине. Участники конференции интересовались конъюнктурой мирового биотопливого рынка и перспективами проектов по производству биодизеля и биоэтанола на Украине. К сожалению, в конференции приняли участие далеко не все представители государственной власти, которые были приглашены.

Партнерами прошедшего мероприятия выступили столичная судоходная компания (Киев), предоставившая теплоход, а также компании «Палтех», «Евоник» и «Техносоюз». Генеральным медиа-партнером выступило ИА «Интерфакс-Украина», официальным медиа-партнером НТЦ «Психея», телевизионным партнером телеканал «Тонис», медиа-партнерами – журналы «Энергобизнес», «Новини Агротехники», «Масложировой Комплекс», «Нефть и газ», «Мировая энергетика», «Агросектор», «Транспорт на альтернативном топливе», «Сфера Нефтегаз», компания «Argus Media Ltd», Украинский портал инвестиций и бизнеса «Euro Invest» и сайт Neftegaz.ru.

4-й Международный конгресс «Топливный биоэтанол–2009», 14-16.04.2009 г., Москва

14-16.04.2009 г. В Москве в Центре международной торговли на Красной Пресне прошел 4-й Международный конгресс «Топливный биоэтанол–2009». Конгресс проводился Национальной биотопливной ассоциацией при поддержке Государственной Думы Совета Федерации РФ, Министерства энергетики РФ, Министерства экономического развития РФ, Российского зернового союза, Общества биотехнологов РФ.

В заседании конгресса приняли участие более 200 представителей из стран СНГ и дальнего зарубежья.

Несмотря на мрачные прогнозы в условиях продолжающегося экономического кризиса в мире, конгресс показал готовность участников рынка топливного биоэтанола к его дальнейшему динамичному развитию.

На конгрессе подробно обсуждались все вопросы развития отрасли – от производства сырья до продажи готовой продукции. Многие выступления на конгрессе были посвящены обсуждению вопросов производства и использования биотоплива второго поколения – из пищевого сырья.

«Переход на использование биотоплива в качестве альтернативного моторного топлива позволяет снизить зависимость от сильно монополизированного и неустойчивого нефтяного рынка и сэкономить средства», – подчеркнул президент Национальной биотопливной ассоциации А.Р.Аблаев. Инвестиции в производство биотоплива идут на развитие инновационной экономики, подъем сельского хозяйства.

Например, Бразилия решила проблему своей топливной безопасности еще после первого нефтяного кризиса 1970-х гг. «Руководство США, трезво оценив ситуацию на мировых нефтяных рынках, сегодня заявляет о намерении к 2020 г. обеспечить 20% потребности страны в автомобильном горючем за счет использования биотоплива, причем 80% этого биотоплива будет получено из непищевого сырья (из соломы и отходов лесного хозяйства). В декабре 2008 г. Евросоюзом было принято реше-

ние об обязательном использовании к 2020 г. не менее 10% биотоплива в общем количестве моторного топлива».

В настоящее время Евросоюз может произвести необходимые для него десятки миллионов тонн биоэтанола и биодизеля за счет собственных земельных ресурсов, однако, это приведет к резкой интенсификации сельского хозяйства и связанным с этим экологическим проблемам. Поэтому уже в самое ближайшее время можно ожидать увеличения импорта в Евросоюз как уже готового биотоплива (биоэтанола, биодизеля), так и сырья для его производства (зерна, рапсового масла). Речь может идти о поставках миллионов тонн растительных масел и этилового спирта, для выпуска которого могут быть использованы десятки миллионов тонн низкокачественного зерна.

Подробно обсуждалась и тема «Продовольствие или топливо», которая еще

недавно дискутировалась на многих высоких трибунах, но выступления стихли после падения цен на нефть. Директор Института конъюнктуры аграрного рынка Дмитрий Рылько привел убедительные цифры о том, что зерна на производство биоэтанола первого поколения в России хватит еще на 10 лет. Только в этом году переходящие запасы зерна больше прошлогодних на 10 млн. т, и ожидается еще больший рост запасов и падение цен в новом году.

А.Р. Аблаев в своем выступлении сравнил цены на зерно и на нефть за последний год. В 2008 г. цены на зерно росли и падали одновременно с ценами на нефть, несмотря на рост производства биотоплива в мире. Так что производство биотоплива в мире практически не влияет на цены на продукты питания.

Производство биотоплива может стать одним из локомотивов в развитии инновационной экономики России. Развитие российской биотопливной промышленности откроет для российского сельского хозяйства новые огромные рынки сбыта. Использование биотоплива решит проблему снабжения моторным топливом сельскохозяйственной техники. Оно повысит надежность общенациональной системы обеспечения альтернативным моторным топливом транспорта, которая сейчас слишком зависит от работы всего лишь нескольких магистральных нефтепроводов. На селе могут быть созданы десятки тысяч новых рабочих мест, в местную экономику различных регионов потекут инвестиции и налоги.



Как сообщили на конгрессе в своих выступлениях представители солидных международных торговых компаний, они готовы уже сейчас покупать российский биоэтанол по конкурентоспособной цене.

Однако с ценой на биоэтанол есть большие проблемы, причем не естественные, а искусственно созданные. В 2006 г. российские законодатели ввели новые ставки акциза на этиловый спирт и содержащие его жидкости. Топливной биоэтанол и бензин с добавкой этилового спирта попали под акцизное обложение, и ставки акцизов делают экономически бессмысленным использование его внутри страны и затрудняют поставки российского топливного биоэтанола на экспорт.

М.А. Сулягинский, Депутат Государственной Думы ФС РФ, в своем выступлении рассказал о развитии энергетического использования биомассы в России. Он подчеркнул, что ресурсы биомассы в России огромны. Это и повышение отдачи с каждого гектара пахотной земли в 1,5-2 раза, использование отходов продукции растениеводства, ежегодный профицит возможного объема заготавливаемой древесины и отходов, использование источников био- и альтернативной энергии (торф, геотермальные источники, источники солнечной и ветровой энергии), а также вовлечение в оборот до 40 млн. га неиспользуемых земель.

В.К. Гусев, член Совета Федерации РФ, и А.Петрыкин, руководитель экспертной секции «Топливный этанол», ознакомили участников конгресса с законодательными тенденциями в биотопливной отрасли.

А.П. Сеницын, заведующий лабораторией химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, профессор, д.х.н., заявил, что «в технологии производства биотоплив точка невозврата пройдена». В развитие производства и применения биотоплив инвестировано столько ресурсов, что уже экономически неоправданно сворачивать эти программы. Например, только в США, общий объем инвестиций в «чистую энергию» определен в 150 млрд. долл. США за 10 лет.

Важно не упускать из виду, заявил А.П.Сеницын, что биотопливо не является наиболее привлекательным продуктом с точки зрения цены. Идея по-



лучения биотоплива из биомассы уже легко воспринимается обществом «по умолчанию», идея получения биоматериалов – пока нет. Основой «выгодного» пути переработки возобновляемого растительного сырья должна быть реализация идеи «био-фабрики» (bio-refinery = oilrefinery), то есть идеи получения широкого спектра химических соединений разных классов, таких как биопластики и органические кислоты.

Выступивший на конгрессе представитель Министерства сельского хозяйства РФ сообщил, что мощности 170 российских спиртовых заводов сейчас используются всего лишь на 41%, и имеющих посевных площадей более чем достаточно для того, чтобы обеспечить эти заводы сырьем для производства биоэтанола.

Глория Гауптман, заместитель председателя Европейской Ассоциации производителей биоэтанола, рассказала о развитии биоэтанольной отрасли в Европе. Ассоциация, объединяющая более 60 членов, зафиксировала 56%-ный рост производства биоэтанола в Европейском Союзе в 2008 г.

«При этом надо самое серьезное внимание уделять проблемам экологии и прежде всего – очистке сточных вод и образующейся спиртовой барды. Из 10 млн. т этого вещества, образующегося в настоящее время на российских спиртовых заводах, на переработку идет всего 2,5 млн. т. Остальное – просто уходит на свалку. Однако и эта проблема может быть успешно решена. Оказывается, современный спиртзавод мощностью 70 тыс. т продукции может

за счет сжигания органических отходов полностью обеспечить свои потребности не только в тепле и паре, но даже и в электроэнергии.

Группа компаний во главе с Д.В. Арсеньевым, генеральным директором НПК «Экология», представила свою концепцию строительства завода глубокой переработки зерна с производством продуктов высокой добавленной стоимости: клейковины, крахмала, биоэтанола. В группу входят такие компании мирового уровня как «Ангидро» (Дания), «Альфа-Лавал» (Дания), «Фогельбуш» (Австрия), «Ферментис» (Франция), «Сименс» (Германия). Наличие таких авторитетных компаний в этой группе гарантирует запуск производства в срок и с планируемыми показателями. При этом группа может обеспечить финансирование до 80% от стоимости проекта.

Международные компании «Новозаймс» (Дания) и «Чематур» (Швеция) представили свои новые технологические решения в области производства биоэтанола.

Проведенный конгресс показал, что в технологической области производства биотоплива точка невозврата пройдена, есть все решения для эффективного и выгодного производства биотоплива. Дело теперь за политическими решениями.

По мнению многих участников 4-й Международный конгресс прошел на достаточно высоком организационном уровне, оказался весьма успешным и способствовал дальнейшему развитию производства и использования биотоплива в России и других странах.

Сжиженные углеводородные газы – альтернатива нефти и нефтепродуктам



Б.С. Рачевский,
председатель правления ГК «НефтеГазТоп», д.т.н.

На фоне общего объема производства энергии, который за последние 30 лет в мире увеличился на 60%, газовая промышленность получила огромное развитие. Добыча углеводородных газов (природного газа, нефтяного газа) возросла на 140%, добыча нефти – на 30%, угля – на 45%.

В соответствии с этим доля углеводородных газов в мировом энергобалансе повысилась с 15 до 30%. Прогнозы экспертов показывают, что тенденция опережающего роста добычи и использования газа в XXI столетии увеличится, и газовая промышленность станет лидером структурного совершенствования мирового энергетического баланса. Свойства углеводородных газов – теплотехнические, экологические и экономические – превращают их в идеальный продукт для энергоснабжения в современном мире. Газ, по сравнению с другими видами органического топлива, наиболее чистый в экологическом отношении вид, так как совокупный выброс загрязняющих веществ на единицу полезного использования энергии у газа существенно ниже, чем у других топлив. В этой связи углеводородные газы не только покрывают заметную часть потребности в энергии и химическом сырье, но и выступают как мощный фактор технических достижений и социального развития общества.

По оценкам экспертов мировой объем добычи углеводородных га-

зов с 3 трлн. м³ (в настоящее время) должен к 2050 г. вырасти до 5 трлн. м³. Доказанные мировые запасы газа велики и составляют 168 трлн. м³ и постоянно пересматриваются в сторону увеличения. Они сосредоточены в двух основных регионах – в России и на Ближнем Востоке.

Россия обладает самыми крупными промышленными запасами углеводородных газов (более 30% мировых) и занимает лидирующее положение в мире по его добыче и экспорту. Добывая в настоящее время более 650 млрд. м³ в год, Россия ставит задачу к 2020 г. выйти на уровень национальной добычи газа 700-750 млрд. м³ в год. Россия эксплуатирует самую большую в мире систему магистральных трубопроводов протяженностью более 220 тыс. км.

Трубопроводный транспорт, будучи одним из главных способов доставки газа потребителям, не в состоянии по технико-экономическим причинам полностью обеспечивать доставку газа от мест добычи потребителям и, прежде всего, тем потребителям, которые отда-

лены от мест добычи. Кроме того, доставка низконапорного газа от мест добычи потребителям по трубопроводам нецелесообразна.

Альтернативой дорогостоящей трубопроводной транспортировке газа на значительные расстояния, требующей строительства трубопроводов высокого давления и дожимных компрессорных станций большой мощности, стало создание комплексов, базирующихся на технологиях перевода природного газа в жидкость (сжижение газа, производство синтетических топлив) и транспортировке жидких углеводородов без трубопроводов.

Сжижению подвергается непосредственно природный газ или газ нефтепереработки и нефтедобычи (попутный газ) в целях транспортировки в специальных транспортных средствах в жидком состоянии с последующим переводом в газообразную фазу (регазификацией) в пунктах потребления.

В мировой практике получили широкое распространение заводы сжижения природного и нефтяных газов, терминалы хранения и транспортные средства доставки сжиженных углеводородных газов потребителям – танкеры, железнодорожные вагоны-цистерны, контейнеры-цистерны и автоцистерны.

В настоящее время резкий и, видимо, уже необратимый рост цен на нефть, обусловленный истощением нефтяных ресурсов, обостряет интерес к проблеме получения из природного газа путем газохимической конверсии синтетического жидкого топлива (бензина, дизельного топлива), которое легко транспортируется и используется хорошо подготовленной и широко распространенной инфра-

структурой. Углеводородные газы и газохимия могут сыграть в мировой энергетике и экономике XXI в. такую же роль, какую сыграла в XX в. нефть и нефтехимия. Следствием понимания возрастающей роли природного газа не только в качестве энергоресурса, но и как нефтехимического сырья, явился повышенный интерес в последние годы к проблеме химической переработки газа, особенно к процессам превращения в жидкие углеводороды и моторное топливо – так называемое синтетическое жидкое топливо (СЖТ) – или GTL-технологиям (gas-to-liquid). Крупные нефтегазовые компании мира уже обозначили свой интерес к этим технологиям, начав проектирование и строительство новых заводов, производящих синтетические жидкие углеводороды.

В настоящее время сжиженные углеводородные газы заняли прочное место в обеспечении отдельных потребителей и целых регионов топливом и сырьем. Предназначенные первоначально исключительно для бытовых целей сжиженные газы в настоящее время являются топливом с очень широким диапазоном применения: отопление бытовых и коммунальных помещений, сушка, резка и сварка металлов, топливо для двигателей внутреннего сгорания, тракторов, автомобилей, тепловозов, судов и даже самолетов. Широкое применение сжиженные газы получили и в сельском хозяйстве. Огромное значение имеют сжиженные газы, как сырье для производства химических продуктов и синтетических материалов.

Отмечающиеся в мире расширение объемов использования сжиженных углеводородных газов и стабильный рост спроса на производимые на их основе продукты связаны с ужесточением экологических требований к производству чистых транспортных топлив и химических веществ.

Рост производства и потребления сжиженных углеводородных газов, а также числа потребителей этих газов обусловил необходимость решения многих технических проблем, связанных с производством, транспортом, хранением, распределением и использованием этих газов. Одновременно это вызвало необходимость разработки нормативной базы и организации выпуска широкого ассортимента оборудования, приборов, аппаратов и арматуры, предназначенных для использования сжиженных углеводородных газов, а также разработки технологий и правил, обеспечивающих безопасную эксплуатацию объектов, использующих сжиженные газы.

Но, прежде всего, следует определиться с терминами **«сжиженные углеводородные газы»** и **«синтетическое жидкое топливо»**. В России и странах СНГ сжиженными углеводородными газами (СУГ) традиционно, со времен СССР, называют сжиженные пропан, бутан и их смеси. Во многих странах эти продукты называют **сжиженные нефтяные газы (СНГ)**, что соответствует наиболее распространенному в мировой практике англо-американскому термину **Liquefied Petroleum Gas (LPG)**.

Иногда смесь пропан-бутана называют **сжиженный пропан-бутан (СПБ)**. Таким образом, в России за одним и тем же продуктом (сжиженным пропан-бутаном) в технической литературе и нормативных документах (СНиПы, ГОСТы, Правила) установились три термина: СУГ, СНГ, СПБ. Между тем, сжиженный природный газ (СПГ) также относится к сжиженным углеводородным газам, поскольку он состоит в основном из углеводородного газа – метана (CH_4).

В развитых странах различают **LPG** – сжиженный нефтяной газ и **LNG (Liquefied Natural Gas)** – сжиженный природный (натуральный) газ. Первый термин относится к

углеводородам C_3, C_4 (включая нормальный пропан, бутан, изобутан) и их смесям, которые получают именно из нефтяного попутного газа, второй (LNG) – к смеси углеводородов C_1, C_2, C_3 , получаемой из природного (натурального) газа.

По-своему трактуют в России термин СНГ производители легкого углеводородного сырья для нефтехимии, включая часто в эти понятия фракции C_5 и C_6 . Производители бытового (топливного газа) к понятию СНГ относят, наряду с пропаном и бутаном, фракции пропана-пропилена и бутана-бутилена. Многие производители и потребители сжиженных газов в понятие СНГ включают как предельные, так и непредельные фракции C_3-C_4 , а также так называемые «прочие» сжиженные газы, к которым относят рефлюксы стабилизации, фракции C_3-C_5 и другие, представляющие по существу **ШФЛУ – широкие фракции легких углеводородов**. Термин «СНГ» в российских государственных стандартах отсутствует.

По состоянию на 2008 г. в России действует два государственных стандарта на сжиженные газы различного назначения: для экспорта – ГОСТ 21443–75, для коммунально-бытового потребления и моторного топлива – ГОСТ 20148–90 и 11 ГОСТов, регламентирующих контроль качества СПБ и требования к сосудам для СПБ, а также ряд технических условий на газовые фракции для нефтехимического сырья.

В действующих государственных стандартах России вся продукция сжиженных газов имеет название **сжиженные углеводородные газы (СУГ)**. Этот термин соответствует зарубежному термину **Liquefied Hydrocarbon Gases (LHG)**.

Несмотря на появившиеся в России объекты по получению и использованию сжиженного природного газа и большую перспективу производства и потребления этого продукта, в настоящее время

в России нет государственных стандартов по СПГ. Действует единственный нормативный документ ПБ 08-342-00 «Правила безопасности при производстве, хранении и выдаче сжиженного природного газа (СПГ) на газораспределительных станциях магистральных трубопроводов (ГРС МГ) и автогазонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС)», утвержденные постановлением Госгортехнадзора России № 3 от 08.02.2000 г.

К основным видам стандартов, необходимых в России для успешного проектирования, создания и эксплуатации объектов СПГ, относятся:

- стандарты по составу СПГ с учетом назначения;
- стандарты технических условий или технических требований;
- стандарт контроля качества СПГ;
- правила безопасности для производств СПГ;
- правила безопасности на объектах потребителей СПГ;
- руководящий документ по правилам эксплуатации объектов СПГ;
- правила транспортировки СПГ;
- правила хранения СПГ.

В развитых странах, параллельно с расширением рынков сбыта и сфер применения СПГ, развивалась и совершенствовалась нормативно-техническая база, регламентирующая порядок работы с новым видом топлива, основы техники безопасности при обращении с ним, правила проектирования, строительства и эксплуатации систем, применяющих СПГ.

Тремя признанными центрами по развитию технологии и разработке стандартов СПГ являются Америка (США, Канада), Европа (Англия) и Австралия. Созданные здесь стандарты регламентируют широкий круг вопросов, относящихся к конструктивным и технологическим требованиям, проектиро-

ванию, безопасности на различных стадиях производства и использования СПГ. В своей совокупности эти стандарты включают практически энциклопедические сведения по СПГ для всех специалистов, работающих в этой области.

При глубоком анализе этих документов отчетливо просматриваются две тенденции. С одной стороны – стремление к их международной унификации, с другой – к учету национальных особенностей в технических подходах, характерных для каждой из этих групп стран.

Система стандартизации в России имеет существенные отличия от принятых в западных странах, что не позволяет напрямую использовать в отечественной практике ни один из приведенных стандартов.

Анализ установившихся терминов нормативных документов и химического состава сжиженных углеводородных газов показывает, что под термином **«сжиженные углеводородные газы»** корректно и целесообразно понимать все сжиженные углеводородные газы (метан, этан, этилен, пропан, бутан, изобутан и др.).

Разделять в терминологии сжиженные газы следует по принципу, какой газ сжижается: природный газ – сжиженный природный газ (СПГ); пропан, бутан и их смеси – сжиженный пропан-бутан (СПБ); этилен – сжиженный этилен (СЭТ) и др. Термин **«сжиженные углеводородные газы»** должен касаться также всех смесей углеводородов – метана, пропана, бутана, изобутана, смеси пропан-бутана и др.

Термин синтетическое жидкое топливо (СЖТ) или технология GTL (Gas To Liquids – газ в жидкость) – это промышленный процесс синтетического преобразования природного газа в жидкие углеводороды и производство моторного топлива, но не из нефти, а из газа.

Говоря простым языком – это получение с помощью газохимии из природного или попутного не-

фтяного газа жидких углеводородов, например, бензина и дизельного топлива.

Современный уровень развития газохимии пока еще несопоставимо мал по сравнению с уровнем развития нефтехимии. Всего около 200 млрд. м³ добываемого в мире природного газа используется в качестве химического сырья, что составляет менее 6% объема его годовой добычи, равной 3 трлн. м³.

Основными крупнотоннажными продуктами химической переработки природного газа являются аммиак и метанол.

Процессы производства из природного газа газохимических веществ, кроме удовлетворения потребностей в легкотранспортируемых синтетических продуктах, открывают наиболее реальный путь освоения больших запасов природного газа в удаленных регионах и на континентальном шельфе.

Рассматривается несколько технологий получения легкотранспортируемых жидких углеводородов из природного или попутного нефтяного газа в труднодоступных месторождениях, включая процессы конверсии газа в жидкость (Gas To Liquids, GTL), к которым в первую очередь относят синтетическое жидкое топливо (СЖТ) и метанол. В этой группе рассматриваются и сопутствующие технологии конверсии метанола в бензин (Methanol To Gasoline, MTG), метанола в олефины (Metanol To Olefins MTO), олефинов в бензин (Olefins To Gasoline and Distillates, MOGD), а также получения диметилового эфира (ДМЭ). Главным преимуществом синтетического жидкого топлива является отсутствие в нем экологически проблемных примесей, прежде всего – соединений серы.

Практически все о сжиженных углеводородных газах можно узнать из моей книги «Сжиженные углеводородные газы», которая уже вышла в свет.

Европейский опыт эксплуатации АГНКС серии Gazpack фирмы «ComrAir» (Великобритания)

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

ЗАО «Комптех» предлагает АГНКС серии Gazpack фирмы «ComrAir» (Великобритания) для компримированного природного газа (КПГ). Компрессоры этой серии имеют рабочее давление до 250 бар и производительность до 20 м³/мин. АГНКС обеспечивают автоматическую безопасную заправку транспортных средств, в том числе и в условиях густонаселенной местности. Для установки компрессоров Gazpack не требуется сооружение фундамента.



перевод муниципального пассажирского автобусного транспорта на экологически чистый вид моторного топлива. В Париже уже сейчас эксплуатируются около 160 автобусов на КПГ, и в ближайшем будущем планируется увеличить это число до 400.



Две поставленные компанией «ComrAir» заправочные станции располагаются в предместье Rungis в южной части города и в местечке La Plaine на севере города (район St Denis), в настоящий момент они обслуживают по 80 грузовиков-мусоровозов в день. При этом каждая АГНКС способна заправлять КПГ до 100 грузовых автомобилей в день.



Наибольшим спросом у потребителей пользуются компрессоры Gazpack 50 и Gazpack 70, которые отлично зарекомендовали себя во многих странах, в том числе и близких нам европейских государствах. Это многоступенчатые компрессоры воздушного охлаждения, обеспечивающие большую производительность и высокое входное давление для увеличения энергоэффективности компрессора при высоком давлении газопровода. Модули оснащаются системой возврата газа, выделяемого из конденсата, обратно на входную линию, системой фильтрации и осушения газа, могут поставляться на раме или во всепогодном шумопоглощающем кожухе.

В качестве примера использования компрессоров Gazpack 70 можно при-

вести недавно реализованный компанией «ComrAir» проект АГНКС во французской столице.

Французская группа компаний «Veolia Proprete» (CGEA-Onix), занимающаяся вывозом и дальнейшей переработкой бытовых отходов в Париже, выбрала компанию «ComrAir» в качестве производителя и поставщика двух АГНКС. Эта компания выиграла тендер, организованный мэрией города Парижа, на заключение пятилетнего контракта на вывоз мусора из Парижа и его пригородов. Одним из основных условий этого контракта было использование для перевозки отходов и мусора автотранспорта на экологически чистом виде моторного топлива.

Правительство Франции считает одним из приоритетных направлений

Каждый автомобиль заправляется дважды в день в течение 364 дней в году, за исключением майского праздника. Для компании «Veolia Proprete» ключевым моментом является не только скорость заправки, но и надежность компрессорного оборудования. Несмотря на то, что мэрия Парижа заинтересована в экологичности используемого автотранспорта, компания должна оплачивать штрафные санкции в случае, если мусоровозы не вышли в рейс по любой причине, и поэтому вынужденные простои автомобилей просто недопустимы.

Правительство Франции ввело множество налоговых стимулов для транспортных компаний, использующих экологичное топливо. Так, например, им возмещается в виде освобождения от уплаты топливного налога стоимость затрат на 40 тыс. л горючего в год на один автобус муниципального транспорта или на грузовик-мусоровоз, работающий на КПГ. Другими стимулами являются освобождение от дорожных налоговых лицензий и дополнительные субсидии на покупку новых автомобилей на сжатом метане.

Развитие сети АГНКС для муниципального автотранспорта во Франции способствует, в свою очередь, увеличению числа частных владельцев легковых автомобилей, предпочитающих КПГ бензиновому топливу.

АГНКС, установленные в Париже, основаны на компрессорах ComrAir Gazpack 70, которые идеально подходят для больших общественных заправок и автобусных парков. Эти компрессоры модульного типа предназначены для полностью автоматизированной работы и не требуют существенных работ по их установке и монтажу.

Обе АГНКС состоят из двух таких компрессоров, оснащенных блоком пуска и процессорного управления для автоматической работы, специальной панелью приоритетного каскадного распределения сжатого газа в ресиверах и двухшланговыми заправочными колонками для быстрой заправки транспорта. Колонки позволяют заполнять бак автомобиля объемом 90 м³ в течение 5 мин. Все компрессоры обеспечены сервисной поддержкой компании «ComrAir» (France) в течение 24 ч в сутки и 7 дней в неделю и оснащены электронной системой доступа, регистрирующей данные по всем произведенным операциям.

Помимо крупных АГНКС, ЗАО «Комптех» может предложить компрессоры ComrAir для сжатия природного газа для заправки небольшого количества автомобилей в сутки, например, модели Gazpack 5, 7 и 9, а также Gazpack 37 и 42.

Это компактные, полностью готовые к работе установки. Они заключены во всепогодный шумопоглощающий кожух, включают в себя четырехступенчатый поршневой блок, сосуд для возврата газа, систему фильтрации газа и панель управления. Компрессоры могут комби-

нироваться с колонками, ресиверами, системами фильтрации и осушения, а также автоматикой безопасности.

Особенности компрессоров Gazpack 9 – это относительно низкая стоимость, низкий уровень шумов, компактный дизайн, воздушное охлаждение. Компрессор предназначен для заправки легковых автомобилей, погрузчиков и небольшого частного парка автомобилей природным газом (метаном).



Абсолютное давление газа на входе от 0,07 до 1,4 бар (для подключения к газовой магистрали более высокого давления используется метод редуцирования входного газа). Производительность от 12 до 60 м³/ч.

Многоступенчатые компрессоры водяного охлаждения Gazpack 37-42 обеспечивают надежную и высокопроизводительную работу на заправках средних размеров. Они могут поставляться в

виде простого модуля, установленного на раме, и в виде полностью укомплектованной АГНКС с системой охлаждения (в том числе системой замкнутого жидкостного контура с радиатором воздушного охлаждения), сосудом возврата газа, системой фильтрации, системой осушения и в шумопоглощающем кожухе.

Компрессоры Gazpack 37 идеально подходят для заправок общего пользования и транспортных парков средних размеров, например, муниципального транспорта, автомобилей средних размеров типа «Газель», микроавтобусов и т. д. Их производительность находится в пределах от 164 до 553 м³/ч.

В качестве систем осушения и фильтрации газов ЗАО «Комптех» предлагает оборудование производства фирмы «Zander» (Германия).

Осушители метана высокого давления серии HDAM устанавливаются на выходе газового компрессора. Они выполнены из обычной стали, но внутренние поверхности сосудов адсорберов покрыты антикоррозионным покрытием, а внешние – специальными синтетическими смолами. Адсорберы метана серии STV устанавливаются на входе компрессора и рассчитаны на работу при низком давлении газа.

По всем вопросам, связанным с приобретением или обслуживанием АГНКС производства компании «ComrAir», можно обратиться к авторизованному представителю компании в России ЗАО «Комптех».



Мировая статистика перевода автотранспорта на КПГ по состоянию на 1 мая 2009 г.

Страна	Парк ГБА	Парк АГНКС	Потребление КПГ, млн. м ³ (2008)
Пакистан	2 000 000	2 718	н/д
Аргентина	1 750 339	1 808	2 799,60
Бразилия	1 588 331	1 705	1 836,48
Иран	1 215 593	764	н/д
Индия	700 000	500	624,00
Италия	580 000	700	588,00
Китай	400 000	1 336	н/д
Колумбия	280 638	437	540,00
Бангладеш	180 000	296	256,32
Таиланд	140 038	305	н/д
Украина	120 000	300	552,00
Россия	103 000	226	321,48
Армения	101 352	214	285,60
Египет	101 078	118	402,00
США	100 000	816	660,00
Боливия	99 657	123	297,36
Германия	64 444	804	129,12
Перу	61 495	64	67,92
Болгария	60 261	74	150,00
Узбекистан	47 000	43	51,00
Малайзия	40 248	101	н/д
Япония	35 720	327	н/д
Мьянма	22 821	37	н/д
Корея	19 745	130	527,28
Швеция	16 900	122	58,56
Франция	12 450	125	н/д
Канада	12 140	101	н/д
Таджикистан	10 600	53	49,56
Чили	8 064	15	38,40
Швейцария	7 122	112	10,08
Киргизия	6 000	6	7,20
Белоруссия	5 500	25	36,00
Молдавия	5 000	14	12,00
Венесуэла	4 200	124	н/д
Австрия	4 041	181	5,04
Сингапур	3 609	3	н/д

Тринидад и Тобаго	3 500	10	9,60
Турция	3 056	9	4,80
Грузия	3 000	4	н/д
Индонезия	2 550	9	н/д
Австралия	2 453	146	н/д
Испания	1 863	42	42,24
Польша	1 700	30	н/д
Чешская Республика	1 400	33	6,72
Нидерланды	1 110	21	н/д
Словакия	564	7	9,00
Латвия	500	4	н/д
Вьетнам	500	1	н/д
Финляндия	472	13	4,80
Греция	416	1	н/д
Португалия	379	6	н/д
Сербия	326	5	0,18
ОАЭ	305	2	н/д
Бельгия	300	9	н/д
Великобритания	294	33	0,48
Новая Зеландия	283	14	н/д
Норвегия	180	9	н/д
Люксембург	179	7	0,72
Венгрия	122	3	н/д
Исландия	122	2	0,36
Лихтенштейн	101	3	н/д
Нигерия	60	2	н/д
Македония	50	1	2,40
Филиппины	36	3	н/д
Тунис	34	1	н/д
Литва	17	1	н/д
Панама	15	н/д	н/д
Босния и Герцеговина	7	3	н/д
Черногория	6	1	н/д
Мозамбик	4	1	н/д
Тайвань	4	1	н/д
Танзания	3	н/д	н/д
Ирландия	2	1	н/д
Доминиканская Республика	1	1	н/д
Итого	9 936 444	8 472,00	10 386,30

Работа системы управления ДВС с искровым зажиганием на газовом топливе при пропусках воспламенения

В.А. Шишков,
начальник технического отдела ООО «Рекар»,
доцент Самарского государственного
аэрокосмического университета им. С.П. Королева, к.т.н.

Рассмотрена работа двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с искровым зажиганием с электронной системой управления при пропусках воспламенения как на бензине, так и на газовом топливе. Показано отрицательное воздействие пропусков воспламенения на работу двигателя на обоих видах топлива. Описан алгоритм определения пропусков воспламенения в зависимости от имеющихся сигналов с датчиков электронной системы управления ДВС. Предложены пути совершенствования алгоритма управления ДВС при пропусках воспламенения при работе на газовом топливе и возможности обратного переключения на бензин цилиндров, в которых они происходят.

1. Пропуски воспламенения

Пропуски воспламенения возникают по следующим причинам:

- при большом обеднении топливовоздушной смеси $\alpha \gg 1$ (возможные причины: нарушение дозирования топлива из-за засорения жиклера электромагнитной форсунки или неисправности ее или датчика массового расхода воздуха (ДМРВ); подсос воздуха из атмосферы во впускной системе между ДМРВ и впускным клапаном и т.д.);

- при большом обогащении топливовоздушной смеси $\alpha \ll 1$ (возможные причины: заливаает топливом свечу зажигания из-за неисправности электромагнитной форсунки; неисправность ДМРВ; подсос воздуха из атмосферы в выпускной системе между выпускными клапанами и управляющим датчиком содержания кислорода в отработавших газах; неисправность в системе подогрева газового редуктора или недостаточный расход охлаждающей жидкости, подаваемой в газовый редуктор, особенно в холодный период времени, например, для пропан-бутана подогрев редуктора необходимо брать от шлангов, идущих к отопителю салона, а не соединять его последовательно с обогревом дроссельного патрубка, где расход охлаждающей жидкости невелик из-за малого сечения отверстий для ее прохода в корпусе дроссельного патрубка. Если в летний период времени этого расхода охлаждающей жидкости и будет достаточно для испарения

сжиженного углеводородного газа (СУГ), то в холода начнутся проблемы с устойчивостью работы ДВС);

- при неисправности свечи зажигания (возможные причины: увеличенный или уменьшенный зазор между электродами по сравнению с рекомендуемым; трещина на изоляторе; проскакивание искры по корпусу при рабочем давлении в камере сгорания; отложения загрязняющих веществ на электродах и изоляторе);

- при неисправности высоковольтных проводов (возможные причины: выгорание внутреннего проводника с появлением в нем зазора; пробой через изоляцию на массу);

- при неисправности катушки зажигания (возможные причины: межвитковые внутренние замыкания снижают высоковольтное напряжение; возникновение внутреннего обрыва провода катушки из-за термических напряжений между проводом и эпоксидной смолой, используемой для ее заливки в корпусе) [1];

- из-за негерметичности впускного или выпускного клапанов, что снижает компрессию в цилиндре;

- при нарушении фазы впрыска топлива (возможные причины: периодические сбои в работе датчика положения коленчатого вала (КВ) двигателя из-за увеличенного зазора между датчиком и зубчатым шкивом, плохого контакта в соединениях колодок жгута проводов или из-за нарушения изоляции провода, идущего от датчика; обрыв или надрыв резинового демпфера в зубчатом шкиве);

- при нарушении фазы зажигания [1] и т.д.

Пропуски воспламенения опасны для двигателей, имеющих электронную систему управления с обратной связью по сигналу датчика кислорода в отработавших газах. В этом случае при возникновении пропуска воспламенения в одном из цилиндров датчик кислорода обнаруживает избыток кислорода в отработавших газах, что в свою очередь приводит к увеличению топливоподачи в соседние, нормально работающие, цилиндры. Работа двигателя нарушается, он не выполняет норм по токсичности отработавших газов.

По европейским нормам «Евро-3» и «Евро-4» допускается до 2% пропусков воспламенения, при этом токсичность отработавших газов должна укладываться в соответствующие нормы. При увеличении пропусков воспламенения (более 2%) электронный блок управления отключает данный цилиндр, при этом в нем прекращается топливоподача и для некоторых ДВС зажигание, а управление двигателем по сигналу датчика кислорода выключается для нормальной работы других цилиндров (данная функция реализована не на всех моделях автомо-

билей). После останова и последующего пуска двигателя топливоподача и зажигание в неисправном цилиндре восстанавливаются, если пропуски зажигания повторяются, то снова происходит его отключение.

2. Пропуски воспламенения при работе на газовом топливе

В связи с вышеизложенным очень часто при установке ГБО 4-го поколения с электромагнитными газовыми форсунками возникают пропуски воспламенения из-за неисправности одной из газовых форсунок или при значительном отклонении через нее расхода газа от номинального значения [2]. Это приводит к отключению одного из цилиндров. Внешне дефект проявляется в виде неустойчивой работы двигателя и резкого изменения содержания кислорода в отработавших газах (сигнал с датчика кислорода обычно показывает переобогащение топливовоздушной смеси, если увеличение топливоподдачи на другие цилиндры произошло до момента отключения данного цилиндра, или переобеднение топливовоздушной смеси, если отключение цилиндра из-за пропусков воспламенения произошло до увеличения топливоподдачи на другие цилиндры). В этом случае нормальная настройка газовой системы с помощью автокалибровки становится невозможной. Оборудование для проверки расхода газа через электромагнитные форсунки у многих установщиков ГБО отсутствует, поэтому им сложно понять причину отключения одного из цилиндров. Этого не было бы, если бы качество производимых газовых форсунок от поставщика было стабильным.

Для быстрого определения причин неустойчивой работы двигателя на газовом топливе необходимо:

- остановить ДВС;
- переключить работу ДВС с газа на бензин;
- выполнить пуск ДВС на бензине и проработать на режиме холостого хода 10-15 мин;
- выполнить диагностику работы электронной системы управления ДВС с помощью диагностического тестера (Tech, ДСТ-2, мотортестер и т.д.) на бензине, если замечаний не обнаружено, то переключиться на газ, если обнаружены пропуски воспламенения при работе на бензине, то необходимо определить их причину и устранить ее, а затем выполнить автокалибровку и проверку при работе ДВС на газовом топливе;
- если возникла неустойчивая работа ДВС на газе, следует выполнить диагностику электронной системы управления при работе на газе с помощью диагностического тестера (Tech, ДСТ-2, мотортестер и т.д.), если прибор обнаружил код ошибки по пропускам зажигания, то по номеру ошибки определить номер цилиндра, в котором это произошло;
- если ДВС работает на бензине без замечаний, то основной причиной отключения одного из его цилиндров при работе на газе является нарушение в нем газовой подачи; в этом случае необходимо провести проверку

расходных характеристик газовых форсунок на специализированном стенде, неисправную газовую форсунку следует заменить на новую или (при наличии возможности) выполнить ее настройку, при этом отклонение между расходными характеристиками форсунок, установленных на одном двигателе, должно быть не более 5%; при больших значениях отклонений выполнить их поднастройку или заменить на новые.

Необходимо отметить, что некоторые модели автомобилей, изготовленные под нормы токсичности «Евро-2», не имеют в алгоритме управления ДВС функции отключения цилиндра, в котором происходят пропуски воспламенения. В этом случае диагностика ДВС с помощью тестеров при работе на бензине и газе не сможет определить эту неисправность, а сигнал с датчика кислорода будет показывать обеднение топливовоздушной смеси, что приведет к еще большей неустойчивости работы ДВС на газовом топливе из-за переобогащения топливовоздушной смеси на других цилиндрах. Это, в свою очередь, приведет к повышенному расходу топлива примерно на 25%. В таких условиях токсичность отработавших газов не будет соответствовать нормам «Евро-2», но перегрева выпускной системы и нейтрализатора не будет, так как избыток топлива заберет часть их теплоты на испарение, а также на разложение углеводородов на легкие фракции. При этом есть вероятность отложения тяжелых фракций углеводородов на внутренних поверхностях элемента нейтрализатора, что приведет к повышенному выбросу углеводородов СН и окисла углерода СО.

Для последующего восстановления эффективности нейтрализатора необходимо устранить неисправности, связанные с пропусками воспламенения, и «прожечь» нейтрализатор от отложений углеводородов, проехав по загородной трассе со средней нагрузкой на экономичном режиме движения со скоростью от 80 до 100 км/ч расстояние от 20 до 60 км. Этот способ позволяет очистить нейтрализатор от отложений углеводородов только в том случае, если период эксплуатации автомобиля с пропусками воспламенения был невелик. При движении с максимальной нагрузкой со скоростью более 120 км/ч двигатель работает на обогащенной топливовоздушной смеси, что не способствует очистке нейтрализатора от отложений углеводородов.

Вероятность возникновения пропусков воспламенения при добавках в бензин или газообразное топливо газообразного водорода снижается из-за малой энергии вспышки смеси водорода с воздухом. Молекулы водорода в смеси с молекулами кислорода в воздухе являются активными центрами воспламенения всей топливовоздушной смеси.

Вероятность возникновения пропусков воспламенения при работе ДВС на углеводородном газовом топливе (КПГ, СУГ) наоборот значительно выше из-за того, что для воспламенения газовой топливовоздушной смеси (КПГ – воздух, СУГ – воздух) требуется большая энергия

искрового разряда на свече зажигания, так как температура вспышки этих смесей значительно выше, чем температура вспышки паров бензина с воздухом. Поэтому если газовые форсунки имеют расходные характеристики в поле допуска, то причиной возникновения пропусков воспламенения могут быть система зажигания, недостаточный подогрев или наличие жидкой газовой фазы (для пропан-бутана) на выходе из редуктора. Перегрев газа на входе в газовую рампу может также привести к пропускам воспламенения из-за значительного обеднения газовой смеси при снижении его плотности в зависимости от температуры. Для быстрого поиска неисправности диагностику системы зажигания необходимо выполнять при работе на бензине в соответствии с инструкцией по ремонту и обслуживанию конкретного двигателя и автомобиля.

Особое внимание необходимо уделить датчикам температуры и давления газа в рампе форсунок, так как по величине их сигналов ведется коррекция топливopодачи в ДВС. Если показания этих датчиков не соответствуют реальной температуре и давлению газа, то газоздушная смесь может оказаться или переобедненной, или переобогащенной, что в свою очередь также может привести к неустойчивой работе ДВС и к пропускам воспламенения. Инерционность датчика температуры обычно составляет около 2-3 с, а это означает, что наличие двухфазного потока газа на входе в рампу форсунок приводит к неверной коррекции топливopодачи в электронном блоке управления ДВС. Некоторые датчики температуры газа на входе в рампу форсунок имеют пластмассовый корпус, что увеличивает их инерционность до 5 с. Кроме этого, необходимо правильно устанавливать рампу газовых форсунок и датчики температуры и давления газа на входе в моторном отсеке на конкретном автомобиле. Если датчик температуры будет обдуваться встречным потоком воздуха, то показания его изменяются, и коррекция топливopодачи нарушается. Это особенно заметно в холодный период времени, когда по этой причине может возникнуть неустойчивая работа ДВС, приводящая к про-

пускам воспламенения или повышенной неполноте сгорания из-за обеднения газоздушной смеси, а в жаркий период времени, наоборот, к переобогащению. Поэтому датчик температуры газа в рампе форсунок должен быть расположен в такой зоне моторного отсека, где на него будет минимальное воздействие внешних факторов (набегающий поток воздуха, влияние температуры нагретых частей двигателя, попадание атмосферных осадков).

