

УДК 621.43

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

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА И ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ВОДОРОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Представление о водороде как о "топливе будущего" достаточно прочно утвердилось как среди специалистов, так и в массовом сознании – по крайней мере среди тех, кого вообще интересует будущность энергетики и транспорта. Без преувеличения можно сказать, что две проблемы, которые неотвратимо стоят перед человечеством – истощения запасов углеводородных топлив и опасности нарастающего загрязнения окружающей среды – таят в себе вполне реальную перспективу гибели цивилизации под воздействием ей же созданных угроз. Замена углеводородных топлив водородом могла бы радикально решить их. Действительно, вода, основной продукт окисления водорода, почти не задерживает тепло у поверхности Земли в отличие от углекислого газа, в огромном количестве выбрасываемого в атмосферу не только транспортом, но и всеми тепловыми энергоустановками. Таким образом, проблема "парникового эффекта" снимается полностью.

Из опыта проектирования водородного ДВС и результатов исследований работы двигателя, можно выделить ряд основных проблем, связанных с переводом бензинового двигателя на водородное топливо:

1. Снижение мощности двигателя при внешнем смесеобразовании из-за потери воздушного заряда, поскольку газообразный водород занимает порядка 40 % полезного объема цилиндра. Поэтому необходим непосредственный впрыск водорода при котором потерю воздушного заряда будет исключена.
2. Возникновение калильного зажигания, то есть воспламенение смеси на впуске в результате встречи с остаточными газами и горячими деталями камеры сгорания (изолятор свечи, выпускной клапан). Поэтому подачу водорода необходимо осуществлять после закрытия выпускного клапана для предотвращения контакта водорода с отработавшими газами, а также необходимо снижать температуры деталей камеры сгорания.
3. Из-за высоких скоростей сгорания водородовоздушной смеси значительно увеличиваются максимальные давления и температуры цикла. При этом происходит образование окислов азота, причем возможно даже большее, чем в бензиновом двигателе. Поэтому необходимо либо снижать температуру заряда, например, впрыском водорода в жидком состоянии (что достаточно сложно в техническом плане, так как требуется специальная криогенная аппаратура), либо замедлять скорость сгорания, например, обеднением смеси.

Организовать работу двигателя на водородовоздушных смесях без потери мощности по сравнению с базовым бензиновым двигателем и с минимальными выбросами окислов азота возможно применением наддува с промежуточным охлаждением воздуха.

Для сравнительного анализа различных способов организации рабочего процесса водородного двигателя было проведено расчетное исследование с помощью математического моделирования рабочего процесса и выбросов окислов азота.

Основные принципы моделирования рабочего процесса изложены в публикации [1]. Для задания кривой тепловыделения по формуле И.И.Вибе использовались полуэмпирические зависимости, описанные в [2]. Образование окислов азота в цилиндре моделировалось на основе термической теории Я.Б. Зельдовича. При расчете температур в зоне сгорания использована двухзонная модель.

Анализируя полученные результаты можно сделать ряд выводов:

1. При работе двигателя на обедненной водородовоздушной смеси с $\alpha \geq 2$ возможно получить только 1/3 от мощности бензинового двигателя. Однако при этом максимальная температура цикла и максимальное давление ниже на 30 %, индикаторный КПД на 10 % выше, чем у базового бензинового двигателя. Концентрация окислов азота меньше, по сравнению с бензиновым двигателем, более чем в 40 раз, и составляет 90 ppm (0,009 % по объему). Также отсутствуют такие явления, как хлопки и калильное зажигание.
2. Для увеличения мощности водородного двигателя до уровня мощности серийного бензинового двигателя необходим наддув впускного воздуха с промежуточным охлаждением, при этом давление наддува должно быть не менее 2,0 бар. Данное мероприятие позволяет сохранить коэффициент избытка воздуха не ниже 2,0, при этом максимальные температуры цикла остаются на прежнем уровне и не превышают 1900 К, концентрация окислов азота при этом не превышает 70 ppm.
3. При внутрицилиндровой подаче водорода мощность двигателя может быть доведена до уровня бензинового и даже несколько увеличена за счет более быстрого сгорания смеси, т.к. возможна организация рабочего процесса при $\alpha = 1$ без «хлопков». Однако концентрация окислов азота увеличивается по сравнению с бензиновым вариантом с 0,36 до 0,58 %.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Элементы системы автоматизированного проектирования ДВС. Алгоритмы прикладных программ. Под общ. ред. Р. М. Петриченко. Л.: Машиностроение, 1990.- 328 с.
2. Галышев Ю.В., Вылегжанин Г.А., Румянцев В.В., Серебренников В.А. Влияние пароводородной добавки в рабочую смесь карбюраторного двигателя на процессы сгорания и тепловыделения // Науч. тр. ЛПИ, № 394. Л.: Изд-во ЛПИ, 1983.- С. 29-33.