

УДК 621.43

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВС И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ

В.А. Бурцев, ООО «Газомотор-Р» / О.Ф. Бризицкий, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» /
В.А. Кириллов, ИК СО РАН / В.Я. Терентьев, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Истощение запасов углеводородного топлива и ухудшение экологии ставят перед человечеством серьезные задачи по поиску эффективных технологий использования этого сырья, а также поиска нового альтернативного топлива.

История развития человечества от древнейших времен до настоящего времени шла по неуклонному пути повышения в топливе доли водорода: от нескольких процентов в дровах до рекордных 25% в самом эффективном топливе XXI века — природном газе. Логическим продолжением этой тенденции является стремление к переходу на 100%-е водородное топливо. Правительства отдельных государств и специалисты объявили XXI век началом перехода к водородной энергетике. Однако, даже неспециалистам в этой области ясно, что дело это не только не простое, но и не такое однозначное, как может показаться с первого взгляда. Достаточно вспомнить хотя бы о том, что водорода в чистом виде в природе нет, т.к. он является сильным восстановителем и сразу вступает в реакцию с кислородом воздуха и для его производства необходимо затратить довольно большое количество энергии и сырья, поэтому водород — это не топливо, а только вторичный энергоноситель. Водород является не только дорогим, но и непрактичным энергоносителем, т.к. очень легкий и воспламеняется в широких пределах, создает проблемы с хранением и обеспечением безопасности, поэтому полный переход к водородной энергетике является очень проблематичным.

Самым прагматичным представляется подход к использованию водорода как энергоносителя, когда устраняются его недостатки и сохраняются достоинства.

Поскольку основную долю углеводородного топлива потребляет сегодня транспорт, то удобнее

все вопросы рационального использования водорода рассмотреть в этой области. Наше исследование, проведенное совместно с автомобильными фирмами, показывает, что в ближайшие 20–30 лет на транспорте будет доминировать двигатель внутреннего сгорания (ДВС), поэтому его и будем рассматривать для анализа различных видов топлива. Попытки перевести ДВС на водород ведутся давно, но заметных успехов мало, и связано это, прежде всего, с особенностями водорода. Автомобиль с водородным ДВС имеет малый пробег, плохую динамику, повышенную опасность и стоимость, а самое главное — для него нет топлива. Никто в мире не будет строить в массовом масштабе водородные заправочные станции, вкладывая туда огромные деньги, пока не убедится в их эффективном вложении. Так что водородные ДВС очень долго будут просто выставочными экземплярами. Выход из этой ситуации можно найти, используя водород не как основное топливо, а как иницирующую добавку, улучшающую качество сгорания моторного топлива. О том, что водород, а также смесь водорода и окиси углерода могут выступать в качестве иницирующих центров при сгорании углеводородного топлива, можно найти в работах академиков Н.Н.Семенова и Я.Б.Зельдовича. Двигатели внутреннего сгорания, а также автомобили, оснащенные дополнительными баками с водородом, созданы были во всех странах, в том числе и в Российской Федерации, и успешно эксплуатировались. Поскольку, в такой технологии необходимо всего 5–10% водорода от основного топлива, то это был определенный шаг вперед по сравнению с чисто водородным ДВС. Но даже в этом случае необходим водород и небольшие заправочные станции водородом, интегрированные с обычными заправочными станциями. При этом водород можно не только заправлять в отдельные емкости, но и заранее готовить газовую смесь — природный газ+водород, именуемую гайтаном, и использовать

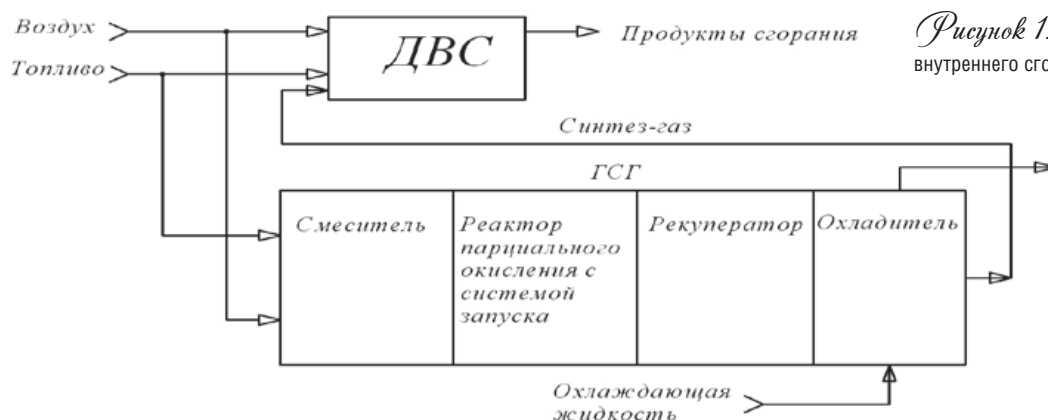
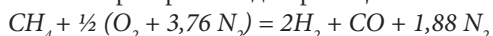