3. Алгоритм обнаружения пропусков воспламенения

Алгоритм обнаружения пропусков воспламенения при работе на газовом топливе такой же, как и при работе на бензине. Построение этого алгоритма зависит от наличия одного или нескольких необходимых на ДВС датчиков:

- положения коленчатого вала двигателя;
- детонации;
- давления в камере сгорания;
- ионных токов при сгорании топливоздушной смеси;
- температуры в камере сгорания.

3.1. При наличии датчика положения коленчатого вала пропуски воспламенения в одном из цилиндров ДВС определяются по знаку (отрицательный или положительный) и величине модуля скорости изменения частоты вращения КВ двигателя (или приравнивают к 0 вторую производную – ускорение – частоты вращения КВ двигателя по времени) или знаку и величине изменения крутящего момента. Условия пропуска воспламенения:

$$|dn/dt| < n_t \text{ и (или) } M_{кр} < M_t,$$

где dn/dt – величина скорости изменения частоты вращения КВ двигателя;

$n_t = f(d\beta/dt; n; G_g)$ – некоторая граничная функция скорости изменения частоты вращения КВ двигателя, зависящая от скорости нажатия на педаль акселератора $d\beta/dt$, частоты вращения КВ двигателя n и расхода воздуха G_g (нагрузки) через ДВС (значение n_t на стационарном режиме может быть, например, 25-100 мин⁻¹/с, а для режима

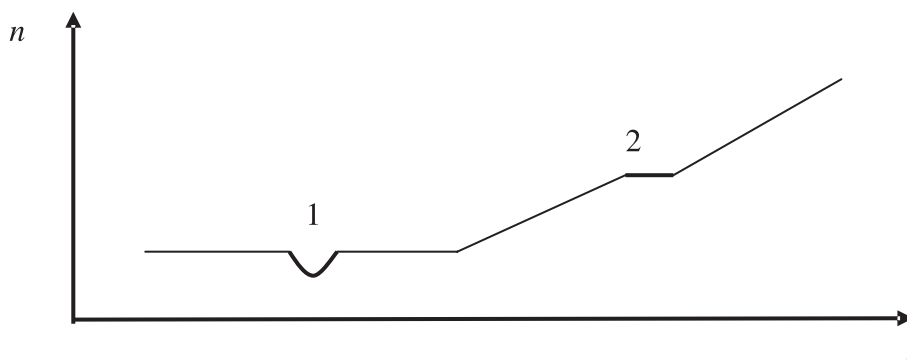


Рис. 1. Изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя по времени при пропуске воспламенения на стационарном режиме и при увеличении режима работы ДВС:

1 – пропуск воспламенения на стационарном режиме при постоянной частоте вращения КВ двигателя; 2 – пропуск воспламенения при увеличении режима работы двигателя

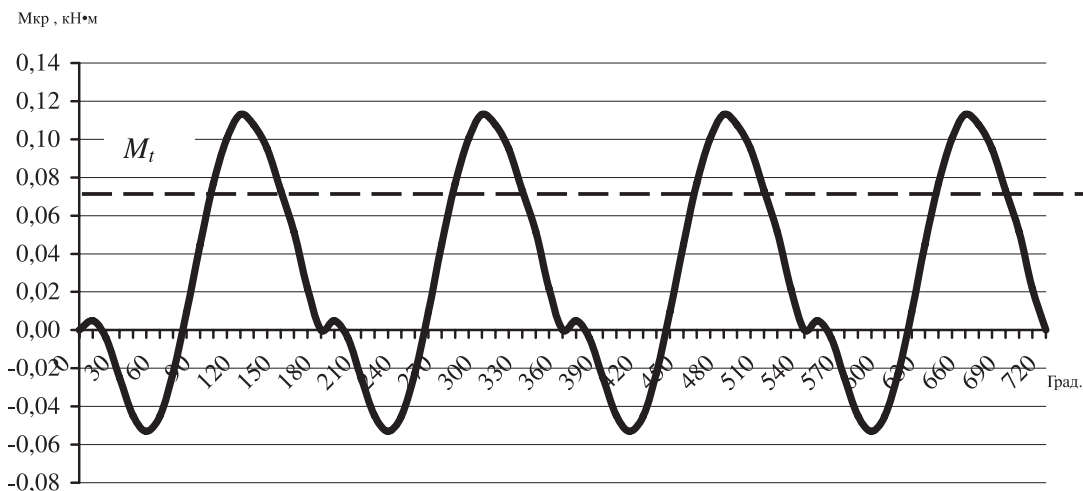


Рис. 2. Суммарный крутящий момент в зависимости от угла положения КВ двигателя γ на одном из режимов работы ($n = \text{const}$, $G_g = \text{const}$) для четырехцилиндрового ДВС

ускорения, например, 0-25 мин⁻¹/с, причем диапазоны этих значений больше примерно на 10-25% для двигателя, работающего на газе, по сравнению с двигателем, работающим на бензине);

$M_{кр} = f(\gamma)$ – величина максимального крутящего момента каждого цилиндра является функцией угла положения КВ двигателя γ ;

$M_t = f(d\beta/dt; n; G_g)$ – некоторая граничная функция изменения крутящего момента, зависящая от скорости нажатия на педаль акселератора $d\beta/dt$, частоты вращения КВ двигателя n и расхода воздуха G_g (нагрузки) через ДВС. Для каждого конкретного двигателя значения этой функции на стационарном режиме и режиме ускорения также будут различны, причем диапазоны этих значений больше примерно на 10-25% для двигателя, работающего на газе, по сравнению с двигателем, работающим на бензине. Последнее, в свою очередь, связано с конкретным снижением мощности и крутящего момента при переключении с бензина на газовое топливо. Для двигателя с наддувом цилиндров или с увеличенной степенью сжатия для работы на газе диапазоны граничных функций будут аналогичны тем, которые определены для двигателя, работающего на бензине, так как изменение мощности и крутящего момента при переходе с одного вида топлива на другое незначительно.

Примеры изменения частоты вращения КВ двигателя при пропуске воспламенения показаны на рис. 1, а изменение крутящего момента при работе всех четырех цилиндров – на рис. 2.

Если педаль акселератора находится в стационарном положении $\beta = \text{const}$ (β – угол положения педали акселератора) или в режиме нажатия $d\beta/dt > 0$, то при возникновении пропуска воспламенения в одном из цилиндров на постоянном режиме возникнет кратковременный провал частоты вращения КВ двигателя, а на режиме ускорения он не даст прироста этой частоты вращения, то есть или

будет провал по величине крутящего момента на стационарном режиме, или он не возрастет при ускорении по сравнению с работой предыдущего и последующего рабочих ходов соответствующих цилиндров, то есть (dn/dt) – отрицательное или равное 0, а в предыдущем $(dn/dt)_{-1}$ и последующем $(dn/dt)_{+1}$ – положительные.

Для стационарного режима работы ДВС (рис. 2) при пропуске воспламенения или при вялом сгорании газозооной смеси в одном из цилиндров произойдет снижение максимального значения крутящего момента (например, при углах положения коленчатого вала двигателя 130 град от ВМТ для первого цилиндра, 310 град для третьего цилиндра, 490 град для четвертого цилиндра и 670 град для второго цилиндра, если порядок работы цилиндров 1-3-4-2), например, на рис. 2 с 11,3 кН · м до значения ниже граничного M_t .

Кроме этого, при обнаружении провала крутящего момента в момент рабочего хода одного из цилиндров или отсутствия его прироста в режиме ускорения электронный блок управления определяет номер этого цилиндра и далее ведет в нем счет количества пропусков воспламенения. При достижении 2% пропусков воспламенения электронный блок управления отключает топливоподачу через форсунку в данный цилиндр, отключает подачу зажигания в нем, а также обратную связь по сигналу с датчика кислорода в отработавших газах. Если педаль акселератора в режиме сброса газа $d\beta/dt < 0$, то, как обычно, происходит кратковременная отсечка топливоподачи с последующим ее восстановлением до режима, соответствующего конечному положению педали акселератора. В этом случае алгоритм обнаружения пропусков воспламенения необходимо отключить, чтобы не было ложных отключений цилиндров.

3.2. При наличии датчика детонации его сигнал также можно использовать в качестве исходного для обнаружения пропусков воспламенения в цилиндрах

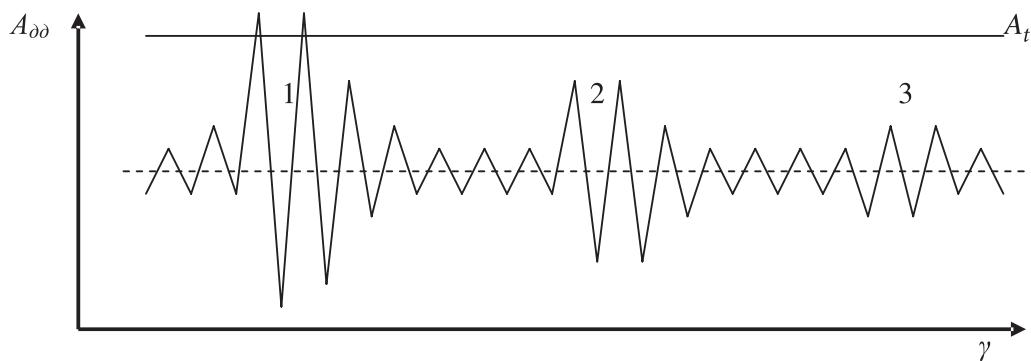


Рис. 3. Изменение амплитуды сигнала датчика детонации по углу положения коленчатого вала двигателя или по времени при пропуске воспламенения:

A_t – граница амплитуды сигнала датчика детонации для обнаружения пропуска воспламенения; 1 – нормальный процесс сгорания газовой смеси в цилиндре; 2 – вялый процесс горения с большой неполнотой сгорания; 3 – пропуск воспламенения при работе ДВС

ДВС или в дополнение к сигналу датчика положения коленчатого вала двигателя, описанного выше, для повышения достоверности определения пропуска воспламенения.

Сигнал с датчика детонации в этом случае пропускается через специальный фильтр в соответствии с частотой вращения коленчатого вала ДВС. По величине амплитуды и частоте колебаний во время рабочего хода соответствующего цилиндра определяют наличие пропуска воспламенения или вялого горения с высокой неполнотой сгорания путем сравнения значения амплитуды с некоторой граничной функцией. Граничную функцию можно определить экспериментальным путем изменения неполноты сгорания в цилиндре ДВС при изменении величины обеднения и обогащения газовой смеси вплоть до получения пропуска воспламенения при разных температурах охлаждающей жидкости и различных внешних условиях. Если величина амплитуды $A_{дд}$ сигнала с датчика детонации ниже величины A_t граничной функции при соответствующих внешних условиях, то в данном цилиндре наблюдается пропуск воспламенения. Для процесса вялого горения для различной неполноты сгорания

газовоздушной смеси можно установить свою граничную функцию. На рис. 3 схематично показана возможность определения пропуска воспламенения с помощью сигнала с датчика детонации.

Необходимо отметить, что желательно использование сигнала с датчика детонации для обнаружения пропусков воспламенения совместно с сигналом датчика неровной дороги, что обеспечит наиболее точное определение пропуска воспламенения или вялого горения с высокой неполнотой сгорания. Номер цилиндра, в котором наблюдается пропуск воспламенения, определяется с помощью синхронизации сигналов с датчиков детонации и неровной дороги с фазой рабочего хода соответствующего цилиндра, которая в свою очередь может быть определена по фазе сигнала с датчика положения коленчатого вала двигателя или по фазе впрыска топлива в соответствующий цилиндр ДВС.

3.3. При наличии датчика давления в камере сгорания пропуск воспламенения можно определить по отсутствию или недостаточному росту давления P_e в процессе горения топливовоздушной смеси в цилиндре, если

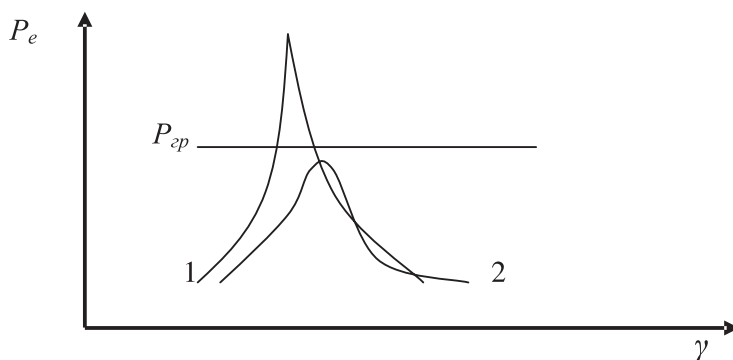


Рис. 4. Изменение давления в камере сгорания ДВС в процессе горения топливовоздушной смеси по углу положения КВ двигателя относительно верхней мертвой точки поршня:

1 – изменение давления при нормальном горении топливовоздушной смеси; 2 – изменение давления при пропуске воспламенения или вялом неполном сгорании

был осуществлен впрыск топлива в этот цилиндр и соответственно подано зажигание. Условия пропуска воспламенения:

$$P_{zp} > P_e,$$

где $P_{zp} = f(\epsilon; \gamma; T_{атм}; T_{двс}; P_{атм}; h; \eta; X_m; \eta_{сг})$ – некоторая граничная функция, зависящая от степени сжатия ϵ , угла положения коленчатого вала γ , температуры атмосферы $T_{атм}$, температуры двигателя $T_{двс}$, атмосферного давления $P_{атм}$, влажности атмосферного воздуха h , коэффициента наполнения цилиндров топливовоздушной смесью η , химического состава топлива [3] и продуктов сгорания X_m , полноты сгорания топливовоздушной смеси $\eta_{сг}$ и других параметров.

Уровень граничной функции по давлению в камере сгорания при работе на газовом топливе по сравнению с работой на бензине будет ниже, если не предусмотрен наддув цилиндров или увеличение степени сжатия при работе на газовом топливе.

На рис. 4 схематично показано изменение давления в камере сгорания ДВС при нормальном горении и при пропуске воспламенения или вялом неполном сгорании топливовоздушной смеси.

Для улучшения достоверности определения пропуска воспламенения или вялого горения необходимо сравнить величину скорости повышения давления в камере сгорания в процессе горения топливовоздушной смеси с некоторой граничной функцией:

$$P_t > dP_e/dt \text{ и (или) } P_t > dP_e/d\gamma,$$

где $d\gamma$ – изменение угла положения коленчатого вала двигателя в процессе горения топливовоздушной смеси в цилиндре;

$P_t = f(\epsilon; \gamma; T_{атм}; T_{двс}; P_{атм}; h; \eta; X_m \text{ и т. д.})$ – некоторая граничная функция, также зависящая от степени сжатия ϵ , угла положения коленчатого вала двигателя γ , температуры атмосферы $T_{атм}$, температуры двигателя $T_{двс}$, атмосферного давления $P_{атм}$, влажности атмосферного воздуха h , коэффициента наполнения цилиндров топливовоздушной смесью η , химического состава топлива и продуктов сгорания X_m и других параметров.

При отсутствии впрыска топлива и сигнала на зажигание при отсечке в режиме сброса газа алгоритм обнаружения пропусков воспламенения выключается.

3.4. При наличии датчика ионных токов в камере сгорания пропуски воспламенения определяются по величине этого тока в сравнении с некоторой функцией. Условия пропуска воспламенения в этом случае:

$$I_{zp} > I,$$

где $I_{zp} = f(\gamma; T_z; U_i; P_e; h; X_m; \eta_{сг})$ – некоторая граничная функция ионного тока, зависящая от угла положения КВ двигателя γ , температуры горения топливовоздушной смеси T_z , величины напряжения на датчике ионных токов U_i , давления в камере сгорания в процессе горения топливовоздушной смеси P_e , влажности атмосферного воздуха h , химического состава топлива и продуктов сгорания X_m , полноты сгорания топливовоздушной смеси $\eta_{сг}$ и других параметров.

Изменение ионного тока в камере сгорания двигателя при нормальном горении и при пропуске воспламенения или вялом неполном сгорании топливовоздушной смеси показано на рис. 5.

По аналогии с датчиком давления в камере сгорания для большей достоверности обнаружения пропуска воспламенения можно ввести дополнительное условие по проверке скорости нарастания ионного тока dI/dt (или $dI/d\gamma$) в процессе горения топливовоздушной смеси в сравнении с некоторой граничной функцией.

3.5. При наличии датчика температуры в камере сгорания пропуски воспламенения определяются по уровню средней температуры во всем объеме камеры сгорания в процессе горения топливовоздушной смеси в сравнении с некоторой граничной функцией. Условие пропуска воспламенения в этом случае:

$$T_{zp} > T_{нз},$$

где T_{zp} – граничная функция режима работы ДВС, состава топливовоздушной смеси, вида топлива и внешних условий;

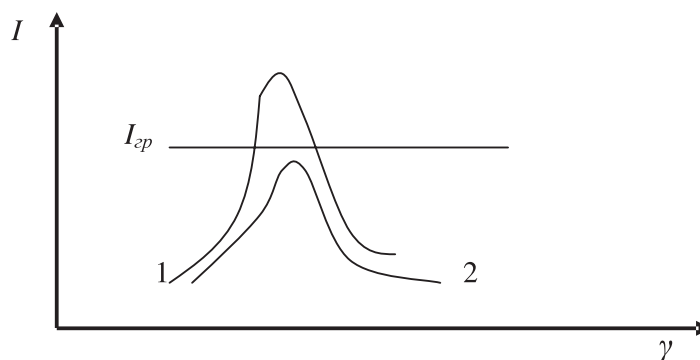


Рис. 5. Изменение ионного тока в камере сгорания двигателя в процессе горения топливовоздушной смеси:

1 – изменение ионного тока при нормальном горении топливовоздушной смеси; 2 – изменение ионного тока при пропуске воспламенения или вялом неполном сгорании

T_{nz} – температура продуктов сгорания в определенном диапазоне углов положения коленчатого вала γ в процессе горения топливовоздушной смеси.

Графическое изображение данного условия обнаружения пропуска воспламенения практически похоже на условие с ионными токами (рис. 4).

Все граничные функции для любого из вышеназванных датчиков можно определить экспериментальным путем. Для этого определяются значения функций Δn , $\Delta M_{кр}$, P_e , I , T_{nz} на всех режимах работы ДВС, а затем вводятся граничные функции, отличающиеся от этих параметров на 5-20% в зависимости от конкретного двигателя и режима его работы.

Граничные функции можно определить и расчетным путем при расчете параметров ДВС, делая запас по этим параметрам 5-20% в зависимости от конкретного двигателя и режима его работы. Но в этом случае потребуются экспериментальная проверка полученных граничных функций, что фактически по затратам окажется выше, чем прямое экспериментальное их определение.

Граничные функции для различных газовых топлив и бензинов, а также различных двигателей отличаются друг от друга разным уровнем их протекания в зависимости от соответствующих параметров.

Работы по внедрению в систему управления ДВС последних трех вышеназванных датчиков только начинаются и имеют большую перспективу, так как могут решить много проблем, связанных с точностью дозирования топлива, точностью процесса управления режимом ДВС, оптимизацией параметров ДВС, снижением расхода топлива и токсичности отработавших газов и т. д. Для этого требуется разработать практически новый алгоритм управления ДВС.

4. Развитие алгоритма управления ДВС при работе на бензине и газе

Перспективным является алгоритм, в котором при обнаружении пропусков воспламенения при работе на газовом топливе более 2% вместо отключения данного цилиндра его переключают на работу на бензине, при этом выдается код ошибки, по которому можно определить его номер для последующего устранения неисправности. В этом варианте двигатель будет работать без замечаний на всех цилиндрах, если причина пропуска воспламенения не в системе зажигания, а в системе газовой подачи. Если пропуски воспламенения в цилиндре, переведенном на работу с газа на бензин, продолжают, то только в этом случае происходит отключение из работы данного цилиндра с отключением управления по обратной связи с управляющего датчика содержания кислорода в отработавших газах.

Для снижения влияния неравномерных нагрузок при возвратно-поступательных движениях, механического износа шатунно-поршневой группы (ШПГ) и вероятности ее механических повреждений при работе двигателя с одним выключенным цилиндром включают режим огра-

ничения мощности и крутящего момента. Этот алгоритм позволит во многих случаях нормально передвигаться автомобилю до станции технического обслуживания для устранения дефекта в системе подачи газового топлива. При выполнении автокалибровки газового электронного блока управления работой ДВС данный алгоритм необходимо выключать, чтобы он не вмешивался в формирование коэффициентов газовой подачи при возможных пропусках воспламенения или вялого неполного сгорания топливовоздушной смеси. После выполнения автокалибровки газового контура этот алгоритм включают и выполняют проверку его работы путем выключения подачи газа на одной из электромагнитных форсунок, при этом должна включиться в работу соответствующая бензиновая форсунка. В этом случае нет необходимости ограничения режима работы двигателя по мощности и крутящему моменту.

При возникновении пропуска воспламенения или вялого неполного сгорания газовой смеси по причинам ее переобеднения или переобогащения в одном или нескольких цилиндрах представляется возможность введения в алгоритм управления функции самообучения электронного блока управления по топливоподаче в данные цилиндры. Сущность этого алгоритма заключается в том, что отключение цилиндра при пропусках воспламенения происходит после проведения операций по изменению обеднения или обогащения газовой смеси на определенный промежуток времени с определением количества процентов пропусков воспламенения в данном цилиндре. Если этот показатель снижается при определенном составе смеси, например, менее 2%, то отключение цилиндра не происходит, а происходит запоминание коэффициента коррекции цикловой топливоподачи в данный цилиндр на данном режиме работы ДВС

$$t_k = K_{об} \cdot t_p,$$

где t_k – скорректированное время впрыска газа через электромагнитную форсунку при наличии пропусков воспламенения не более 2% от общего количества рабочих тактов данного цилиндра;

t_p – расчетное время впрыска газа через электромагнитную форсунку при работе ДВС без пропусков воспламенения;

$K_{об} = f(n; G_g; N_g)$ – коэффициент обучения является функцией частоты вращения коленчатого вала двигателя, расхода воздуха G_g через ДВС и количества N_g пропусков воспламенения в данном цилиндре.

Если не происходит изменения процентов пропусков воспламенения в данном цилиндре, то пропуск воспламенения не связан с переобеднением или переобогащением газовой смеси, а возникает он по одной из причин, указанных в разд. 1 данной работы. В этом случае происходит отключение данного цилиндра.

Для начала самообучения в зависимости от частоты вращения КВ двигателя и нагрузки на двигатель определяется один коэффициент коррекции топливоподачи для

всего диапазона режимных параметров ДВС, а далее его можно уточнять в зависимости от конкретного режима работы и записывать в память электронного блока управления ДВС. По усредненному значению коэффициента коррекции топливоподачи в конкретном цилиндре ДВС, который можно считывать с электронного блока управления с помощью диагностической программы или тестера, можно определять состояние газовых электромагнитных форсунок. В случае значительного изменения данного коэффициента от единицы, например, более чем на 5% в одну или другую стороны выдается код ошибки, по которому необходимо выполнить настройку расходной характеристики или заменить данную газовую форсунку на новую, либо выполнить дополнительные проверки, которые выявят причины переобогащения (подсос дополнительного воздуха во впускном трубопроводе) или переобогащения (негерметичность впускного или выпускного клапанов) в данном цилиндре. Для получения достоверных данных по коэффициенту коррекции топливоподачи в конкретный цилиндр ДВС при пропусках воспламенения алгоритм самообучения, например, включают на стационарных режимах работы и выключают при сбросе или увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Закключение

1. Наличие пропусков воспламенения (более 2%) при работе ДВС на газовом топливе для автомобилей, выпол-

няющих нормы токсичности «Евро-3» и выше, приводит к отключению цилиндра, в котором они наблюдаются.

2. В данной работе показан метод поиска неисправности при пропусках воспламенения при работе ДВС на газовом топливе.

3. Для реализации в программном обеспечении в электронном блоке управления ДВС описаны основы алгоритма обнаружения пропусков воспламенения или вялого неполного сгорания топливовоздушной смеси в камере сгорания в процессе работы двигателя.

4. Даны предложения по развитию алгоритма управления ДВС при пропусках воспламенения или вялом неполном сгорании газозводушнoй смеси.

Литература

1. **Шишков В.А.** Определение угла опережения зажигания при переключении с бензина на газ в зависимости от скорости горения топливной смеси. Транспорт на альтернативном топливе, № 3, 2008. С. 20-23.

2. **Шишков В.А.** Алгоритм управления и диагностики состояния электромагнитных газовых форсунок ДВС с искровым зажиганием. АГЗК+АТ, № 6 (30), 2006. С. 46-48.

3. **Шишков В.А.** Алгоритм адаптации электронной системы управления ДВС к различным химическим составам газового топлива. Транспорт на альтернативном топливе, № 1, 2008. С. 30-35.



ООО «ВНИИГАЗ» приглашает пройти обучение по программе «Актуальные проблемы использования природного газа на транспорте» (72 учебных часа)

Программа:

- разработана с учетом последних научных и технологических достижений в области производства компримированного и сжиженного природного газа и его использования на транспорте, опыта эксплуатации, диагностики и ремонта АГНКС;

- включает экономические аспекты применения газомоторной техники, технологии переоборудования автотракторной техники;

- согласована с ОАО «Газпром» и включена в план повышения квалификации специалистов дочерних обществ и организаций ОАО «Газпром».

Занятия проводят ведущие специалисты ООО «ВНИИГАЗ», ведущих вузов, компаний группы «Газпром».

Слушатели обеспечиваются комплектом учебных материалов и нормативных документов. Возможно размещение в комфортабельной гостинице на территории института.

По окончании обучения выдается Удостоверение о повышении квалификации.

ООО «ВНИИГАЗ» – ведущий научно-исследовательский центр ОАО «Газпром» и разработчик:

- комплексных отраслевых и региональных программ развития газозаправочной сети и парка техники, работающей на природном газе;

- новых технологий производства компримированного и сжиженного природного газа для автомобильных ГКС;

- федеральных и отраслевых технических требований и стандартов в области газопроизводящей и газоиспользующей техники;

- газовых и газодизельных двигателей для автомобилей и тракторов, работающих на компримированном и сжиженном природном газе.

По вопросам участия в курсовой подготовке
обращаться по телефонам:
(+7 495) 355-92-17, (+7 495) 719-61-75,
www.vniigaz.ru, раздел «Обучение и карьера»

Управление моментом воспламенения в двигателе с самовоспламенением от сжатия путем добавления диметилэфира при работе на СПГ

С.В. Гусаков,
зав. кафедрой Российского университета дружбы народов (РУДН), профессор, д.т.н.,
Махмуд Мохамед Эльгобаши Эльхагар,
преподаватель Бани-Суефского университета (Египет), к.т.н.

В статье рассматривается использование сжиженного природного газа (СПГ) в качестве первичного топлива и диметилового эфира (ДМЭ) в качестве добавки – промотора зажигания в двигателях с самовоспламенением от сжатия. СПГ имеет более простой состав по сравнению с традиционными жидкими моторными топливами. Диметилэфир, являясь возобновляемым топливом с низким уровнем выбросов вредных веществ, может служить заменой традиционному дизельному топливу нефтяного происхождения. В проведенном исследовании в качестве основы для математического моделирования использовался дизель с постоянной частотой вращения коленчатого вала (КВ) двигателя 900 мин⁻¹, производства компании «Yanmar Diesel Inc». С помощью математической модели было изучено горение топлива и эмиссия токсичных веществ. В целях управления моментом воспламенения определенное количество ДМЭ смешивалось с СПГ. Аналитические исследования условий сгорания топлива и результирующих топливно-экономических и экологических показателей двигателя были проведены для изучения возможностей и проблем применения СПГ в двигателях с воспламенением от сжатия.

The present work reports on the utilization of liquefied petroleum gas (LPG) as a primary fuel with dimethyl ether (DME) as an ignition enhancer in a direct injection diesel engine. LPG has a simpler hydrocarbon structure than conventional fuels. DME is recently reported as a renewable fuel and to be a low-emission high-quality diesel fuel replacement. A commercial diesel engine manufactured by Yanmar Diesel (Inc.) having a constant speed 960 rpm was used for the mathematical model. Mathematical was made to study the performance, combustion and emissions characteristics. In order to control the ignition and combustion, a small amount of DME was mixed with the LPG. Analytic study on the combustion, the engine performance and the exhaust characteristics were conducted for investigating the possibilities and the problems of LPG application in the CI engines.

Двигатель с HCCI-процессом считается гибридом концепций искрового зажигания и самовоспламенения от сжатия, так как с одной стороны топливо находится в условиях, при которых происходит его самовоспламенение как в дизеле, а с другой – гомогенная смесь топлива с воздухом характерна для двигателей с искровым зажиганием [1]. Процесс HCCI представляет собой уникальный режим горения, дающий возможность использовать практически любые альтернативные виды моторного топлива в жидком или газообразном состоянии. Среди газообразных топлив сжиженный природный газ является наиболее подходящим топливом для организации HCCI-процесса с точки зрения его характеристик горения, а также условий хранения на транспортном средстве.

СПГ считается одним из самых перспективных альтернативных видов моторного топлива не только в качестве заменителя нефти, но и в качестве одного из средств сокращения выбросов NO_x, сажи и дисперсных частиц. Такие топлива, как растительные масла и ДМЭ или диэтиловый эфир (ДЭЭ), которые имеют высокое цетановое число, могут непосредственно использоваться в обычных дизелях. Спирты, например, этанол, могут быть использованы в двигателях с искровым зажиганием или с использованием горячих поверхностей для воспламенения. СПГ имеет высокое октановое число, поэтому хорошо подходит для двигателей с искровым зажиганием. Но когда СПГ применяется в обычном дизеле, возникают трудности с его самовоспламенением в связи с его низким цетановым числом. Поэтому при использовании СПГ в качестве альтернативы дизельному топливу его цетановое число должно быть повышено высокоцетановыми добавками или другими средствами инициирования самовоспламенения. Например, один из авторов предложил использовать для этих целей получаемые путем термического разложения топлива при проведении дизельного цикла свободные радикалы, играющие важную позитивную роль в процессе самовоспламенения [2].

В качестве нового вида альтернативного моторного топлива для дизелей диметиловый эфир имеет лучшую способность к самовоспламенению вследствие более высокого цетанового числа и низкой температуры самовоспламенения. При нормальных условиях ДМЭ находится в газообразном состоянии в связи с его низкой температурой кипения по сравнению с дизельным топливом. Кроме того, экспериментальные исследования показали, что при работе на ДМЭ дизель функционирует бездымно. Расход ДМЭ, по оценкам, составляет 100-135% от расхода дизельного топлива [3].

Индивидуальные характеристики СПГ и ДМЭ побудили авторов изучить преимущества смешения этих двух видов

Таблица 1

Основные технические характеристики двигателя Yanmar

Параметры двигателя	Значение
Диаметр цилиндра / ход поршня, мм	92 / 96
Рабочий объем цилиндра, см ³	638
Степень сжатия	17,7
Номинальная мощность, кВт / при частоте вращения КВ двигателя, мин ⁻¹	8,45 / 2600
Максимальная мощность, кВт / при частоте вращения КВ двигателя, мин ⁻¹	9,56 / 2600
Частота вращения КВ двигателя, мин ⁻¹	960
Условия на впуске: температура (°C) / давление (кПа)	16,7 / 101
Температура охлаждающей жидкости, на входе / на выходе (°C)	70 / 80

моторного топлива. Как уже было показано, ДМЭ смешивается с СПГ, чтобы была возможность запускать дизель на однородной смеси [4]. Это способствовало изучению влияния и выбору пропорции ДМЭ в смеси. В этой работе двигатель работал при различных частных коэффициентах избытка воздуха по ДМЭ и СПГ. При сжигании смеси было проанализировано изменение текущего давления в цилиндре и рассчитана текущая скорость тепловыделения. Показатели двигателя оценивались по развиваемой мощности и эффективному коэффициенту полезного действия, также оценивались выбросы NO_x.

Математическая модель, свойства топлива и условия проведения испытаний

В математической модели некоторые из исходных параметров двигателя (такие, как диаметр цилиндра, ход поршня, степень сжатия, отношении радиуса кривошипа к длине шатуна, давление и температура воздушного заряда в начале такта сжатия, низшая теплота сгорания топлива, теоретическое отношение воздуха к топливу, требующееся для полного сгорания, плотность топлива, тепловые потери в стенки камеры сгорания) и другие параметры принимаются в соответствии с табл. 1.

Некоторые показатели используемых топлив (СПГ и ДМЭ), такие как цетановое число, температура самовоспламенения, температура кипения, стехиометрическое соотношение между воздухом и топливом и вязкость жидкости, принимаются в соответствии с табл. 2.

Для проведения моделирования НСЦИ-процесса необходимо определить параметры смеси топлива:

- склонность топлива к самовоспламенению;
- его низшую теплоту сгорания;
- теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания;
- состав и теплоемкость продуктов сгорания и пр.

Чтобы оценить воспламенение и пределы сгорания смеси по максимальной скорости нарастания давления, чистые СПГ и ДМЭ были исследованы в различных соотношениях в смеси. Воспламенение регистрировалось по наличию положительного крутящего момента двигателя. Об ограничениях по скорости нарастания давления судили по протеканию текущего давления в цилиндре двигателя.

Для оценки соотношения между количеством ДМЭ и СПГ при проведении экспериментальных работ используются соответствующие частные коэффициенты избытка воздуха:

$$\alpha_{LPG} = \frac{G_{ВОЗ}}{G_{LPG} \cdot l_{0LPG}}; \quad (1)$$

$$\alpha_{DMЭ} = \frac{G_{ВОЗ}}{G_{DMЭ} \cdot l_{0DMЭ}}, \quad (2)$$

и суммарный коэффициент избытка воздуха

$$\alpha_{CM} = \frac{G_{ВОЗ}}{G_{CM} \cdot l_{0CM}}, \quad (3)$$

где $G_{ВОЗ}$ – масса воздуха, поступающего в двигатель; G_{LPG} , $G_{DMЭ}$ и G_{CM} – массы СПГ, ДМЭ и их смеси, соответственно;

l_{0LPG} , $l_{0DMЭ}$ и l_{0CM} – теоретическое количество воздуха, необходимое для полного сгорания 1 кг СПГ, ДМЭ и их смеси соответственно.

Определим необходимые для моделирования самовоспламенения и горения гомогенного заряда в условиях камеры сгорания поршневого двигателя следующие параметры смеси топлива:

- суммарный коэффициент избытка воздуха;
- теоретическое стехиометрическое соотношение между массой воздуха и массой смеси топлива;
- низшую теплоту сгорания смеси топлива;
- эффективную энергию активации реакции горения смеси топлива.

Суммарный коэффициент избытка воздуха (α_{CM}) определится через отношение масс воздуха и смеси топлива с учетом теоретически необходимой массы воздуха (l_{0CM}), необходимого для сгорания 1 кг смеси топлива в соответствии с выражением (3):

Таблица 2

Свойства топлива

Показатели	СПГ (– C ₃ H ₈)	ДМЭ (C ₂ H ₆ O)	Дизельное топливо
Цетановое число	<3	>55	40-55
Температура самовоспламенения, °C	465	235	250
Температура кипения, °C	– (162-88)	–25	180-370
Стехиометрическое соотношение, A / F	16,9	9	14,6
Вязкость, сП	—	0,15	2-4
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	49,9	28,8	42,5

$$\alpha_{CM} = \frac{\alpha_{LPG} \cdot \alpha_{DMЭ}}{\alpha_{LPG} + \alpha_{DMЭ}} \quad (4)$$

Масса воздуха, необходимая для полного сгорания 1 кг смесового топлива, равна

$$l_{0CM} = \frac{l_{0DMЭ} \cdot l_{0LPG} (\alpha_{LPG} + \alpha_{DMЭ})}{\alpha_{DMЭ} \cdot l_{0DMЭ} + \alpha_{LPG} \cdot l_{0LPG}} \quad (5)$$

Низшая теплота сгорания топлива ($H_{u_{CM}}$) в соответствии с долями индивидуальных веществ в смеси равна

$$H_{u_{CM}} = \frac{\alpha_{LPG} \cdot l_{0LPG} \cdot H_{u_{DMЭ}} + \alpha_{DMЭ} \cdot l_{0DMЭ} \cdot H_{u_{LPG}}}{\alpha_{DMЭ} \cdot l_{0DMЭ} + \alpha_{LPG} \cdot l_{0LPG}} \quad (6)$$

Достаточно хорошее приближение зависимости эффективной энергии активации от цетанового числа топлива дает экстраполяция полиномом второго порядка

$$E_{эф} = 175,76 + 2,31 \cdot ЦЧ_{CM} - 0,058 \cdot (ЦЧ_{CM})^2 \quad (7)$$

Разработанная и идентифицированная модель рабочего процесса HCCI двигателя была использована для анализа влияния степени сжатия и условий на впуске на характеристики двигателя. Методика расчета состояла из следующих этапов:

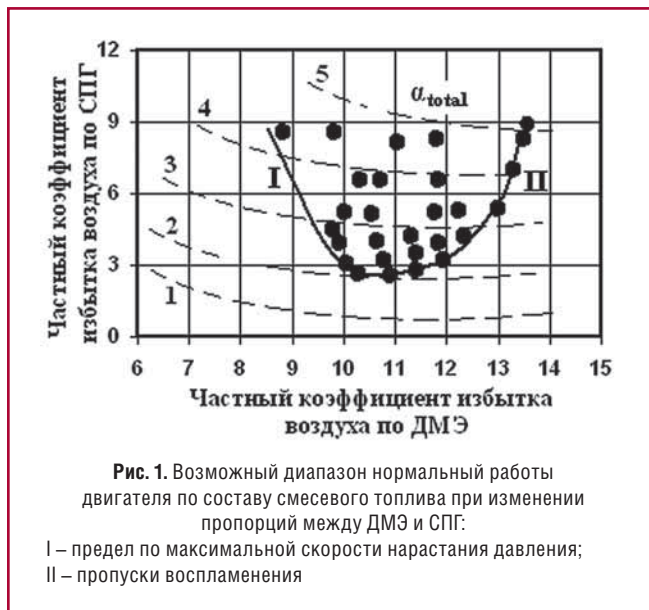
- выбор условий работы двигателя – степени сжатия, условий на впуске в двигатель;
- выбор нагрузочного режима (α_{Σ});
- выбор значений коэффициента избытка воздуха по СПГ ($\alpha_{СПГ}$) и проведение расчетов рабочего цикла при различных значениях коэффициента избытка воздуха по ДМЭ ($\alpha_{DMЭ}$);
- выбор соотношения между $\alpha_{СПГ}$ и $\alpha_{DMЭ}$ обеспечивающего максимальный индикаторный КПД цикла.

При таком порядке расчета изначально задаемся значениями цетановых чисел компонентов смесового топлива и их стехиометрическими коэффициентами: $ЦЧ_{DMЭ} = 55$; $ЦЧ_{СПГ} = 3$; $l_{0DMЭ} = 9$; $l_{0СПГ} = 16,9$, а также их низшей теплоты сгорания $H_{u_{DMЭ}} = 28,8$ МДж/кг; $H_{u_{СПГ}} = 49,9$ МДж/кг.

Вначале было исследовано влияние температуры окружающего воздуха на параметры двигателя при постоянной степени сжатия $\epsilon = 17,7$. Результаты расчетов приведены в следующем разделе.

Возможный диапазон изменения состава топлива

Когда чистый СПГ был использован в двигателе в качестве топлива, самовоспламенение не регистрировалось, даже если количество топлива было увеличено до образования горючей смеси стехиометрического состава. Напротив, ДМЭ прекрасно самовоспламенялся при любых топливовоздушных соотношениях. В экспериментах с различными пропорциями СПГ и ДМЭ в смеси (рис. 1) было замечено, что несмотря на то, что с увеличением содержания СПГ пределы по содержанию ДМЭ, в которых двигатель может эффективно работать, становятся уже, диапазон изменения общего коэффициента избытка воздуха α_{total} , определяющего мощностной режим работы двигателя, является достаточно широким – от $\alpha_{total} = 2,1$ до 5,2.



На рис. 1 приводится возможный диапазон нормальной работы двигателя по составу смесового топлива при изменении пропорций между ДМЭ и СПГ, показанный сплошной линией. Граница найдена на основе опытных данных (точки на рис. 1). Диапазон ограничивается в богатых ДМЭ смесях ($\alpha_{DMЭ} < 8,5$) недопустимо высокой скоростью нарастания давления в цилиндре ($dp/d\phi$)_{max} вследствие взрывного характера сгорания, сопровождающегося высокими динамическими нагрузками на кривошипно-шатунный механизм и высоким уровнем шума. Ограничение для бедных ДМЭ смесей ($\alpha_{DMЭ} > 13,2$) связано с существенным снижением КПД цикла в связи с пропусками воспламенения.

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что горение происходит раньше и развивается быстрее, когда доля ДМЭ в смеси увеличивается. Как видно из рис. 1, при значении $\alpha_{СПГ}$, приближающимся к 2,6, общий коэффициент избытка воздуха достигает своего минимального значения $\alpha_{total} = 2,1$, а также развиваемая двигателем мощность будет максимальной (среднее эффективное давление достигает 0,67 МПа, как показано на рис. 2).

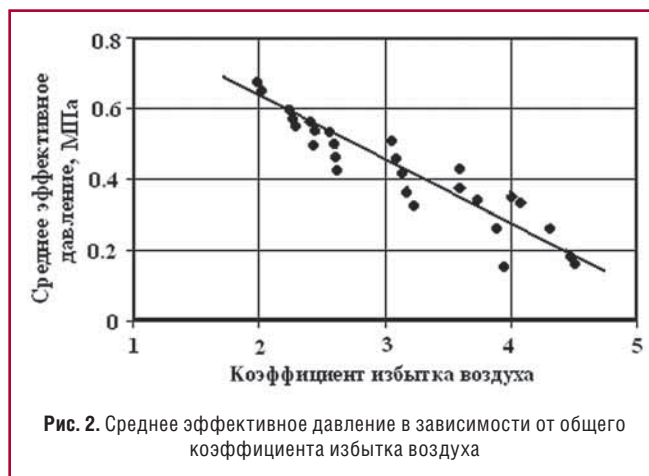




Рис. 3. Скорость тепловыделения в зависимости от пропорции СПГ и ДМЭ в смеси:
 1 – $\alpha_{\text{СПГ}} = 6,6$; $\alpha_{\text{ДМЭ}} = 10,3$; 2 – $\alpha_{\text{СПГ}} = 4,4$; $\alpha_{\text{ДМЭ}} = 11,7$; 3 – $\alpha_{\text{СПГ}} = 2,9$,
 $\alpha_{\text{ДМЭ}} = 11,5$

Влияние доли ДМЭ на момент и температуру самовоспламенения

Влияние пропорции СПГ и ДМЭ в смесевом топливе на скорость тепловыделения показано на рис. 3. Как видно из графиков, сгорание происходит в две стадии: первая – холоднопламенные реакции, оказывающие влияние на момент начала и скорость основного сгорания; вторая – стадия основного сгорания. Соотношение между СПГ и ДМЭ оказывает влияние на обе стадии горения. Тепловыделение и средняя температура в момент самовоспламенения в цилиндре оказывают существенное влияние на развитие холоднопламенных реакций, характер изменения средней температуры на момент самовоспламенения в цилиндре приведен на рис. 4.

