

УДК 621.43

А.В.Лебедев (6 курс, каф. ДВС), Ю.В.Галышев, к.т.н., проф.

## ПРОБЛЕМЫ КОНВЕРТИРОВАНИЯ ДВС НА ВОДОРОДНОЕ ТОПЛИВО

Интерес к возможности использования водорода как альтернативы углеводородным топливам существует достаточно давно. К исследованиям в этой области побуждают как экономические, так и экологические причины. Во многих литературных источниках водород характеризуется как «идеальное» топливо. При этом указывают на его распространенность в природе, на высокую удельную теплоту сгорания и отсутствие вредных веществ в продуктах сгорания. В действительности подобный оптимизм не во всем оправдан. Начать с того, что хотя водород действительно самый распространенный на земле элемент, в свободном виде он отсутствует. Основное (по количеству) водородосодержащее вещество — вода. Для выделения из нее водорода требуется затрата энергии, превышающая то ее количество, которое может быть получено при сжигании этого топлива в двигателе. Теплота сгорания водорода в расчете на единицу массы втрое превышает соответствующую величину для жидких топлив. Однако теплота сгорания единицы объема стехиометрической водородовоздушной смеси ниже, чем для жидких и газообразных углеводородных топлив. Это означает, что при внешнем смесеобразовании и одинаковом КПД водородный двигатель даст меньшую мощность, чем бензиновый или газовый. Правда, это соотношение можно значительно улучшить, если подавать водород в цилиндр под давлением после закрытия выпускного клапана. Это предполагает хранение водорода под давлением или наличие компрессора. Наконец, тезис о безвредности выхлопа водородного двигателя также требует некоторой корректировки. Действительно, при сжигании водорода в кислородной среде образуется только водяной пар. Следовательно, в отработавших газах отсутствуют такие опасные составляющие, как оксид и диоксид углерода, а также несгоревшие углеводороды и твердые частицы. Однако при сгорании водородовоздушных смесей, как и при сгорании углеводородных топлив, окисляется атмосферный азот, образуя весьма вредные оксиды  $\text{NO}_x$ . Их количество может оказаться даже выше, чем у бензинового двигателя при прочих равных условиях, благодаря более высоким температурам в зоне горения.

Все сказанное вовсе не означает призыва к отказу от попыток создания двигателя, работающего на водороде, а всего лишь указывает на необходимость определенной осторожности. В ограниченном количестве такие двигатели могут, наряду с электромобилями, найти применение для транспорта в условиях предельно жестких ограничений на состав отработавших газов. Кроме того, необходимо вести их разработки и исследования в расчете на перспективу, пусть даже отдаленную. В качестве успешного примера такой разработки можно указать на опыт фирмы BMW, которая планирует серийный выпуск автомобилей модели 750 hL с 12-цилиндровым двигателем мощностью 204 л.с., работающим на водороде. Для хранения топлива используется криогенный бак с запасом, обеспечивающим пробег без дозаправки 320 км. В Мюнхенском аэропорту уже несколько лет действует принадлежащая фирме водородозаправочная станция, обеспечивающая работу этих автомобилей, а также автобусов МАН. Несколько автомобилей было изготовлено для выставки ЭКСПО 2000. Начало серийного производства намечено на 2010 год.

Еще одной проблемой, связанной с переводом существующих двигателей на водородное топливо, является опасность преждевременного ("калильного") воспламенения водородосодержащей смеси. Это приводит к "обратным вспышкам" смеси во впускном

коллекторе — явлению достаточно опасному с точки зрения надежности и безопасности эксплуатации. В качестве основной гипотезы выдвигалось предположение, что к "обратным вспышкам" приводит не самовоспламенение смеси, а ее контакт с нагретыми деталями камеры сгорания, поскольку в условиях опытов объемная температура конца сжатия не могла достигать температуры самовоспламенения (580°C). Специально поставленные эксперименты [1] установили надежную корреляцию между границей "хлопков" во впускном коллекторе и удельным количеством теплоты, подводимой при сгорании, на единицу массы рабочего тела. В результате выяснилось, что бензиновый двигатель, переведенный на водородное топливо без значительной модернизации его конструкции, может нормально работать на водородовоздушной смеси с коэффициентом избытка воздуха не ниже 2. Это приводит к 50 %-ной потере мощности. Более детальное изучение аномалий сгорания показало, что источником преждевременного воспламенения водородовоздушной смеси являются наиболее нагретые поверхности камеры сгорания (тарелка выпускного клапана и керамический изолятор свечи), а также остаточные газы в цилиндре. Для нормального сгорания водородовоздушной смеси необходимо, чтобы температура нагретых деталей камеры сгорания не превышала 700°C, а остаточных газов — 600°C.

Как уже отмечалось, существенным недостатком водородного ДВС является возможно высокие выбросы оксидов NO<sub>x</sub>. Для их уменьшения необходимо снижать максимальную температуру рабочего цикла.

Таким образом, конструктивные разработки должны вестись по нескольким направлениям:

1. Устранение контакта горючей смеси с отработавшими газами. Для этого необходимо, чтобы смесь подавалась в цилиндр после закрытия выпускных клапанов. Это реально осуществимо в системах с фазированным и распределенным впрыском топлива через электромагнитные форсунки.

2. Снижение температуры деталей, которая может вызвать воспламенение. В этом плане целесообразно использовать свечи зажигания с большим теплоотводом от изолятора; интенсифицировать охлаждение деталей, в частности, использовать охлаждаемые выпускные клапаны.

3. Снижение температуры цикла за счет охлаждения воздушного заряда в коллекторе и цилиндре. В данном случае эффективным средством является впрыск воды в цилиндр. При хранении водорода в сжиженном виде может использоваться низкая температура самого водорода, который для этого должен подводиться к форсункам в сжиженном виде, предпочтительно непосредственно в цилиндр.

4. Использовать турбонаддув, что обеспечит работу водородного двигателя на бедных топливовоздушных смесях без потери мощности. При этом также значительно снижается температура цикла.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Магидович Л.Е., Румянцев В.В. Условия сгорания водорода-воздушной смеси в двигателях внутреннего сгорания // Двигателестроение. 1983. №5. С. 59-60.
2. Гальшев Ю.В., Магидович Л.Е., Румянцев В.В., Серебренников В.В. Основные принципы выбора и расчета системы водородного питания транспортного двигателя // Рабочие процессы компрессоров и установок с ДВС. Труды ЛПИ, № 419. Л.: Изд-во ЛПИ, 1985. С. 43-45.