Рисунок 1. Схема питания двигателя внутреннего сгорания и генератора синтез-газа

при этом серийный газовый двигатель. Возможен также вариант с расположением устройства получения водорода, в частности электролизера, прямо на борту автомобиля. Но для работы электролизера нужен мощный источник электроэнергии и дистиллированная вода, что также ограничивает применение такой технологии.

По нашему мнению, наиболее рациональным будет способ получения водорода на борту без применения дистиллированной воды и электричества. Такой способ известен в большой химии — парциальное окисление топлива, или воздушная конверсия топлива. В специальном реакторе в присутствии катализатора происходит реакция:



с образованием синтез-газа, в составе которого находится $\approx 50\%$ смеси водорода и монооксида углерода, которые и являются иницирующей добавкой, улучшающей сгорание углеводородного топлива.

Опыты, которые были проведены на ОАО «АВТОВАЗ», показали, что добавки такого синтез-газа по своему физико-химическому воздействию на процесс сгорания равносильны добавкам чистого водорода. Оставалось только одно — адаптировать известную технологию получения синтез-газа к новым условиям, т.е. разработать компактную, дешевую, динамичную систему, способную работать совместно с ДВС.

Наши первые исследования в этом направлении показали, что данная задача очень непростая — каталитические реакторы, а это основа генераторов синтез-газа, получались громоздкими, а время их запуска было более 30 минут, что неприемлемо для

любого транспорта. Понадобилась многолетняя работа, прежде чем был разработан генератор синтез-газа, проведены его автономные испытания, создана микропроцессорная система управления генератором, адаптированная с соответствующей системой ДВС. Последняя модификация генератора синтез-газа с двигателем ЗМЗ-40522.10 была отработана на Заволжском моторном заводе и установлена на автомобиле «Соболь». На рис. 1 представлена схема питания ДВС и генератора синтез-газа.

Необходимо отметить, что работе предшествовал цикл работ с ОАО «АВТОВАЗ», где также проводились испытания генератора синтез-газа, правда, управление было стендовое, а микропроцессорную систему управления установили только на двигателях Заволжского моторного завода. Именно при испытаниях на АВТОВАЗе впервые была показана возможность снижения выбросов NOx и CO и повышения КПД (табл. 1).

На рис. 2 и 3 показаны последние модификации каталитического реактора и генератора синтез-газа. Генератор синтез-газа состоит из каталитического реактора и микропроцессорной системы управления, включая бортовой контроллер, фильтры, клапаны, редуктор и т.п. Каталитический реактор выполнен в виде интегрированного по теплу блока, состоящего из газового устройства поджига, смесителя, каталитической камеры, рекуператора и теплообменника. При массе 7 кг реактор занимает объем 5 литров, производительность его до 25 м³/час синтез-газа, время запуска 15 секунд, температура газов в реакторе 900°C. Состав газа на выходе реактора: H₂ = 32÷35%, CO = 16÷18%, остальное — N₂. В зимнее

Таблица 1

Режим работы ДВС	Снижение расхода топлива, %	Снижение NOX	Снижение CO	Снижение CH
Холостой ход (n=850 об/мин)	35	в 5–7 раз	на 5%	в 3 раза
Режим частичных нагрузок n=2185 об/мин, Mpe=0,2 МПа	20		на 20%	в 1,5 раза



Рисунок 2.
Каталитический
реактор

время каталитический реактор, в принципе, может выполнять также функции пускового подогревателя воздуха.

Результаты испытаний генератора синтез-газа совместно с ДВС ЗМЗ-40522.10 показаны в табл. 2, на рис. 4 — автомобиль «Соболь» с генератором синтез-газа.

Автомобиль «Соболь» с установленным генератором синтез-газа участвовал в автопробеге «Голубой коридор» наравне с серийными и опытными образцами автомобилей и автобусов, работающих на природном газе. Однозначно можно сделать вывод об экологических преимуществах автомобиля «Соболь» с генератором синтез-газа, продемонстрированных во время пробега, по сравнению с двигателями автомобилей, работающими на природном газе. В частности, выбросы NOx были на два порядка ниже и составляли единицы ppm, при этом на автомобиле отсутствовал нейтрализатор выхлопных газов.