Как показано на рис. 4, увеличение содержания ДМЭ или уменьшение содержания СПГ в смесевом топливе ускоряют возникновение холодного пламени и увеличивают максимальную скорость сгорания в этой стадии сгорания. В свою очередь, интенсификация холоднопламенных реакций приводит к более раннему



Рис. 4. Средняя температура газа в цилиндре на момент начала воспламенения в зависимости от пропорции СПГ и ДМЭ в смеси:
 1 – $\alpha_{\text{СПГ}} = 6,6$; $\alpha_{\text{ДМЭ}} = 10,3$; 2 – $\alpha_{\text{СПГ}} = 4,4$; $\alpha_{\text{ДМЭ}} = 11,7$; 3 – $\alpha_{\text{СПГ}} = 2,9$,
 $\alpha_{\text{ДМЭ}} = 11,5$

и быстрому сгоранию в основной фазе. При этом средняя температура газа в цилиндре в начальный момент воспламенения повышается почти на такой же уровень в течение более позднего угла поворота коленчатого вала двигателя даже при различных пропорциях ДМЭ и СПГ в смесевом топливе. Используя имеющиеся данные по влиянию содержания ДМЭ на момент воспламенения и температуру воспламенения, можно продолжить дальнейший анализ.

Управление моментом начала самовоспламенения

Момент самовоспламенения – угол поворота коленчатого вала (ПКВ) двигателя, при котором в камере сгорания самовоспламеняется топливно-воздушная смесь, в этой работе определяется как угол ПКВ, при котором ско-

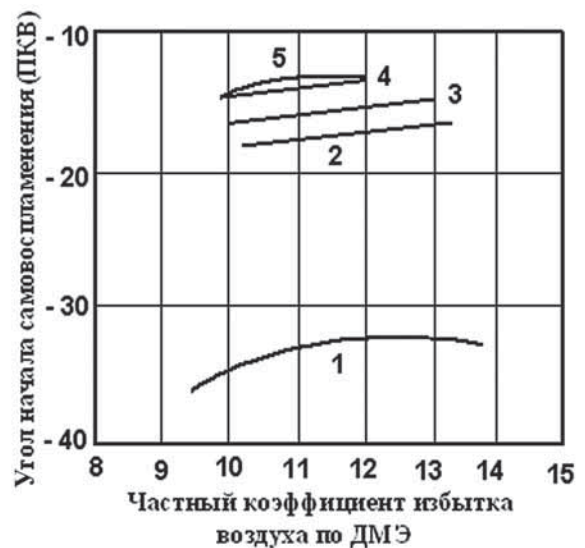


Рис. 5. Влияние частного коэффициента избытка воздуха по ДМЭ $\alpha_{\text{ДМЭ}}$ на угол начала самовоспламенения при различных частных коэффициентах избытка воздуха по СПГ: 1 – $\alpha_{\text{СПГ}} = 0$ (чистый ДМЭ); 2 – $\alpha_{\text{СПГ}} = 5,6$; 3 – $\alpha_{\text{СПГ}} = 6,6$; 4 – $\alpha_{\text{СПГ}} = 3,9$; 5 – $\alpha_{\text{СПГ}} = 2,9$

рость тепловыделения начинает интенсивно возрастать. Зависимость момента самовоспламенения от содержания ДМЭ в смесевом топливе для различных частных коэффициентов избытка воздуха α по СПГ в смеси и чистом топливе ДМЭ показана на рис. 5. Из графиков следует, что момент зажигания зависит от содержания СПГ в смеси. Воспламенение происходит при поздних углах ПКВ для более богатых по СПГ смесей в сравнении с более бедными по СПГ. Например, максимальная разница между началом самовоспламенения составляет 6° ПКВ при переходе от $\alpha_{\text{СПГ}} = 2,9$ к $5,6$. Это может быть связано с увеличением общего объема топлива. В этом случае запаздывание самовоспламенения происходит потому, что повышение температуры для более богатых смесей происходит в более поздний период времени, как это показано на рис. 4. Чистый ДМЭ обеспечивает наименьший период задержки самовоспламенения. При постоянной концентрации СПГ влияние изменения концентрации ДМЭ на момент начала

самовоспламенения незначительно. Из этого следует, что после того, как концентрация ДМЭ в смеси становится достаточной, чтобы вызвать самовоспламенение, дальнейшее увеличение концентрации ДМЭ не сокращает период задержки воспламенения.

Температура воспламенения

Средняя температура рабочего тела в цилиндре рассчитывается с использованием результатов измерений текущего давления в цилиндре, при этом рабочее тело рассматривается, как идеальный газ. Средняя температура рабочего тела в момент начала самовоспламенения принимается в данном исследовании за температуру воспламенения. На рис. 6 показана взаимосвязь между температурой воспламенения и общим коэффициентом избытка воздуха, который обычно используется для оценки нагрузки двигателя. Как показано в табл. 2, температура самовоспламенения чистых ДМЭ и СПГ составляет 508 К и 738 К соответственно. Можно считать, что воспламенение смеси начинается с ДМЭ, а не с СПГ, потому что температура во всех режимных точках ниже 590 К, как показано на рис. 6. Таким образом, процесс воспламенения смеси начинается при средней температуре в цилиндре, становящейся в конце такта сжатия выше температуры самовоспламенения ДМЭ, и самовоспламенение ДМЭ затем инициализирует горение СПГ.

Эффективный КПД двигателя, работающего на смеси СПГ и ДМЭ

Взаимосвязь между эффективным КПД и общим коэффициентом избытка воздуха для двигателя, работающего на оптимальной смеси СПГ и ДМЭ и дизельном топливе, показана на рис. 7. Видимое улучшение КПД на 4-5% подтверждает высокую эффективность двигателя с НССИ-процессом, работающего на оптимизированной смеси СПГ и ДМЭ. Для получения высокой эффективности требуется увеличение скорости горения, поскольку тепловая энергия может быть преобразована в механическую работу наиболее эффективно, если все топливо сгорает в течение короткого периода времени вблизи верхней мертвой точки. Время горения смеси СПГ и ДМЭ в условиях НССИ-двигателя меньше, чем сгорание топлива в дизеле с

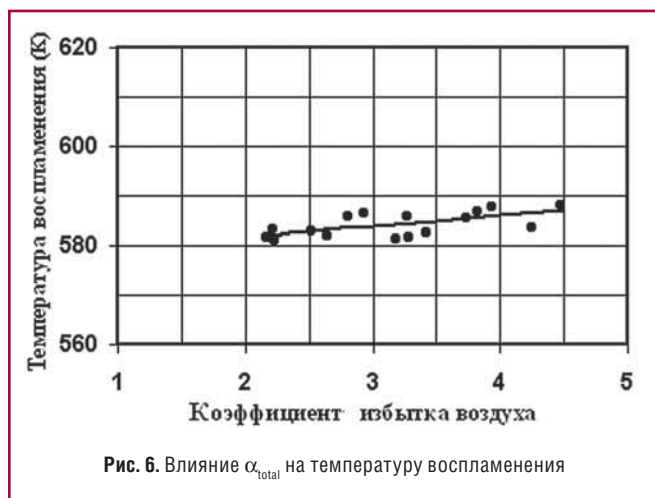


Рис. 6. Влияние α_{total} на температуру воспламенения

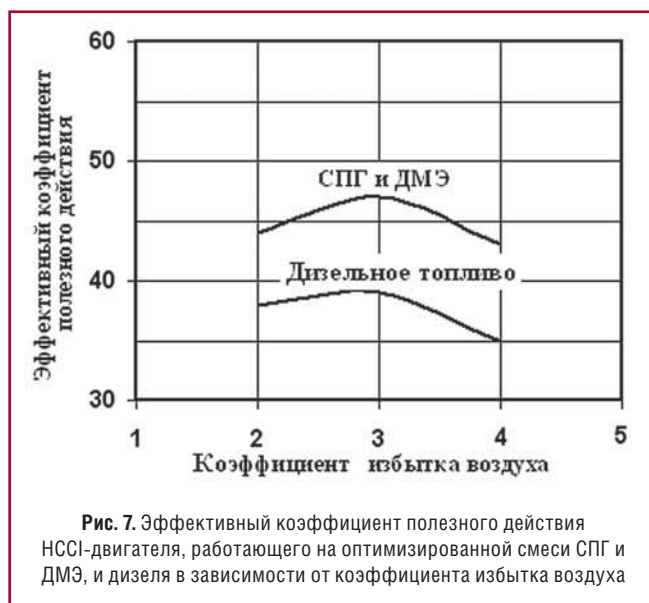


Рис. 7. Эффективный коэффициент полезного действия НССИ-двигателя, работающего на оптимизированной смеси СПГ и ДМЭ, и дизеля в зависимости от коэффициента избытка воздуха

непосредственным впрыскиванием топлива. Таким образом, НССИ-двигатель обладает большей эффективностью преобразования химической энергии топлива в механическую по сравнению с дизелем при одинаковых механических и тепловых потерях.

Эмиссия NO_x двигателем, работающим на смеси СПГ и ДМЭ

Хотя ожидается, что оксид азота не должен образовываться при сгорании бедных смесей, некоторая, хотя и небольшая, концентрация NO_x была зарегистрирована в этом исследовании даже в тех случаях, когда средний коэффициент избытка воздуха в цилиндре для всех режимных точек был больше, чем 2,4. Две причины были рассмотрены, чтобы объяснить такой результат. Во-первых, возможно, смесь не достигла достаточно высокой степени однородности из-за отсутствия эффективного смесителя в топливной системе. Богатые локальные зоны, имеющиеся в этом случае в цилиндре, явились источником NO_x во время сгорания. Во-вторых, участие ДМЭ в формировании NO_x . Связь между концентрацией NO_x и коэффициентом избытка воздуха показывает, что при сгорании образуются различные концентрации NO_x при одном и том же коэффициенте избытка воздуха. Низкое содержание ДМЭ в смеси задерживает начало сгорания и понижает пик тепловыделения. Это уменьшает температуру в цилиндре. Поэтому, эмиссия NO_x при уменьшении концентрации ДМЭ в смеси оказывается ниже.

Рис. 8 показывает, что концентрация NO_x в отработавших газах находится на очень низком уровне. Снижение концентрации ДМЭ в смесевом топливе может снизить NO_x , например, с 18 до 3 ppm для $\alpha_{сгр} = 2,9$, как показано на рис. 8. Заметим, что поскольку необходимо обогащать смесь при увеличении нагрузки, небольшого количества NO_x нельзя избежать даже при абсолютно однородной смеси. Бедные ДМЭ смеси рекомендуются для снижения выбросов NO_x , но если концентрация ДМЭ в смеси слишком мала, эффективность процесса будет низкой.

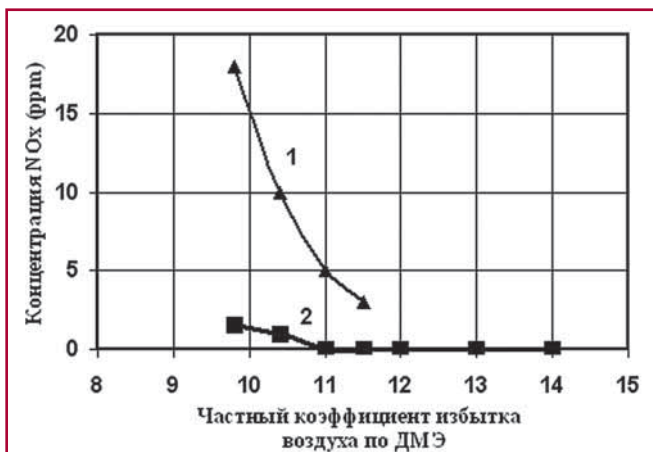


Рис. 8. Концентрация NO_x в отработавших газах в зависимости от частного коэффициента избытка воздуха $\alpha_{\text{ДМЭ}}$ по ДМЭ при различных значениях частного коэффициента избытка воздуха по СПГ: 1 – $\alpha_{\text{СПГ}} = 2,9$; 2 – $\alpha_{\text{СПГ}} = 3,9-6,6$

Выводы

В этой работе HCCI-процесс, организованный на топливной смеси СПГ и ДМЭ в различных пропорциях, был исследован путем анализа сгорания топлива, результатов испытаний двигателя и состава отработавших газов. Полученные результаты дают возможность сделать следующие выводы:

1. Использование в качестве топлива смеси СПГ и ДМЭ позволяет двигателю с HCCI-процессом плавно и тихо работать в широком диапазоне нагрузок при коэффициенте избытка воздуха от $\alpha_{\text{total}} = 2,1$ до 5,2.
2. В выполненных испытаниях количество ДМЭ в смеси было подобрано из условий обеспечения стабильного самовоспламенения топливоздушная смеси.
3. Эффективный коэффициент полезного действия у HCCI-двигателя, работающего на оптимизированной смеси СПГ и ДМЭ, на 4-5% выше, чем у двигателя, работающего на дизельном топливе.
4. Зарегистрированная концентрация NO_x во всем рабочем диапазоне нагрузок чрезвычайно низка.

Литература

1. Hisakazu Suzuki, Matsuo Odaka, Takahiro Kariya. Study on Homogeneous Charge Diesel Combustion Engine, JSAE Paper, No.9932007, 1999.
2. Hisashi Akagawa, Takeshi Miyamoto, Akira Harada, Satoru Sasaki, Naoki Shimazaki, Takeshi Hashizume. Analysis and Improvements of Premixed Lean Diesel Combustion, JSAE Paper, No.9931990, 1999.
3. Hajime Oguma, Takayoshi Ichikura, Norimasa Iida. Adaptability of Alternative Fuels to Lean Burn in 2-Stroke ATAC Engine -Comparison between DME, Methanol, Ethanol, Methane and Propane-, Proceedings of The 14th Internal Combustion Engine Symposium, 1997. P. 163-168.
4. Tatsuki Suzuki, Hiroaki Yonetani and Itaru Fukutani. Combustion Characteristic of Compression Ignited Engine with DME Low-Pressure Fuel Injection, JSAE Paper, No.9939910, 1999.

В Индии появятся газовые локомотивы

Индия присоединилась к мировому клубу газовых железнодорожников. Рост цен на нефть и озабоченность состоянием окружающей среды привели руководство компании «Индийские железные дороги» к решению о переводе части локомотивного парка на использование природного газа.

Для реализации этой задачи в отрасли создан «Институт альтернативных видов топлива Индийских железных дорог» (Indian Railways Institute of Alternative Fuels). В задачу института входит комплекс вопросов по исследованию перевода подвижного состава на природный газ и некоторые виды биотоплива.

Министерство железных дорог Индии реализует два проекта по газификации локомотивов дальнего и пригородного сообщения. Начались испытания 200 локомотивов, кон-

вертированных для работы по газодизельному циклу. На первом этапе запальная доза природного газа составит 50%, а впоследствии она будет постепенно сокращена до 30%. Начальная стоимость ОКР составила 1 млн. долл. США.

По словам одного из железнодорожных чиновников, если пилотный проект пройдет успешно, работы перейдут в стадию коммерческого внедрения. Кроме «Института альтернативных видов топлива Индийских железных дорог», газификацией локомотивов занимается «Железнодорожная организация проектирования и стандартизации» (Rail Design & Standards Organization – RDSO) – головной научно-исследовательский институт индийских железнодорожников. Этой организации на 2008-2009 гг. на газомоторную тематику выделено 4,5 млн. долл. США. Перед ней поставле-

на задача к концу 2009 г. разработать и изготовить отечественный комплект топливной аппаратуры для железнодорожного дизельного двигателя по аналогии с автомобильным.

Перевод локомотивов на природный газ в условиях спада железнодорожных перевозок и неустойчивость цен на нефть позволит сократить себестоимость транспортной работы. В 2008 г. «Индийские железные дороги» потратили на дизельное топливо 1,7 млрд. долл. США. Газификация локомотивов позволит сократить эти затраты на 60%.



Новый способ и средства огнезащиты для объектов нефтегазового комплекса

С.В. Заикин,

начальник отдела ЗАО «Теплоогнезащита»,

В.Л. Страхов,

зам. генерального директора ЗАО «Теплоогнезащита», профессор, д.т.н.,

В.О. Каледин,

начальник отдела ЗАО «Теплоогнезащита», к.т.н.

Разработаны новые эффективные средства огнезащиты, реализующие способ огнезащиты, основанный на ограждении защищаемого объекта огнезащитным экраном, в пористой структуре материалов которого создается парокапельно-воздушная среда из охлаждающей жидкости. Разработаны математические модели, позволяющие рассчитать основные конструктивные параметры предлагаемых устройств для конкретных типов защищаемых объектов. Даны рекомендации по применению разработанных средств огнезащиты на объектах нефтегазового комплекса.

Для повышения уровня пожарной безопасности пожароопасных объектов нефтегазового комплекса разработаны устройства, в основу конструкции которых положен способ комбинированной огнезащиты [1], основанный на рациональном сочетании способов активной и пассивной огнезащиты.

Комбинированный способ огнезащиты основан на ограждении защищаемого объекта огнезащитным экраном, в пористой структуре материалов которого при создании парокапельно-воздушной среды из охлаждающей жидкости проявляется синергически интенсивный физический эффект испарительного охлаждения.

Огнезащитный экран выполняется из термостойких волокнистых материалов. Принцип его работы основан на блокировании радиационно-конвективного теплового потока от пламени на основе рационального сочетания физических эффектов: отражения и поглощения теплового излучения, испарительного охлаждения, а также теплоизолирующего эффекта экрана и воздушной прослойки между экраном и объектом.

Тепловой баланс в зоне экрана этого типа представляется в виде:

$$\dot{q}'_{\Sigma} = \dot{q}'_{отр} + \dot{q}'_{изл} + \dot{q}'_{исп} + \dot{q}'_{изол},$$

где $\dot{q}'_{отр}$ – часть теплового потока, отраженная нагретой поверхностью экрана в окружающее пространство; $\dot{q}'_{изл}$ – часть теплового потока, переизлученная нагретой поверхностью экрана в окружающее пространство; $\dot{q}'_{исп}$ – часть теплового потока, поглощенная при испарении жидкости, заполняющей капиллярно-пористый слой экрана, и фильтрации пара к его обогреваемой поверхности; $\dot{q}'_{изол}$ – часть теплового потока, блокированная теплоизоляцией экрана и воздушной прослойкой между экраном и объектом.

Первым устройством, разработанным на основе описанного способа огнезащиты, является огнезащитное укрытие для технологического оборудования пожароопасных производств. Характерным примером такого оборудования является фонтанная арматура нефтяных скважин.

Общий вид огнезащитного укрытия, установленного на защищаемом объекте в рабочем положении, показан на рис. 1. Оно имеет форму равно-

бокой треугольной призмы высотой 3 м, длиной 2,5 м и шириной основания треугольной грани 2 м.

Малое время установки огнезащитного укрытия при возможности его транспортировки к месту аварии в транспортных средствах, имеющих на вооружении боевых пожарных расчетов, достигается трансформируемостью конструкции из транспортного положения в рабочее и обратно.

Конструкция огнезащитного укрытия состоит из двух основных элементов: огнестойкого экрана и несущего каркаса со встроенной системой орошения.

Огнестойкий экран изготавливается из волокнистых термостойких материалов по швейной технологии и имеет слоистую структуру. Первый (внешнее полотно) и последний (внутреннее полотно) слои изготавливаются из ткани, промежуточные слои – из нетканых рулонных материалов плотностью 80-200 кг/м³. Материал и соотношение толщин слоев подобраны, исходя из условия получения минимальной массы конструкции. Зачехление экрана осуществляется вдоль двух стоек несущего каркаса, распо-



Рис. 1. Общий вид огнезащитного укрытия в рабочем положении

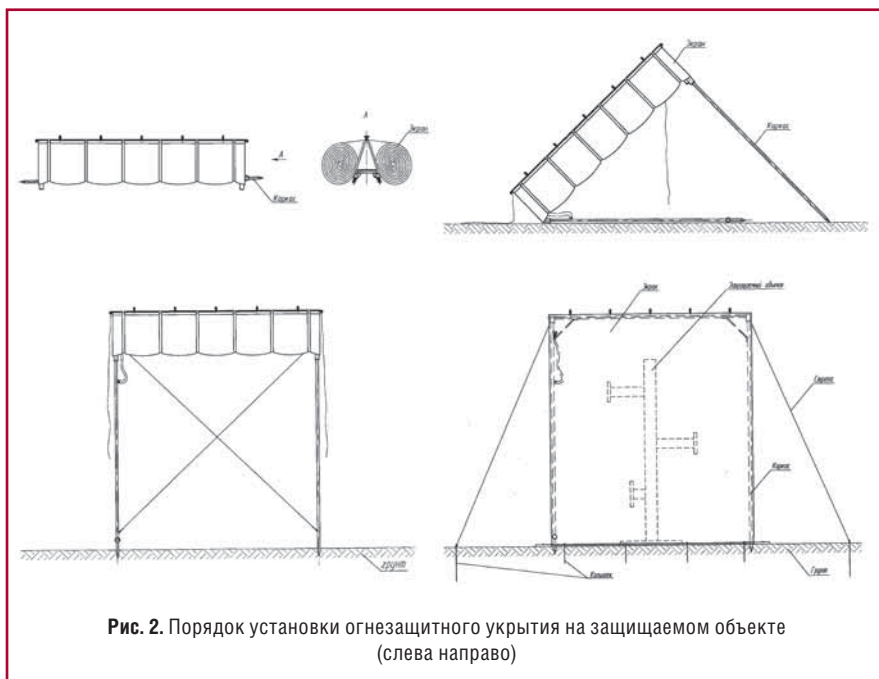


Рис. 2. Порядок установки огнезащитного укрытия на защищаемом объекте (слева направо)

ложенных диагонально, с нахлестом с помощью системы застёжек на основе карабинов.

Несущий каркас изготавливается из стальных нержавеющей труб. Верхняя часть каркаса представляет собой жесткую треугольную призму. К верхней части каркаса шарнирно присоединены стойки, которые в исходном транспортном положении располагаются горизонтально, и их свободные концы образуют ручки для транспортировки укрытия к месту установки по принципу «носилки». Свободные концы стоек выполнены заостренными для фиксации в грунте.

Встроенная система орошения состоит из водоподводящего канала, проложенного в трубах несущего каркаса и форсунок. Форсунки расположены в верхней части каркаса таким образом, чтобы обеспечивать равномерное орошение наружной поверхности и заданного участка внутренней поверхности огнестойкого экрана с заданным расходом воды. Одна из стоек каркаса в нижней части имеет патрубок с полугайкой для подсоединения пожарного рукава. В системе орошения предложено использовать веерную струйную форсунку с щелевым соплом. Конструкция форсунки представляет собой цилиндрическую насадку с заглушенным торцом и боковым поперечным

щелевым отверстием. Размеры сопла подбираются, исходя из требуемых корневого угла факела распыла в плоскости орошаемой поверхности и расхода воды при заданном давлении подачи.

Огнезащитное укрытие может применяться для ограждения защищаемого объекта от воздействия пламени и теплового излучения как в помещении, так и на открытом воздухе.

При установке укрытия на открытом воздухе для предотвращения его опрокидывания под действием ветра предусмотрены четыре растяжки, один конец которых имеет точку крепления у шарниров на нетрансформируемой части каркаса, а другой – к грунту посредством колышков.

Порядок установки огнезащитного укрытия на защищаемом объекте показан на рис. 2.

Огнезащитное укрытие, разработанное применительно для фонтанной арматуры нефтяных скважин, имеет следующие технические характеристики:

- габаритные размеры в исходном (транспортном) положении 3000 × 700 × 400 мм;
- толщина экрана 20 мм;
- установка на защищаемом объекте (транспортировка в исходном положении на расстоянии 30 м и развертывание в рабочее положение) осуществляется бригадой из четырех человек, экипированных в боевую одежду пожарных, за время, не превышающее 5 мин;
- обеспечивается повышение предела огнестойкости защищаемого объекта при отсутствии орошения экрана до 60 мин, при этом температура



Рис. 3. Характерный момент эксплуатационных испытаний огнезащитного укрытия



Рис. 4. Характерный момент огневых испытаний огнезащитного укрытия

защищаемого объекта повышается до уровня, не превышающего 500°C;

- обеспечивается повышение предела огнестойкости защищаемого объекта при орошении экрана водой до 120 мин и более;

- расход воды на орошение не превышает 0,02 л/с на 1 м² поверхности экрана укрытия;

- давление в системе подачи воды на орошение 1,5-4,0 атм.

Заявленные технические характеристики подтверждены эксплуатационными и натурными огневыми испытаниями, проводимыми в условиях открытого полигона.

При проведении испытаний огневого воздействия создавалось по всему периметру укрытия горением дизельного топлива. При этом обеспечивалась высота пламени не менее 4 м. Среднеобъемная температура в пламени во время испытаний находилась в пределах 900-1200°C при среднем значении 1050°C. При этом суммарный тепловой поток, поступающий на обогреваемую поверхность экрана от обтекающих ее горячих газов пламени, достигал значения 85 кВт/м². Характерные моменты эксплуатационных и огневых испытаний огнезащитного укрытия показаны на рис. 3, 4.

Результаты измерения температуры в контрольных точках, расположенных на обогреваемой и необогреваемой поверхностях экрана, на защищаемом объекте и в грунте представлены на рис. 5. Подробное описание методики проведения огневых испытаний и анализ полученных результатов приведены в работе [2].

Для определения конструктивных параметров укрытий различного назначения разработана математическая модель, в основу которой положе-

но решение задачи нестационарного прогрева системы «огнезащитное укрытие – защищаемый объект – грунт» в условиях пожара в двумерной постановке. Контуры экрана и защищаемого объекта соответствуют сечению плоскостью, параллельной торцевым поверхностям укрытия. Контур защищаемого объекта моделируется многоугольником, форма и размеры которого максимально приближены к натуре, а толщина стенки является приведенной по массе величиной. Пространство, ограниченное контурами внутренней поверхности экрана, наружной поверхности защищаемого объекта и поверхности грунта, заполнено диатермичной средой. Среды, расположенная внутри контура, имитирующая защищаемый объект, соответствует среде реального объекта.

Рассматривался наиболее «жесткий» случай, когда факел пламени соприкасался с обогреваемой поверхностью экрана. При этом теплообмен между газовой средой и обогреваемой поверхностью экрана осуществлялся излучением и вынужденной конвекцией.

Теплота от необогреваемой поверхности огнезащитного экрана к защищаемому объекту передается как теплопроводностью через зону непосредственного контакта экрана с защищаемым объектом в верхней части, так и теплопроводностью, из-

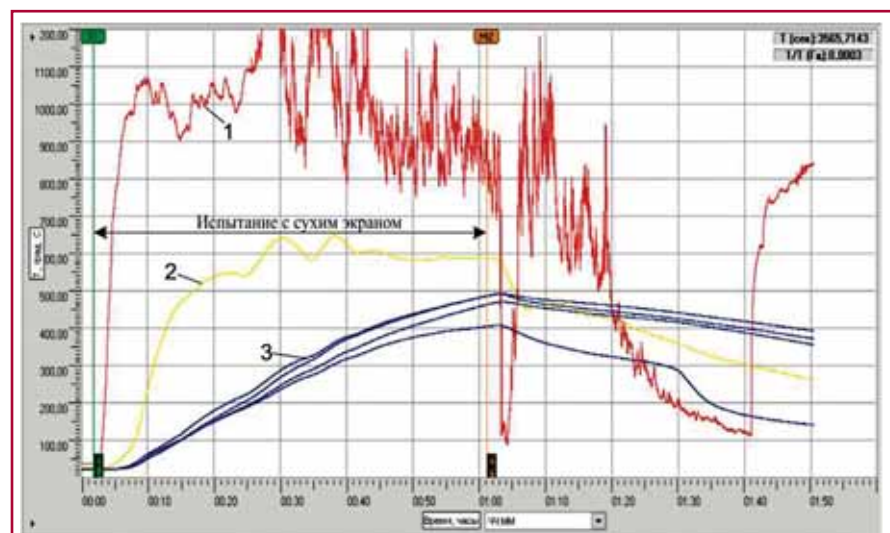


Рис. 5. Изменение температуры в процессе натурных огневых испытаний:

- 1 – на обогреваемой поверхности экрана; 2 – на необогреваемой поверхности экрана;
- 3 – на защищаемом объекте

лучением и естественной конвекцией через воздушную полость треугольного сечения, ограниченную поверхностями экрана, грунта и объекта. Кроме того, в натурных условиях имеет место сток теплоты по стальной оболочке и вертикальному столбу жидкости в массив грунта.

Процесс нестационарного прогрева системы «огнезащитный экран – защищаемый объект – грунт» можно разделить на два этапа:

- первый этап – от начала огневого воздействия до момента высыхания огнестойкого экрана;

- второй этап – от начала огневого воздействия или от момента высыхания экрана до момента потери огнестойкости защищаемого объекта, характеризующегося достижением им температуры критического значения.

Проведенные численные оценки показывают, что на первом этапе допустимо пренебречь оттоком теплоты от необогреваемой поверхности экрана, принять процесс теплопереноса через экран одномерным и решать задачу при следующих допущениях:

- процесс теплопередачи от обогреваемой поверхности через зону сухого материала к фронту испарения квазистационарен;

- в исходном состоянии волокнистый материал огнестойкого экрана насыщен водой и прогрет до температуры, близкой к температуре кипения воды;

- насыщение водой равномерное по толщине стенки огнестойкого экрана;

- концентрация воды за фронтом испарения неизменна.

Подробное описание математической модели, описывающей процесс теплопереноса в насыщенной водой стенке огнезащитного экрана, приведено в работе [3].

Нестационарное двумерное поле температуры в рассматриваемой системе на втором этапе прогрева (после высыхания огнестойкого экрана) определяется из решения двумерного дифференциального уравнения теплопроводности. Подробное описание математической модели

нестационарного прогрева системы «огнезащитный экран – защищаемый объект – грунт» при отсутствии воды в стенке огнезащитного экрана приведено в работе [2].

В качестве еще одного средства, реализующего комбинированный способ огнезащиты, предлагается противопожарная штора, разработанная на основе результатов, полученных при разработке огнезащитного укрытия. Противопожарная штора состоит из трех основных элементов: огнестойкого экрана, системы подачи воды и системы крепления и трансформации.

Огнестойкий экран изготавливается по швейной технологии из волокнистых материалов, применяющихся для изготовления экрана огнезащитного укрытия. При необходимости конструкция экрана может усиливаться стальной сеткой.

Система подачи воды представляет собой водоподводящий канал, расположенный у верхнего края шторы. Она обеспечивает равномерное насыщение водой внутренних слоев огнестойкого экрана с заданным оптимальным расходом.

Система крепления и трансформации обеспечивает надежное крепление и компактное хранение шторы в месте ее установки, предохраняет экран от нежелательного воздействия окружающей среды и позволяет произвести быстрое развертывание шторы в рабочее положение при угрозе возникновения пожара.

Противопожарные шторы могут устанавливаться на перекрытии в случае деления больших помещений на противопожарные отсеки, а также в проемах, выполненных в противопожарных преградах, и имеют два положения: исходное и рабочее. В исходном положении шторы хранятся в свернутом состоянии над проемом. При угрозе пожара они переводятся в рабочее положение, при котором полностью закрывается проем. При возникновении огневого воздействия в промежуточные слои экрана штор подается вода.

Противопожарные шторы имеют предел огнестойкости до EI 120 и бо-

лее. Их толщина и масса составляют величины в несколько раз меньшие по сравнению с обычными противопожарными шторами (без насыщения водой). Расход воды при этом в несколько десятков раз меньше по сравнению с противопожарными водяными завесами. Кроме того, подача воды во внутренние слои огнестойкого экрана штор выполняется при давлении в системе не более 5 атм.

Заявленные технические характеристики огнезащитных штор показывают, что воду во внутренние слои огнестойкого экрана можно подавать непосредственно от городской водопроводной сети без использования дополнительных установок.

Следует отметить, что конструкция огнезащитных штор универсальна по отношению к режимам огневого воздействия – как к стандартным режимам, так и к режимам при горении углеводородных топлив. Усиление огневого воздействия компенсируется некоторым увеличением расхода воды.

Отличительной особенностью работы противопожарной шторы является условие минимальности воздействия воды на окружающую обстановку помещения, поскольку она расходуется на испарение в условиях пожара. Условие отсутствия выделения воды из противопожарной шторы достигается расчетом оптимальных параметров ее конструкции: толщины, плотности заполнителя, расхода и режима подачи воды.

Для расчета оптимальных параметров конструкции противопожарной шторы разработана математическая модель теплопереноса. Данная математическая модель основана на решении квазидвумерной задачи теплопереноса в пористой структуре стенки шторы, что обусловлено принятием следующих упрощающих допущений: массоперенос воды происходит под действием силы тяжести только в вертикальном направлении, теплоперенос и массоперенос водяного пара происходит только в горизонтальном направлении при одностороннем нагреве стенки.

Следует отметить, что все перечисленные конструктивные параметры противопожарной шторы являются взаимозависимыми и при решении задачи оптимизации образуют область компромиссов.

Так, например, толщина шторы зависит от проектных параметров огневого воздействия, высоты ее установки, плотности заполнителя и в большинстве случаев находится в диапазоне 5-10 мм.

Достигнутый в настоящий момент уровень расхода воды на насыщение шторы находится в пределах 0,005-0,02 л/с • м².

Таким образом, противопожарные шторы предлагаемой конструкции могут являться более экономичной альтернативой водяным завесам и обычным противопожарным шторам.

Огнезащитные укрытия могут применяться в качестве мобильного

локального средства огнезащиты на открытой местности. Их применение особенно актуально для объектов со значительным удалением от пожарных подразделений, а также с топографическими и климатическими факторами, осложняющими своевременное прибытие боевых пожарных расчетов на место аварии.

Противопожарные шторы могут найти эффективное применение в гаражах, ангарах, станциях технического обслуживания, в производственных зданиях с пожароопасными технологическими процессами и складах в качестве временных ограждающих конструкций, разворачивающихся при возникновении очага пожара для его локализации. Противопожарные шторы разделяют помещение на отсеки, являясь эффективным препятствием на пути распространения пламени и дыма. Кроме того, они обладают до-

статочной огнестойкостью при воздействии на их поверхность тепловых потоков, включая тепловые потоки, возникающие при горении углеводородных топлив.

Литература

1. Патент RU 2229910 «Способ ослабления воздействия потока энергии в виде света, тепла и конвективных газовых потоков, огнестойкий экран и огнезащитное укрытие на его основе», МПК 7 А62 С 2/06, 3/16, 2003 г.

2. **Заикин С.В.** Разработка быстро устанавливаемого огнезащитного укрытия для запорной и фонтанной арматуры нефтяных скважин. – Пожарная безопасность. М.: ВНИИПО, № 5, 2005 г. – С. 87-92.

3. **Страхов В.Л., Заикин С.В.** Математическое моделирование нестационарного прогрева насыщенного водой огнезащитного экрана на этапе сушки. – Пожаровзрывобезопасность. М.: «Пожнаука», № 6 2005. – С. 26-32.

Нелегальные заправки «надувают» автовладельцев опасным газом

Сотрудники управления по борьбе с экономическими преступлениями московского ГУВД проводят масштабную проверку газовых автозаправочных станций и уже пресекли деятельность нескольких из них, работавших нелегально. Ориентировкой послужила информация о том, что некоторые заправки не имеют лицензии и торгуют газом без какой-либо документации на него.

Первая проверка проводилась как контрольная закупка: сотрудники УБЭП явились на АГЗС под видом рядовых покупателей и, заплатив требуемую сумму, приобрели топливо на пробу. «Результаты экспертизы ужаснули специалистов», – говорят в управлении. Оказывается, газ содержал много опасных для здоровья потребителей присадок. Изучение взятых проб продолжается до сих пор.

В ходе второго рейда были выявлены и другие нарушения. В настоящее время оперативники ведут ро-

зыск владельцев тех газозаправочных станций, которые работали нелегально и с нарушениями, решается также вопрос о возбуждении уголовного дела по статье «Незаконное предпринимательство».

«Они работали без лицензии, не пробивали кассовые чеки. Газ, который они продавали, по предварительным данным был некачественным и мог вывести из строя автомобиль. Более того, поскольку эти станции работали незаконно, они не соблюдали правила пожарной безопасности и не имели экологических разрешений», – сообщила пресс-секретарь УБЭП ГУВД Москвы Ирина Волк.

Решение провести масштабную операцию по проверке всех АГЗС столицы было принято после того, как в милицию стали поступать обращения граждан о некачественном газе на ряде заправок в Южном административном округе. Не лучше обстоят дела с газом и в Подмоскovie.

Как сообщила пресс-служба ГУВД по Московской области, оперативники отдела по борьбе с экономическими преступлениями УВД по городскому округу Серпухова и Серпуховскому муниципальному району выявили на вверенной им территории автогазозаправку, злостно нарушающую правила торговли топливом. Оказалось, что эту АГЗС с 6 ноября 2008 г. по 13 марта 2009 г. на незаконной основе, без специального разрешения на данный вид деятельности, эксплуатировал 38-летний генеральный директор одной из московских коммерческих структур, получив прибыль в размере более 2,5 млн. руб. Часть доходов он утаивал от налогообложения путем ведения «двойной» бухгалтерии.

В отношении этого бизнесмена возбуждено уголовное дело по п. «б» ч. 2 ст. 171 УК РФ («Осуществление предпринимательской деятельности без регистрации, сопряженное с извлечением дохода в особо крупном размере»), в соответствии с которой предусматривается наказание в виде штрафа (100-500 тыс. руб.) или лишение свободы на срок до пяти лет со штрафом в размере до 80 тыс. руб.

Работа дизелей на смесях дизельного топлива и метилового эфира рапсового масла

В.А. Марков,

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

А.Ю. Шустер,

аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана,

С.Н. Девянин,

зав. кафедрой Московского государственного агроинженерного университета (МГАУ) им. В.П. Горячкина, д.т.н.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований дизеля Д-245.12С на смесях дизельного топлива и метилового эфира рапсового масла различного состава. Проведен анализ физико-химических свойств этих смесей. Подтверждена возможность значительного улучшения показателей токсичности отработавших газов дизеля при использовании смесевых биотоплив.

Истощение разведанных месторождений нефти и повышение мировых цен на нефтепродукты приводит к необходимости использования в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) различных альтернативных топлив, спектр которых достаточно широк. Это синтетические топлива, получаемые из природного газа, каменного и бурого углей, других углеводородных ресурсов, спирты и эфиры, различные газообразные топлива (природный газ, пропан-бутановые смеси, водород и др.) [1]. Но наиболее перспективными видами моторного топлива считаются топлива, получаемые из возобновляемых сырьевых ресурсов – биомассы, древесины, отходов сельскохозяйственного производства, растительных масел [2, 3].

В условиях Российской Федерации наиболее целесообразно производство биотоплив из рапсового масла. Для дизелей транспортного назначения перспективным представляется использование метилового эфира рапсового масла (МЭРМ). В Германии в настоящее время работают 800 автозаправочных станций, где предлагается биодизельное топливо («Bio-Diesel»), представляющее собой смесь 95% дизельного топлива (ДТ) и 5% МЭРМ. Проведен ряд исследований по адаптации дизелей различ-

ного назначения на биотопливе В20 (смесь 80% ДТ и 20% МЭРМ), а также на смесях ДТ и МЭРМ различного состава [2, 3]. Вместе с тем проблема использования смесей ДТ и МЭРМ в отечественных дизелях является пока еще недостаточно изученной.

Оценка параметров двигателя, работающего на смесях ДТ и МЭРМ, проведена с использованием результатов экспериментальных исследований дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5) Минского моторного завода (ММЗ), предназначенного для малотоннажных грузовых автомобилей ЗиЛ-5301 «Бычок», а его модификации – для автобусов Павловского автомобильного завода (ПАЗ) и тракторов «Беларусь» Минского тракторного завода (МТЗ). Некоторые параметры исследуемого дизеля приведены в табл. 1.

Дизель исследовался на моторном стенде АМО «ЗиЛ» на режимах внешней скоростной характеристики и 13-ступенчатого испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН с установочным углом опережения впрыскивания $\theta = 13^\circ$ поворота коленчатого вала (КВ) двигателя до ВМТ и неизменным положением упора дозирующей рейки (упора максимальной подачи топлива).

Дизель работал на смесях ДТ по ГОСТ 305-82 и МЭРМ, полученного

на одном из заводов Германии из рапса, выращенного в России. Физико-химические свойства этого МЭРМ соответствовали требованиям Европейского стандарта EN 14214:2003 «Автомобильные топлива. Метилвые эфиры жирных кислот (FAME) для дизельных двигателей. Требования и методы испытаний». Физико-химические свойства исследуемых топлив приведены в табл. 2.

На первом этапе экспериментальных исследований дизель Д-245.12С испытывался на режимах внешней скоростной характеристики при работе на ДТ и смеси 80% ДТ и 20% МЭРМ. В связи с большей плотностью и повышенной вязкостью указанной смеси ДТ и МЭРМ при испытаниях отмечен рост часового расхода смесевых биотоплива по сравнению с

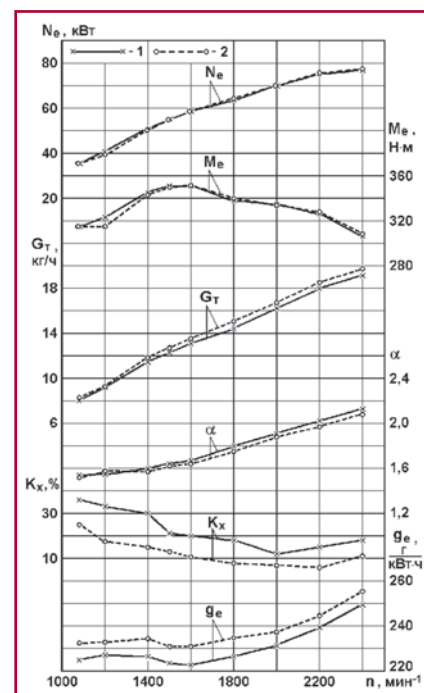


Рис. 1. Зависимость эффективной мощности N_e , крутящего момента M_e , часового расхода топлива G_T , коэффициента избытка воздуха α , дымности ОГ K_x и удельного эффективного расхода топлива g_e от частоты вращения n коленчатого вала дизеля Д-245.12С на режимах внешней скоростной характеристики при использовании различных топлив: 1 – ДТ; 2 – смесь 80% ДТ и 20% МЭРМ

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

Параметры	Значение
Тип двигателя	Четырехтактный, рядный, дизельный
Число цилиндров	4
Диаметр цилиндра D, мм	110
Ход поршня S, мм	125
Рабочий объем цилиндра V_n , л	1,08
Общий рабочий объем iV_n , л	4,32
Степень сжатия ϵ	16,0
Система турбонаддува	Турбокомпрессор ТКР-6 Борисовского завода автоагрегатов
Тип камеры сгорания, способ смесеобразования	Камера сгорания типа ЦНИДИ, объемно-пленочное смесеобразование
Номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя n, мин ⁻¹	2400
Номинальная мощность N_e , кВт	80
Литровая мощность $N_{e,l}$, кВт/л	18,5
Механизм газораспределения	Клапанного типа с верхним расположением клапанов
Система охлаждения	Водяная, принудительная
Система смазки	Принудительная, с разбрызгиванием
Фильтр масляный	Сетчатый
Насос масляный	Шестеренчатый
Система питания	Разделенного типа
Топливный насос высокого давления (ТНВД)	Рядный типа PP4M10U1f фирмы «Motorpal» с всережимным центробежным регулятором
Диаметр плунжеров ТНВД $d_{пл}$, мм	10
Ход плунжеров ТНВД $h_{пл}$, мм	10
Длина нагнетательных топливopроводов L_t , мм	540
Форсунки	Типа ФДМ-22 производства ОАО «Куроаппаратура» (г. Вильнюс)
Распылители форсунок	Фирмы «Motorpal» типа DOP 119S534 с пятью сопловыми отверстиями диаметром $d_p=0,34$ мм и проходным сечением $\mu_p f_p=0,250$ мм ²
Давление начала впрыскивания форсунок $p_{фо}$, МПа	21,5

ДТ на всех исследованных режимах внешней скоростной характеристики. Так, на режиме максимальной мощности при частоте вращения КВ двигателя $n=2400$ мин⁻¹ часовые расходы ДТ и смеси 80% ДТ и 20% МЭМ оказались равны соответственно $G_t=19,13$ и 19,76 кг/ч, а на режиме максимального крутящего момента при $n=1500$ мин⁻¹ – $G_t=12,30$ и 12,68 кг/ч (рис. 1). Но при этом теплотворная способность смесового биотоплива несколько ниже теплотворной способности ДТ. В результате эти два фактора взаимно компенсируются, и мощностные показатели дизеля (эффективная мощность N_e и крутящий момент M_e) изменяются незначительно. При переводе дизеля Д-245.12С с ДТ на смесь 80% ДТ и 20% МЭМ на режиме максимальной мощности при $n=2400$ мин⁻¹ отмечен незначительный рост крутящего момента M_e с 306 до 308 Н·м, а на режиме максимального крутящего момента при $n=1500$ мин⁻¹, напротив, его снижение с 351 до 349 Н·м.

Теплота сгорания МЭМ несколько меньше, чем у ДТ, поэтому при работе дизеля на смеси 80% ДТ и 20% МЭМ отмечено некоторое увеличение удельного эффективного расхода топлива g_e . При переводе дизеля Д-245.12С с ДТ на смесь 80% ДТ и 20% МЭМ на режиме максимальной мощности при $n=2400$ мин⁻¹ расход топлива g_e возрос с 249,2 до 255,3 г/(кВт·ч), а

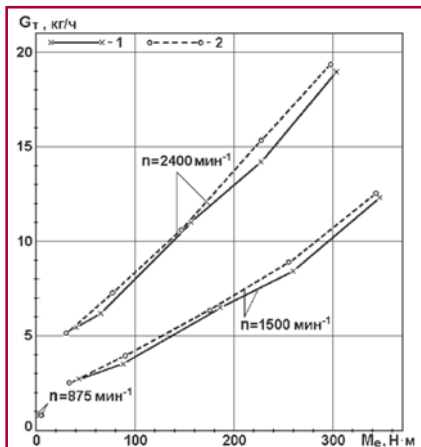


Рис. 2. Зависимость часового расхода топлива G_t от скоростного и нагрузочного режимов (частоты вращения n и крутящего момента M_e) дизеля Д-245.12С при использовании различных топлив: 1 – ДТ; 2 – смесь 80% ДТ и 20% МЭМ

на режиме максимального крутящего момента при $n=1500$ мин⁻¹ – с 223,2 до 230,6 г/(кВт·ч).

Наличие в молекулах МЭМ атомов кислорода благоприятно сказывается на дымности отработавших газов (ОГ) K_x , которая при использовании смеси 80% ДТ и 20% МЭМ снижается во всем диапазоне исследованных скоростных режимов внешней скоростной характеристики. При переводе дизеля с ДТ на смесь 80% ДТ и 20% МЭМ на режиме макси-

мальной мощности при $n=2400$ мин⁻¹ дымность ОГ снизилась с 18 до 11% по шкале Хартриджа, на режиме максимального крутящего момента при $n=1500$ мин⁻¹ – с 21 до 13%, а на режиме внешней скоростной характеристики с $n=1080$ мин⁻¹ – с 36 до 25% (рис. 1).

Результаты испытаний дизеля Д-245.12С на режимах 13-ступенчатого цикла приведены на рис. 2-5. Представленные на рис. 2 характеристики часового расхода топлива G_t

Физико-химические свойства исследуемых моторных топлив

Физико-химические свойства	Топливо						
	ДТ	МЭРМ	95% ДТ + 5% МЭРМ	90% ДТ + 10% МЭРМ	80% ДТ + 20% МЭРМ	60% ДТ + 40% МЭРМ	40% ДТ + 60% МЭРМ
Плотность при 20°C, кг/м ³	830	877	832	835	839	848	858
Вязкость кинематическая при 20°C, мм ² /с	3,8	8	3,94	4,09	4,41	5,2	6,0
Коэффициент поверхностного натяжения при 20°C, мН/м	27,1	30,7	–	–	–	–	–
Теплота сгорания низшая, МДж/кг	42,5	37,8	42,27	42,03	41,56	40,62	39,68
Цетановое число	45	48	–	–	–	–	–
Температура самовоспламенения, °C	250	230	–	–	–	–	–
Температура помутнения, °C	-25	-13	–	–	–	–	–
Температура застывания, °C	-35	-21	–	–	–	–	–
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,3	12,6	14,24	14,16	13,98	13,63	13,26
Содержание, % по массе:							
С	87,0	77,5	86,5	86,1	85,1	83,2	81,3
Н	12,6	12,0	12,6	12,5	12,5	12,4	12,2
О	0,4	10,5	0,9	1,4	2,4	4,4	6,5
Общее содержание серы, % по массе	0,20	0,002	0,19	0,18	0,16	0,12	0,08
Коксуюемость 10%-ного остатка, % по массе	0,2	0,3	–	–	–	–	–

Примечание. « — » – свойства не определялись; указано объемное содержание ДТ и МЭРМ в смесях.

свидетельствуют о том, что замена ДТ смесевым биотопливом приводит к небольшому увеличению G_T практически на всех исследованных нагрузочных режимах. Так, после перевода дизеля с ДТ на смесь 80% ДТ и 20%

МЭРМ лишь на режиме холостого хода при минимальной частоте вращения КВ двигателя $n=875 \text{ мин}^{-1}$ расход топлива G_T практически не изменялся и составлял около 0,8 кг/ч, на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ он увеличивался с 12,30 до 12,57 кг/ч, а на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ – с 18,94 до 19,34 кг/ч.

При переводе дизеля Д-245.12С с ДТ на смесь 80% ДТ и 20% МЭРМ объемная концентрация в ОГ оксидов азота C_{NOx} снижается на большинстве исследованных режимов (рис. 3). На режиме холостого хода при $n=875 \text{ мин}^{-1}$ величина C_{NOx} снизилась с 0,0140 до 0,0100%, на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – с 0,0610 до 0,0600%, на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ – с 0,0550 до 0,0510%.

Использование смесевого биотоплива благоприятно сказывается и на концентрации в ОГ монооксида углерода C_{CO} (рис. 4). При переводе дизеля Д-245.12С с ДТ на смесь 80% ДТ и 20%

МЭРМ на режиме холостого хода при $n=875 \text{ мин}^{-1}$ величина C_{CO} снизилась с 0,0330 до 0,0240%, на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – с 0,0480 до 0,0330%, на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ – с 0,0240 до 0,0165%.

В меньшей степени смесевое биотопливо влияет на концентрацию в

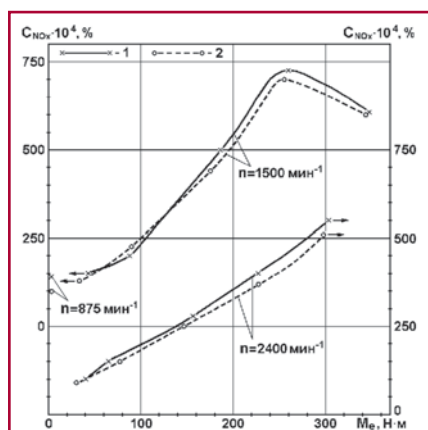


Рис. 3. Зависимость объемной концентрации в ОГ оксидов азота C_{NOx} от скоростного и нагрузочного режимов (частоты вращения n и крутящего момента M_e) дизеля Д-245.12С при использовании различных топлив: 1 – ДТ; 2 – смесь 80 % ДТ и 20% МЭРМ

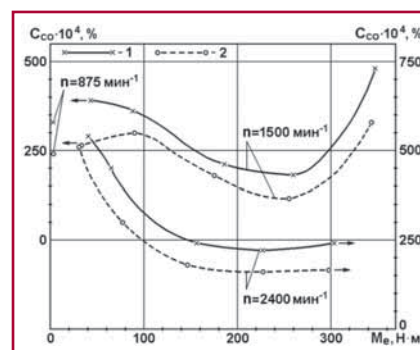


Рис. 4. Зависимость объемной концентрации в ОГ монооксида углерода C_{CO} от скоростного и нагрузочного режимов (частоты вращения КВ двигателя n и крутящего момента M_e) дизеля Д-245.12С при использовании различных топлив: 1 – ДТ; 2 – смесь 80 % ДТ и 20% МЭРМ

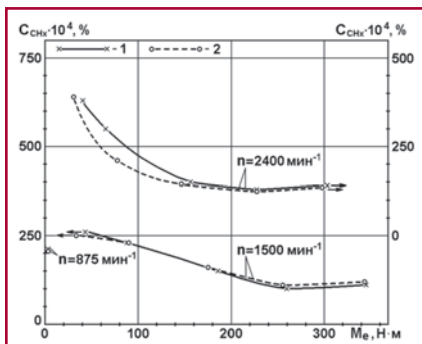


Рис. 5. Зависимость объемной концентрации в ОГ углеводородов C_{CHx} от скоростного и нагрузочного режимов (частоты вращения n и крутящего момента M_e) дизеля Д-245.12С при использовании различных топлив: 1 – ДТ; 2 – смесь 80% ДТ и 20% МЭРМ

ОГ несгоревших углеводородов C_{CHx} (рис. 5). Если на режиме холостого хода при $n=875 \text{ мин}^{-1}$ перевод дизеля Д-245.12С с ДТ на смесь 80% ДТ и 20% МЭРМ приводит к снижению C_{CHx} с 0,0212 до 0,0205%, а на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$

– с 0,0140 до 0,0135%, то на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ содержание CH_x в ОГ напротив возрастает с 0,0110 до 0,0120%, но указанные изменения C_{CHx} незначительны.

По представленным на рис. 3-5 данным по содержанию в ОГ газообразных токсичных компонентов (C_{NOx} , C_{CO} , C_{CHx}) рассчитаны интегральные удельные массовые выбросы токсичных компонентов (e_{NOx} , e_{CO} , e_{CHx}) на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла ECE R49 [3]. Оценка эксплуатационного расхода топлива на режимах 13-ступенчатого цикла проводилась по среднему (условному) удельному эффективному расходу топлива, который определялся с использованием зависимости [3]

$$g_{e_{усл}} = \frac{\sum_{i=1}^{13} G_{Ti} \cdot K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} \cdot K_i},$$

где G_{Ti} – часовой расход топлива на i -том режиме; K_i – коэффициент, отражающий долю времени i -того режима. Поскольку смесевые биотоплива имеют меньшую теплотворную способность, топливную экономичность дизеля целесообразно оценивать не величиной g_e , а эффективным КПД дизеля η_e . Причем, для интегральной оценки работы дизеля на режимах 13-ступенчатого цикла использован условный эффективный КПД, определяемый из соотношения

$$\eta_{e_{усл}} = \frac{3600}{H_U \cdot g_{e_{усл}}}.$$

Результаты расчетов по представленным формулам приведены в табл. 3. Они подтверждают возможность заметного снижения дымности ОГ K_x , а также удельных массовых выбросов оксидов азота e_{NOx} и монооксида углерода e_{CO} при переводе дизеля с ДТ на смесь, содержащую 80% ДТ и 20% МЭРМ.

Таблица 3

Показатели дизеля Д-245.12С, работающего на различных топливах

Показатели дизеля	Объемная концентрация МЭРМ в смесевом биотопливе, %					
	0	5	10	20	40	60
Часовой расход топлива на режиме максимальной мощности, G_{T2400} , кг/ч	19,13	19,45	19,76	19,76	20,02	20,43
Часовой расход топлива на режиме максимального крутящего момента, G_{T1500} , кг/ч	12,30	12,50	12,54	12,68	12,98	13,16
Крутящий момент на режиме максимальной мощности, M_{e2400} , Н·м	306	306	310	308	308	309
Крутящий момент на режиме максимального крутящего момента, M_{e1500} , Н·м	351	356	350	349	351	355
Дымность ОГ на режиме максимальной мощности, K_{x2400} , %	18,0	18,0	13,5	11,0	10,0	7,0
Дымность ОГ на режиме максимального крутящего момента, K_{x1500} , %	21,0	17,0	16,0	13,0	7,5	8,5
Дымность ОГ на режиме минимальной частоты вращения, K_{x1080} , %	36,0	24,0	22,5	25,0	22,0	18,0
Удельный эффективный расход топлива на режиме максимальной мощности, g_{e2400} , г/(кВт·ч)	249,2	252,9	253,8	255,3	258,5	262,2
Удельный эффективный расход топлива на режиме максимального крутящего момента, g_{e1500} , г/(кВт·ч)	223,2	223,7	228,0	230,6	234,7	236,0
Эффективный КПД на режиме максимальной мощности, η_{e2400}	0,340	0,337	0,337	0,339	0,343	0,346
Эффективный КПД на режиме максимального крутящего момента, η_{e1500}	0,379	0,381	0,376	0,376	0,378	0,384
Условный удельный эффективный расход топлива на режимах 13-ступенчатого цикла $g_{e_{усл}}$, г/(кВт·ч)	245,76	249,20	253,62	256,54	261,28	265,00
Условный эффективный КПД на режимах 13-ступенчатого цикла, $\eta_{e_{усл}}$	0,345	0,342	0,338	0,338	0,339	0,342
Интегральный удельный выброс оксидов азота, e_{NOx} , г/(кВт·ч)	7,286	6,894	6,718	6,542	7,441	7,759
Интегральный удельный выброс монооксида углерода, e_{CO} , г/(кВт·ч)	2,834	2,234	2,199	2,096	2,021	1,932
Интегральный удельный выброс углеводородов, e_{CHx} , г/(кВт·ч)	0,713	0,626	0,658	0,727	0,692	0,681

Представленные на рис. 3-5 характеристики получены при испытаниях дизеля Д-245.12С, работающего на ДТ и на смеси 80% ДТ и 20% МЭРМ. Но определенный интерес представляют аналогичные характеристики, полученные при использовании смесей с другим соотношением указанных компонентов. Такие характеристики определены при испытаниях дизеля Д-245.12С на смесях ДТ с МЭРМ с содержанием последнего в смеси 0; 5; 10; 20; 40 и 60% (указано объемное процентное содержание МЭРМ в смеси, табл. 2).

Результаты проведенных испытаний представлены на рис. 6, 7 и в табл. 4. Данные на рис. 6 свидетельствуют о том, что увеличение содержания МЭРМ в смесевом биотопливе $C_{\text{МЭРМ}}$ от 0 до 60% приводит к некоторому росту часового расхода топлива G_T , но из-за меньшей теплоты сгорания крутящий момент дизеля M_e при этом изменяется незначительно. Из-

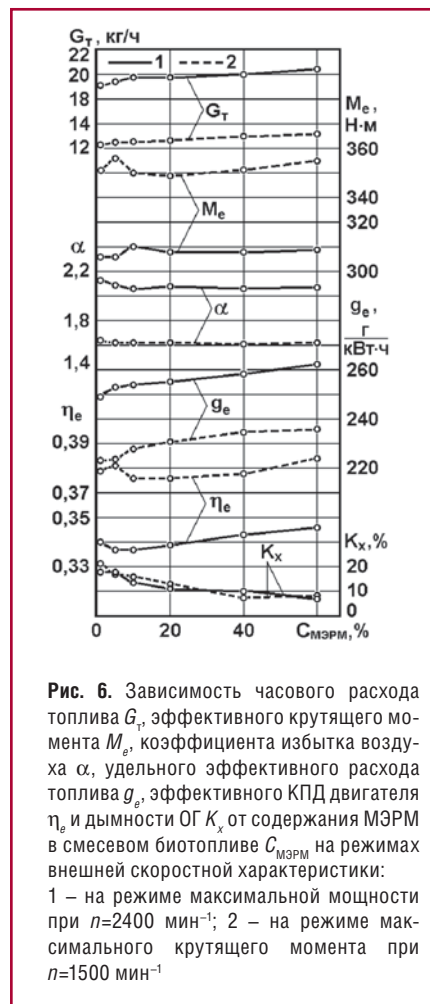


Рис. 6. Зависимость часового расхода топлива G_T , эффективного крутящего момента M_e , коэффициента избытка воздуха α , удельного эффективного расхода топлива g_e , эффективного КПД двигателя η_e и дымности ОГ K_x от содержания МЭРМ в смесевом биотопливе $C_{\text{МЭРМ}}$ на режимах внешней скоростной характеристики: 1 – на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$; 2 – на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$

за меньшей теплоты сгорания МЭРМ при увеличении его содержания в смесевом биотопливе $C_{\text{МЭРМ}}$ отмечен рост удельного эффективного расхода топлива g_e , однако, при увеличении $C_{\text{МЭРМ}}$ в диапазоне от 0 до 20% изменение эффективного КПД η_e не превышало 1%, что соизмеримо с точностью измерения расхода топлива. Дальнейший рост $C_{\text{МЭРМ}}$ (до 40 и 60%) сопровождался увеличением η_e , свидетельствующем о повышении эффективности сгорания таких смесевых топлив.

Увеличение концентрации МЭРМ в смесевом топливе $C_{\text{МЭРМ}}$ приводило к значительному снижению дымности ОГ K_x . Так, при росте $C_{\text{МЭРМ}}$ с 0 до 60% K_x монотонно снижалась: на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ – примерно в 2,6 раза (с 18 до 7% по шкале Хартриджа), на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – в 2,5 раза (с 21 до 8,5%), на режиме минимальной частоты вращения КВ двигателя с $n=1080 \text{ мин}^{-1}$ – в два раза (с 36 до 18%).

Использование смесевых топлив оказывает заметное влияние на выбросы с ОГ оксидов азота NO_x и монооксида углерода CO и меньшее влияние – на выбросы углеводородов CH_x . При увеличении содержания МЭРМ в смесевом топливе $C_{\text{МЭРМ}}$ с 0 до 20% удельные массовые выбросы оксидов азота e_{NO_x} снизились с 7,286 до 6,542 г/(кВт·ч), то есть на 10,2%, а при дальнейшем увеличении $C_{\text{МЭРМ}}$ до 40 и 60% отмечен некоторый рост выбросов оксидов азота до значений 7,441 и 7,759 г/(кВт·ч) соответственно, превышающих эти выбросы при работе на ДТ [7,286 г/(кВт·ч)]. При росте содержания МЭРМ в смесевом топливе с 0 до 60% отмечено монотонное снижение удельных массовых выбросов монооксида углерода e_{CO} с 2,834 до 1,932 г/(кВт·ч), то есть почти в 1,5 раза. Зависимость удельных массовых выбросов несгоревших углеводородов e_{CH_x} от содержания МЭРМ в смесевом топливе $C_{\text{МЭРМ}}$ имеет более сложный характер. Однако следует отметить сравнительно небольшое влияние $C_{\text{МЭРМ}}$ на e_{CH_x} .

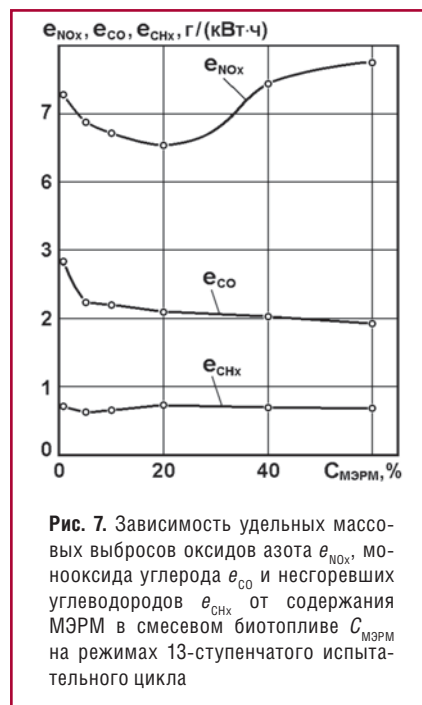


Рис. 7. Зависимость удельных массовых выбросов оксидов азота e_{NO_x} , монооксида углерода e_{CO} и несгоревших углеводородов e_{CH_x} от содержания МЭРМ в смесевом биотопливе $C_{\text{МЭРМ}}$ на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла

Проведенный комплекс экспериментальных исследований дизеля Д-245.12С показал возможность значительного улучшения показателей дизеля при его работе на смесях ДТ и МЭРМ. Даже незначительная добавка МЭРМ в дизельное топливо (5 или 10%) позволяет заметно улучшить показатели токсичности ОГ без внесения в конструкцию двигателей каких-либо изменений. Поэтому с учетом регулярного ужесточения требований к токсичности ОГ этих двигателей перспектива использования МЭРМ в качестве кислородсодержащей присадки к дизельному топливу становится более чем реальной.

Литература

1. 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.
2. Лютко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. – С. 311.
3. Марков В.А., Гайворонский А.И., Грехов Л.В. и др. Работа дизелей на нетрадиционных топливах: Учебное пособие – М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008. – С. 464.

«Паритет-строй»:

серийное качество – индивидуальный подход

О компании, ее достижениях и планах на будущее рассказали председатель совета директоров ООО «Паритет-строй» Д.Н. Столбов и исполнительный директор М.А. Батуев.



Имиджевый тотем для ОАО «Fonix Petroleum»

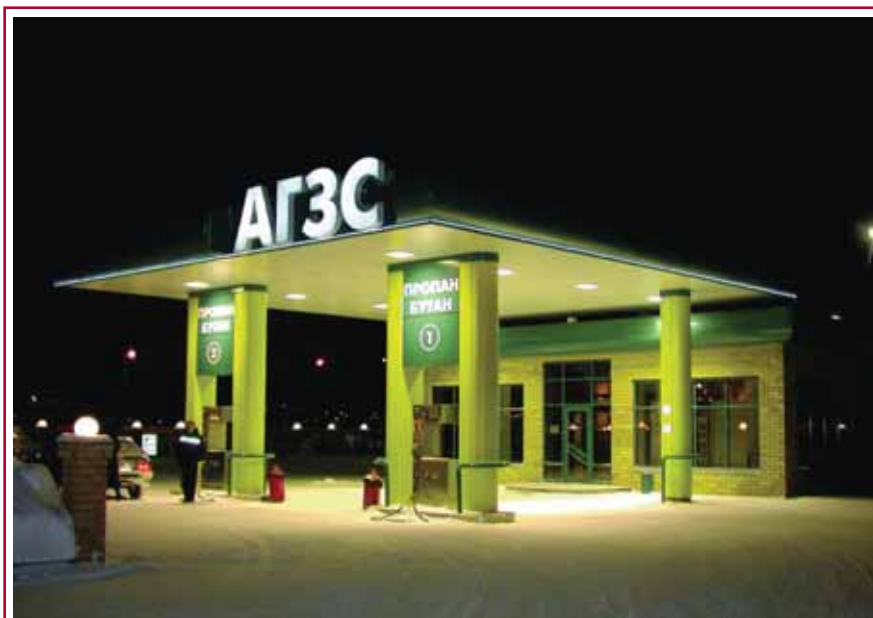
же множество заправок независимых операторов по всей стране. Работа с такими крупными заказами требует постоянного совершенствования кадровой, маркетинговой и технологической стратегии.

В 2008 г. в нашей компании была проведена структурная реорганизация: расширились клиентский и конструкторский отделы, сформирован производственно-технический отдел, создана грамотная управленческая команда. Общий штат сотрудников компании увеличился в три раза и составляет в настоящее время 300 чел. Все эти преобразования позволяют оперативно реагировать на пожелания заказчиков, индивидуально подходить к каждому клиенту, создавая при этом продукты высокого качества: комплекты облицовки АЗС, АГЗС, информационные стеллы, пилоны.

Дмитрий Столбов: «В 1995 г. в Перми была создана группа компаний «Паритет», оказывающая рекламные услуги. Постепенно спектр услуг расширился за счет изготовления наружной рекламы и комплексного оформления АЗС, АГЗС. С 2001 г. это направление представляет компания «Паритет-строй», которая завоевала лидерские позиции на рынке Пермского края».

Максим Батуев: «Сегодня ООО «Паритет-строй» работает в сорока крупнейших городах России, охватывая Центральный, Поволжский, Южный, Уральский, Сибирский, Северо-Западный и другие федеральные округа и регионы Российской Федерации. За это время были выполнены работы почти на 400 объектах:

установлено рекламное оформление заправок станций НК «ЛУКОЙЛ», НК «Роснефть», а так-



АГЗС в г. Пермь с рекламным оформлением ООО «Паритет-строй»

Совместная творческая работа с заказчиками помогла реализовать нестандартные идеи по оформлению объектов. Так, в 2008 г. были изготовлены и смонтированы два информационных имиджевых тотема высотой более 12 м с поворотным механизмом.

Кроме того, постоянно наращивается производственный потенциал. Было введено в эксплуатацию новое высокотехнологическое импортное оборудование: мощная покрасочная линия, горизонтальный фрезерный 3D-станок, листогибный станок Schroder, вальцовочное оборудование. Постоянный мониторинг рынка, изучение требований заказчиков позволили систематизировать наши задачи и перейти к серийному производству основных продуктов компании: комплектов облицовки АЗС, АГЗС, информационных стел, пилонов.

В декабре 2008 г. предприятие получило лицензию Госстроя РФ на проведение строительно-монтажных и проектных работ».

Дмитрий Столбов: «Наша компания пришла на рынок несколько позже некоторых других фирм и компаний, поэтому чтобы привлечь заказчиков, мы должны были внедрять самые прогрессивные идеи и технологии. Это стало нашим кредо. Каждый год появляется множество новинок, дающих такие возможности при оформлении и строительстве заправочных станций, о которых несколько лет назад нельзя было даже мечтать. И наша задача – предоставлять заказчикам все самое новое и лучшее, что есть на рынке.

Конечно, экономический кризис внес коррективы в планы компании. Была произведена оптимизация производственных процессов, введены дополнительные услуги для сторонних

организаций по порошковой окраске металлоизделий и вакуумному формованию пластика. Сложившиеся рыночные условия стали стимулом для мобилизации всех конкурентных преимуществ нашей компании.

Сейчас перед нами стоит задача выхода на рынки других регионов России с новой качественной продукцией, что будет залогом нашего динамичного развития в будущем».

Максим Батуев: «Для владельцев газозаправочных станций наша компания может предло-

жить как производство и поставку элементов отдельно стоящих конструкций – информационных стел, пилонов, указателей направления движения, флажтоков и флагов, улучшающих имиджевую составляющую объекта, так и комплексное оформление АГЗС, позволяющее повысить продажи газомоторного топлива».

ООО «Паритет-строй»
Г. Пермь, ул. Г.Хасана, 105,
корпус 70
Тел. (342) 249-44-66, 249-44-67
www.paritet.org

**КОМПЛЕКС УСЛУГ
ПО ОФОРМЛЕНИЮ
АЗС и АГЗС**

- Проектирование
- Производство
- Монтаж
- Гарантийное и постгарантийное обслуживание



г. Пермь, ул. Героев Хасана, 105, корпус 70
Тел: +7 (342) 249-44-26, 249-44-27
www.paritet.org

Серийное качество
Индивидуальный подход



Паритет
ГРУППА КОМПАНИЙ

Мировые стандарты в обслуживании топливных карт безналичной оплаты: идентификация



А.Н. Иванов,
генеральный директор ООО «ФЛИТ КАРДС»,
группа компаний «CITYNET»

Как уже отмечалось в предыдущей статье («Транспорт на альтернативном топливе», № 3 2009 г.), автоматизированная технология топливных карт (ТК) на базе современных информационных технологий предполагает развертывание и поддержание специализированной инфраструктуры в розничной сети топливной компании (сеть АГНКС, АГЗС или АЗС), в бухгалтериях топливной компании и корпоративных клиентов, покупающих топливо по безналичному расчету. Такая инфраструктура состоит из платежного и транзакционного оборудования, программного обеспечения, оборудования связи, процессинговых (Front Office) и расчетных (Back Office) программных компонентов, а также предполагает наличие сотрудников, имеющих необходимую квалификацию (операторы станций, сотрудники бухгалтерий), и собственно водителей с автотранспортом.

Как и в случае с традиционными бумажными технологиями (талоны и ведомости), процесс отпуска топлива с использованием автоматизированных технологий безналичного расчета начинается с идентификации водителя или транспортного средства или водителя и транспортного средства одновременно. С этого уровня инфраструктуры ТК и начнем подробное ознакомление.

В качестве самого распространенного в мире средства идентификации водителя в настоящее

время используется пластиковая ТК с магнитной полосой. Главный атрибут карты – магнитная полоса, содержащая уникальный цифровой код, однозначно идентифицирующий данную карту в системе безналичной оплаты. Процесс идентификации водителя заключается в считывании данного кода электронным устройством – терминалом – и вводом водителем персонального идентификационного номера (ПИН), который, как правило, состоит из четырех цифр и является, по сути,

электронной подписью водителя, что предотвращает несанкционированное использование карты (в случае кражи, утери и т.п.). Оба указанных атрибута, попадая в процессинговый центр ТК, однозначно идентифицируют водителя и предприятие, которому фактически отпускается топливо.

Следующий по распространенности тип карты – контактная микропроцессорная карта, где информация записывается не на магнитную полосу, а в хорошо защищенную память микропроцессора. С учетом избыточности такого рода защиты для систем ТК реального времени (ONLINE) микропроцессорные карты получили распространение (особенно в России) только как топливный «кошелек» для систем безналичной оплаты, где нет оперативной связи с процессинговым центром, и решение о правомочности заправки принимает терминал на станции на основании данных, полученных из карты.



Карта с магнитной полосой



Микропроцессорная
контактная карта

Еще один тип карт – бесконтактные микропроцессорные карты и бесконтактные карты с защищенной памятью. Бесконтактные карты представляют собой перспективную замену картам с магнитной полосой в топливной сфере, так как имеют большой рабочий ресурс (отсутствие механического износа полосы) и более удобны в использовании – например, в виде брелоков для ключей.

Кроме того, устройства считывания таких карт значительно реже выходят из строя в сравнении со считывателями контактных микропроцессорных карт или карт с магнитной полосой (отсутствие механического износа), они более работоспособны в суровых климатических и сервисных условиях России.

В заключение хотелось бы привести наиболее перспективный тип ТК – это бесконтактные топливные карты, встраиваемые в автотранспортное средство.

Как правило, ТК в виде автономного бесконтактного микропроцессорного компонента

встраивается у горловины топливного бака и считывается специальным устройством, которое крепится на пистолете заправочного комплекса. Данная технология позволяет минимизировать время обслуживания корпоративных водителей до минимума.

Цикл заправки выглядит следующим образом – водитель подъезжает к топливной раздаточной колонке, снимает пистолет и вставляет его в бак. Устройство считывания на пистолете активирует бесконтактную ТК, встроенную в автотранспортное средство, получает идентификационные данные и пересылает по беспроводному интерфейсу на АСУ или СКУ станции. АСУ или СКУ станции, получив такой пакет (который однозначно идентифицирует транспортное средство, нужный тип топлива и номер пистолета и колонки), отправляет его в систему безналичной оплаты станции. Далее процессинговый центр ТК авторизует максимальный лимит топлива, установленный для данного транспортного средства (первая фаза операции «полный бак»), и отправляет указание АСУ или СКУ на включение колонки и максимально допустимый объем топлива для заправки. После того, как колонка выключится (лимит весь вошел в бак или бак наполнился), АСУ или СКУ отправляет в систему безналичной оплаты данные о фактически заправленном объеме топлива, на основании которых процессинговый центр ТК производит возврат на счет карты количества топлива, не вошедшего в бак («сдача» – вторая фаза операции «полный бак»). Последняя фаза выполня-



Бензиновый и газовый топливные пистолеты с установленными беспроводными считывающими устройствами

ется автоматически и не требует присутствия автотранспортного средства у колонки.

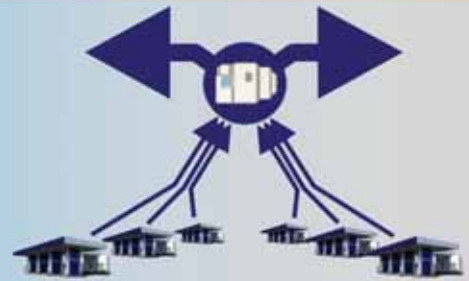
Описанная технология максимально упрощает заправку – вставил пистолет, заправился и уехал (не нужно даже подходить к оператору), предотвращает воровство топлива – невозможно заправить другой автомобиль или канистру. Кроме того, возможен вариант установки в автотранспортное средство дополнительного устройства, передающего данные одометра и количество моточасов. В этом случае вместе с данными идентификации транспортного средства в процессинговый центр ТК передаются и данные пробега на момент каждой заправки, что позволяет потом построить полный контроль расходов топлива автотранспортом предприятия.

Очевидно, что данная технология требует работы системы безналичной оплаты станции в режиме связи с процессинговым центром ТК в реальном времени (ONLINE).



Бесконтактные устройства идентификации, встраиваемые в автомобиль (горловина бензобака и т.п.)

МИРОВЫЕ СТАНДАРТЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПЛАСТИКОВЫХ КАРТ В СЕТЯХ АГНКС, АГЗС, АЗС !!!



ТОПЛИВНЫЕ КАРТЫ И УДАЛЁННОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАРТАМИ ОНЛАЙН
ПРОГРАММЫ ЛОЯЛЬНОСТИ ОНЛАЙН (СКИДКИ, БОНУСЫ, ЛОТЕРЕИ)
ПРИЁМ МЕЖДУНАРОДНЫХ БАНКОВСКИХ ПЛАСТИКОВЫХ КАРТ

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ВАРИАНТ ОСНАЩЕНИЯ

Скорость (1,8 сек)
и безопасность
обслуживания
клиентов

Антенна GSM/GPRS
(стационарное крепление
на крыше АГНКС, АГЗС, АЗС)

Монтаж
"под-ключ"

Транзакционный маршрутизатор
CITYNET Micro SV.3 с технологией
2xGPRS (стационарное
размещение)

Ethernet/UDP или RS 485/232
подключение АСУ и терминала к
маршрутизатору

СКУ (АГНКС, АГЗС),
АСУ ТРК (АЗС)

Терминал (смарт пинпад)
Verifone Smart 5000

Автоматизированное
взаимодействие
систем, отсутствие
"двойного ввода"

Обучение
персонала

ООО ФЛИТ КАРДС

123060 Россия,
г. Москва, Ул. Берзарина, д.36, стр. 11
Тел.: +7(985) 970 59 74, +7(495) 380 07 97
info@fleetcards.ru



Безопасность технологических процессов на ГНС

А.А. Барабанов,

главный инженер проекта по оборудованию для СУГ ОАО «Промприбор»

Потенциал, который в последние годы прослеживается в развитии нефтегазового комплекса, – переход на альтернативные виды моторного топлива, увеличение парка автомобилей, работающих на сжиженном углеводородном газе (СУГ), – ведет к увеличению объемов производства и поставок СУГ по регионам России.



Рис. 1. Схема расстановки постов слива и заправки на ГНС

На сегодняшний день техническое совершенство оборудования для учета и перекачки, уровень автоматизации и управления позволяют строить технологический процесс приема и реализации СУГ на газонаполнительной станции (ГНС) при минимальных человеческих ресурсах с высокой производительностью.

Возьмем для примера вполне типичную ГНС и попробуем подобрать оборудование, соответствующее последним техническим достижениям.

Начнем с железнодорожной эстакады приема СУГ. Без сомнения, это должна быть хорошо оборудованная сертифицированная конструкция, выполненная из огнестойких материалов с широкими (в пределах норм) площадками, легкими и хорошо управляемыми перекидными трапами, укомплектованная датчиками загазованности, пожарной сигнализации, телефонной связью. Технологическое оборудование должно иметь устройства, контролирующие расход продукта, его давление (в системе и емкости), причем это оборудование

должно быть связано с центральным пультом управления.

Далее рассмотрим комплектацию насосно-компрессорного отделения. Применяемые насосы должны быть экономичны, производительны. Обязателен контроль давления, виб-

рации, температуры, наличия жидкости или масла во всасывающих и подающих трубопроводах. Насосы должны быть с двойными торцовыми уплотнениями, с подачей охлаждающей жидкости. Контроль за всеми параметрами должен осуществляться системой управления с обязательным дублированием и самодиагностикой контролируемых приборов и датчиков.

Слив СУГ из железнодорожных цистерн производится в емкости хранения. Сами емкости интереса не представляют, но вот их «обвязка» и оснащение контрольно-измерительным оборудованием заслуживают должного внимания.

В первую очередь, это предохранительные устройства, производящие контроль за превышением давления и предотвращающие это превышение. Во-вторых, необходима надежная и точная система измерения уровня, позволяющая не только измерять уровень, но и выдавать данные на пульт управления о плотности жидкой и паровой фаз СУГ, количестве СУГ, находящемся в емкости. В-третьих, целесообразно оснащение емкостей управляемыми клапанами или задвижками, регулирующими эксплуатацию именно того резервуара, из которого происходит в данный момент наполнение или отбор СУГ. При этом система должна

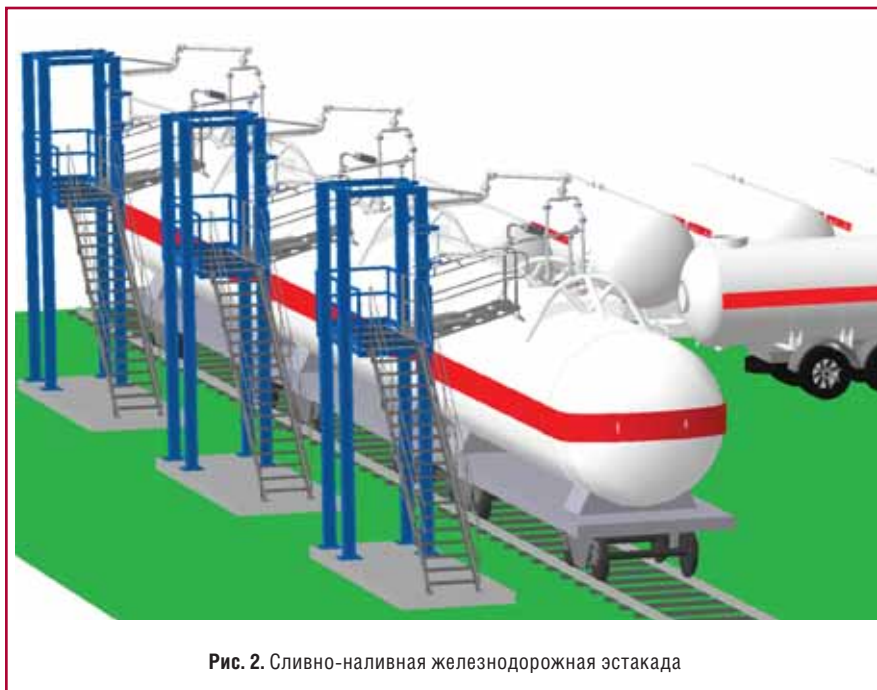


Рис. 2. Сливно-наливная железнодорожная эстакада



Рис. 3. Конструкция сливно-наливных устройств, оснащенных резиноканевыми шлангами

эту операцию выполнять автоматически, сверяясь с показаниями уровнемеров.

СУГ для отпуска потребителям подается на посты заправки автоцистерн, а также в отделение наполнения бытовых баллонов.

Отделение для наполнения бытовых баллонов необходимо оснащать оборудованием для слива тяжелых остатков из баллонов, участком их мойки, установками для наполнения баллонов объемом от 5 до 50 л, а также оборудованием для выявления утечек и пломбировки вентиляей.

Далее рассмотрим оснащение постов заправки автоцистерн. Несомненно, применение электронных весов при учетных операциях вполне оправданно, так как подаваемые под

погрузку газовой в большинстве случаев имеют остаток газа в емкостях. С другой стороны, контроль за наполнением выполняется по указателю уровня на емкости. Принимая во внимание то, что точность существующего на рынке наливного оборудования достаточно высока, можно без сомнения утверждать, что установки, оснащенные функцией измерения массы и плотности, являются альтернативой электронным весовым устройствам. Следует заметить, что при всем многообразии перечисленного оборудования управление и контроль за технологическим процессом на каждом этапе перегрузки и отпуска должны вестись единой диспетчерской службой, включая контроль за системами безопасности.

Рассматривая достаточно подробно комплекс возможного оборудования ГНС, автор сознательно не коснулся сливно-наливных устройств, применяемых на железнодорожной эстакаде и постах заправки газовой. Деятельность ГНС в настоящее время регламентирована следующими нормами и правилами: СНиП 2.04.08–87, СП 42-01–2003, ПБ 12-609–03, ПБ 03-110–96 и др.