Сегодня с полной уверенностью можно констатировать, что премьера генератора синтез-газа на автомобиле состоялась, и она продемонстрировала

преимущества указанной технологии по сравнению с серийными образцами транспортных средств, работающих на природном газе:

- полностью используются потенциальные возможности природного газа с высоким (25%) содержанием водорода, высоким (130 единиц) октановым числом и способностью легко реформироваться в синтез-газ;
- не требуется изменение инфраструктуры снабжения топливом;
- не требуется на борту дистиллированная вода и электролизер;
- не требуется многокомпонентный нейтрализатор выхлопных газов на драгметаллах;
- резко снижаются вредные выбросы;
- реализуется возможность работать на бедных смесях (α до 1,7), что невозможно на чистом топливе, благодаря чему за счет снижения насосных потерь экономится основное топливо;
- не применяются драгметаллы, что снимает вопрос о массовом применении данной технологии.

Немного о перспективах применения указанной технологии. Для демонстрации был выбран самый трудный в исполнении сегмент рынка, а именно легковой автотранспорт и микроавтобусы. При ориентировочной стоимости генератора синтез-газа для этих целей (серия 30 тыс. шт./год и выше) \approx 20 тыс. руб., окупаться он будет за 1–2 года. При этом необходимо будет организовать серийное производство, а также производство катализаторов. В случае

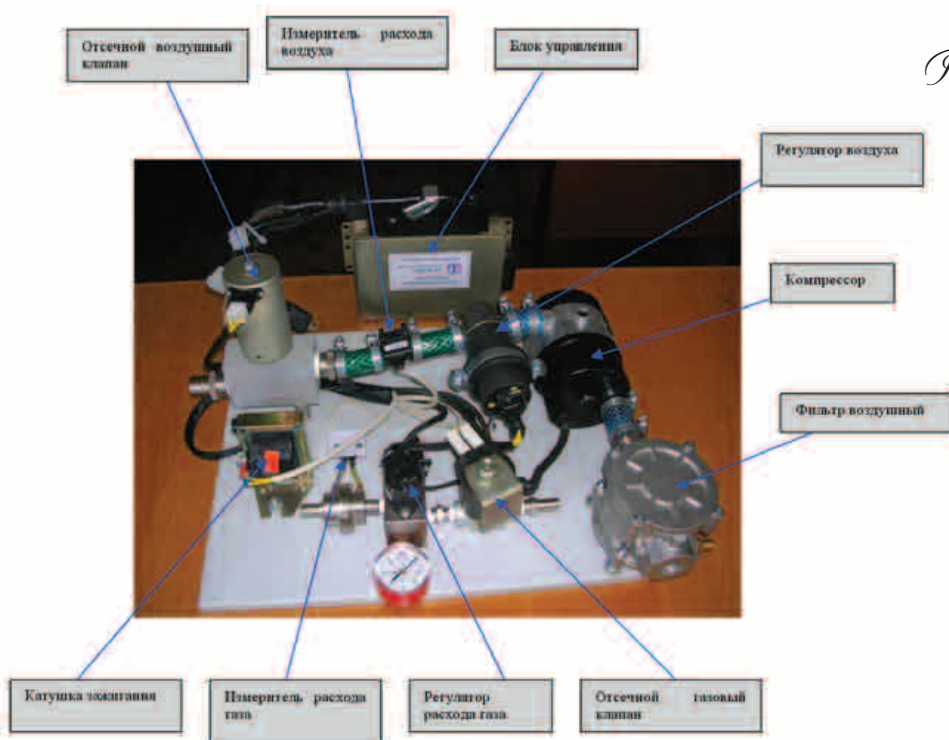


Рисунок 3. Генератор синтез-газа

Таблица 2

Режим работы ДВС	Снижение выбросов CO	Снижение выбросов	Снижение расхода
n=1088 об/мин	13,6 раза	13 раз	16,7
n=1861 об/мин	18,2 раза	215 раз	12,5
n=2886 об/мин	6,5 раза	36 раз	15,8
n=3694 об/мин	7,5 раза	6,9 раза	4,3

реализации приведенной схемы это будет второй в мировой практике случай массового применения катализаторов. Первый произошел при серийном производстве катализаторов для автомобильных нейтрализаторов.