Правилами определено, что операции слива и налива СУГ могут выполняться резиноканевыми рукава-

ми, но предпочтение следует отдавать стальным, шарнирно соединенным трубопроводам. На практике происходит скорее наоборот. Повсеместно применяются резиноканевые шланги, хотя их преимущество по сравнению с шарнирными трубопроводами только в невысокой стоимости.

Сравним два гибких трубопровода – резиноканевый и стальной шарнирный, установленные на железнодорожной эстакаде.

Конструкция сливного устройства, оснащенного резиновыми шлангами, подразумевает два стальных жестких трубопровода, идущих от наливного коллектора по обе стороны перекидного мостика. Один из них раздвигается, и на нем закрепляются два резиновых шланга с шарнирно-винтовыми прижимами. Длина каждого из них может достигать до 4 м. При наружном диаметре 50 мм внутренний диаметр составляет 38 мм. Объем газа, заполняющего шланг, будет составлять 4,5 л.

Действующими правилами определено, что должен быть предусмотрен сброс газа на участке от вентиля цистерны до первого отключающего устройства на наливном оборудовании. Из этого следует, что при каждом наливе СУГ в железнодорожную цистерну выбрасывается на свечу порядка 10 л газа. При наливке 10 цистерн потери составят 100 л и т.д. Кроме этого, резиновые шланги находятся в обособленном друг от друга состоянии, и при подключении к вентилям цистерны оператор вынужден подключать каждый рукав отдельно, переходя таким образом с цистерны на эстакаду три раза, что не лучшим образом сказывается на производительности процесса налива.

И, наконец, самое главное – безопасность. Во-первых, диаметр условного прохода не соответствует значению, при котором скорость течения газа будет составлять 1,2 м/с. Можно возразить, что трубопроводы, проходящие внутри цистерны, тоже имеют условный проход 38 мм, но конструкцию цистерны оставим на совести разработчиков. А вот оборудование для налива должно соответствовать требованиям, при которых исключается накопление статического элект-



Рис. 4. Общий вид операции перегрузки СУГ с помощью резиноканевых шлангов



Рис. 5. Конструкция стального шарнирного трубопровода в рабочем состоянии

тричества, так как даже при условии, что рукава имеют заземление в виде медной проволоки, накопление статических зарядов вследствие высокой скорости движения газа не исключается. Во-вторых, срок службы резиноканевых рукавов не превышает и трех месяцев. Даже при том, что они должны испытываться на герметичность каждые три месяца, а осматриваться ежедневно, нет гарантии, что скрытые дефекты или трещины будут обнаружены своевременно. Все это может привести к разрыву шланга, что в свою очередь опасно для жизни обслуживающего персонала.

Шарнирные стальные трубопроводы не имеют ни одного из тех недостатков, которые мы перечислили для резиноканевых рукавов. Во-первых, подключение к вентилям железнодорожной цистерны выполняется простым подведением сразу двух трубопроводов к крышке цистерны. Во-

вторых, данные трубопроводы имеют диаметр условного прохода 100 мм, следовательно, скорость течения газа соответствует требованиям правил и не превышает 1,2 м/с. В-третьих, шарнирные трубопроводы оснащены запорной арматурой, находящейся в непосредственной близости от вентилей цистерны, и потери газа при сбросах на свечу составляют не более 150 мл. В-четвертых, данные трубопроводы являются подвижной стальной неразборной конструкцией, которую можно приравнять к стационарному технологическому трубопроводу, не требующему периодического освидетельствования. И последнее – шарнирный трубопровод представляет собой непрерывную электрическую цепь и не требует обвития медной проволокой.

Выше в статье были рассмотрены устройства для перегрузки СУГ из железнодорожных цистерн в емкости, но все проблемы и недостатки, харак-

терные для резиноканевых рукавов, сохраняются и для устройств наполнения автоцистерн. Кроме этого следует добавить, что при наполнении или сливе автомобильных газовых цистерн и контейнер-цистерн было бы гораздо удобнее пользоваться устройствами быстрой расстыковки, по аналогии с присоединительными муфтами по стандарту API на бензовозах. Тогда потери при отсоединении шлангов исключаются совсем. Но чтобы решить данную проблему, необходимы совместные усилия производителей автоцистерн, наливного оборудования, Госстандарта и Ростехнадзора.

Подведем итоги вышесказанному. В статье была рассмотрена примерная комплектация ГНС. Все названное оборудование, включая АСУ ТП, достаточно дорогостоящее, но по сути оно так или иначе влияет на увеличение прибыли, поэтому владельцы готовы за него платить. Возникает резонный вопрос, почему компании готовы платить за дорогие компрессоры, насосы, систему управления и совершенно не задумываются о безопасности, начинают экономить на устройствах для слива и налива. При том, что заправочные и сливные площадки – это места постоянного присутствия обслуживающего персонала.

Несомненно, чтобы правильно решить данный вопрос, необходимы вмешательство органов Ростехнадзора, а также постепенная и планомерная реконструкция старых и строительство новых ГНС в соответствии с повышенными требованиями безопасности на участках перегрузки.

И в заключение хотелось бы обратиться к ведущим производителям автомобильных газовых заправщиков, контейнер-цистерн и емкостного оборудования. Наша компания готова сотрудничать в области проектирования, изготовления и поставки устройств быстрой расстыковки для сжиженных газов, а также ответных адаптеров для комплектации емкостей.

Экономические условия, выход на мировой рынок, требования европейских стандартов так или иначе приведут к необходимости оборудования цистерн и емкостей более совершенной и безопасной заправочной арматурой.



Рис. 6. Операции наполнения газовоза СУГ с помощью шарнирных трубопроводов

Типовые проблемы автоматике АГНКС, выявленные при реновации САУ (капитальном ремонте)

В.И. Бунин,

президент ГК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА»,

А.В. Яковлев,

генеральный директор «НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА»,

Я.А. Евдокимов,

ведущий специалист «НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА»

Введение

В журнале «Транспорт на альтернативном топливе» № 2 (7) за 2009 г. мы начали рассказывать о нашей компании и накопленном опыте реновации САУ АГНКС. Этой статьей мы хотим начать цикл, в котором подробно расскажем о тех ситуациях и проблемах на АГНКС, с которыми нам пришлось столкнуться в процессе работы, а также предложим пути их решения.

«А зачем менять автоматику, давайте лучше что-нибудь из оборудования поменяем...»

Итак, практически каждая статья о построенных в 70-80-х гг. прошлого века АГНКС начинается примерно одинаково, а именно тем, что сейчас на территории бывшего СССР эксплуатируется несколько сотен АГНКС, которые за прошедшее время существенно поизносились как физически, так и морально. Не будем оригинальными и скажем, что и по нашим наблюдениям многие станции действительно в далеко не лучшем состоянии и постоянные ремонты основного оборудования – это вполне обычная картина. А когда речь заходит о состоянии автоматики, выясняется, что она либо частично, либо полностью отключена (например, управление блоком осушки на некоторых станциях выполняется вручную). Таким образом, без автоматики на многих АГНКС как-то обходятся. Поэтому первое, на что хотят, как правило, потратить средства, выделяемые

из бюджета на реконструкцию или капитальный ремонт АГНКС, – это замена основного оборудования (компрессоры, задвижки и т.п.), а о замене автоматики вспоминают в последнюю очередь. Ведь это, во-первых, расходы, во-вторых, простой АГНКС во время работ по замене, в-третьих – необходимость обучения персонала. Безусловно, такая логика имеет право на жизнь, мы лишь хотим представить наше видение проблемы.

Как же ненадежность или отсутствие нормальной работы автоматики может повлиять на работоспособность станции в целом?

К сожалению, информации об отказах оборудования АГНКС в открытых источниках очень мало. Единственная статья на эту тему «Повышение надежности работы

оборудования АГНКС» была опубликована в журнале «Газовая промышленность» № 9 в 2001 г. Некоторые данные из этой статьи приведены на рис. 1, который иллюстрирует соотношение показателей наработки на отказ для различных подсистем стационарных компрессорных установок (СКУ) трех типов. Согласно представленным показателям надежность автоматики для двух из трех рассматриваемых типов СКУ превосходит надежность компрессоров, а для СКУ типа 4HR3KN-200 автоматика вообще является наиболее надежной подсистемой.

Судя по такой оптимистической картине, системы автоматики отнюдь не являются «слабым местом» АГНКС, но, как это часто водится, реальность сильно отличается от официальных публикаций. Не надо думать, что кто-то намеренно искажает цифры, дело в другом: зачастую отказы, спровоцированные неработающей автоматикой, попадают в статистику отказов основного оборудования. Вот некоторые проблемы, обнаруженные нами при обследовании объектов (см. таблицу).

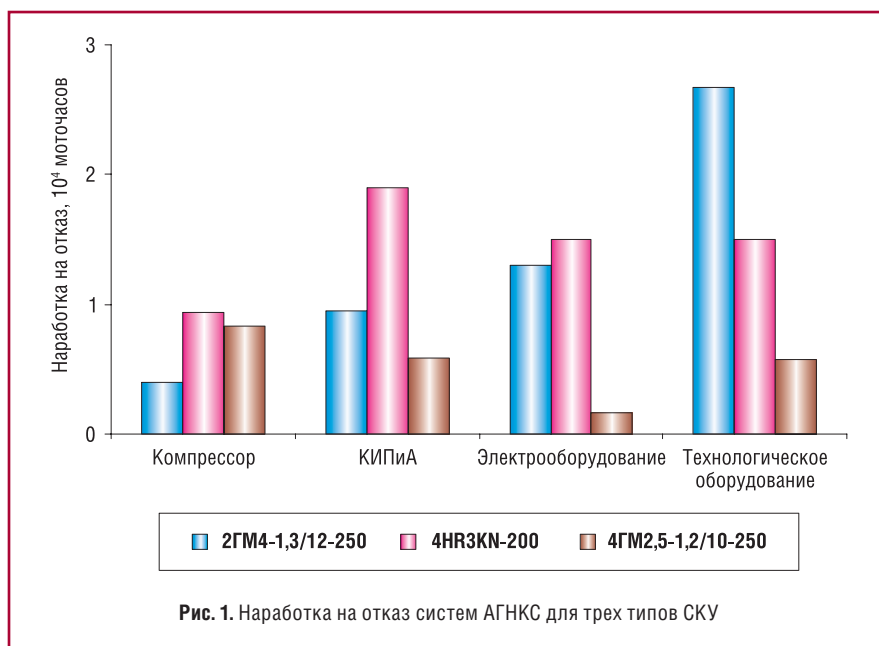


Рис. 1. Наработка на отказ систем АГНКС для трех типов СКУ

**Примеры неисправностей, которые диагностировались,
как неисправности основного оборудования, а не САУ**

Обнаруженные неисправности	Как реагирует на выявленные дефекты старая автоматика	Почему неисправности диагностировались, как дефекты основного оборудования	Как реагирует на неисправности современная САУ
<p>При проверке измерительных каналов было обнаружено, что в головках температурных датчиков из-за вибрации открутились винты (см. рис. 2)</p>	<p>Если открутились винты крепления контрольных проводов, то есть произошел обрыв цепи контроля температуры, то показывающий прибор (сигнализатор предельных значений) будет показывать максимальное значение, результат – ложное срабатывание аварийных защит. Если открутились незадействованные винты и замкнулась цепь контроля температуры, то показывающий прибор будет показывать минимальное значение, что приведет к пропускам предупреждений и аварий. Если винты просто ослабли, то получим несоответствие показаний прибора и реальной температуры из-за плохого контакта провода</p>	<p>Отказ из-за перегрева вследствие пропуска автоматикой аварии попадет в статистику отказов компрессора, а не автоматики</p>	<p>Наличие развитых средств диагностики позволяет своевременно определять неисправности цепей каналов измерения, в том числе и «Дребезг» контактов</p>
<p>Не проводились или проводились некачественно необходимые мероприятия при плановых ТО (химическая очистка труб, поверка ИК)</p>	<p>Трубы системы охлаждения компрессора засоряются и требуют периодической химической очистки. Сигналом является повышение температуры газа на выходе ступеней, которого может не быть из-за неточных измерений</p>	<p>Некачественно проведенная метрологическая поверка приводит к недостоверным значениям аналоговых параметров. Это может привести к отсутствию сигнализации о повышенной температуре газа. При повышенной температуре газа компрессор прокачает меньше газа, израсходовав то же количество электроэнергии</p>	<p>Новая САУ позволяет добиться более строгого выполнения регламентов обслуживания: сигнализация о том, что какой-то параметр не в норме, фиксируется в архиве, а несанкционированное изменение уставок невозможно</p>
<p>Аналоговые датчики уровня в сборниках конденсата никогда не настраивались</p>	<p>Режим автоматической продувки компрессора не работает</p>	<p>Вся ответственность за выполнение продувок ложится на эксплуатирующий персонал, который не получает информацию о том, что продувку пора проводить, что в итоге может привести к поломке компрессора из-за гидроудара</p>	<p>Алгоритмы управления предусматривают выполнение продувки в обязательном порядке: при непрохождении продувки какой-либо из ступеней через некоторое время выполняется останов компрессора</p>
<p>Датчики уровня и протока охлаждающей жидкости демонтированы и замкнуты (см. рис. 3)</p>	<p>Старая автоматика позволяет отключить защиту, что и было сделано обслуживающим персоналом</p>	<p>Может привести к перегреву компрессора и аварийному останову по срабатыванию «косвенной» защиты по температуре. Но с учетом «выкрученных» температурных уставок не исключена поломка компрессора</p>	<p>Перечень аварийных защит согласуется на этапе разработки САУ, и отключение защит персоналом не допускается</p>
<p>Сигнализационные концевые выключатели кранов не настраивались</p>	<p>Старая автоматика отключает привод на закрытие только моментным концевым выключателем, команда держится постоянно. Отключение привода на открытие осуществляется алгоритмом по сигнализационному выключателю и дополнительно по моментному выключателю. Возможен также непредсказуемый сбой алгоритма управления</p>	<p>Отказ моментного выключателя при ненастроенном сигнализационном выключателе ведет к поломке задвижки: срыву стопорных колец, разрыву задвижки, выходу из строя электродвигателя</p>	<p>Современные технические средства построения систем автоматики обеспечивают возможность реализации более «интеллектуальных» алгоритмов управления оборудованием, гибко обрабатывать нештатные ситуации</p>



Рис. 2. Примеры ослабления крепления проводов и замыкания контактов

Неработоспособность САУ легче скрыть от начальства, поэтому персонал АГНКС нередко этим пользуется. Но скрытые отказы автоматики вызывают рост числа отказов основного оборудования и снижение его КПД. Казалось бы, напрашивается простой вывод: нужно следить за исправностью имеющейся автоматики, усилить ответственность персонала, и все будет в порядке.

Но есть еще и другая сторона вопроса. САУ, эксплуатирующиеся сейчас, разработаны 15-20 лет назад. Естественно, на то время они были хороши. Но тогда просто не было технической возможности реализовать некоторые полезные алгоритмические решения, которые повышают «интеллект» системы, позволяют вовремя продиагностировать отказ основного оборудования и принять меры по сохранению работоспособности. Рассмотрим простейший пример.

Технологические краны, управляемые электрическими командами, не всегда работают идеально. Поэтому вполне возможна ситуация, когда кран не доходит до конечного положения. Старые САУ в таком случае, как правило, просто продолжают держать команду на закрытие или открытие. Оператор должен внимательно следить за всеми технологическими переходами, требующими управления кранами, за ним же остается решение – то ли нужно просто отрегулировать конечной выключатель, то ли переставить кран вручную, то ли останавливать компрессор и ремонтировать механизм. Сделано это было просто потому, что в те времена

не было ни мощных контроллеров, ни хороших средств отображения. Сейчас возможности значительно расширились, и обработку нештатных ситуаций можно делать гораздо эффективнее. Например, можно засечь время, за которое кран должен открыться при подаче команды, если не открылся – выдать оператору сообщение, а если еще за какое-то время сигнал открытого положения так и не появился, то выдать сигнализацию другого вида – уже не просто сообщение, а предупредительный сигнал, и снять команду с исполнительного механизма.

Следует повторить, что САУ АГНКС устарела также и морально. Это означает, что исчезла инфраструктура для обслуживания и ремонта, запчасти не выпускаются, и любой отказ приходится устранять, проявляя элементы изобретательности.

Выводы

Нашей фирмой накоплен большой опыт в создании промышленных АСУ и САУ, разработан комплекс средств промышленной автоматики КСПА. На базе КСПА строятся все САУ АГНКС производства ООО «НПК

«ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА». Лучше всего смогут подтвердить высокое качество нашей продукции те, кто ее эксплуатирует. Приведем ниже отчет одного из наших заказчиков об отличительных особенностях нашей САУ по сравнению с эксплуатировавшейся ранее системой автоматики PS-2000 производства ГДР.

1. Постоянная самодиагностика компонентов САУ на базе КСПА позволяет быстро локализовать неисправность, если она возникнет. Ранее для поиска и устранения неисправности PS-2000 требовалось пользоваться сложными методиками и технологиями.

2. В большинстве случаев неисправности САУ могут быть устранены персоналом АГНКС без привлечения специализированных ремонтных организаций. Ранее для устранения неисправности PS-2000 требовался выезд специализированной бригады наладчиков.

3. Отсутствие движущихся частей (вентиляторов) увеличивает надежность системы в плане отказов по механике. Отказ вентилятора в PS-2000 часто приводил к перегреву блока и последующему его выходу из строя.

4. Диагностика обрыва аналогового датчика позволяет, с одной стороны, предотвратить ложные аварийные остановки, а с другой – оперативно устранять неисправности, не выводя при этом агрегат из работы.

5. Непрерывный контроль цепей управления и срабатывания механизмов позволяет предотвратить нештатные ситуации.

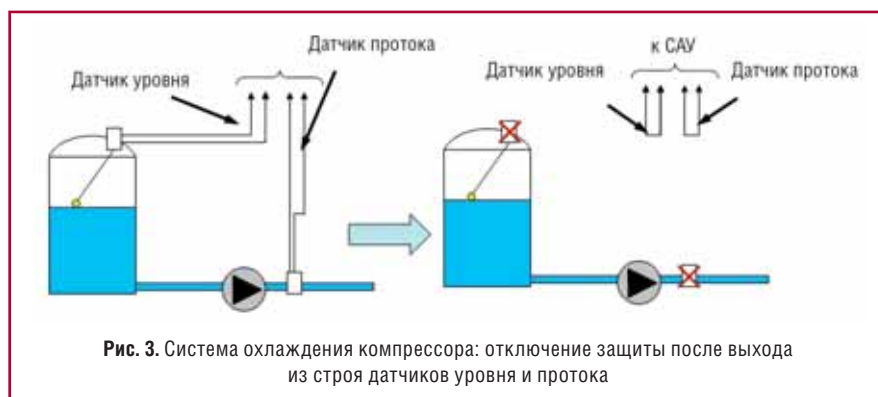


Рис. 3. Система охлаждения компрессора: отключение защиты после выхода из строя датчиков уровня и потока

6. В САУ КСПА автоматизировано создание отчетных документов (протоколов пусков, остановов, проверок аварийных защит, сменных ведомостей).

7. Согласно регламенту на техническое обслуживание трудозатраты на ежедневное техническое обслуживание САУ компрессора сократились приблизительно в семь раз (2 чел.-ч для PS-2000 и 0,3 чел.-ч для КСПА). Стало возможным уйти от ежемесячного техобслуживания САУ. Ежегодное техническое обслуживание сократилось приблизительно в 10 раз (104 чел.-ч для PS-2000 и 10 чел.-ч для КСПА), к тому же часть операций по проведению ежегодного технического обслуживания стало возможным выполнять силами персонала АГНКС.

Замена САУ АГНКС значительно улучшает экономические показатели работы станции. На первый взгляд, эта прибыль незаметна. Од-

нако расчеты и реальная практика показывают, что за счет более совершенной автоматики можно существенно повысить надежность и безопасность эксплуатации АГНКС и, следовательно, снизить ущерб, вызываемый внезапными отказами, внеплановыми ремонтами и простоями отказавшего оборудования. Кроме этого, снижаются расходы на персонал, уменьшается возможность человеческих ошибок при эксплуатации. Все это позволяет утверждать, что внедрение новой автоматики окупается достаточно быстро.

Заключение

В этой статье мы хотели дать ответ на вопрос: «А зачем, собственно, менять старую автоматику?».

Выше был описан ряд проблемных ситуаций, возникающих при эксплуатации АГНКС с устаревшей автоматикой, и показано, что отка-

зы, классифицируемые как отказы основного оборудования, являются на самом деле следствием некорректной работы или отказами автоматики.

Если учесть еще и трудности с ремонтом изношенной автоматики, то все сомнения в целесообразности ее замены должны исчезнуть. Мы убеждены, что при распределении средств на капитальный ремонт и реконструкцию вопрос о замене автоматики должен рассматриваться наравне с вопросом о замене основного оборудования, а не являться второстепенным по отношению к последнему. Надеемся, что после прочтения данной статьи читатели разделят наши убеждения.

ООО «НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА»

Г. Санкт-Петербург,

тел: (812) 350-19-67

E-mail: info@lenprom.spb.ru

www.lenprom.spb.ru

Продолжается строительство и модернизация АГНКС компании «Газпром трансгаз Томск»

Продолжается реализация программы реконструкции автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) компании «Газпром трансгаз Томск».

Так, заканчивается благоустройство АГНКС-150 в Томске. Завершено строительство операторной и навеса, смонтированы компрессоры. Станция готова к врезке в газовую сеть низкого давления. Ведется благоустройство территории.

В настоящее время завершается реконструкция АГНКС-3 в Новосибирске. В ходе модернизации ведется замена технологического оборудования: операторной, заправочной галереи, трансформаторной подстанции. Также идет работа и на автомобильной газонаполнительной компрессорной станции в Кемерове.

Строительство новых АГНКС ведется в соответствии с Целевой комплексной программой ОАО «Газпром» «Развитие газозаправочной сети и парка техники, работающей на природном газе, на 2007-2015 гг.», согласной которой в 2008-2009 гг. строятся АГНКС-150 в Томске и АГНКС-250 в Новосибирске. Каждая станция позволит заправлять газомоторным топливом по 150 автомобилей в сутки.

Всего в зоне деятельности ООО «Газпром трансгаз Томск» планируется построить 31 АГНКС. План также предусматривает устройство специальных пунктов по переоборудованию автомобилей на газобаллонное оборудование. Часть станций будет укомплектована передвижными газовыми заправщиками (ПАГЗ).

Результатом реализации программы строительства АГНКС в западно-сибирском регионе станет «закольцовка» трассы Томск – Новосибирск – Барнаул – Бийск – Горный Алтай – Новокузнецк – Кемерово – Томск и строительство АГНКС на трассе Новосибирск – Омск. Создание транспортных коридоров позволит автовладельцам с дозаправкой перемещаться по основным автомагистралям пяти регионов.

Также компания реализует программу реконструкции действующих автомобильных газонаполнительных станций.

Результатом реализации программы стала модернизация АГНКС-1 Томска, АГНКС-1 и АГНКС-3 Новосибирска, АГНКС-2 Кемерова.

Модернизация станций способствует повышению эффективности и качества обслуживания потребителей. В частности, новое оборудование позволяет сократить время заправки до 20%, проект реконструкции также предполагает устройство кафе.

<http://www.advis.ru/cgi-bin/new.pl?C9E2CC71-1DAA-0740-99A6-0266D20B7067>

Газовые электромагнитные форсунки типа ФЭК

И.М. Коростышевский,
директор – главный конструктор ООО «НТЦ «Авангард»

Одним из направлений работ НТЦ «Авангард» в последние годы является разработка газовых электромагнитных форсунок. Сотрудники НТЦ имеют большой опыт в разработке бензиновых и газовых электромагнитных форсунок, который базируется на многолетней их работе с электромагнитными клапанами для агрегатов авиапрома. Этот опыт позволил в 1990 г. начать разработку бензиновой электромагнитной форсунки для отечественной электронной системы распределенного впрыска бензина для ОАО «АВТОВАЗ». Разработанные форсунки ФЭК-6 прошли испытания на «АВТОВАЗе», но их доводка и последующий серийный выпуск не состоялись. Дело в том, что этих форсунок нужно было выпускать в количестве 1-2 млн. ед. в год. А в то время (1995 г.) ни одно предприятие в России не могло произвести такие объемы продукции. Это была одна из причин, почему ОАО «АВТОВАЗ» принял решение использовать форсунки немецкой фирмы «Бош».

Не получив дальнейшего применения наших бензиновых форсунок, специалисты НТЦ «Авангард» в 1996 г. приступили к разработке газовых форсунок, тем более что был для этого повод.

Дочернее предприятие «Югтрансгаз» предложило нам перевести автомобиль УАЗ-315-14 с карбюраторным двигателем УМЗ-4201 на газомоторное топливо при условии, что потеря мощности будет минимальной. Для этого двигателя на нашем предприятии в 1996 г. была разработана электронная система управления с распределенной подачей газа по цилиндрам. Были разработаны газовые форсунки ФЭК-21, основанные на базе бензиновых форсунок ФЭК-6.

В то время в России ничего подобного не было. Такие системы появились лишь в 2000-2001 гг. и стали

называться газовыми системами 4-го поколения. Автомобиль с нашей системой (редуктор и клапан высокого давления производства ООО «САГА») совершил пробег по маршруту Саратов – Москва – Ульяновск с общим пробегом 2338 км. Автомобиль участвовал в организованной в 1996 г. ОАО «Газпром» выставке «Газ-Мотор». Автомобиль с нашей газовой системой имел успех, так как это был первый автомобиль, работавший на природном газе с электронной системой управления и распределенным впрыском газа. Такие системы тогда только еще опробовались за рубежом.

Для работы автомобиля на двух видах топлива специалистами НТЦ «Авангард» была разработана новая электронная система управления. Для этой системы была разработана принципиально новая газовая фор-

сунка ФЭК-23 с плоским якорем, закрепленным на мембране (патент РФ №2136949), так как опыт эксплуатации форсунки ФЭК-21 с плунжерным якорем (как было у бензиновой форсунки) показал, что она не обеспечивает заданный ресурс и в процессе работы имеет сбой. Это было понятно, поскольку плунжерный якорь форсунки работает в условиях «сухого» трения, что, естественно, будет приводить к затиранию якоря.

В этом мы еще раз убедились, когда ОАО «КамАЗ» попросило нас протестировать газовые форсунки типа HSV3000 фирмы «Servojet» (Китай). Эти форсунки, кроме большого разброса по динамическому расходу, имели и ограниченный ресурс по наработке на сухом воздухе.

При сравнительных испытаниях форсунка HSV3000 после наработки $2 \cdot 10^8$ включений начала давать сбой. Наша же форсунка проработала $3 \cdot 10^8$ включений без замечаний. Причиной ее снятия с дальнейшей наработки была некачественная сварка клапана с якорем.

Убедившись, что выбранная конструкция форсунки работоспособна, мы в 1997 г. установили свою систему на автомобиль «ВАЗ-21093», который был продемонстрирован участникам проводимого «Газпромом» в г. Минск очередного заседания комиссии при правительстве РФ по использованию природного газа и сжиженного нефтяного газа в качестве моторного топлива.

Еще одной особенностью нашей форсунки было то, что ее обмотка в отличие от импортных форсунок имела большее сопротивление (10 Ом). Это позволило для управления газовыми форсунками использовать штатный электронный блок автомобиля «ВАЗ-21093», который управлял

Таблица 1

Параметры		Форсунки				
		Bosch EV1.3A	Keihin (HONDA)	IMPICO	Aisan (TOYOTA)	Avangard (Россия)
Q _{stat}	6,9 bar (ü)	8,9 kg/h	21,3 kg/h	21,1 kg/h	7,7 kg/h	
	3 bar (ü)		10,8 kg/h	10,3 kg/h	4,0 kg/h	11,9 kg/h
Сопротивление обмотки		5 Ом при t 22°C	1,6 Ом при t 23°C	2,3 Ом при t 26°C	2,1 Ом при t 20°C	8,1 Ом при t 26°C
Ток срабатывания		230 mA при давлении 6,9 бар	950 mA при давлении 3 бар	180 mA при давлении 3 бар	180 mA при давлении 6,9 бар	90 mA при давлении 3 бар

бензиновыми форсунками (патент РФ №2136933), предварительно проведя соответствующую калибровку программы управления.

В то же время поступили предложения разработать такие же системы от ОАО «ЗИЛ», ОАО «ГАЗ» и ОАО «КамАЗ». Для этих систем нами были разработаны газовые форсунки с необходимой расходной характеристикой, однако, кроме выставления технических требований и изготовления опытных изделий, работы в дальнейшем не проводились. Причина – отсутствие финансирования наших работ со стороны заказчиков.

Несмотря на это нами были проведены стендовые испытания наших систем на ОАО «ЗИЛ» и ОАО «ГАЗ». На ОАО «КамАЗ» испытывались только наши форсунки ФЭК-24К, которые не устроили завод по причине малой производительности.

Отдельно следует сказать о нашей работе с ОАО «АВТОВАЗ». В соответствии с протоколом о намерениях, подписанным в 1999 г., ООО «СЭПО-ЗЭМ» (г. Саратов) изготовил для «АВТОВАЗа» более 100 форсунок ФЭК-23П по нашей документации. На заводе было

собрано около 20 автомобилей с этими форсунками. Форсунки работали без замечаний (сотрудники завода говорили, что самым надежным элементом в системе управления двигателем при работе на газе является наша форсунка).

Несмотря на эти заявления, ОАО «АВТОВАЗ» в дальнейшем решило использовать форсунки фирмы «Бош», так как они намеревались устанавливать на автомобили газовую систему, разработанную фирмой «Бош».

В 1999 г. эта немецкая фирма предложила провести сравнительные испытания с участием нашей форсунки. В начале 2000 г. технический университет в г. Люцерн по предложению фирмы «Бош» провел сравнительные испытания газовых форсунок пяти фирм. Испытаниям были подвергнуты форсунки, применяемые фирмами «Бош», «Импко», «Тойота», «Хонда» и «Авангард» (табл. 1).

Проведенные испытания показали, что форсунка фирмы «Бош» (EV1.3A), изготовленная на базе бензиновой форсунки EV.3, не выдержала испытаний по наработке на «сухом» воздухе.



Рис. 1. Форсунка ФЭК-23П

Наилучшие показатели по наработке $1 \cdot 10^8$ включений имели форсунки фирм «Тойота» (Aisan) и «Хонда» (Keihin). Причина кроется в том, что у форсунки Aisan – якорь плоский и закреплен на мембране, а у форсунки Keihin – якорь плунжерного типа, но на него нанесено специальное керамическое покрытие с целью уменьшения эффекта «сухого» трения.

К сожалению, наша форсунка не была полностью испытана. При определении статического расхода при

Таблица 2

Наименование форсунки	Рабочее напряжение питания, В	Миним. напряж. срабатывания при t 20 °С, В	Сопротивление катушки при t 20 °С, Ом	Статический расход, л/с	Динамический расход, см ³ /цикл	Частота управляющих импульсов, Гц	Ток удержания, А	Диапазон линейн. расход. хар-ки, мс	Утечка по запорному устройству, см ³ /мин	Рабочий диапазон температур, °С	Рабочее давление, кПа	Масса, кг
ФЭК-23, 23К, 23П	12	6	11,5±0,3	1,5±5%	45±3% при импульсе 8 мс	50	–	3–18	При ΔР 300 кПа 1	– 40 ч + 120	300	Не более 0,09
ФЭК-26	48	14	21 ±0,5	12±5%	500 при импульсе 28 мс	8	0,9-1	30–120	При ΔР 1 кПа 10	—//—	100	0,27
ФЭК-27	24	7	11,5±0,3	5,5±3%	100±3% при импульсе 20 мс	40	0,5-0,6	4–20	При ΔР 450 кПа 0	—//—	300	Не более 0,09
ФЭК-27А	12	7	11,5±0,3	2,4±3%	72 при импульсе 8 мс	50	0,5-0,6	4–20	При ΔР 450 кПа 0	—//—	300	—//—
ФЭК-27К	24	7	11,5±0,3	5,3±3%	100±3% при импульсе 20 мс	40	0,5-0,6	4–20	—//—	—//—	300	—//—
ФЭК-27П	24	7	11,5±0,3	6±3%	105±3% при импульсе 20 мс	40	0,5-0,6	5–18	—//—	—//—	300	—//—
ФЭК-27Я	24	7	11,5±0,3	4,7±3%	45±2% при импульсе 10 мс	40	0,5-0,6	4–20	—//—	—//—	300	—//—



Рис. 2. Форсунки:
а – ФЭК-27; б – ФЭК-24; в – ФЭК-26

давлении около 7 бар произошло выдвигание седла-штуцера, что привело к увеличению хода клапана и, как следствие, к ухудшению динамики и увеличению расхода. Форсунка была рассчитана на рабочее давление 3 бар. Кроме того, она из-за отсутствия финансовых возможностей была собрана без необходимой оснастки, «кустарным» способом.

Было сделано заключение о работе форсунок, где о нашей форсунке было написано следующее: положительное – «малые габариты, большой расход»; отрицательное – «плохая динамика».

Хочу отметить, что все проходившие испытания форсунки были опытными. Так, фирма «Импко» создала свою форсунку лишь в 1999 г., в то время как наша форсунка была создана в 1997 г.

Как уже было сказано выше, из-за отсутствия финансирования дальнейшие работы с форсунками были приостановлены. Лишь в 2004 г. нашими форсунками заинтересовались фирма «Кроуфорд Хилл консалтинг» (Великобритания) и ООО «Уралтрансгаз».

Фирме «Кроуфорд Хилл консалтинг» мы передали 10 форсунок ФЭК-24К, разработанных нами для ОАО «КамАЗ», для определения возможности их применения в Англии. Фирма «Кроуфорд Хилл консалтинг» передала их фирме «Millispeed UK Ltd» для испытаний, по результатам которых эта фирма предложила на

базе нашего изделия разработать для них форсунку по динамике, близкой к форсунке фирмы «Кейхин». Мы разработали такую форсунку. Форсунка фирмы «Кейхин» имеет сопротивление обмотки 1,3 Ом, а наша ФЭК-24К – 17 Ом. Сделав сопротивление обмотки 1,5 Ома, мы получили необходимую динамику.

Но англичанам новую форсунку мы не передали, так как после испытаний они нам вернули только 8 форсунок, хотя в контракте на поставку было четко оговорено, что фирма «Кроуфорд Хилл консалтинг» обязуется не вскрывать форсунки и вернуть их НТЦ «Авангард» в полной сохранности. Фирма заявила, что форсунки утеряны и что конфиденциальность ими не нарушена.

Однако в невозврате форсунок мы заподозрили заимствование наших идей.

Для ООО «Уралтрансгаз» мы разработали и изготовили более 200 форсунок типа ФЭК-27, которыми они заменили форсунки завода «Ленинец» на имеющихся у них автобусах «НефАЗ» и самосвалах, работающих на газе. Замена была произведена по причине отказа форсунок завода «Ленинец» при эксплуатации.

В 2008 г. мы поставили партию форсунок на ОАО «КамАЗ» и ОАО «Автодизель» (г. Ярославль). На ОАО «КамАЗ» форсунки ФЭК-27К в настоящее время проходят заводские испытания.

Кроме этого, нашими специалистами была разработана форсунка большой производительности для газового двигателя-генератора разработки ООО «Конвер» (г. Коломна), партия которых в настоящее время проходит испытания у потребителя.

На рис. 1 представлен внешний вид форсунки ФЭК-23П, а на рис. 2 форсунки ФЭК-27, ФЭК-24, ФЭК-26.

Заключение

1. К сожалению, мы не фирма «Кейхин», и не имеем таких же больших финансовых возможностей для быстрой разработки форсунок и проведения всех необходимых доводочных испытаний. Ведь ни одно из названных в статье отечественных предприятий не финансировало наши разработки. Отсюда и результат.

Мы одни из первых в мире в 1997 г. разработали качественную высокоомную газовую форсунку, а наши фирмы «АВТОВАЗ», ООО «ГИГ Инжиниринг» и другие покупают менее качественные форсунки за рубежом. Закупаемые форсунки «Stella», «Elisa», «RAIL» и фирмы «Бош» в основном низкоомные и имеют плунжерный якорь, а некоторые из них при своей эксплуатации (например, форсунки «Stella») требуют разборки и замены рабочих деталей.

Кроме того, при работе с низкоомными форсунками нельзя использовать напрямую штатный электронный блок автомобиля, управляющий бензиновыми форсунками. Необходима установка промежуточного электронного блока.

2. Форсунки типа ФЭК-23 в 2004 г. прошли сертификацию в НИЦИАМТ (г. Дмитров) на соответствие требованиям ОСТ 37.001.656–99 и Правил №110 ЕЭК ООН.

Форсунки типа ФЭК-27 конструктивно подобны форсункам типа ФЭК-23. Различие только в расходных характеристиках и присоединительных размерах.

3. В настоящее время предприятие ООО «СЭПО-ЗЭМ» (г. Саратов) готово к серийному выпуску разработанных нами форсунок в необходимых для отечественных предприятий количествах.

Свободнопоршневые двигатели для газовой промышленности

П.П.Петров, главный инженер НПФ «ЭКИП», к.т.н.,
А.М.Савенков, зам. главного конструктора НПФ «ЭКИП»,
А.И.Савицкий, генеральный директор НПФ «ЭКИП»

Проблема снижения энергоемкости национального продукта требует внедрения энергоэффективных технологий во все сферы народного хозяйства. Это особенно актуально для топливно-энергетического комплекса, обеспечивающего 25% ВВП. Проблема северного завоза, когда приходится доставлять бензин и дизельное топливо при наличии на местах нефти и различных газов (природного, попутного нефтяного, шахтного метана, генераторного, пиролизного и т.д.), порождена недостаточной многотопливностью существующих силовых установок (СУ).

Указанные проблемы успешно решаются с помощью свободнопоршневых двигателей (СПД), которые характеризуются следующими, проверенными временем и практикой, преимуществами:

- организация и условия протекания рабочего процесса в СПД обеспечивают высокие КПД и динамические показатели при отсутствии дымления (преимущества свободного поршня в дизеле заключаются в оптимальном теплоподводе, отсутствии ограничений на жесткость и максимальное давление цикла, высоком механическом КПД, незначительном (до 10%) провале коэффициента избытка воздуха при набросе нагрузки);

- многотопливность, возможность применения низкосортных, синтетических и альтернативных топлив, включая различные газы и сырую нефть; свободнопоршневая камера сгорания по этому показателю существенно превосходит дизели и газотурбинные двигатели (ГТД);

- динамическая уравновешенность, отсутствие вибраций и фундамента;

- простота, надежность и технологичность конструкции;

- низкие затраты при эксплуатации и ремонте;

- высокие пусковые качества при низких температурах;

- благоприятная тяговая характеристика СУ с СПД;

- возможность отключения одного или нескольких СПД без останова остальных;

- возможность повышения давления наддува и максимального давления сгорания;

- удобство компоновки в пространстве; модульный принцип компоновки.

Однако из практики известно, что для СПД не всегда удается найти приемлемое (прежде всего, по эффективности и надежности) решение. Широкое применение нашли лишь устойчивые саморегулирующиеся системы – свайные дизель-молоты, свободнопоршневые дизель-компрессоры (СПДК) и т.п.

Современный уровень развития теории рабочего процесса СПД убедительно доказывает, что все неудачи при создании СПД обусловлены ошибками теоретического характера, а механический перенос некоторых основных положений теории рабочего процесса кривошипных ДВС на СПД недопустим. К числу наиболее существенных ошибок относятся:

- неудачный (с точки зрения статического и динамического синтеза СПД) выбор параметров номинального режима;

- переход на постоянный ход поршня с форсированием дизеля СПД;

- завышенное отношение диаметров компрессорного и дизельного поршней, ухудшающее нагрузочные характеристики;

- неоптимальная схема газообмена;

- нерациональный выбор расширительной машины.

Несмотря на допущенные ошибки газотурбинные установки со свободнопоршневыми генераторами газа (ГТУ с СПГ) оказались весьма эффективными для северных условий благодаря использованию дешевых топлив (мазут с содержанием серы до 4% и сырая нефть).

Применительно к технологическим процессам в газовой промышленности практический интерес представляют следующие варианты использования СПД:

- газогенераторы;

- СПДК;

- комбинированные (гибридные) энергетические установки (КЭУ или ГСУ).

Эффективность СПД в качестве генератора энергоносителя для технологических целей общеизвестна [1, 2]. В качестве генераторов синтезгаза СПД также имеют существенные преимущества по энергоэффективности и удельной массе [3]. За счет регулирования коэффициента остаточных газов (коэффициент продувки меньше 1) и степени сжатия СПД оказывается весьма эффективным и легким источником безопасных газов. В качестве последних могут использоваться продукты сгорания с содержанием кислорода 0,3–8% по объему. Заданное допустимое содержание кислорода соответствует продуктам сгорания ДВС, у которых коэффициент избытка воздуха при сгорании не более 1,6 ($\alpha < 1,6$). Для соответствия этому условию давление безопасных газов должно быть более 23–25 бар. При меньшем давлении у дизеля СПД должен быть дополнительный потребитель, иначе не обеспечивается баланс работ за ход поршня и цикл в СПД. Ограничение по содержанию сажи накладывает дополнительные условия на организацию рабочего процесса. В дизелях границей

дымления считается $\alpha = 1,25$. Поэтому применение тяжелых жидких топлив ограничено этим условием. Бессажевый процесс сгорания газобразных гомогенных смесей с воспламенением от сжатия в широком диапазоне α вплоть до 0,25 возможен только в СПД.

Оптимальное по производительности давление газа 22–25 бар, при этом не требуется компрессор для его сжатия, так как безопасный газ непосредственно выходит из выхлопной системы при данном давлении. Разработанный СПД модели 1МП120 в режиме генератора безопасного газа имеет производительность до 35 $\text{м}^3/\text{мин}$ при давлении 23–25 бар.

В случае СПДК преимущества СПД проявляются в полной мере. Малые габариты и масса, абсолютная уравновешенность (не требуется фундамент), автономность в работе, хорошие экономические показатели, легкий и надежный пуск ставят подобные машины вне конкуренции, особенно на транспортных передвижных установках [4, 5]. Затраты на 1 м^3 вырабатываемого сжатого воздуха или газа у СПДК в 1,5–2 раза ниже, чем у приводного поршневого компрессора равной производительности.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает серийно два типа СПДК: ДК-2 (мощностью 43 кВт на конечное давление 230 бар) и ДК-10 (95,7 кВт, 400 бар). Эти СПДК узкоспециализированны (рабочая среда – воздух, минимальное давление нагнетания 50 бар), поэтому производственные издержки слишком велики. Конструкция данных СПДК не допускает их модернизацию в соответствии с требованиями современного рынка и достижениями в области компрессор- и двигателестроения, так как это потребует замены до 80% деталей, что равносильно созданию новой конструкции. Последнее выглядит предпочтительнее, так как можно использовать серийные детали и узлы современных дизелей.

Показатель энергоемкости компрессоров, применяемых на АГНКС

с давлением на входе 4–12 бар и давлением нагнетания 230–250 бар, составляет 16,5–26 $\text{кВт}/\text{м}^3\cdot\text{мин}$. У действующих СПДК этот показатель равен 15–17 $\text{кВт}/\text{м}^3\cdot\text{мин}$ (находится у нижнего предела) и может быть снижен за счет оптимального управления рабочим процессом. Основной источник повышения эффективности СПДК – это его дизель, КПД которого существенно выше всех других типов приводных двигателей (с учетом КПД преобразования энергии топлива и КПД ее передачи к компрессору). Эксплуатационный КПД дизеля и СПДК можно существенно повысить за счет регулирования степени сжатия в дизеле, глубокой утилизации энергии выпуска, применения альтернативных топлив и систем воспламенения, регулирования подачи компрессора и др.

Для регулирования степени сжатия и поддержания оптимальных параметров дизеля необходима минимум одна буферная полость (у ДК-2 и ДК-10 она отсутствует), тогда можно использовать регулятор степени сжатия и поддерживать на всех режимах максимальный КПД. Частоту циклов холостого хода, а, следовательно, и расход топлива можно понизить на порядок за счет регулирования задержки поршня в наружной мертвой точке (НМТ).

Эффективная работа на природном газе (ПГ) с высокими экологическими показателями возможна лишь в случае воспламенения от сжатия, что существенно упрощает топливоподающую аппаратуру, но требует управления степенью сжатия и приводит к увеличению максимального давления цикла до 280–320 бар (у ДК-2 цилиндр рассчитан на 175 бар).

Материалоемкость электроприводных компрессоров составляет 20–35 $\text{кг}/\text{кВт}$, газоконпрессоров типа ГМ-8, 10ГКМ превышает 55 $\text{кг}/\text{кВт}$.

У СПДК этот показатель составляет 10–15 $\text{кг}/\text{кВт}$ и может быть снижен до 5 $\text{кг}/\text{кВт}$. С учетом дефицита электроэнергии и стоимости технических условий на подключение к электросетям, которая соизмерима со стоимостью электростанции соответствующей мощности, предпочтительны

поршневые компрессоры с приводом от газового ДВС. Поэтому наиболее рациональным, особенно для вновь возводимых объектов, является СПДК, работающий на природном газе. Это позволяет существенно снизить производственные и эксплуатационные затраты, а также сократить объем и сроки капитального строительства.

За счет применения турбонаддува в СПДК одной размерности обеспечивается диапазон номинальных мощностей 43–100% от максимальной, что существенно снижает производственные издержки. На базе разработанного СПД 1МП120 путем применения дополнительных воздушных и газовых ступеней сжатия, которые могут быть сменными, можно получить СПДК (масса 550 кг) с номинальной мощностью 45–100 кВт. Аналогично для СПД модели П318 получается СПДК мощностью 450–1000 кВт (масса 5800 кг). Промежуточные мощности можно перекрыть за счет нескольких модулей, чтобы не создавать всю линейку СПДК.

При использовании нескольких модулей количество ступеней в СПДК можно уменьшить за счет последовательного сжатия в разных СПДК. Двухступенчатый СПДК позволяет существенно повысить эффективность передвижного автомобильного газового заправщика (ПАГЗ) как за счет перекачки остаточного газа низкого давления, так и за счет его использования в дизеле СПДК. СПДК также можно совместить с тяговым двигателем ПАГЗ, заменив его поршневой расширительной машиной.

Практический интерес могут представлять и СПДК мощностью до 2,5 кВт в качестве индивидуальных АГНКС производительностью до трех заправок в сутки, с использованием газа низкого давления из бытовой сети. Основное требование к такому СПДК – низкая стоимость, что достигается существенным упрощением конструкции.

При мощности компрессорной станции выше 2–4 МВт рационально применять лопаточные (ротационные) компрессоры с приводом от комбинированных энергетических

установок (КЭУ), которые в настоящее время представляют наиболее перспективное направление в развитии стационарных и транспортных СУ, что подтверждается масштабами работ в этой области. Однако в рамках традиционных поршневых двигателей не удастся существенно снизить массу и габаритные размеры СУ, так как это требует увеличения давления наддува в несколько раз, а у кривошипно-шатунного механизма (КШМ) практически отсутствуют резервы по прочности. Применение СПД в качестве первичного двигателя-генератора в КЭУ является логичным шагом дальнейшего повышения всего комплекса технико-экономических показателей КЭУ, так как позволяет убрать лишние звенья и связанные с ними диссипативные потери, снять ограничения на параметры рабочего процесса и существенно повысить КПД расчетного режима. Устраняются также причины, вызывающие в обычных ДВС значительные отклонения от расчетных режимов.

В общем случае в КЭУ СПД может использоваться в двигательном, генераторном или комбинированном режиме. В двигательном режиме вся энергия топлива используется на привод электрогенератора, гидронасоса или компрессора. В генераторном режиме вся энергия дизеля тратится на привод поршневого компрессора наддува (производство рабочего тела в виде продуктов сгорания). Мощность генераторного режима в четыре и более раз выше двигательного. С учетом того, что в двигательном (с пневмопередаточей) и в генераторном режиме используется один и тот же компрессор, легко осуществить работу по комбинированной схеме с переходом на малых нагрузках и холостом ходу в компрессорный режим с высоким КПД.

В СПД жесткость рабочего процесса и максимальное давление цикла не ограничены в привычном для ДВС с КШМ смысле. Жесткость рабочего процесса в СПД автоматически ограничивается, благодаря отрицательной обратной связи между скоростью нарастания давления при

сгорании и скоростью свободно движущегося поршня при его подходе к ВМТ. Опытные-экспериментальные работы по доводке рабочего процесса свободнопоршневого газового дизеля с воспламенением от сжатия указывают, что это направление весьма перспективно как по экономическим, так и по экологическим показателям. В области максимальных давлений цикла (более 200–220 бар) существует устойчивый, бездетонационный, с воспламенением от сжатия процесс сгорания смеси природного газа с воздухом в широком диапазоне коэффициента избытка воздуха. Это является основным залогом успеха в решении проблем экологической безопасности современных двигателей и определяет перспективу на будущее, в том числе, в области водородной энергетики, так как индикаторный КПД дизеля СПД может достигать 63%.

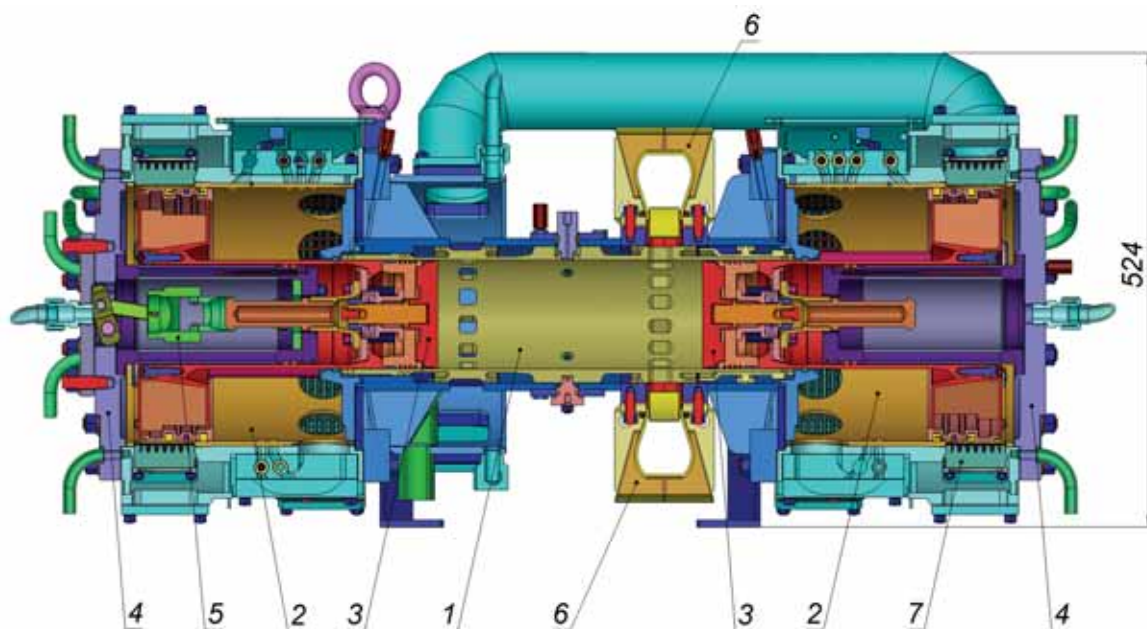
Описанная обратная связь и возможность эффективного управления положением ВМТ поршня (степенью сжатия) обуславливают функциональную многотопливность СПД. Это единственный тип двигателя, который может работать с воспламенением от сжатия на газах широкого фракционного состава, включая «жирные» природные газы, попутные нефтяные, генераторные, пиролизные газы, водород, шахтный метан, биогаз и т.д. В двигателе с КШМ изменение содержания метана в смеси на 0,5% по объему приводит к срыву процесса сгорания вследствие падения показателя политропы сжатия либо к взрывному горению в конце процесса сжатия. При свободном поршне снижение показателя политропы сжатия автоматически (поршень остановится в ВМТ только при соблюдении баланса работ за обратный ход) увеличит степень сжатия вплоть до воспламенения топлива. При раннем сгорании возросшее давление в цилиндре остановит поршень раньше и ограничит максимальное давление цикла. С другой стороны взрывное горение метана не критично для СПД, так как отсутствуют подшипники коленчатого вала и перекладка поршня и колец в зазорах, а газовые силы уравнеше-

вают инерционные. Скорость сгорания метана можно понизить за счет баластирования смеси остаточными газами (коэффициент продувки < 1), расслоения заряда или подачи газа в конце сжатия.

С целью снижения производственных и эксплуатационных издержек рационально КЭУ выполнять из нескольких модулей. Необходимая проектная мощность СУ обеспечивается установкой соответствующего количества модулей. Максимальное количество модулей, применявшееся на практике, составляет 16 ед., но известны проекты и на 64 модуля. Очевидно, что при этом перекрывается широкий диапазон мощностей СУ модулем одной размерности, что существенно повысит эффективность его эксплуатации. С точки зрения повышения ресурса и эксплуатационного КПД (за счет отключения модулей) рационально увеличивать количество модулей. Очевидно, что в этом случае суммарный ресурс увеличивается пропорционально доле холостого хода и количеству модулей.

Практический интерес представляют несколько типоразмеров СПД на основе серийно выпускаемых комплектующих. На основе цилиндра двигателя ДН 12/2·12 имеется многофункциональный модуль (мощность в режиме КЭУ 150–400 кВт) для мощностного диапазона СУ 150–3200 кВт (в режиме СПДК мощность 45–100 кВт). На основе цилиндра диаметром 318–320 мм проектируется модуль мощностью в режиме СПДК 450–1000 кВт или в режиме КЭУ 2,5–5,5 МВт для мощностного диапазона 2,5–80 МВт. Очевидно, что единая элементная база существенно упрощает эксплуатацию и снижает затраты не только при эксплуатации, но и при создании. Для сокращения издержек необходимо создавать класс свободнопоршневых машин с единым конструктивным исполнением, например, генератор синтез-газа, СПДК, КЭУ и т.д. в едином модуле. Модульный принцип компоновки также снижает производственные и эксплуатационные затраты.

Конструктивно СПД 1МП120 (см. рисунок) и ПЗ18 подобны и отличаются



Продольный разрез СПД 1МП120:

1 – дизель; 2 – двухступенчатый поршневой компрессор; 3 – поршень; 4 – буферная крышка с вытеснителем; 5 – механизм запуска с упора; 6 – выпускной патрубок; 7 – автоматические клапаны

масштабными коэффициентами и размерами (жесткостью) подмоторной рамы. Их технические характеристики приведены в таблице.

При мощности КЭУ более 1 МВт эффективный КПД не менее 51% в простом цикле, 56% в КЭУ с регенератором и 61% для КЭУ с утилизационным контуром на низкокипящих рабочих телах. Таким образом, КЭУ в 1,5–2 раза эффективнее традиционных систем, что особенно важно при отсутствии потребителя тепловой энергии выпускных газов, например, на газоперекачивающих станциях и т.п. Снижение

энергопотребления по сравнению с традиционными системами перекачки газа указывает на эффективность данного направления, так как позволяет увеличить экспортный потенциал коммерческого продукта на 5–8% при том же объеме добычи.

КЭУ в составе трех СПД П318 (разрабатываемая модель) и силовой турбины имеет массу до 17 т при мощности 16 МВт и свободно размещается в кузове магистрального тепловоза. Температура газов перед силовой турбиной не превышает 750–800°C,

что обеспечивает ее высокий ресурс. Впрыском воды длительную мощность КЭУ можно увеличить на 60%, то есть имеется значительный запас мощности на случай нештатных ситуаций, а также для обслуживания модулей СПД без остановки КЭУ.

В заключение отметим, что СПД в составе КЭУ могут найти применение на компрессорных станциях при перекачке газа вместо агрегатов бесперебойного питания на основе электрохимических генераторов требуемой мощности (100 кВт и выше).

Система аварийного (резервного) электроснабжения переменным однофазным или трехфазным током промышленной частоты состоит в общем случае из свободнопоршневого двигателя-компрессора, пневмоаккумулятора с необходимой пускорегулирующей аппаратурой, поршневой расширительной машины (ПРМ) в комплекте с электрогенератором и блоком управления, обеспечивающим контроль параметров основной электрической сети и пуск электроагрегата при отклонении их от установленных норм. Объем пневмоаккумулятора выбирается из условия требуемого расхода воздуха высокого давления через ПРМ до выхода

Таблица

Технические характеристики симметричных СПД

Тип СПД	1МП120	П318
Диаметр цилиндра дизеля (реактора), мм	120	318
Длина, мм	1254	3600
Ширина, мм	573	1200
Высота, мм	524	1500
Масса, кг	420	5000
Расход метана в режиме генератора синтез-газа, нм ³ /ч	92	1047
Выход синтез-газа, нм ³ /ч	449	5109
Мощность в режиме СПДК, кВт	100	1000
Мощность в режиме КЭУ, кВт	400	5000
Эффективный КПД, %	50 – 54	52 – 58

на режим основного оборудования и сохранения времен запуска – приема нагрузки по техническим условиям на уровне 0,05–0,1 с.

В отличие от систем резервного электропитания на основе электрохимических аккумуляторов, имеющих небольшой ресурс и требующих постоянного обслуживания, предлагаемая система электроснабжения ответственных потребителей энергии переменным током может находиться в дежурном режиме практически без обслуживания в течение многих лет, обеспечивая в кратчайшее время подключение к нагрузке. Так как автоматизированная система резервного электроснабжения построена на модульном принципе, она может быть адаптирована к комплексам ракетной и вычислительной техники, средств связи и аэродромного хозяйства. Основные узлы системы прошли экспериментальную проверку на ряде изготовленных опытных образцов мощностью 5 и 10 кВт для систем жизнеобеспечения в медицине и подтвердили возможность по-

лучения требуемых технических характеристик (время выхода на режим составляет 0,07–0,1 с), что на несколько порядков меньше времени запуска мотор-генератора.

Конструкторские проработки и технические решения показывают, что предлагаемая КЭУ, благодаря существенным преимуществам по энергетическим и массогабаритным показателям, может явиться изделием нового поколения СУ грузовых дирижаблей. Интерес к указанным летательным аппаратам проявляют в газовой и нефтяной промышленности вследствие их неоспоримой эффективности при завозе крупнотоннажных грузов в труднодоступные районы Крайнего Севера, Восточной Сибири и Дальнего Востока. Дирижабль можно использовать при доставке конечных продуктов (сжиженный природный газ, синтетические жидкие топлива, диметиловый эфир) при переработке природного газа на месте его добычи.

Таким образом, для снижения энергоемкости национального продукта рационально разработать и

поставить на производство несколько модификаций СПДК в диапазоне мощностей 100–1000 кВт, унифицированных с комбинированными энергетическими установками.

Литература

1. **Акунов В.И.** Струйные мельницы. – М.: Машиностроение, –1967. С. 253.
2. Вопросы энергообеспечения эрлифтного комплекса по разработке морских россыпей. **В.В. Вознесенский, В.П. Гога, В.С. Пащенко, А.Я. Хесин.** Ежемесячный бюллетень ОТИ объединения Северовостокзолото:- Магадан: Колыма, 1980, №6. С. 26–27.
3. **Петров П.П.** Свободнопоршневые двигатели в технологических установках. – Газохимия, 2008, №3.
4. Свободнопоршневые двигатель – компрессоры для газовой промышленности. **Васильев Ю.Н., Ксенофонтов С.И., Стрелков В.П., Строганов Е.К.** – Газовая промышленность, 1992, № 2, С.17–18.
5. **Пульманов Н.В.** Дизель-компрессоры со свободно движущимися поршнями. – М.: Машгиз. 1959. С. 284.

ООО «ИранРосАвто» & ООО «НордВестАвтоТрейд»

Иранский автобус OM 457G – OSG, изготовленный по лицензии немецкой компании «Мерседес»



- Автобус на КПГ обеспечивает требования «Евро-3»
- Высокая надежность
- Простота эксплуатации и ремонта
- Выгодные условия
- Разумные цены
- Рассрочка платежа

188950, Ленинградская область, Выборгский район, г. Каменногорск, ул. Песчаная Промплощадка

Тел/факс 8 (81378) 49 991 e-mail: rfgaziev@mail.ru

Контактное лицо: Гетьман Виктор Васильевич +7 906 276-74-07

Предложения ЗАО «Криогаз»

ЗАО «Криогаз» выполняет весь комплекс работ от содействия в выборе техникоэкономического решения до ввода объектов в эксплуатацию, включая осуществление технического обслуживания и поставку энергоносителей.

- **Предприятиям-владельцам собственных объектов тепло- и энергоснабжения:**
Доукомплектование объектов специализированным оборудованием для приемки, хранения и газификации СПГ, включая поставку по согласованным графикам.
- **Проектным и строительным организациям ТЭК и коммунального хозяйства:**
Сотрудничество при выполнении проектных, строительного-монтажных и пусконаладочных работ по внедрению СПГ в коммунальное и энергетическое хозяйство.
- **Предприятиям по производству котельного оборудования:**
Сотрудничество в области внедрения и коммерческой эксплуатации модульных котельных по производству тепловой и электрической энергии, в том числе с использованием СПГ.
- **Администрациям районов и областей РФ:**
Осуществление полного цикла работ по комплексной газификации населенных пунктов и энергетических объектов, включая разработку проектов, поставку и монтаж оборудования, его пусконаладку, регламентное и сервисное обслуживание.
- **Промышленным предприятиям и жилищным хозяйствам:**
Проектирование и монтаж отопительных систем децентрализованного теплоснабжения, поставка котельного оборудования. Монтаж и ввод в эксплуатацию систем инфракрасного отопления.

Сжиженный природный газ (СПГ - метан) Альтернативная газификация и энергетика Газоэнергосберегающие технологии

ЗАО «Криогаз»:
196128, г. Санкт-Петербург, а/я 215
тел./факс. +7 (812) 324-48-01,
e-mail: cryogas@cryogas.ru;
www.cryogas.ru



О Компании ЗАО «Криогаз»

Работы по развитию технологий производства и применения сжиженного природного газа (СПГ) начаты ЗАО «Криогаз» более 10 лет назад. В течение 2008 – 2009 годов «Криогаз» занимает лидирующее положение на рынке малотоннажного производства СПГ в Российской Федерации и расширяет позиции на рынке альтернативного газоснабжения с использованием СПГ, в строительстве, обслуживании и эксплуатации энергетических объектов.

Основные направления деятельности ЗАО «Криогаз»:

- производство и продажа сжиженного природного газа
- эксплуатация и обслуживание газовых и энергетических объектов
- газификация промышленных предприятий и населенных пунктов с использованием технологии СПГ
- проектирование и монтаж криогенных комплексов по производству СПГ
- проектирование и строительство систем хранения и регазификации СПГ у потребителей
- проектирование и строительство объектов теплоэнергетики и инфракрасных систем отопления
- монтаж и техническое обслуживание автогазонаполнительных компрессорных станций

С участием специалистов ЗАО «Криогаз» построено более 10 объектов потребления СПГ различного типа на территории Северо-Запада РФ, в местах, где нет подключения к сетевому газу. В 2008 году ЗАО «Криогаз» завершено строительство завода по производству СПГ на АГНКС в г. Кингисеппе, производительностью 7000 тонн в год.



Основная задача – энергоэффективное использование природного газа. ЗАО «Криогаз» внедряет современные технологии, организационные схемы альтернативного газоснабжения и энергообеспечения промышленных и коммунальных объектов. Реализуемые проекты позволяют получить существенный экономический эффект для коммерческих потребителей и решить ряд социальных задач для коммунальных объектов ТЭК, обслуживающих население.



**Сжиженный природный газ (СПГ - метан)
Альтернативная газификация и энергетика
Газоэнергосберегающие технологии**

Расчет параметров топливной системы тракторного дизеля при его адаптации к работе на рапсовом масле

Г.С. Савельев,

зав. лабораторией ВНИИ механизации сельского хозяйства, к.т.н.,

М.Н. Кочетков,

младший научный сотрудник ВНИИ механизации сельского хозяйства

При адаптации топливной системы дизеля к работе на рапсовом масле (РМ) необходимо учитывать различия в физико-химических свойствах дизельного топлива (ДТ) и РМ. Одной из главных проблем является обеспечение прокачиваемости РМ, вязкость которого при температуре 20°C в 10 раз выше чем у ДТ.

Стандартная система питания трактора ДТ-75 разработана для использования ДТ марки Л при температуре окружающего воздуха выше 0°C. Она состоит из топливного бака 4 (рис. 1а), фильтра грубой очистки 6, топливоподкачивающего насоса 7, фильтра тонкой очистки 13, топливного насоса высокого давления 8, форсунки 9 и соединительной арматуры.

Доработанная (адаптированная) система питания (рис. 1б, 1в) дополнена подогревателем биотоплива 3, дополнительным баком для ДТ 1 и трехходовым краном 2 для переключения с ДТ на РМ и обратно. Доработанная система с автоматизированным переключением видов топлив показана на рисунке 1в. Кроме подогревателя и дополнительного бака для ДТ, она снабжена электромагнитными клапанами для переключения видов топлива, электронным блоком для управления клапанами, дополнительным электрическим топливоподкачивающим насосом и топливными фильтрами. Автоматизированная система обеспечивает пуск холодного дизеля на ДТ и переключение на РМ при достижении температуры охлаждающей жидкости в подогревателе 80°C, кроме того, система переключается с РМ на ДТ при работе с нагрузкой менее 20% от номинальной в течении 20 с.

Как видно из вязкостно-температурной характеристики (рис. 2), при повышении температуры РМ до 70-80°C его вязкость снижается до значений, близких к вязкости ДТ.

Для определения условий прокачиваемости РМ необходимо проведение расчета с учетом различных условий работы ее элементов. В соответствии с этим система делится на три участка:

■ участок низкого давления от бака до топливоподкачивающего насоса, который наиболее подвержен влиянию окружающей среды, так как работает в режиме разрежения;

■ участок низкого давления от топливоподкачивающего насоса до ТНВД, в котором за счет фильтра тонкой очистки создается сопротивление прокачиванию топлива;

■ участок высокого давления от ТНВД до форсунки.

Расчет участка топливной системы (бак – топливоподкачивающий насос)

Задачей расчета является определение размеров топливопровода, обеспечивающего нормальную прокачиваемость РМ без разрывов непрерывности потока топлива или образования топливных пробок при низкой температуре окружающего воздуха. Для этого определим наибольшую вязкость топлива, удовлетворяющую гидравлической характеристике участка. Трубопровод будет работоспособен, если его гидравлическое сопротивление $H_{тр}$ не превышает разрежения, создаваемого топливоподкачивающим насосом H_n . Гидравлические потери определяются согласно формуле

$$H_n > H_{тр} = \frac{64 \cdot \nu \cdot c_{cp} \cdot l \cdot 10^{-6}}{d^2 \cdot 2 \cdot g}, \quad (1)$$

где ν – кинематическая вязкость топлива, мм²/с; c_{cp} – средняя скорость движения топлива в топливной системе, м/с; l, d – приведенные длина и диаметр трубопровода, м; g – ускорение силы тяжести, м/с².

Выражая среднюю скорость через расход топлива z (м³/с), $c_{cp} = 4 \cdot z / (\pi \cdot d^2)$, из уравнения 1 для предельной вязкости биотоплива получим

$$\nu < \frac{H_n \cdot \pi \cdot g \cdot d^4}{128 \cdot 10^{-6} \cdot l \cdot z}. \quad (2)$$

Согласно формуле для топливной системы трактора ДТ-75, параметры которой сведены в табл. 1, предельная вязкость составит 65,27 мм²/с. По ГОСТ 305–82 для ДТ марки Л минимальную температуру эксплуатации принимаем 0°C. Соответствующая данным условиям вязкость РМ получается при температуре более 25°C, или в смеси с ДТ в соотношении 6:4 при температуре 0°C. Для достижения требуемого рабочего температурного диапазона наиболее приемлемым, легко изменяемым параметром будет увеличение диаметра топливопровода.

Определим диаметр трубопровода из формулы (2)

$$d > \sqrt[4]{128 \cdot 10^{-6} \cdot \nu \cdot l \cdot z / H_n \cdot \pi \cdot g}. \quad (3)$$

Из формулы (3) получим, что для работы на чистом РМ при температуре окружающего воздуха выше 0°C необходимо увеличить внутренний диаметр топливопровода (бак – топливоподкачивающий насос) до 0,014 м.

Таблица 1

Параметры штатной топливной системы трактора ДТ-75

Объем топливных баков, л	120
Трубопровод, м:	
длина	3
диаметр	0,012
Топливоподкачивающий насос:	
давление в головке топливного насоса, МПа	0,07-0,12
создаваемое разрежение, МПа	0,1
перепад давления до и после фильтра тонкой очистки топлива, МПа	0,02-0,03
Форсунка ФД-22:	
диаметр соплового отверстия распылителя, мм	0,3
объем, мм ³	503
суммарная площадь четырех сопловых отверстий, мм ²	0,45
коэффициент расхода через сопловые отверстия	0,8
макс. эфффективное проходное сечение 4-дырчатого распылителя, мм ²	0,3
масса движущихся частей форсунки, г	25
давление начала впрыска, МПа	20,5
жесткость пружины иглы форсунки, Н/мм	270
ход иглы распылителя, мм	270
площадь поперечного сечения иглы форсунки, мм ²	0,26
площадь, вычисленная по диаметру посадочного пояса иглы форсунки, см ²	0,28
диаметр иглы форсунки, мм	6,2
зазор между иглой и корпусом распылителя, мм	2,5•10 ⁻³
коэффициент расхода	0,55
длина уплотняющей поверхности иглы, мм	15,9
Топливный насос высокого давления УТН-5:	
номинальная частота вращения кулачкового вала насоса, мин ⁻¹	880
диаметр плунжера, мм	10
максимальный подъем плунжера, мм	10
длина уплотняющей части плунжера, мм	22,5
зазор между плунжером и гильзой, мм	1,75 • 10 ⁻³
давление открытия нагнетательного клапана, МПа	0,11
диаметр запорного конуса клапана, мм	7,2
диаметр разгрузочного пояса клапана, мм	7,0
ход разгрузки клапана, мм	1,7
жесткость пружины клапана, Н/мм	0,95
масса движущихся частей клапана, г	3,6
максимальный подъем клапана, мм	0,5
установочный угол опережения впрыска, град ПВТН	23-25
угол:	
геометрического начала подачи, град ПВТН	26
геометрического конца подачи, град ПВТН	32

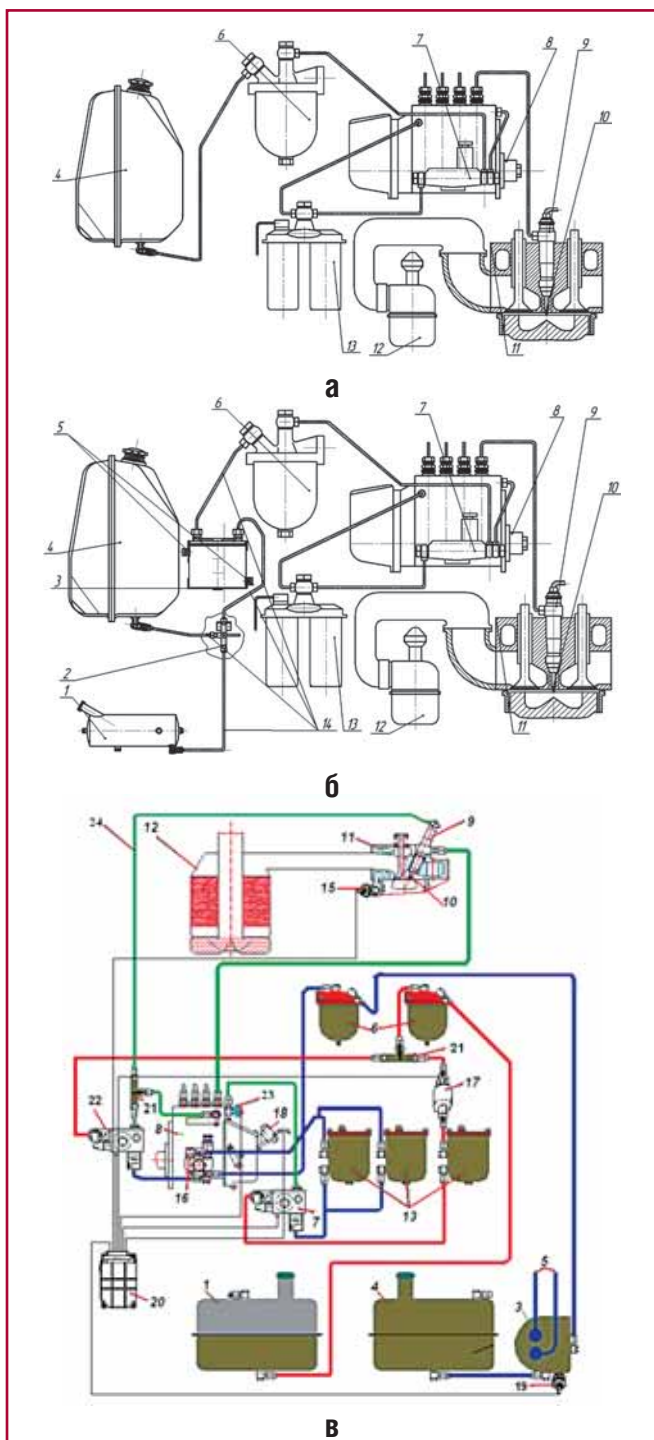


Рис. 1. Схема системы питания трактора ДТ-75

(а – стандартная; б – адаптированная для РМ с ручным переключением видов топлива; в – адаптированная для РМ с автоматическим переключением видов топлива):

- 1 – дополнительный бак для ДТ; 2 – трехходовой кран; 3 – подогреватель биотоплива; 4 – основной бак для РМ; 5 – подвод охлаждающей жидкости из системы охлаждения двигателя; 6 – фильтр грубой очистки; 7 – топливоподкачивающий насос; 8 – топливный насос высокого давления (ТНВД); 9 – форсунка; 10 – распылитель; 11 – головка блока цилиндров; 12 – воздушный фильтр; 13 – фильтр тонкой очистки; 14 – трубопровод; 15 – датчик температуры; 16 – электромагнитный клапан переключения вида топлива; 17 – электрический топливоподкачивающий насос; 18 – датчик положения рейки ТНВД; 19 – датчик температуры топлива; 20 – управляющий блок; 21 – тройник; 22 – электромагнитный клапан слива; 23 – датчик давления топлива; 24 – сливная трубка

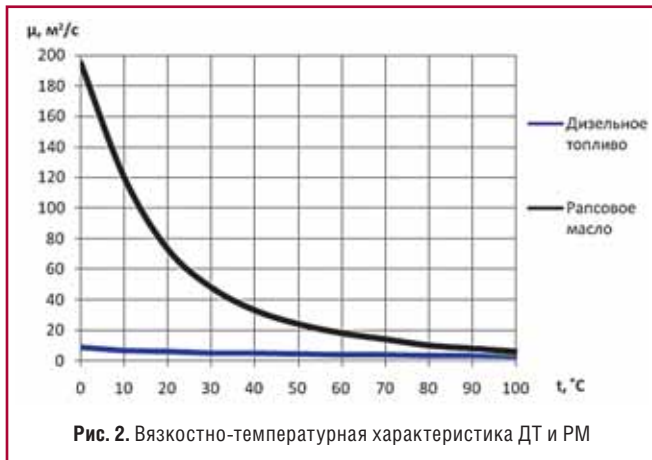


Рис. 2. Вязкостно-температурная характеристика ДТ и РМ

Другим легко изменяемым параметром может быть длина топливопровода

$$l < d^4 \cdot H_H \cdot \pi \cdot g / (128 \cdot 10^{-6} \cdot \nu \cdot z).$$

В результате получим, что для работы на чистом РМ при температуре окружающего воздуха выше 0°C длина топливопровода диаметром 14 мм от бака до подогревателя не должна превышать 1,6 м.

Расчет участка ТСНД (топливоподкачивающий насос – насос высокого давления)

Элементом, определяющим работоспособность данного участка, является фильтр тонкой очистки топлива. При переводе трактора на другой вид топлива он должен обеспечивать необходимую тонкость фильтрации, сохраняя при этом определенный техническими характеристиками перепад давления до и после фильтра (табл. 1).

Для плоской фильтрующей перегородки из объемно-фильтрующего материала перепад давления Δp определяется по формуле

$$\Delta p = \gamma \cdot r \cdot C_\phi \cdot L, \text{ МПа}, \quad (4)$$

где γ – динамическая вязкость фильтруемой жидкости; r – удельное сопротивление фильтрующего материала; C_ϕ – скорость фильтрации; L – толщина фильтрующей перегородки.

Таким образом, перепад давления увеличивается прямо пропорционально увеличению динамической вязкости при неизменной конструкции фильтрующего элемента. Следовательно, для сохранения работоспособности данного участка линии низкого давления необходимо понизить вязкость биотоплива до вязкости ДТ. В соответствии с вязкостно-температурной характеристикой (рис. 2) вязкость РМ близка к вязкости ДТ при нагреве чистого РМ и его смесей с ДТ до 70-80°C.

Расчет теплообменного аппарата для подогрева РМ с использованием охлаждающей жидкости (ОЖ) системы охлаждения двигателя в качестве теплоносителя проводился с использованием уравнения теплового баланса.

Количество тепла Q , необходимое для нагрева биотоплива, определяется по формуле

$$Q = B_t \cdot G_\sigma \cdot (T_K'' - T_H') = B_t'' \cdot G_B \cdot (T_H'' - T_K''), \text{ кДж/с}, \quad (5)$$

где G_σ и G_B – расход биотоплива и ОЖ соответственно, кг/с; T_H' и T_K'' – начальная и конечная температуры биотоплива, К; T_H'' и T_K' – начальная и конечная температуры теплоносителя, К; B_t'' – теплоемкость теплоносителя, кДж/кг·К; B_t – теплоемкость биотоплива, кДж/кг·К.

Теплоемкость жидкости может быть оценена по сумме вкладов отдельных инкрементов, входящих в состав молекулы. Согласно правилу Неймана–Коппа теплоемкость вещества равна сумме теплоемкостей элементов, входящих в его состав. Зависимость теплоемкости (B_t) от температуры, определяется по формуле

$$B_t = 53.12 \cdot (1 + 1/t_{cp}) / \sqrt{\rho_{20}}, \quad (6)$$

где ρ_{20} – плотность топлива при 20°C, кг/м³; $t_{cp} = [(T_H + T_K)/2] - 273$ – средняя температура топлива, °C; T_H' , T_K' – начальная и конечная температуры, К.

Конечная температура горячей воды у выхода из теплообменника определяется из уравнения

$$T_K'' = T_H' - Q / (G_B \cdot B_t''). \quad (7)$$

Скорость движения ОЖ и биотоплива по теплообменному аппарату C (м/с) определяется из выражения

$$C = 4 \cdot Z / (\pi \cdot d_{эк}^2 \cdot \rho_t), \quad (8)$$

где $d_{эк} = 4 \cdot A / S$ – эквивалентный диаметр, м; A – площадь поперечного сечения потока, м²; S – полный смачиваемый периметр сечения независимо от того, какая часть этого периметра участвует в теплообмене.

Число Рейнольдса при движении жидкости через теплообменный аппарат

$$Re = C \cdot d_{эк} / \nu_t, \quad (9)$$

где ν_t – кинематическая вязкость жидкости при данной температуре, м²/с.

Если $Re < 2000$, то движение жидкости ламинарное, при $Re > 10\,000$ в полости теплообменника устанавливается развитое турбулентное течение жидкости. При ламинарном режиме движения средний коэффициент теплоотдачи N_u определяется по формуле

$$N_u = 0,15 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr_{ж}^{0,43} \cdot (Pr_{ж} / Pr_{ст})^{0,25}, \quad (10)$$

при турбулентном режиме движения:

$$N_u = 0,21 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_{ж}^{0,43} \cdot (Pr_{ж} / Pr_{ст})^{0,25}. \quad (11)$$

Число Прандтля для охлаждающей жидкости, биотоплива при средней температуре жидкости и при температуре у стенки теплообменника находится по выражению

$$Pr = \nu / a, \quad (12)$$

где $a = \lambda_t / B_t \cdot \rho_t$ – температуропроводность, м/с; λ_t – теплопроводность при данной температуре, Вт/м·К.

Температуру стенки теплообменника принимаем равной $T_{ст} = (t_{cp} + t_{cp}'') / 2$.

$$(13)$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки теплообменника к нагреваемому топливу ϵ и от греющей воды к стенке ϵ''

$$\epsilon = N_u \cdot \lambda_t / d_{эк}. \quad (14)$$

Коэффициент теплопередачи K для аппарата:

$$K = 1 / (1/\epsilon'' \cdot d_{эк}'' + \ln(d_{эк}'' / d_{эк}') / 2 \cdot \lambda_{ст} + 1/\epsilon' \cdot d_{эк}'), \quad (15)$$

где $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности материала стенки.

Площадь поверхности нагрева теплообменника F определяется из выражения:

$$F = Q / (k \cdot \Delta T_{cp}), \text{ м}^2, \quad (16)$$

где $\Delta T_{cp} = [(T_H'' - T_H') - (T_K'' - T_K')] / \ln[(T_H'' - T_H') / (T_K'' - T_K')]$.

Таблица 2

Результаты расчета теплообменника для подогрева биотоплива

Параметры	О Ж	Биотопливо
Количество тепла, Q, кДж/с	350,2	349,76
Эквивалентный диаметр, $d_{эк}$, М	0,15	0,012
Скорость движения, с, м/с	0,00046	0,02
Число Рейнольдса, Re	22,95	3,23
Температуры:		
начальная, T_n , К	363	273
конечная, T_k , К	354	353
средняя, T_{cp} , С	85,2	40
у стенки, $T_{ст}$, С	86,3	31,3
Плотность, ρ , кг/м ³	966	914
Теплоемкость, В, кДж/кгК	52,11	52,04
Теплопроводность, $\lambda \cdot 10$, Вт/м · К	6,8	1,8
Вязкость, $\nu \cdot 10^6$, м ² /с	0,33	75,4
Температуропроводность, $a \cdot 10^7$, м/с	0,12	0,038
Число Прандтля, Pr	23,29	1993
Число Нуссельта, Nu	1,63	8,07
Коэффициенты:		
теплоотдачи, ϵ	74,04	1211,2
теплопередачи, k	0,71	
Площадь теплообменника, F, м ²	0,0297	

При проведении расчета и изготовлении теплообменника была использована медная трубка внутренним диаметром 0,12 м и толщиной стенки 0,001 м (рис. 3). Теплообменник состоит из цилиндрического корпуса, в котором циркулирует ОЖ, и спирали из медной трубки, установленной во внутреннюю полость корпуса. Теплообменник снабжен входным и выходным штуцерами для ОЖ и топлива. Двигаясь по спирали теплообменника, топливо нагревается от охлаждающей жидкости системы охлаждения двигателя до температуры, обеспечивающей вязкость топлива в пределах 5-10 мм²/с.

Расход теплоносителя и топлива, температура горячей воды, коэффициенты теплопроводности, плотность и вязкость воды при различной температуре взяты из справочной литературы. Плотность и вязкость РМ и его смесей с ДТ определялись по вязкостно-температурной характеристике и экспериментальной зависимости плотности от температуры. Эквивалентные сечения теплообменника рассчитаны согласно формуле (8). Расчетная площадь поверхности нагрева получена равной 0,03 м².

По результатам расчета был разработан и изготовлен теплообменник ДТ75.01.01.00, который обеспечивает нагрев топлива до 70°С при температуре охлаждающей жидкости 90°С, при этом вязкость биотоплив обеспечивается в пределах 5-10 мм²/с. Это гарантирует требуемый перепад давления на фильтре тонкой очистки топлива.

В соответствии с проведенными расчетами предлагается измененная схема топливоподачи низкого давления (рис. 1б), адаптированная для подачи высоковязких биотоплив на основе рапсового масла и включающая в себя трубопровод увеличенного диаметра от бака для биотоплива, подогреватель биотоплива 3, трехходовой кран 2 или электромагнитные клапаны 1б, 22 для автоматического переключения видов топлива (рис. 1в), электрический топливоподкачивающий насос.