Принятие решения о массовом производстве генераторов синтез-газа для легковых автомобилей и микроавтобусов будет непростым и, по-видимому, долгим, особенно учитывая необычность продукции и состояние дел в отечественном автопроме. В качестве промежуточного, перед внедрением новой технологии, может быть вариант перехода автомобилей на двухтопливное питание (бензин+природный газ), при этом природный газ будет использоваться преимущественно для работы генератора синтез-газа. Этот вариант позволяет использовать транспорт как при работе на бензине, природном газе или совместно, при этом в последнем варианте, кроме повышения экономических и экологических характеристик, увеличивается еще и пробег без дозаправки. Более быстрым и прагматичным рынком применения генераторов синтез-газа может быть рынок городских муниципальных автобусов. Здесь и серийный выпуск

поменьше, и окупаемость повыше, и авторский надзор, и более профессиональное обслуживание, что очень немаловажно для новой продукции. Понадобится разработка более мощного генератора синтез-газа, но авторы разработки с их опытом создания первых образцов с этим справятся быстро.

Вторым рынком могут быть энергоустановки на базе газопоршневых ДВС. Они работают, практически, в стационарных условиях, и там окупаемость еще выше.

Технология повышения энергетических и экологических характеристик установок за счет добавок синтез-газа является универсальной и применима везде, где происходит сжигание топлива. Мы продемонстрировали это на базе ДВС, однако есть еще как минимум две сферы ее возможного применения. При сжигании топлива в газовых горелках котлов, на ТЭЦ и т.д. можно применять двухстадийное сжигание, при этом реактор встраивается непосредственно в горелку, а сама технология упрощается. Авторы разработали такую горелку и готовы к модернизации серийного выпуска.

Очень привлекательным, но непростым представляется рынок газотурбинных установок. Здесь, по нашему мнению, необходимо разработать еще более компактный реактор с повышенным давлением, работающим в режиме как парциального окисления, так и в автотермическом режиме.

Команда разработчиков готова к работам во всех перечисленных выше сегментах рынка и открыта к сотрудничеству.

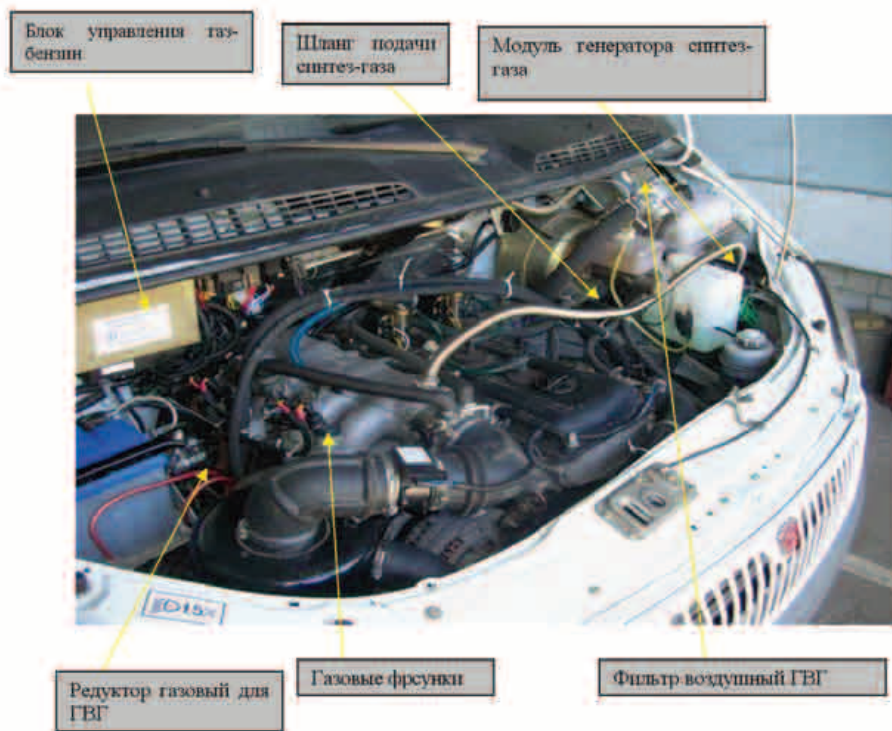


Рисунок 4. Автомобиль «Соболь» с генератором синтез-газа

Благодарим Агентство по науке и образованию РФ за финансовую поддержку работы по разработке генератора синтез-газа в рамках государственного контракта от 08.08.2007 № 02.526.11.6005.