Гидродинамический расчет процесса топливоподачи дизеля Д-440 при использовании рапсового масла в качестве топлива

Использование РМ в качестве топлива в двигателях сельскохозяйственных тракторов требует адаптации их

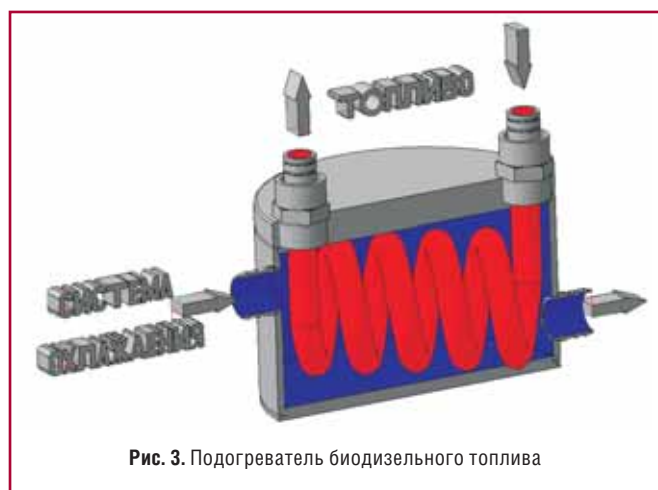


Рис. 3. Подогреватель биодизельного топлива

топливных систем на основе анализа процесса топливоподачи. Адаптированные к работе на РМ двигатели должны обеспечивать экономичную работу без значительного снижения мощности и экологических показателей.

Движение потока топлива в трубопроводе, которое можно отнести к движению неустановившегося одномерного потока вязкой сжимаемой жидкости, описывается следующей системой дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} dP/dx + \rho dc/dt + 2\rho kC &= 0; \\ dC/dx + (dP/dt)/c^2 \rho &= 0. \end{aligned} \tag{17}$$

Решением этой системы уравнений занимались исследователи топливной аппаратуры И.В.Астахов, Г.Ф.Кузнецов, Ю.Я.Фомин, Л.Н.Голубков и др. Наиболее полное решение системы уравнений (17) методом численного интегрирования при замене дифференциального уравнения системой уравнений в полных дифференциалах предложено Ю.Я.Фоминим. При этом трубопровод был разбит на достаточно большое число расчетных участков. На каждом участке определены потери давления вследствие гидравлического сопротивления. Изменение давления на расчетном участке длины трубопровода вызывает образование отраженной волны от его границы. Давление в любой точке трубопровода определяется в результате взаимодействия прямых и обратных волн.

Задачей гидродинамического расчета процесса впрыска является определение количества топлива, поданного в цилиндр двигателя за цикл, и изменение скорости впрыскивания топлива.

Теоретически возможная подача топлива плунжером насоса уменьшается в реальном процессе вследствие влияния многих искажающих факторов. Точность гидродинамического расчета, таким образом, будет зависеть от того, насколько уравнения граничных условий учитывают факторы, влияющие на процесс топливоподачи. Методика расчета имеющейся топливной системы при ее адаптации к работе на нескольких видах топлива должна обеспечить учет изменения физических параметров всех топлив.

Такие возможности предоставляет метод и программа расчета топливных систем дизелей, разработанная Л.Н. Голубковым. Метод позволяет учитывать остаточные свободные объемы, гидравлическое сопротивление трубопровода, утечки в насосе и распылителе, сжимаемость топлива как функцию давления и средней за впрыск температуры, дросселирование каналов вдоль перьев клапана и в плунжере при отсечке, упругость привода, разрыв непрерывности топлива в конце впрыска, давление начала подъема иглы форсунки.

Гидродинамический расчет производят при совместном решении уравнений неустановившегося движения топлива в трубопроводе (17) и уравнений граничных условий. Система уравнений граничных условий у насоса:

$$\begin{aligned} dp_n / d\varphi &= [f_n C_n - \sigma_0 (\mu f_0) \sqrt{2(p_n - p_{ac})} / \rho - \sigma_k \mu_{ш} f_{ш} \sqrt{2(p_n - p_n')} / \\ & / \rho (1 + k_k^2) - \sigma_1 f_k C_k - Z_1 - Z_2] / 6n \alpha_n V_n ; \\ dp_n' / d\varphi &= [\sigma_k \mu_{ш} f_{ш} \sqrt{2(p_n - p_n')} / \rho (1 + k_k^2) + \\ & + \sigma_1 f_k C_k - f_i C_i] / \sigma_2 (6n \alpha_n V_n) ; \\ dV_{ш} / d\varphi &= -[\mu_{ш} f_{ш} \sqrt{2(p_n - p_n')} / \rho (1 + k_k^2) + \\ & + \sigma_1 f_k C_k - f_i C_i] \sigma_2' / 6n ; \\ dC_k / d\varphi &= [f_k' (p_n - p_n') + (f_k - f_k') (p_n - p_n')] / \\ & / (1 + k_k^2) - f_k p_{kp} - \delta h_k] \sigma_1 / 6n M ; \\ dh_k / d\varphi &= C_k \sigma_1 / 6n . \end{aligned} \quad (18)$$

Граничные условия у форсунки описываются системой уравнений:

$$\begin{aligned} dp_\phi / d\varphi &= [f_i C_i' - (\mu f_\phi) \sqrt{2(p_\phi - p_n)} / \rho - \\ & - \sigma_3 (f_u - f_{ш}) C_u - Z_3] \sigma_3 / 6n \alpha_\phi V_\phi ; \\ dV_{н\phi} / d\varphi &= -[f_i C_i' - \sigma_3 (f_u - f_{ш}) C_u] \sigma_4' / 6n ; \\ dC_u / d\varphi &= [(f_u - f_{ш}') (p_\phi - p_{\phi o}) + (f_u' - f_{ш}') p_\phi - \\ & - \sigma_3' y + f_{ш} p_u] \sigma_3 / 6n M' ; \\ dy / d\varphi &= C_u \sigma_3 / 6n , \end{aligned} \quad (19)$$

где C_u, C_k, C_n – скорости движения иглы форсунки, нагнетательного клапана, плунжера;

C_T, C_T' – скорости движения топлива на входе и выходе из трубопровода;

$f_k, f_k', f_{ш}, f_{ш}'$ – площади поперечного сечения по пояску, перьям и под пояском нагнетательного клапана;

f_i, f_i' – площади поперечного сечения иглы, на которые действуют давления $p_{\phi o}$ и p_ϕ' ;

h_k – полный подъем нагнетательного клапана;

M – масса нагнетательного клапана и движущихся с ним деталей;

M' – масса движущихся деталей форсунки;

n – частота вращения кулачкового вала насоса;

p_n', p_n – текущие значения давления в камере нагнетания и объеме штуцера насоса;

$p_{кр}$ – давление в камере нагнетания в момент начала движения нагнетательного клапана;

$P_\phi, P_{\phi o}$ – давление в камере распылителя выше запорного конуса текущее и в момент начала движения иглы;

p_ϕ' – текущее давление в объеме между запорным конусом иглы и сопловыми отверстиями;

p_u – давление газа в цилиндре двигателя;

V_n – текущий объем камеры нагнетания;

V_n' – объем штуцера насоса;

V_ϕ – объем распылителя форсунки;

y – текущий подъем иглы;

Z_1, Z_2, Z_3 – расходы топлива через зазоры в золотниковой, поршневой части плунжера, между иглой и корпусом распылителя;

α – средний коэффициент сжимаемости топлива;

μ_n – коэффициент расхода топлива через проходную щель между нагнетательным клапаном и его седлом;

μ_ϕ – эквивалентное проходное сечение;

ρ – плотность топлива;

φ – угол поворота кулачкового вала насоса.

Ступенчатые функции $\sigma_2; \sigma_2'; \sigma_4; \sigma_4'$ принимают значения нуля или единицы в зависимости от наложенных на них условий:

$\sigma_2 = 0$ и $\sigma_2' = 1$ при $V_{нн} > 0$ и $p_n = 0$;

$\sigma_2 = 1$ и $\sigma_2' = 0$ при $p_n > 0$ и $V_{нн} = 0$;

$\sigma_4 = 0$ и $\sigma_4' = 1$ при $V_{н\phi} > 0$ и $p_\phi = 0$;

$\sigma_4 = 1$ и $\sigma_4' = 0$ при $p_\phi > 0$ и $V_{н\phi} = 0$.

Эффективное проходное сечение окон гильзы находят из уравнения

$$(\mu f)_o = \mu_{вп} f_{вп} + \mu_{от} f_{от} \sqrt{1 / \left(1 + \left(\mu_o f_{от} / (\mu f)_{кн} \right)^2 \right)}, \quad (20)$$

где $\mu_{вп}$ и $\mu_{от}$ – коэффициенты расхода топлива через впускные и отсечные окна гильзы; $f_{вп}, f_{от}$ – площадь проходного сечения впускных и отсечных окон гильзы; $(\mu f)_{кн}$ – эффективное проходное сечение в каналах плунжера.

При решении системы (18) необходимо учитывать следующие зависимости коэффициентов граничных условий:

$C_n = 6 \cdot n \cdot dh_n / d\varphi$;

$V_n = V_{но} + f_n (h_{н\max} - h_n)$;

$(\mu f)_o = 0$ при $\varphi_{гнп} < \varphi < \varphi_{гкп}$;

$(\mu f)_{вп} = f(\Delta h_n)$ при $\varphi < \varphi_{гнп}$;

$(\mu f)_{от} = f(\Delta h_n)$ при $\varphi > \varphi_{гкп}$;

$f_{ш} = 0$ при $0 < h_k < h_{кo}$;

$f_{ш} = f(h_k)$ при $h_k > h_{кo}$;

где $\varphi_{гнп}$ и $\varphi_{гкп}$ – углы геометрического начала и конца подачи.

Коэффициенты сжимаемости топлива $\alpha_n; \alpha_n'; \alpha_\phi$ вычисляют как функции от давления и средней за цикл температуры топлива. Для ДТ имеется следующая зависимость, предложенная Л.Н. Голубковым:

$$\alpha = i_0 + i_1 \cdot p + i_2 \cdot P^2, \quad (21)$$

где $i_0 = 69,1 \cdot 10^{-6} + 0,258 \cdot 10^{-6} \cdot (T - 273) + 0,921 \cdot 10^{-6} \cdot (T - 273)^2$;

$i_1 = -29,6 \cdot 10^{-9} - 0,151 \cdot 10^{-9} \cdot (T - 273)$;

$i_2 = 16,4 \cdot 10^{-12}$.

Таблица 3

Коэффициенты зависимости α от плотности и средней температуры за впрыск

Вид топлива	$m_1 \cdot 10^{-3}$	$m_2 \cdot 10^{-5}$	$m_3 \cdot 10^{-8}$	$m_4 \cdot 10^{-4}$	$m_5 \cdot 10^{-6}$	$m_6 \cdot 10^{-6}$
50% РМ+50% ДТ, плотность 872 кг/м ³	6,503	2,5	8.85	-2,9	-3.52	7,74
75% РМ+25% ДТ, плотность 890 кг/м ³	6,199	2,4	8.44	-2,52	-3.08	6,99
100% РМ, плотность 914 кг/м ³	4,762	2,3	7.99	-1,79	-2,17	6,07

Выведем аналогичную зависимость коэффициента сжимаемости для рапсового масла и его смесей с дизельным топливом. Используем для этого расчетные формулы, предложенные Ю.Я.Фоминим, согласно которым средний коэффициент сжимаемости

$$\alpha_{cp} = K / (1 + pK_a), \quad (22)$$

$$\text{где } K_a = b_0 + (b_1/2)p + (b_2/3)p^2;$$

$$b_0 = f_0(\rho_{20}) \cdot \varphi_0(T); b_1 = f_1(\rho_{20}) \cdot \varphi_1(T); b_2 = f_2(\rho_{20}) \cdot \varphi_2(T);$$

$$f_0(\rho_{20}) = [83 - 0,238(\rho_{20} - 850) + 0,572 \cdot 10^{-3}(\rho_{20} - 850)^2] \cdot 10^{-11};$$

$$\varphi_0(T) = 0,85 + 0,329 \cdot 10^{-2} \cdot (T - 293) + 0,1157 \cdot 10^{-4} \cdot (T - 293)^2;$$

$$f_1(\rho_{20}) = [-82,2 + 0,442(\rho_{20} - 850) + 1,43 \cdot 10^{-3}(\rho_{20} - 850)^2] \cdot 10^{-19};$$

$$\varphi_1(T) = 0,825 + 0,1 \cdot 10^{-2}(T - 293) + 0,83510^{-4}(T - 293)^2;$$

$$f_2(\rho_{20}) = [54,2 - 0,342(\rho_{20} - 850) + 1,408 \cdot 10^{-3}(\rho_{20} - 850)^2] \cdot 10^{-27};$$

$$\varphi_2(T) = 0,8 + 0,5 \cdot 10^{-2}(T - 293) \text{ при } T = 293 - 333 \text{ К};$$

$$1 + 0,237 \cdot 10^{-3}(T - 293)^2$$

$$\text{при } T = 333 - 433 \text{ К}.$$

Анализ формулы (22) показывает, что с увеличением давления от 0 до 70 МПа знаменатель изменяется по величине в незначительных пределах (от 1,00 до 1,04), поэтому для гидравлического расчета имеет смысл принять его постоянным и равным 1,02. Это упрощает формулу и не вносит погрешностей в расчет. Таким образом, средний коэффициент сжимаемости для биотоплива на основе рапсового масла представляем как

$$\alpha = b_0 + b_1 \cdot p + b_2 \cdot p^2, \quad (23)$$

где коэффициенты b_0 , b_1 и b_2 – функции средней за цикл температуры для топлива с определенной плотностью в соответствующем объеме:

$$b_0 = m_1 + m_2 \cdot (T - 293) + m_3 \cdot (T - 293)^2;$$

$$b_1 = m_4 + m_5 \cdot (T - 293);$$

$$b_2 = m_6 \cdot (T - 293),$$

где T – температура топлива, К.

Значения коэффициентов $m_1 - m_6$ для рапсового масла и его смесей с ДТ сведены в табл. 3.

Таблица 4

Физические свойства исследуемых топлив

Вид топлива	%	Плотность при 293 К, кг/м ³	Вязкость при 293 К, м ² /с
Топливо Л. ГОСТ 305–73	100	830	$4,2 \cdot 10^{-6}$
Рапсовое масло ГОСТ 8988–77	100	914	$75,4 \cdot 10^{-6}$
Смесь:			
топливо Л. ГОСТ 305–73	25	890	$31,2 \cdot 10^{-6}$
рапсовое масло ГОСТ 8988–77	75		
Смесь:			
топливо Л. ГОСТ 305–73	50	872	$14,0 \cdot 10^{-6}$
рапсовое масло ГОСТ 8988–77	50		

Для проверки адекватности полученной зависимости был проведен эксперимент по определению коэффициента сжимаемости биотоплив.

Определение гидравлической характеристики распылителя

Гидродинамический расчет процесса впрыска требует определения зависимости эффективного проходного сечения распылителя от подъема иглы $\mu f = F(y)$ (характеристики распылителя). Известно, что коэффициент расхода μ , являющийся произведением коэффициента сжатия потока ϵ на коэффициент скорости w , то есть $\mu = \epsilon \cdot w$, заметно уменьшается с увеличением вязкости жидкости. Следовательно, при расчете топливной системы дизеля на РМ и его смесях с ДТ необходимо учитывать влияние вязкости на коэффициент расхода, как фактор изменения параметров процесса впрыскивания.

Наиболее простым и достоверным способом получения зависимости $\mu f = F(y)$ является экспериментальное определение характеристики распылителя. Эффективное проходное сечение определяется на стенде постоянного напора по количеству топлива (масса, кг), прошедшего через форсунку за 30 с. Преобразуя уравнение Бернулли, получим

$$\mu f = G_\phi / (\tau \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p_\phi}), \quad (26)$$

где G_ϕ – масса топлива, прошедшего через форсунку, г; τ – время истечения навески топлива, с; Δp_ϕ – перепад давления до и после форсунки, МПа.

Лабораторная установка по определению характеристики распылителя топлива включала в себя насос, соединенный с электроприводом стенда, позволяющий плавно изменять давление в напорной магистрали от 0 до 10 МПа, гидравлический аккумулятор гашения пульсаций топлива, образцовый манометр для замера давления перед распылителем. Забор топлива осуществлялся из бака стенда.

Замеры проводились при давлении топлива перед форсункой 5 МПа. Снимались характеристики пятидырчатых распылителей НЗТА и АЗТА (табл. 5) топливной системы

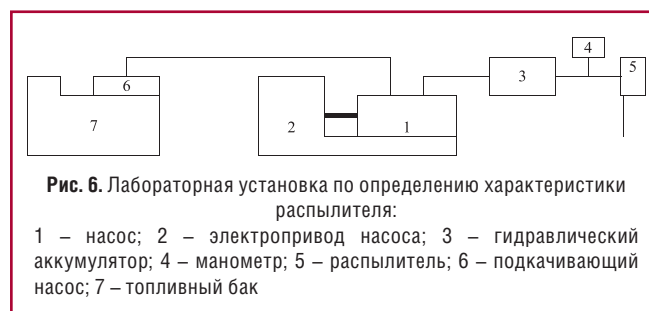


Таблица 5

Результаты проверки распылителей

Комплект распылителя	№ распылителя	μf , мм ² до испытания
1	3	5
1	1	0,285
	2	0,295
	3	0,275
	4	0,28
2	6	0,235
	7	0,241
	9	0,244
	10	0,235

дизеля Д-440 трактора ДТ-75. Для определения степени влияния проходного сечения распылителей на работу двигателя были отобраны распылители с проходным сечением, увеличенным на 22% по сравнению со штатным.

Результаты гидродинамического расчета процесса топливоподачи

Целью расчетного исследования являлось сравнение характеристик впрыскивания ДТ, РМ и его смесей с ДТ для определения теоретической возможности их использования в топливной системе дизельного двигателя, а также определение влияния на характеристику впрыскивания биотоплива изменяемых параметров топливной системы.

Исходными данными расчета характеристики впрыскивания явились параметры топливной системы трактора ДТ-75. Расчет проводился для режима работы двигателя, соответствующего номинальной мощности при частоте вращения кулачкового вала насоса 825 мин⁻¹. Изменяемыми показателями для различных вариантов расчета служили: физические свойства исследуемых топлив (ДТ и РМ); температура топлива; эффективное проходное сечение распылителя (μf); давление начала подъема иглы форсунки. Результаты расчетов представлены в табл. 6.

Сравнение полученных зависимостей впрыскивания для дизельного и биотоплива (рис. 7) показывает, что характер изменения давлений в насосе и форсунке и кривая характеристики впрыскивания практически одинаковы.

Экспериментальное значение давления топлива над штуцером ТНВД и давления в форсунке двигателя Д-440 определялось с помощью оборудования AVL (Австрия) на работающем двигателе, то есть с учетом противодействия в цилиндре.

Вследствие большей плотности и меньшего коэффициента сжимаемости РМ максимальные давления над плунжером увеличиваются по сравнению с ДТ на 6,174 МПа (18,7%), максимальные давления в форсунке возрастают соответственно на 1,97 МПа (4,76%) (табл. 6).

Меньший коэффициент сжимаемости рапсового масла определяет большую скорость распространения волны

давления в нем и соответственно уменьшает угол смещения начала впрыска от геометрического начала топливоподачи. Для рапсового масла в сравнении с ДТ уменьшение смещения (более ранний впрыск) составляет 2,12 град по кулачковому валу ТНВД (табл. 6).

Повышенная вязкость рапсового масла уменьшает коэффициент расхода через отверстия распылителя, что увеличивает продолжительность впрыскивания. По сравнению с ДТ для рапсового масла увеличение данного параметра составило 0,14 град по КВТН (табл. 6).

Увеличение суммарной площади сопловых отверстий μf распылителя на 20-25% с 0,235 до 0,290 мм² при использовании биотоплива, подогретого до 60-80°С, приводит к уменьшению давлений в насосе на 1,83 МПа (4,5%), в форсунке на 6,1 МПа (13,9%), сокращению продолжительности впрыска на 2,2 град (18,4%). При этом показатели впрыска рапсового масла значительно приближаются к показателям ДТ.

Проведенный расчет продемонстрировал отсутствие в характеристиках топливоподачи биотоплива показателей, препятствующих его использованию в исследуемой топливной системе. Отмечен рост давлений в насосе и форсунке, повышающий нагрузки на детали топливной аппаратуры, увеличение продолжительности впрыскивания, изменение смещения начала впрыска от геометрического начала подачи. Эти отклонения снижаются при увеличении эффективного проходного сечения отверстий распылителя и повышении температуры биотоплива.

Повышение давления начала подъема иглы форсунки позволяет уменьшить продолжительность впрыскивания, однако, увеличивает давления в насосе и форсунке и смещение действительного начала впрыска, а также уменьшает период задержки воспламенения.

Таким образом, в результате расчетного исследования предложены следующие мероприятия по адаптации системы топливоподачи дизельного двигателя для работы на РМ и его смесях с ДТ:

- увеличение эффективного проходного сечения форсунок на 25%;
- подогрев топлива до 60-80°С.

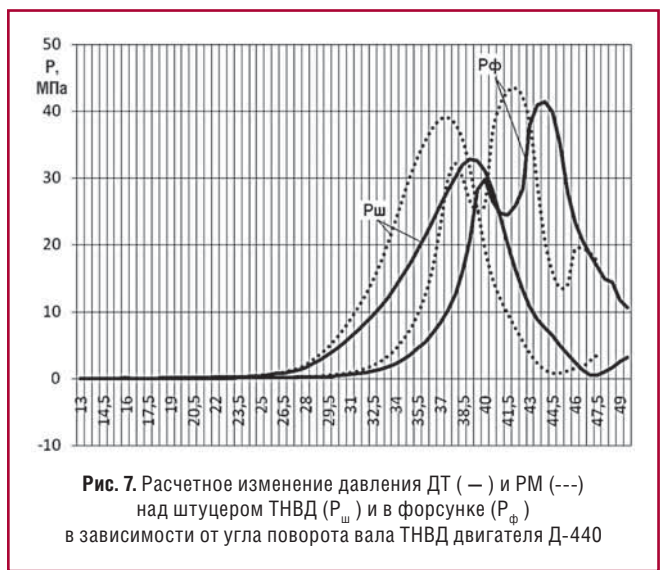


Рис. 7. Расчетное изменение давления ДТ (—) и РМ (---) над штуцером ТНВД (P_n) и в форсунке (P_f) в зависимости от угла поворота вала ТНВД двигателя Д-440

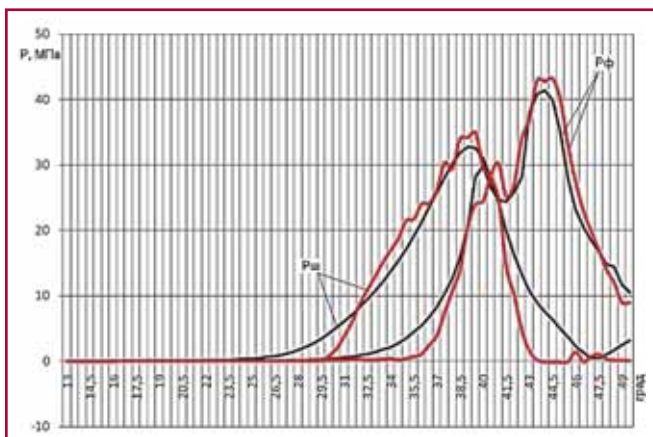


Рис. 8. Расчетные (—) и экспериментальные (---) зависимости изменения давления над штуцером ТНВД ($P_{ш}$) и в форсунке ($P_{ф}$) при работе двигателя Д-440 на ДТ

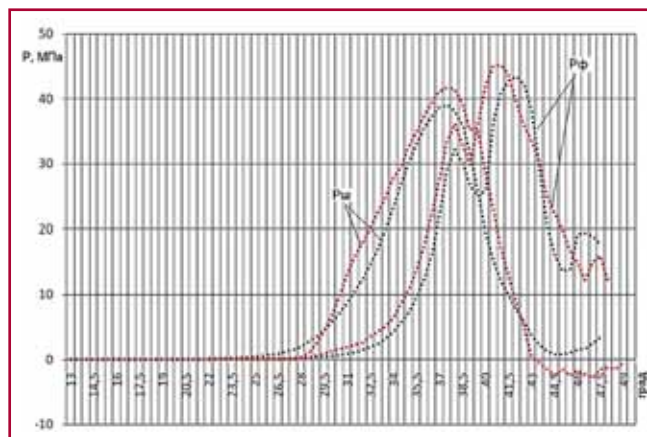


Рис. 9. Расчетные (—) и экспериментальные (---) зависимости изменения давления над штуцером ТНВД ($P_{ш}$) и в форсунке ($P_{ф}$) при работе двигателя Д-440 на РМ

Таблица 6

Результаты гидродинамического расчета параметров впрыска РМ при его подогреве до 60°C и ДТ

Показатель	mf = 0,285			mf = 0,235		
	Значение			Значение		
	РМ	ДТ	ДТ/РМ, %	РМ	ДТ	ДТ/РМ, %
Угол геометрического конца нагнетания, град	36,3145	37,9661	4,35	36,9959	38,6604	4,30
Остаточное давление в системе, МПа	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	
Остаточный объем в системе, мм ³	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	
Частота вращения кулачкового вала, мин ⁻¹	880,0000	880,0000		880,0000	880,0000	
Цикловая подача (расчетная), мм ³	104,0076	103,8184	-0,18	104,2784	104,1367	-0,13
Максимальное давление над плунжером, МПа	39,1405	32,9665	-18,72	40,9669	36,1228	-13,41
Максимальное давление в форсунке, МПа	43,3889	41,4163	-4,76	49,4543	48,0217	-2,98
Среднее давление впрыскивания, МПа	12,0896	11,7301	-3,06	8,7588	8,5489	-2,45
Максимальное давление впрыскивания, МПа	24,7550	23,6295	-4,76	19,3191	18,7595	-2,98
Продолжительность впрыскивания, град	9,6402	9,5002	-1,47	11,8203	11,9403	1,00
Смещение начала впрыска от ГНП, град	6,9405	9,0606	23,39	6,9005	8,6206	19,94
Скорость посадки иглы, м/с	-0,0310	-3,9603	99,21	-3,3472	-3,6063	7,18
Топливо, поданное с падающей скоростью	0,2772	0,3496	20,70	0,2439	0,2412	-1,11
Топливо, поданное за период задержки воспламенения	0,8200	0,7764	-5,61	0,7315	0,7123	-2,69
Активный ход плунжера, мм	2,3317	3,0709	24,07	2,6289	3,4009	22,69
Отношение $V_{акт}/V_{цикл}$	2,1305	2,8111	24,21	2,3959	3,1036	22,80
Работа, совершенная насосом, Дж	12,1075	11,2716	-7,41	13,4374	12,9358	-3,87
Работа, совершенная у форсунки, Дж	1,7716	1,6256	-8,98	1,4116	1,3707	-2,98
Гидравлический КПД насоса	0,1463	0,1442	-1,45	0,1050	0,1060	0,94

Результаты сопоставления расчетных и экспериментальных характеристик процесса топливopодачи

Сопоставление расчетных и экспериментальных характеристик впрыскивания (рис. 8, 9) показыва-

ет удовлетворительную сходимость зависимостей параметров впрыска РМ и ДТ, что позволяет использовать получаемые расчетные характеристики биотоплива для анализа параметров процесса топливopодачи.

Системы хранения водорода

О.К. Алексеева,

начальник отдела Института водородной энергетики и плазменных технологий ФГУ РНЦ «Курчатовский институт», к.ф.-м.н.,

С.И. Козлов, зам. генерального директора ООО «Газпром ВНИИГАЗ», д.т.н.,

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

В.Н. Фатеев, директор Института водородной энергетики и плазменных технологий ФГУ РНЦ «Курчатовский институт», профессор, д.х.н.

В XXI в. водород становится одним из главных мировых источников альтернативного топлива. Существует несколько вариантов его эффективного использования на транспорте: для автомобилей на топливных элементах и для применения в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) в качестве основного топлива и в качестве добавки к традиционным углеводородным топливам. Для реализации программы использования водорода в качестве альтернативного топлива необходимо решить важную проблему организации эффективного хранения водорода как на борту транспортного средства, так и в стационарных хранилищах.

Хранить водород можно в газообразном виде под давлением, в жидком состоянии, в связанном виде в твердых или жидких носителях и в форме химических соединений, которые при разложении выделяют водород (аммиак, жидкие углеводороды).

Для транспорта наиболее важными являются следующие технологии:

- хранение сжатого газообразного водорода в резервуарах высокого давления;
- хранение жидкого водорода;
- хранение водорода в виде гидридов;
- хранение водорода в носителях.

Следует отметить, что хранение водорода отличается от хранения других видов моторных топлив, например, бензина, тем, что системы хранения должны работать в неблагоприятных условиях: при криогенных температурах, при высоком давлении или при использовании материала, активного на воздухе или в присутствии воды. Следовательно, необходимо обеспечивать надежность и безопасность системы хранения водорода.

Важнейшей характеристикой, определяющей эффективность хранения, является плотность как массовая (весовая по другой терминологии), так и объемная. Системы хранения водорода «на борту» имеют свои специфические требования. Для оценки используются следующие ориентировочные значения, принятые в разных странах:

6,5-10% масс. (отношение массы водорода к массе системы) и 62 кг H₂/м³ для обеспечения пробега автомобиля 480 км при размерах хранилища, близких к размерам бензобака легкового автомобиля.

Схема возможностей разных технологий хранения водорода, цели министерства энергетики США для транспорта на 2010 и 2015 гг. и оценки стоимости хранения приведены на рис. 1 [1, 2].

Отличительная особенность этой схемы заключается в том, что на ней, в отличие от других аналогичных, приведены результаты анализа параметров более 60 автомобилей на топливных элементах. На большинстве автомобилей были использованы баллоны с водородом под давлением 35 МПа (350 атм), на меньшем числе автомобилей – под давлением 70 МПа (700 атм) или с сжиженным водородом. Эти параметры таковы: от 3,5 до 4,7 % масс. и от 14 до 28 кг/м³ при пробеге от 165 до 300 км [1], что свидетельствует о том, что они не отвечают необходимым требованиям.



Рис. 1. Характеристики и оценки стоимости различных систем хранения водорода

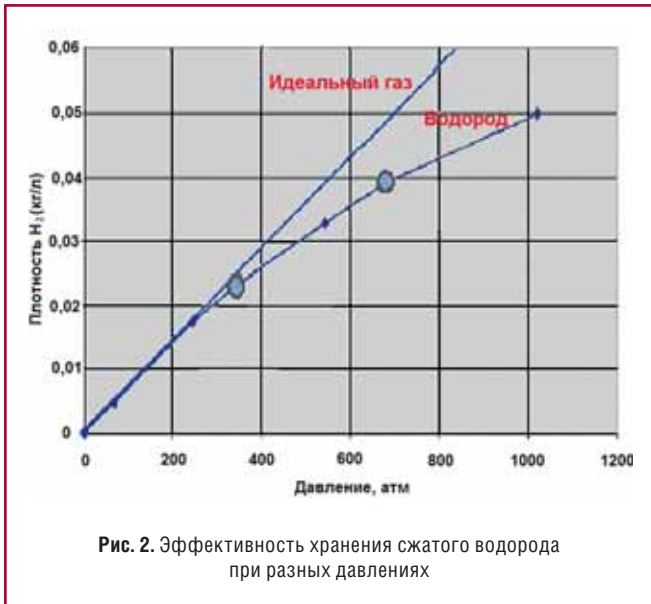
ХРАНЕНИЕ ГАЗООБРАЗНОГО ВОДОРОДА

Хранение газообразного водорода под давлением.

Это достаточно простой и недорогой способ, технология хорошо отработана, энергозатраты на выдачу газа отсутствуют, однако, при этом требуется использовать высокопрочные баллоны большого объема. При атмосферном давлении и комнатной температуре 1 кг водорода в свободном состоянии занимает объем 11,2 м³, поэтому для хранения он должен быть сжат. Чем больше давление газа, тем меньше требуется объем V. В соответствии с уравнением состояния идеального газа

$$PV = nRT,$$

где n – количество водорода в молях, T – температура, а R – газовая постоянная.



Эффективность хранения газообразного водорода в резервуарах под давлением проиллюстрирована на рис. 2 как для идеального газа, так и для реальных условий.

Для описания реального газа было предложено несколько моделей. В соответствии с моделью Ван-дер-Ваальса

$$(P + n^2 \frac{a}{V^2})(\frac{V}{n} - b) = RT,$$

где a и b – постоянные, учитывающие притяжение и отталкивание молекул.

Другой подход вводит коэффициенты сжимаемости Z , определяемые экспериментально и имеющиеся в таблицах и справочниках, например, [3], тогда уравнение приобретает следующий вид

$$PV = nZRT.$$

Работа на сжатие 1 моля водорода от давления p_0 до давления p_1 при изотермическом сжатии равна

$$W_{\Delta T=0} = p_0 V_0 \ln(p_1/p_0),$$

где W – работа сжатия 1 моля водорода, p_0 – начальное давление, p_1 – конечное давление, V_0 – начальный удельный объем.

Для Ван-дер-Ваальсовского газа

$$W_{\Delta T=0(BV)} = RT \ln \frac{V_2 - b}{V_1 - b} + \frac{a}{V_2} - \frac{a}{V_1};$$

для модели с учетом фактора сжимаемости Z

$$W_{\Delta T=0(Z)} = ZRT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Уравнение изоэнтропного (адиабатного), то есть обратимого и без теплообмена между компрессором и окружающей средой, сжатия наиболее близко описывает термодинамический процесс для идеальных газов [4, 5]

$$W = \frac{k}{k-1} p_0 V_0 \left[\left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right],$$

где k – показатель адиабаты; c_p/c_v – отношение удельных теплоемкостей, равное 1,41 для водорода и других двухатомных газов.

Для реальных газов необратимость адиабатического процесса учитывается с помощью соотношения

$$W_{\text{реал}} = W/\eta_{\text{ад}},$$

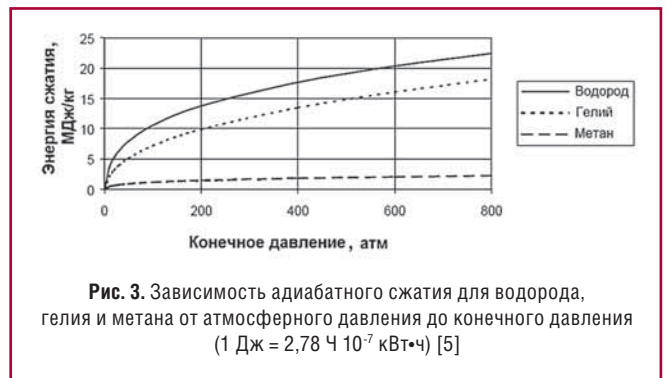
где $\eta_{\text{ад}}$ – адиабатный КПД процесса ($\eta_{\text{ад}} = 75-85\%$).

Значения энергии, требуемой для сжатия, приведены ниже в табл. 1 [2].

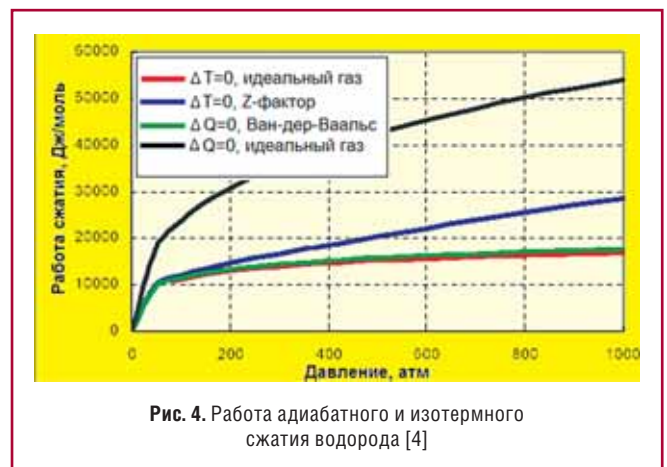
Таблица 1

Вход – выход, кг/см ²	Адиабатный КПД, %	Требуемая энергия для сжатия, кВт·ч/кг
20-70	70-80	0,6-0,7
7-500	50-70	2,6-3,6

Работа сжатия зависит от природы газа. На рис. 3 [5] показана энергия, требуемая для адиабатного сжатия водорода, гелия и метана. Из представленной на рис. 3 зависимости видно, что для сжатия водорода требуется гораздо больше энергии, чем для метана.



Независимо от используемой модели, работа сжатия – нелинейная функция давления (рис. 4). Следовательно, работа, требуемая на сжатие водорода на одно и то же давление $\Delta p = p_1 - p_0$, зависит от начального давления. Так, гораздо меньше энергии требуется, чтобы увеличить давление водорода от 350 до 700 кгс/см², чем от 1 до 350 кгс/см². В связи с этим перспективным способом является использование электролизеров воды, рассчитанных на производство водорода (и кислорода) под



давлением. В частности, использование электролизера, работающего под давлением 30 кгс/см² и более, позволяет исключить первую и наиболее энергоемкую ступень сжатия водорода (необходимо отметить, что для набора давления газов в электролизере дополнительные энергозатраты не требуются). В настоящее время разрабатываются электролизеры с твердым полимерным электролитом (ТПЭ), позволяющие производить водород под давлением 200-350 кгс/см² и выше.

Работа сжатия в реальных условиях

$$W_{полумп} = [n/(n-1)] RT_1 [(p_1/p_0)^{(n-1)/n} - 1],$$

где n – показатель политропы, $W_{полумп}$ – работа сжатия 1 моля водорода.

При этом, как и в случае изоэнтропного сжатия, должна быть учтена эффективность процесса η_p

$$n = \frac{\eta_p k}{1 + \eta_p k - k} \quad \text{и} \quad \frac{n}{n-1} = \frac{k}{k-1} \eta_p.$$

На практике технология хранения водорода под давлением в резервуарах используется уже много лет, она аналогична технологии хранения природного газа. Как правило, при хранении водорода используются баллоны цилиндрического типа или контейнеры в виде труб большого объема. При использовании обычных стальных баллонов, заполненных водородом с давлением до 20 МПа, 4 кг водорода занимают объем 225 л. Массовая плотность по разным данным при давлении ~35 МПа составляет 6,7-8,7% масс. Использование специальных баллонов позволит увеличить массовую плотность. В России созданы системы газобаллонного хранения водорода под давлением до 40 МПа, в том числе криволинейные титановые баллоны.

Для хранения водорода на борту транспортных средств наиболее перспективными являются композитные баллоны, которые имеют цилиндрическую форму и состоят из внутреннего лайнера с обмоткой из углеродного волокна. Для предотвращения взаимодействия водорода с композитным материалом требуется инертное внутреннее покрытие. Лейнер может быть сделан из алюминиевого сплава или полимера высокой плотности. Он является непроницаемым барьером для газа и в то же время служит основой для намотки волокна, которое пропитывается эпоксидной смолой, формируется также внешний защитный слой.

Существуют три основных типа металлокомпозитных баллонов [6]:

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

- металлокомпозитные – баллоны с металлическим лайнером, кольцевой и спиральной обмоткой по всей поверхности лайнера (обмотка типа «кокон»); по международной классификации тип баллона 3;

- 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.

Следует отметить, что такая конструкция может использоваться также для автомобильного транспорта, служить основой для контейнеров общего назначения, применяться для систем хранения – сжатого и жидкого водорода, хранения в носителях, в том числе и криогенного хранения в адсорбентах.

Однако даже для баллонов из новых композитных материалов плотность хранимой энергии при 20 МПа составляет 0,5-2 кВт·ч/кг, что существенно меньше значения для жидкого водорода, равного ~6 кВт·ч/кг. Из композитных материалов, упрочненных углеродными волокнами, разработаны баллоны, выдерживающие до 70 МПа, продолжается работа по оптимизации материалов и снижению стоимости [2]. Даже при таком высоком давлении энергетическая плотность низка по сравнению с бензином (4,4 МДж/л для баллона с водородом при 70 МПа, что составляет только 14% от 31,6 МДж/л для бензина) [2].

В настоящее время водородные баллоны на 35 и 70 МПа сертифицированы в соответствии со стандартами ISO 11439 (Европа), NGV-2 (США), Reijikijun Betten (Исландия) и одобрены TUV (Германия) и КНК (Япония). Баллоны были использованы на нескольких опытных образцах автомобилей на топливных элементах и имеются в продаже. В соответствии с требованиями European Integrated Hydrogen Project (EИP) для композитных баллонов на 70 МПа был продемонстрирован фактор безопасности 2,35 (давление разрыва ~ 165 МПа) [2].

Композитный баллон, выпускаемый фирмой «Quantum Technologies, Inc.», показан на рис. 5 [2].

Главный недостаток этого метода заключается в его безопасности. К системе клапанов предъявляются жесткие требования (должны быть исключены утечка водорода и возможность образования взрывоопасной гремучей смеси). При использовании баллонов высокого давления требуется дополнительный контроль.

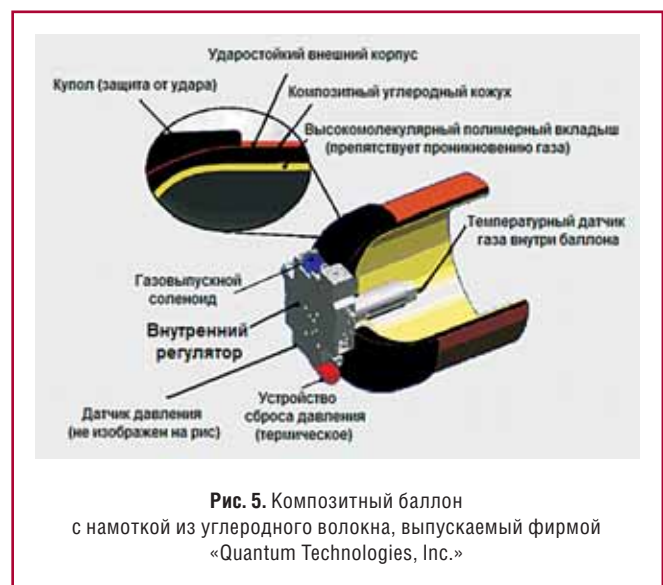


Рис. 5. Композитный баллон с намоткой из углеродного волокна, выпускаемый фирмой «Quantum Technologies, Inc.»

Для стационарных условий наиболее широко используются цилиндрические баллоны и контейнеры – трубы. Так, в [2] приведены примеры баллонов объемом 54 л на 0,61 кг водорода (давление ~ 16 МПа при 21°C), которые хранятся вертикально и могут использоваться по отдельности или в связках.

Основной вклад в капитальные и эксплуатационные затраты при использовании систем хранения газообразного водорода вносят компрессоры. Требования на компримирование зависят от технологии производства водорода и требований его хранения и доставки.

ХРАНЕНИЕ ЖИДКОГО ВОДОРОДА

Достоинствами этого метода хранения являются большие величины емкости по массе и объему (плотность жидкого водорода 70,8 кг/м³). Жидкий водород, производство которого растет в мире ежегодно на 5%, является важным элементом инфраструктуры снабжения потребителей. Например, в США производственные мощности позволяют в год получать до 120 тыс. т жидкого водорода, из которых 15% расходуется на ракетно-космическую технику, остальное – в химической промышленности (37%), металлургии (21%), электронике (16%), стекольной промышленности (4%). Однако имеются жесткие требования к материалам по хладостойкости. Требуется постоянное охлаждение (20 К), эффективная изоляция. Чтобы не допустить местных перегревов, сосуды, заполняемые жидким водородом, следует предварительно охладить, что приводит к большим расходам водорода на захлаживание емкости. Существует проблема потерь на испарение. Кроме того, это небезопасный способ. Испаряющийся водород должен или каталитически дожигаться воздухом в специальном объеме или собираться в металлическом гидриде.

Ожижение водорода. Процесс ожижения водорода – энергоемкий. На ожижение расходуется от 25 до 45% энергии сжиженного водорода. Затраты электроэнергии составляют 10-14 кВт·ч на 1 кг H₂ и выше [3, 7].

Для сжижения могут использоваться различные холодильные циклы. Простейший цикл – цикл Линде, или цикл изохлорного расширения Джоуля – Томпсона, основан на эффекте дросселирования. Цикл Линде работает для таких газов, как азот, которые охлаждаются при расширении при комнатной температуре. Однако водород при обычной температуре, в отличие от других газов, имеет отрицательный дроссель-эффект, то есть нагревается при расширении. Для получения положительного дроссель-эффекта сжатый водород предварительно охлаждается, как правило, до температуры ниже 80 К с помощью жидкого азота [7]. Кроме того, большие затраты на ожижение связаны с тем, что водород при комнатной температуре (~ 25°C) является смесью двух модификаций: 75% ортоводорода и 25% параводорода. При температуре ожижения (20,4 К) равновесное содержание параформы составляет 99,82%. Процесс перехода ортоформы в параформу (орто-

пара-конверсия) протекает спонтанно и сопровождается выделением теплоты в количествах, в 1,15 раза превышающих теплоту испарения водорода. Теплота ортопара-конверсии равна 0,146 кВт·ч/кг, теплота ожижения 0,123 кВт·ч/кг [2]. Для процесса ожижения водорода теплота конверсии является балластной, поскольку она отводится непосредственно в поток водорода, и в результате производительность ожижителя существенно снижается. В жидкой фазе без катализатора ортопара-конверсия происходит со скоростью 1% в час, и после ожижения нормального водорода за счет выделения теплоты при конверсии за 1 сутки испаряется 18% сжиженного водорода, за неделю – 50%. Поэтому на промышленных установках ожижения водорода имеются конверторы, предназначенные для ортопара-конверсии водорода в присутствии катализатора; при этом водород, идущий на конверсию, должен быть тщательно очищен во избежание отравления катализаторов. Кроме того, наличие примесей может нарушить работу ожижителя. Все это повышает стоимость получения жидкого водорода и, следовательно, этого способа хранения.

Другие циклы основаны на изоэнтропном расширении водорода с производством внешней работы в расширительной машине – детандере.

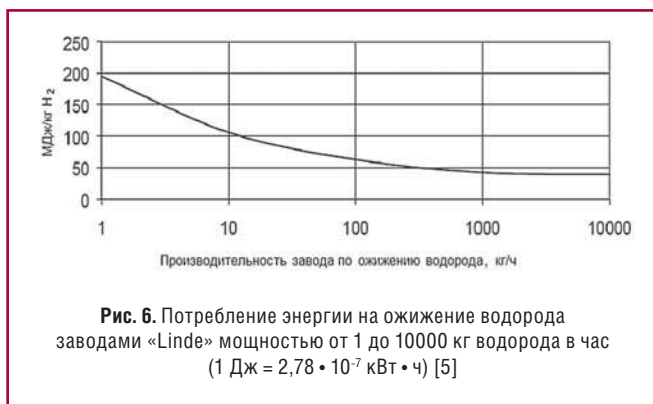
Для оценки эффективности реальных циклов ожижения рассмотрим идеальный процесс, потребляющий минимальное количество энергии. Этот процесс представляет собой изотермное сжатие, за которым следует обратимое изоэнтропное расширение для охлаждения газа и превращения его в жидкость. Работа этого идеального ожижения $W = T_o (S_n - S_k) - (H_n - H_k)$, где индексы *n* и *k* – начальное и конечное состояние системы, T_o – температура окружающей среды, *H* – энтальпия, *S* – энтропия, равна для водорода по разным расчетам 3,228-3,332 кВт·ч/кг [4, 8]. Идеальная работа включает энергию, необходимую для снижения температуры газа до точки кипения, энергию фазового превращения газ–жидкость и энергию ортопара-конверсии при охлаждении. Для сравнения, идеальная работа ожижения азота примерно в 15 раз меньше (всего 0,207 кВт·ч/кг [8]). Идеальная работа ожижения зависит от начального давления и температуры, а также исходной концентрации параводорода.

Однако на практике такой цикл неосуществим. В реальных условиях общие затраты энергии на ожижение могут превышать эту величину в 5-10 раз и зависят от принятого цикла ожижения [3]. Например, для цикла Линде с предварительным охлаждением с помощью жидкого азота расчетные энергозатраты около 20 кВт·ч/кг водорода [8]. Энергопотребление для процесса ожижения PRAXAIR от 12,5 до 15 кВт·ч/кг водорода [2].

Эффективность процесса (%) по [9] определяется как

$$\eta = \frac{W_{\min}}{W_{\text{comp}} + W_{N_2} - W_{ET}} \times 100,$$

где W_{\min} (кВт) – минимальная работа; W_{comp} (кВт) – мощность, требуемая компрессорам; W_{N_2} (кВт) – мощность,



требуемая для обеспечения азотом; $W_{\text{ЭТ}}$ (кВт) – возвращаемая от турбин мощность.

Эффективность различных промышленных процессов составляет 46-47%.

По данным работы [5], учитывающим реальные условия работы заводов «Linde», энергозатраты на охлаждение 1 кг водорода для завода мощностью 100 кг жидкого водорода в час составляют 60 МДж (~17 кВт·ч/кг). При увеличении мощности завода потребление энергии снижается, но не достигает минимума, примерно равного 40 МДж (~11 кВт·ч/кг), рис. 6 [5].

Концепция комбинированного изоэнтальпного и изоэнтальпийного цикла охлаждения, предложенная в [10], снизит вклад менее эффективного (8-12 кВт·ч/кг) изоэнтальпийного расширения и позволит приблизиться к идеальной работе охлаждения.

Общее количество теплоты Q_k , выделяющейся при конверсии, может оказаться значительным. Поскольку жидкий водород использовался в качестве ракетного топлива, в 60-х гг. прошлого века были разработаны и построены промышленные установки по получению жидкого параводорода.

На космодроме Байконур хранилища жидкого водорода ракетно-космического комплекса «Энергия» представляют собой четыре резервуара емкостью 1400 м³ жидкого водорода каждый [11].

При производстве таких больших количеств жидкого параводорода суммарное значение выделяющейся теплоты конверсии составляет значительную величину. Так, для объема 5000 м³ суммарная теплота конверсии составляет $Q_k = \rho q_k \cdot 5000 = 70,8 \cdot 5,25 \cdot 10^5 \cdot 5000 = 1,8585 \cdot 10^{11}$ Дж, где $\rho = 70,8 \text{ кг/м}^3$ – плотность жидкого водорода, ($5,25 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг} = 0,146 \text{ кВт·ч/кг}$) – теплота конверсии.

Для уменьшения потерь жидкого водорода на испарение в процессе конверсии предлагается усовершенствованная технология производства жидкого параводорода [11]. Сущность этой технологии заключается в том, что энергия, высвобождаемая в процессе конверсии, преобразуется в работу и передается за пределы потока охлаждаемого водорода. Для реализации способа организуется прямой термодинамический цикл, в котором приемником теплоты является криогенная жидкость в емкости хранения, а источником теплоты – конвертор. Рабочим телом

в термодинамическом цикле может выступать гелий или водород.

В СССР ОАО «Криогенмаш», ОАО «Гелиймаш», ОАО «Уралкриомаш», институтами РАН, ГИАП и другими была создана инфраструктура снабжения страны жидким водородом, прежде всего для ракетно-космических программ [12]. Были разработаны, изготовлены и введены в эксплуатацию установки охлаждения производительностью 180 кг/ч параводорода (НИИхиммаш в г. Сергиев-Посад, ПО «Электрохимпром» в г. Чирчик). Созданные охлаждающие установки были построены по дроссельному холодильному циклу высокого давления (15 МПа) с тремя степенями предварительного охлаждения (жидкие аммиак, азот и азот, кипящий под вакуумом). В качестве сырья использовался электролизный водород. Модернизация этих установок путем включения в схему турбодетандеров и аппаратов ортопара-конверсии на температурных уровнях от жидкого азота до жидкого водорода позволила увеличить их производительность до 500 кг/ч и уменьшить удельные энергозатраты с 40 до 26 кВт·ч/кг жидкого водорода.

В ОАО «Криогенмаш» разработаны проекты установок ОВ-04 и ОВ-06 производительностью 400 и 700 кг/ч с удельными затратами 22,4 и 21,7 кВт·ч/кг продукта соответственно, которые, к сожалению, остались нереализованными. В мировой практике удельный расход энергии составляет для охладителей водорода 13-16 кВт·ч/кг. Подобные показатели обеспечиваются обычно в установках с применением азотного охлаждения, двух детандерных ступеней и четырех ступеней ортопара-конверсии. Исследования, выполненные в ОАО «Криогенмаш», показали, что аналогичные показатели по энергозатратам могут быть получены также при использовании гелиевого холодильного цикла [12].

Некоторые исследователи предлагают использовать криогенное хранение водорода под высоким давлением для увеличения емкости и в то же время снижения затрат на охлаждение. Хранение сжатого водорода при температуре 80 К не требует этапа ортопара-конверсии при охлаждении





Рис. 8. Стационарный резервуар РЦГВ-250/0,25 транспортируется к месту его установки

нии. Конечно, требуются энергия для охлаждения газа и изоляция контейнера. Такие новые криогенные контейнеры высокого давления (20-40 МПа) могут быть заполнены сжатым или жидким водородом [2].

Резервуары для хранения жидкого водорода. К резервуарам для хранения жидкого водорода предъявляются следующие основные требования:

- конструкция резервуара должна обеспечивать длительную безопасную эксплуатацию;
- расход жидкого водорода на предварительное охлаждение хранилища должен быть минимальным;
- резервуар должен быть снабжен устройствами для быстрого заполнения и выдачи хранимого продукта.

Резервуары обычно выполняют сферическими или цилиндрическими. Хранилища большего объема делают сферическими для уменьшения потерь на испарение. Емкости находятся в диапазоне от 5,7 до 95 тыс. л (или 400-6650 кг) водорода по данным [2]. Большие резервуары были разработаны в США в рамках космической программы. NASA использует и хранит жидкий водород более 30 лет. На мысе Каннавэрал имеется сферический резервуар диаметром 20 м, объем хранения 3800 м³, испарение 0,03% в день (рис. 7) [13].

В бывшем СССР также были созданы системы хранения и транспортировки жидкого водорода для ракетно-космической техники [12]. Среди важнейших сооружений необходимо отметить водородные комплексы для наземной отработки ЖРД ракет-носителей, «Криогенный центр» на Байконуре, обеспечивающий весь цикл работ с системой «Энергия – Буран», и др. Криогенные заправочные системы «Центра» построены на базе шаровых резервуаров вместимостью 1400 м³ с высокоэффективной экранно-вакуумной изоляцией и суточными потерями 0,033-0,130% (резервуар по этому показателю относится к лучшим в мире).

Определяющим этапом создания оборудования систем хранения явилась разработка конструкций резервуаров объемом от 5 до 1400 м³, трубопроводов и арматуры диаметром до 400 мм с экранно-вакуумной изоляцией, в которых нашли применение новые изоляционные материалы и новые технологии изолирования поверхностей.

В перспективе отечественное криогенное машиностроение способно создавать шаровые резервуары с высокоэффективной экранно-вакуумной изоляцией объемом до V=4200 м³. Разработано новое оборудование – унифицированный ряд криогенных резервуаров вместимостью 8, 25, 63, 75 м³ вертикального типа (РЦВ), вместимостью 50, 100, 230, 250 м³ горизонтального типа (РЦГ). Важно, что принципы построения комплексов заправки потребителей жидким водородом и криогенного оборудования практически одинаковы и для космической, и для народнохозяйственных отраслей.

Технические характеристики последних разработок оборудования для хранения жидкого водорода ОАО «Криогенмаш» представлены в табл. 2. На рис. 8 показан наиболее крупный, изготовленный предприятием, стационарный резервуар РЦГВ-250/0,25 в процессе его доставки наземным транспортом к месту установки [14]. Резервуар предназначен для сбора жидкого водорода после его ожижения, постоянного хранения и периодической выдачи. Испаряющийся в резервуаре за счет теплопритоков из окружающей среды водород направляется на повторное ожижение.

Таблица 2

Технические характеристики криогенных резервуаров для хранения жидкого водорода ОАО «Криогенмаш»

Основные характеристики	Резервуар РЦГВ 60/1,1	Резервуар РЦГВ 250/0,25
Вместимость, м ³	60	248
Рабочее давление, МПа	1,1	0,25
Масса хранимого водорода, кг	3850	16680
Потери водорода от испарения, кг/ч (% в сутки)	0,95 (0,6)	1,39 (0,2)
Масса изделия, кг	35000	86300
Габаритные размеры, мм		
длина	14600	36642
ширина	3900	3806
высота	3610	3971

Технологические схемы жидководородных резервуаров являются более сложными и многоэлементными по сравнению со схемами других типов криогенных резервуаров. Они обеспечивают заправку жидким водородом и его выдачу, безопасную эксплуатацию резервуара, замещение в нем газовой среды и другие функции. Система предохранительных клапанов и разрывных мембран позволяет безопасно эксплуатировать резервуар в соответствии с требованиями отечественных и европейских норм. Используются высококачественные стали, предназначенные для требуемых температурных диапазонов. Резервуары оснащены фильтрами тонкой очистки жидкого водорода и пробоотборником специальной конструкции, имеют высокоэффективную теплоизоляционную систему.

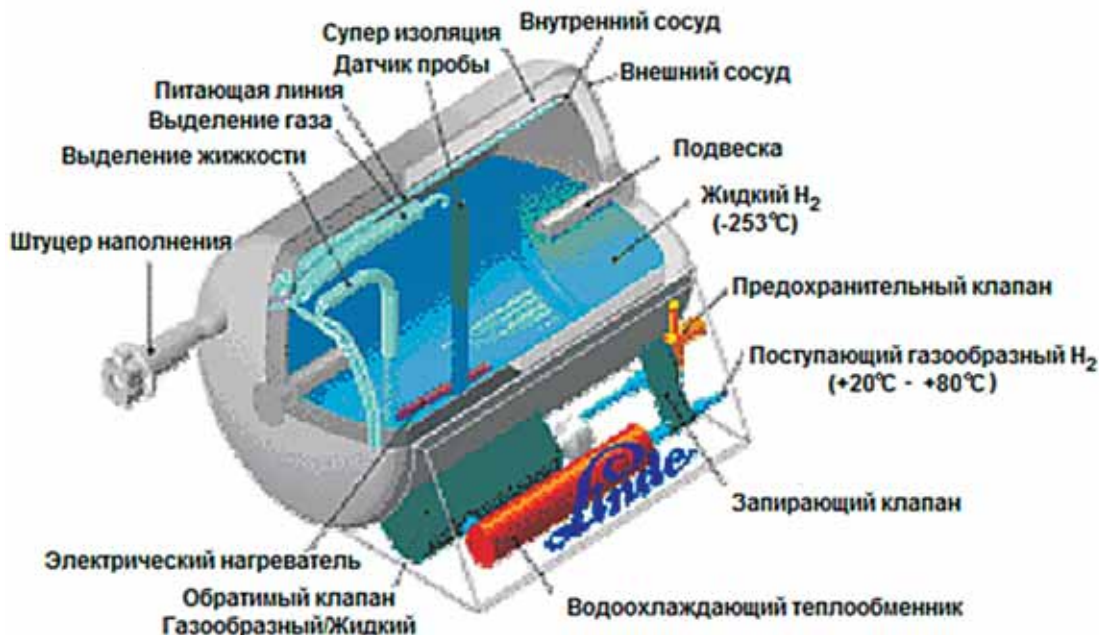


Рис. 9. Система хранения жидкого водорода

Оценки потерь водорода от испарения в стоимостном выражении сделаны в работе [14] на примере резервуара РЦГВ-250/0,25. При испарении водорода на уровне 0,2% в сутки и максимальном коэффициенте заполнения резервуара 0,95 потери составляют 1,39 кг/ч водорода. Если принять среднюю стоимость 1 кг газообразного водорода 1 евро, а 1 кг жидкого водорода – 4 евро, то годовые потери при сбросе испарившегося водорода в атмосферу для резервуара РЦГВ-250/0,25 достигнут 35 тыс. евро для одного резервуара. При повторном ожидении испарившегося водорода годовые потери можно снизить до 23 тыс. евро. Эти оценки объясняют, почему такое большое внимание уделяется потерям водорода от испарения.

Пример системы хранения жидкого водорода представлен на рис. 9 [2].

Конструкция отличается от конструкции композитного баллона для хранения газообразного водорода под давлением. Процесс производства таких контейнеров тоже другой. Внутренний контейнер содержит жидкий водород, важную часть конструкции составляют теплоизолирующие барьеры, которые должны быть очень эффективными.

Рассматривая перспективы внедрения альтернативных моторных топлив в России, авторы работы [15] сделали вывод, что предпочтительной является криогенная система хранения водорода на борту транспортного средства. Поэтому необходимо создать соответствующую инфраструктуру и поэтапно переводить автотранспорт на жидкий водород: на первом этапе (2007-2050 гг.) – на сжиженный природный газ (СПГ), а на втором этапе (2040-2060 гг.) – на жидкий водород.

Литература

1. **Satyapal S.** Hydrogen storage sub-program overview. – Annual Progress Report DOE Hydrogen Program. – 2007. – P. 331-339.
2. www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells.
3. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: Справочн. изд. под ред. **Гамбург Д.Ю., Дубровина Н.Ф.** – М.: Химия, 1989. – С. 672.
4. **Tzimas E., Filiou C., Peteves S.D., Veyret J.-B.** Hydrogen storage: state-of-the-art and future perspective. – Luxembourg. 2003. – P. 91. <http://www.jrc.ec.eu.int/>.
5. **Eliasson B., Bossel U.** The future of the hydrogen economy: Bright or bleak? http://www.woodgas.com/hydrogen_economy.pdf.
6. **Осадчий Я.Г., Крылов Е.Н., Русинович Ю.И., Кононов П.В.** Прочностная отработка металлокомпозитных баллонов высокого давления. – «Транспорт на альтернативном топливе», № 3 (3) 2008. – С. 30-32.
7. **Joseph T.** Hydrogen Fuel Air Products and Chemicals, Inc. Allentown, PA NGV TF Washington D.C. August 4, 2005.
8. **Amos W. A.** 1998. NREL/TP-570-25106 Costs of Storing and Transporting Hydrogen. – 1998.
9. **Matsuda H. and Nagami M.** Study of large hydrogen liquefaction process. <http://www.ena.or.jp/WE-NET/ronbun/1997/e5/sanso1997.html>.
10. **Shimko M.A.** Innovative Hydrogen Liquefaction Cycle. – Annual Progress Report DOE Hydrogen Program. – 2007. – P. 294-297.
11. **Полупан А.В.** Ресурсосберегающая технология при производстве параводорода. – Int. Sci.J. for Alternative Energy and Ecology ISJAE. – 2002, № 2. HTML формат ISJAE # 2, 2002.
12. **Домашенко А.М., Горбатский Ю.В.** Состояние, проблемы и перспективы развития в России инфраструктуры жидкого водорода. – Материалы международного форума «Водородные технологии для производства энергии». – Москва, 6-10 февраля 2006 г. – С. 29.
13. Florida Solar Energy Center (FSEC) www.fsec.ucf.edu/.../basics/storage-liquid.htm.
14. **Кузьменко И.Ф., Румянцев Ю.Н., Сайдадь Г.И.** Современные тенденции в конструировании и изготовлении резервуаров для хранения и транспортирования жидкого водорода. – «Технические газы». – 2008, № 1. – С. 53-58.
15. **Кириллов Н. Г.** Когда наступит «водородная экономика»? – НефтьГаз-Промышленность. – 2008, № 1 (37).

Окончание в следующем номере



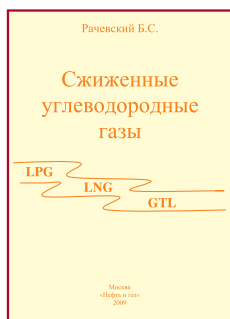
**История газового дела:
историко-технический очерк.
Научное издание.
Самсонов Р.О., Джафаров К.И.
2009. С. 200**

Газовая промышленность России, являющаяся «локомотивом» экономики страны, имеет большую историю, начавшуюся еще в середине XIX в. (1859 г.) на фотонафтильном (керосиновом) заводе В.А. Кокорева (с. Сураханы, г. Баку).

Газовая промышленность стала собственно промышленностью после того, как появилась возможность транспортировать газ на многие сотни километров, газ перестал быть топливом местного значения, а газовая промышленность выделилась в самостоятельную отрасль.

В книге авторов Р.О. Самсонова и К.И. Джафарова «История газового дела: историко-технический очерк» воссоздана целостная картина зарождения и становления газовой промышленности в дореволюционной России и СССР (1811-1956 гг.). Большинство приведенных сведений основано на материалах из Российского государственного архива экономики, Российского государственного архива социально-политической истории, Государственного архива Российской Федерации и других архивов. Главы книги посвящены началу газового дела в России, становлению газовой промышленности в СССР в 1920-1940 гг., проблемам транспортировки газа в 1941-1950 гг., особенностям управления газовой промышленностью. В очерке восстановлены имена некоторых инженеров и техников, а также организаторов газовой промышленности, внесших значительный вклад в становление газового дела: Ф.А. Рустамбеков, М.Х. Шахназаров, Ф.Ф. Нестеров, Г.Г. Петров, А.И. Израилевич, И.Н. Стрижов и другие.

Материалы данной книги представляют интерес для специалистов и научных работников газонефтяной отрасли, студентов и аспирантов высших учебных заведений, а также для всех читателей, интересующихся историей развития газовой промышленности.



**Учебное пособие.
Рачевский Б.С.
Издательство «Нефть и газ».
2009. С. 640**

В книге показано мировое развитие газовой промышленности и, в частности, ее подотрасли, к которой относится производство сжиженных углеводородных газов – сжиженных нефтяных газов (СНГ) и сжиженного природного газа (СПГ), а также целесообразность производства и потребления синтетического жидкого топлива (СЖТ).

Рассмотрены физико-химические свойства жидких и газообразных углеводородов. Даны основы технологии крупнотоннажного и малотоннажного производства сжиженных углеводородных газов, а также синтетического жидкого топлива. Приведены все способы транспортировки и хранения СНГ (LPG) и СПГ (LNG), включая методы расчета систем хранения, перемещения и распределения.

Учебное пособие содержит современный анализ и пути повышения эффективности использования сжиженных углеводородных газов в качестве сырья для химической промышленности, моторного топлива и для автономного газоснабжения населенных пунктов и промышленных объектов.

Особое внимание в книге уделяется рассмотрению вопросов обеспечения промышленной безопасности объектов производства, транспортировки, хранения, распределения и использования сжиженных углеводородных газов.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией систем сжиженных нефтяных газов и сжиженного природного газа, а также синтетического жидкого топлива. Издание может служить учебным пособием при изучении дисциплин газовой отрасли и будет также интересно руководителям и владельцам компаний, занимающихся бизнесом в этой области.

Весь приведенный в учебном пособии материал проиллюстрирован большим количеством формул, примеров, таблиц и рисунков.

Книга написана на основе многолетнего опыта автора, приобретенного за годы работы в газовой отрасли, и проведения им 11 Международных научно-практических конференций «Сжатый и сжиженный газ» в различных странах мира.

Стоимость книги – 2500 руб.

Порядок оплаты и получения книги:

1. Передать в адрес ЗАО «НефтегазТоп» по факсу или электронной почте заявку с указанием организации, количества экземпляров, контактного лица, адреса, телефонов и банковских реквизитов.
2. Получить от ЗАО «НефтегазТоп» счет и оплатить его.
3. Книга будет доставлена в ваш адрес по почте (в Москве и Московской области нарочным).

Контактные телефоны/факсы:

+7 (499) 782-34-27, (499) 782-33-62, (499) 782-31-95 • сайт: www.neftegaztop.ru • e-mail: info@neftegaztop.ru

Биодизель из растительного сырья

Повышение конкурентоспособности за счет переработки отходов производства

А.Ю. Винаров,

профессор, академик международной академии информатизации, сотрудник ОАО «ГосНИИСинтезбелок (Москва), д.т.н.,

Е.Н. Дирина,

сотрудник ОАО «ГосНИИСинтезбелок», к.т.н.

В работе рассмотрена общая комплексная схема производства биодизеля от получения растительного сырья до конечных продуктов, обозначены основные отходы производства, а также вовлеченные в процесс сырьевые и энергетические ресурсы. Представлен обзор возможных путей утилизации основных отходов биодизельных производств – шрота и глицерина. Приведено обоснование выбора целевых продуктов биоконверсии отходов, обеспечивающих конкурентоспособность биодизеля, и предложена схема производства биодизеля с замкнутыми технологическими и энергетическими потоками.

Преимущества и перспективы получения биотоплива из возобновляемого растительного сырья и положительные экологические аспекты его использования не вызывают сомнения и подкреплены успешными результатами применения биотоплива во многих странах. Согласно экспертным прогнозам (2-й Международный конгресс «Биодизель-2007») к 2030 г. мировое производство биотоплива достигнет 150 млн. т. Однако на сегодня экономическая эффективность применения биотоплива, по сравнению с традиционным жидким нефтяным топливом на основе нефтепереработки, не очевидна и требует дальнейших разработок, направленных на повышение его конкурентоспособности.

В настоящее время наиболее развито практическое использование биоэтанола, получаемого по отработанной биотехнологии сбраживания различных видов возобновляемого сырья, преимущественно зернового, с учетом технологических и экономических проблем при переработке целлюлозосодержащих отходов.

К другому перспективному биотопливу 2-го поколения относится биобутанол, получаемый по традиционной схеме ацетонобутилового

брожения с применением дешевых источников сырья (древесные отходы и отходы сельскохозяйственных растений). Новые направления ферментативной обработки сырья и генно-инженерной модификации штаммов микроорганизмов позволят в дальнейшем существенно интенсифицировать технологию получения биобутанола и сделать его конкурентоспособным биотопливом.

В последние годы большой интерес и все большее развитие получает производство биодизеля, имеющего ряд положительных отличий: доступное сырье, интенсивная технология получения, возможность эффективной утилизации полезных отходов.

Биодизель (метилвый эфир) имеет высокое цетановое число – 51-58, для минерального дизтоплива – 42-45. Очевидны преимущества биодизеля по показателям продуктов сгорания: монооксида углерода, углеводородов, остаточных частиц и сажи. Биодизель может использоваться в качестве альтернативного моторного топлива в обычных двигателях внутреннего сгорания как самостоятельно, так и в смеси с обычным дизтопливом, без внесения изменений в конструкцию двигателя. Сырьем для производства биодизеля могут быть различные растительные масла: рапсовое, подсолнечное, соевое, арахисовое, пальмовое, хлопковое, льняное, кокосовое, кукурузное, горчиное, касторовое, конопляное, кунжутное, а также отработанные масла и животные жиры.

Основными этапами классической технологии производства биодизеля являются отжим масла из семян масличных культур и проведение реакции этерификации с получением метилвых эфиров жирных кислот (биодизеля). В результате, помимо целевого продукта биодизеля, в комплексном производстве образуются в качестве отходов:

- растительный шрот на этапе отжима масла;
- трехатомный спирт глицерин как биопродукт в результате проведения реакции этерификации (рис. 1).



Рис. 1. Основные этапы производства биодизеля



Оба вида отходов имеют значительный потенциал для их эффективной утилизации. Однако выбор того или иного целевого продукта биоконверсии должен определяться высокой стоимостью конечного продукта биоконверсии для снижения себестоимости биодизеля или возможностью организации замкнутых циклов производства для снижения затрат на сырье, электроэнергию, тепло.

Рассмотрим подробнее возможные пути утилизации глицериновых стоков и растительного шрота. В настоящее время разработан ряд технологий, позволяющих утилизировать или перерабатывать отходы промышленных предприятий, содержащие глицерин. Можно выделить два основных направления их реализации, основанные на физико-химических и биологических методах (рис. 2).

Первым этапом в процессе очистки глицерина физико-химическими методами является отделение жиров и других органических компонентов путем центрифугирования и/или фильтрации. Окончательную очистку обычно производят путем вакуум-выпаривания. В последнее время все более широкое применение находят методы электродиализа и нанофильтрации для очистки глицериновых стоков производства биодизеля. Таким способом проводится очистка глицерина с целью последующей реализации его в различных отраслях промышленности. Однако в связи с увеличением мирового производства биодизеля в настоящее время наблю-

дается перепроизводство очищенного глицерина, что влечет за собой необходимость рассматривать альтернативные пути его утилизации, в частности, все большее значение приобретает биологическая обработка глицериновых стоков с получением целевых продуктов микробиологического синтеза.

Биологическая трансформация глицерина в клетках микроорганизмов возможна в анаэробных и аэробных условиях путем окисления, неполного окисления (окислительного брожения) и сбраживания определенными группами микроорганизмов, при этом метаболический путь определяет состав конечных продуктов трансформации.

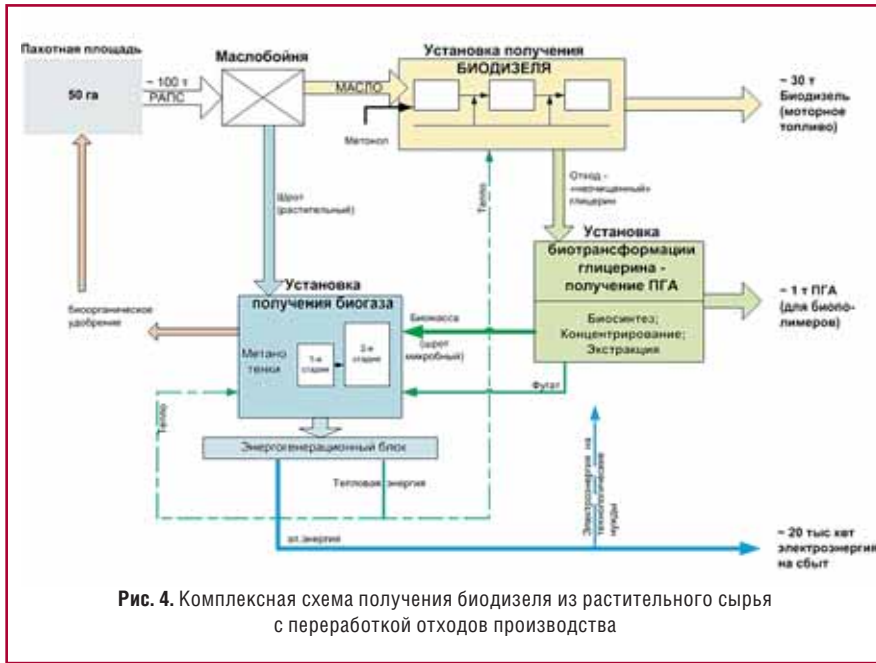
В настоящее время изучены анаэробные процессы биоконверсии глицерина в 1,3-пропандиол, ацетат,

бутират, биогаз и другие целевые продукты. Большинство из них востребованы в химической и других отраслях промышленности. В аэробных условиях различные группы бактерий способны продуцировать биополимеры, водород, дигидроксиацетон, лимонную кислоту и другое с использованием глицерина в качестве субстрата.

В настоящее время нами проанализирован один из наиболее интересных и перспективных путей биoutilization глицеринового отхода с получением в качестве целевого продукта полигидроксиалкоаноатов (ПГА), сырья для получения биоразлагаемых пластиков. ПГА являются классом природных полиэфиров, продуцируемых широким спектром различных микроорганизмов. Получаемые биологическим путем ПГА имеют структуру, схожую с синтетическими полимерами, в настоящее время используемыми в медицине, пищевой промышленности и сельском хозяйстве. При этом известно, как минимум, сто различных видов мономеров гидроксикислот, которые могут быть вовлечены в структуру полимеров ПГА, и этот список продолжает расти. На рис. 3 представлена общая химическая формула ПГА, где $x = 1-4$; $n = 1000-10000$; R = акриловые группы (C_mH_{2m+1}) или функциональные акриловые группы.

Однако до настоящего времени биотехнология получения ПГА осно-





вывалась на стерильном культивировании селекционированного штамма. Перспективным и экономически выгодным направлением проводимых исследований является замена стерильного выращивания монокультуры на промышленное применение смешанных культур микроорганизмов и проведение нестерильного процесса ферментации, что позволяет получать основу для биоразлагаемых пластиков в количестве около 3 кг на 100 кг биодизеля при коммерческой цене продукта порядка 6-7 долл. США за 1 кг.

Другим отходом комплексного производства биодизеля является растительный шрот, получаемый при отжиме масла. Анализ его химического состава, представленный ниже в таблице, позволяет сделать вывод о возможности его использования по следующим направлениям:

- непосредственно в корм скоту без предварительной обработки;
- в качестве субстрата для получения кормового белка;
- в качестве субстрата для получения кормового витамина B12;

■ в качестве субстрата для получения биогаса.

Использование шрота, прежде всего рапсового, непосредственно в корм скоту лимитируется содержанием в нем токсичных веществ из группы тиогликозидов, уровень которых в корме для скота не должен превышать 1%. В связи с этим целесообразным представляется микробиологическая переработка шрота в кормовую белок, витамин B12 или биогаз. Последний путь утилизации выглядит наиболее интересным ввиду того, что получаемый биогаз после его обработки на энергетической установке с высоким коэффициентом эффективности может перерабатываться в электрическую энергию и тепло. При этом, например, из 2 т шрота выход электроэнергии после переработки полученного биогаза составляет порядка 1 тыс. кВт. Использование полученных теплоэнергетических потоков в цикле производства биодизеля, а также при биотрансформации глицерина позволяет организовать замкнутые технологические

Таблица

Наименование показателя	Соевый шрот	Кукурузный шрот	Подсолнечный шрот	Рапсовый шрот
Протеин	45%	20%	39%	43%
Клетчатка	7%	12%	23%	13%
Жир	1,5%	3%	1,5%	6%

и энергетические циклы, что значительно снижает затраты на производство биотоплива и, как следствие, его себестоимость. Биоорганическое удобрение на основе биомассы из метантенков может быть использовано для улучшения плодородия пахотных площадей, вовлеченных в культивирование сырья для биодизеля, например, рапса.

С учетом вышеизложенных способов переработки отходов биодизеля предлагаемая комплексная схема его получения из растительного сырья включает следующие установки:

■ по получению биодизеля из растительного масла (например, рапсового);

■ биотрансформации глицерина (например, в полимерные материалы);

■ по получению биогаза с использованием в качестве субстрата растительного и микробного шрота, получаемых в технологических процессах.

Создание предлагаемой энергонезависимой схемы на заданную мощность с рассмотренными методами переработки отходов производства биодизеля позволит выпускать биодизель, который может составить конкуренцию традиционному дизельному моторному топливу.

Пример такой схемы для «локального» получения биодизеля мощностью 30 т/г. приведен на рис. 4. Для обеспечения годовой работы установки необходимо порядка 100 т рапса (50 га пахотных площадей), при этом получается до 30 т биодизеля, 1 т биополимеров из глицериновых отходов, около 20 тыс. кВт «свободной» электроэнергии и порядка 70 т биоорганического удобрения, направляемого на поля для выращивания следующего урожая маслических культур. Схема является безотходной и, благодаря замкнутым циклам, обеспечена теплом и электроэнергией, что позволяет осуществлять работу в автономном режиме с минимальными эксплуатационными затратами.

По материалам журнала «Биоэнергетика», № 4 (13)



Требования по подготовке статей к опубликованию в журнале

Редакция доводит до сведения авторов требования, которые необходимо соблюдать при предоставлении статей для публикации.

Все статьи должны обязательно сопровождаться краткими аннотациями и ключевыми словами на русском, а также (по возможности) на английском языках. Материалы статей должны быть представлены на любом электронном носителе в программе WinWord с указанием имени файла и с приложением данного текста в распечатанном виде. Объем статьи – не более 8 стр. формата А4 по 1800 знаков с пробелами на каждой. Всего 14 400 знаков с пробелами.

Представленный текстовый материал с иллюстрациями и таблицами должен иметь сквозную нумерацию. В текстовом материале не должно быть рукописных вставок и вклеек. Статьи, напечатанные на пишущей машинке, не принимаются. Электронный вид статьи должен точно соответствовать материалам на бумажном носителе.

Графический материал должен быть выполнен в формате, обеспечивающем ясность всех деталей рисунков. Формулы и символы должны быть четкими и понятными. Все обозначения в формулах необходимо расшифровать. Нумеруются только те формулы, на которые сделаны ссылки в тексте. Обозначения физических величин и единиц измерений необходимо давать в Международной системе единиц (СИ). Обязательно соблюдение действующих ГОСТов. На электронном носителе текст и рисунки должны быть выполнены в программе Microsoft Word с обозна-

чением файлов шрифтов в формате tif, rtf, doc. Иллюстрации – в формате tif (300 dpi, CMYK), eps, jpg, jpeg, cdr. Отдельно необходимо представить список подрисовочных подписей. Не следует форматировать текст самостоятельно.

При пересылке материалов по e-mail следует сопровождать их пояснительной запиской (от кого, перечень файлов и т.д.). Объемные файлы должны быть заархивированы. При подготовке статей к печати необходимо руководствоваться документами, определяющими правила передачи информации через СМИ.

Статья должна содержать следующие сведения об авторе (авторах): ФИО полностью, должность, ученая степень (если есть), почтовый и электронный адреса, контактные телефоны (служебный, домашний). Авторский коллектив должен указать ответственное лицо, с которым редакция будет вести переговоры в процессе подготовки статьи к изданию. В список литературы включаются источники, на которые есть ссылки в статье. Ссылаться можно только на опубликованные работы. Список литературы составляется в порядке употребления. В нем приводятся следующие сведения: фамилия и инициалы авторов, название работы; для журнала – название, год издания, номер, страницы, на которых размещена статья; для книг – место и год издания, издательство, общее число страниц. Редакция оставляет за собой право редакторской правки и не несет ответственности за достоверность публикации. Все внесенные изменения и дополнения в представленную к изданию статью согласовываются с автором или представителем авторского коллектива.

Принятые для печати в журнале «Транспорт на альтернативном топливе» материалы публикуются на безгонорарной основе.



1949-2009

30 мая 2009 г. на 60-м году жизни скончался заведующий кафедрой нефтепродуктообеспечения и газоснабжения РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, профессор Александр Дмитриевич Прохоров.

Александр Дмитриевич родился 17.06.1949 г. в Москве в семье служащих. После службы в рядах Советской Армии успешно закончил вечернее отделение Московского института нефтехимической и газовой промышленности им. И.М. Губкина. В дальнейшем вся его трудовая деятельность была тесно связана с работой на различных должностях в РГУ им. И.М. Губкина.

За время своей профессиональной деятельности в этом университете он прошел все ступени роста от младшего научного сотрудника до заведующего одной из ведущих кафедр РГУ И.М. Губкина.

В 1978 г. он защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук, а в 1999 г. – на соискание ученой степени доктора наук.

Он был одним из крупнейших ученых в стране в области нефтепродуктообеспечения и газоснабжения – важнейшей отрасли российской промышленности. Являлся автором четырех патентов, более 130 научных работ, в том числе шести учебников для студентов высших учебных заведений РФ. Подготовил 8 кандидатов технических наук.

Являлся членом-корреспондентом РАЕН, членом диссертационного совета РГУ нефти и газа И.М. Губкина, ученым секретарем ученого совета университета, экспертом в комиссиях ГКНТ СССР и РФ, Министерства природных ресурсов России, Экспертного Совета Правительства РФ, Государственной экологической экспертизы Ростехнадзора РФ по проектам магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, морских терминалов и нефтебаз.

Александр Дмитриевич тесно сотрудничал с ОАО «Газпром», являлся членом научно-технического совета «Газпрома».

Большую помощь А.Д. Прохоров оказывал редакции Международного научно-технического журнала «Транспорт на альтернативном топливе», являясь членом редколлегии журнала.

За свою многолетнюю творческую работу Александр Дмитриевич был награжден многими медалями, был лауреатом премии имени академика И.М. Губкина, являлся почетным работником высшего профессионального образования РФ.

Выражаем глубокое соболезнование родным, близким и друзьям Александра Дмитриевича в связи с его преждевременной кончиной.

**Национальная газомоторная ассоциация
Редакция журнала «Транспорт на альтернативном топливе»**

Подписка – 2009

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, transport.er@oeg.gazprom.ru • www.ngvrus.ru

Уважаемые читатели!
Продолжается подписка на 2009 г.

Расценки на подписку на 2009 г. (с учетом почтовых расходов)	Годовая, 6 номеров	Полугодовая, 3 номера
Россия	2970 руб. (2700 руб. + 10% НДС)	1485 руб. (1350 + 10% НДС)
Страны СНГ: Азербайджан, Армения, Белоруссия, Казахстан, Киргизия, Молдавия, Таджикистан, Туркмения, Узбекистан, Украина	2970 руб. (120 долл. США или 80 евро)	1485 руб. (60 долл. США или 40 евро)
Страны Европы	170 евро	100 евро
Австралия и Океания, Азия, Африка, Северная и Южная Америка	230 долл. США	155 долл. США

Отдельные экземпляры журнала – **(450 руб. + 10% НДС = 495 руб.)** можно приобрести в редакции.
Электронная версия журнала за 2009 г. (формат PDF, 6 номеров):
– для РФ и стран СНГ – **1200 руб., включая НДС 18%**.
– для стран Европы, Азии, Америки, Австралии, Океании – **100 долл. США**.

Годовую подписку на 2009 г. (шесть номеров) можно оформить по факсу, электронной почте или непосредственно в редакции; также через агентства «Роспечать» (подписной индекс **72149**), «Межрегиональное агентство подписки» (Каталог Российская пресса–Почта России, подписной индекс **12718**).

Стоимость размещения рекламных полноцветных материалов в журнале:

В текстовом блоке	В рублях	В долларах США	В евро
1 страница (210×290 мм)	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.