

трубы при заданных размерах, параметрах температуры и давления за-
торможенного потока на входе в системы термостатирования и давления
холодного потока (атмосферы).

Одно из главных преимуществ данной программы – это получение
результатов проектирования вихревых систем термостатирования без
проведения многочисленных экспериментов, а следовательно без до-
полнительного финансирования исследований и разработок. Расчеты
проводятся многократно с заменой исходных данных, пока все парамет-
ры и характеристики не будут удовлетворять заказчика и изготовителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бирюк В.В. Основы расчета авиационных вихревых систем охлаждения, г. Сама-
ра, 1997 г.
2. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике, г. Самара, 1997 г.
3. Бирюк В.В., Алексеенко В.П., Бронштейн В.М. Исследование работы
вихревых труб для систем термостатирования аэрокосмической техники.

УДК 621.43

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ БЕНЗИН-ВОДОРОД ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ ПОРШНЕВОГО ДВС НА БЕДНЫХ СМЕСЯХ

Бортников Л.Н., Русаков М.М., Афанасьев А.Н., Пелипенко В.Н.

Тольяттинский политехнический институт

Исследования по повышению эколого-экономических характери-
стик поршневых ДВС с искровым зажиганием ведутся в целом ряде на-
правлений. Суть большинства из них сводится к обеспечению устойчи-
вой работы двигателя на бедных топливовоздушных смесях (ТВС). В
частности разрабатываются двигатели, работающие на смесях с коэффи-
циентом избытка воздуха α до 1,5–2,0 [1,2]. При этом стабильность го-
рения достигается расслоением и специальной организацией движения
ТВС, впрыском бензина на такте сжатия и т.д. Вместе с тем известен
способ обеспечения стабильного горения бедных ТВС путем введения
водорода. В этом направлении проведены обширные исследования,
включая разработку способов получения и хранения водорода на борту

автомобиля [3,4,5]. Однако в известных работах нет сведений о методах расчета потребных соотношений бензин-водород, обеспечивающих устойчивую работу ДВС на бедных ТВС. В связи с этим целью данной работы является экспериментальное исследование работы ДВС в широком спектре соотношений бензин-водород и разработка на основе опытных данных методики расчета потребных расходов бензина при задаваемых величинах расходов водорода (или наоборот), которые обеспечивают устойчивую работу двигателей на бедных смесях.

Экспериментальные исследования проводились в моторном боксе, оборудованном необходимыми системами измерений, управления и подачи водорода. В качестве объекта испытаний использовались двигатели с рабочим объемом 0,65–1,5 л и степенью сжатия 8,5–9,9. Результаты, полученных при фиксированных величинах расхода водорода, представлялись в виде зависимостей расхода бензина и содержания токсичных компонентов (CO и CH) в отработавших газах (ОГ) от коэффициента α (регулируемых характеристик). При этом коэффициент α смеси определялся по формуле

$$\alpha = \frac{G_{\text{в}}}{G_{\text{б}} l_{0\text{б}} + G_{\text{н}} l_{0\text{н}}},$$

где $G_{\text{в}}$, $G_{\text{б}}$, $G_{\text{н}}$ – соответственно, расход воздуха, бензина и водорода; $l_{0\text{б}}$ и $l_{0\text{н}}$ – соответственно, стехиометрические соотношения топлива бензин-воздух и водород-воздух.

Для оценки содержания водорода в топливе использовался безразмерный критерий – величина приведенного расхода водорода, которая находилась по формуле $G_{\text{н прив}} = G_{\text{н}} / (G_{\text{н}} + G_{\text{б}})$.

Результаты испытаний двигателя приведены на рис.1 в виде экспериментальных точек. Здесь же представлена кривая предела воспламенения, т.е. зависимость $G_{\text{н прив}}$ от коэффициента α , взятая из работы [3]. Выше кривой находится область устойчивой работы, а ниже – область неустойчивой работы ДВС, для которой характерно наличие пропусков воспламенения и резкое повышение эмиссии CH в ОГ.

Из рис.1 видно, что наиболее эффективно действие водорода на процесс горения ТВС при относительно небольших его добавках (1–5% от $G_{\text{б}}$). Дальнейшее увеличение расхода водорода приводит к простому замещению бензина как горючего. С увеличением доли водорода в топ-

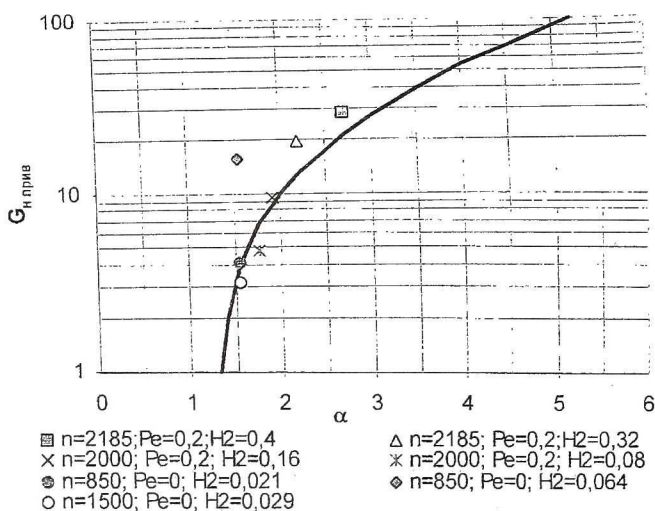


Рис.1. Зависимость приведенного расхода водорода от коэффициента избытка воздуха

ливе снижается расход бензина, расширяются пределы устойчивой работы до $\alpha = 1,3 - 1,5$ и выше, что приводит к снижению эмиссии нормируемых токсичных компонентов. Анализ результатов испытаний показал их соответствие с результатами исследований, представленных в работе [3], что наглядно видно из расположения экспериментальных точек. Вместе с тем наличие одной этой зависимости не позволяет однозначно определить потребные действительные соотношения бензина и водорода, обеспечивающие устойчивую работу ДВС. Для решения этой задачи предлагается следующий безразмерный критерий

$$G_{T-прив} = \frac{G_{\delta} + k \cdot G_H}{G_{\delta 0}},$$

где $G_{\delta 0}$ – расход бензина при соответствующей величине коэффициента α без подачи водорода; k – коэффициент равный отношению теплотворных способностей водорода и бензина.

На рис.2 приведены экспериментальные графики зависимости указанного критерия $G_{T-прив}$ от величины коэффициента α при работе двигателя на холстом ходу (XX) и режиме работы с частотой вращения вала $n = 2000$ об/мин и среднесэфективным давлением, равным $P_e = 0,2$ МПа.

Из рисунка видно, что подача водорода резко влияет на величину $G_{T \text{ прив}}$ до значений коэффициента $\alpha = 1,8-2,0$, а затем наблюдается плавный ход кривой. Кроме того, при $\alpha < 1,4$ изменения величины $G_{T \text{ прив}}$ существенно отличаются для разных режимов работы ДВС. В случае работы двигателя на холостом ходу влияние водорода при $\alpha < 1,4$ проявляется в большей степени, чем на нагрузочных режимах. Это может быть объяснено особенностями процесса горения на этих режимах, например, наличием в ТВС относительно большого количества остаточных газов.

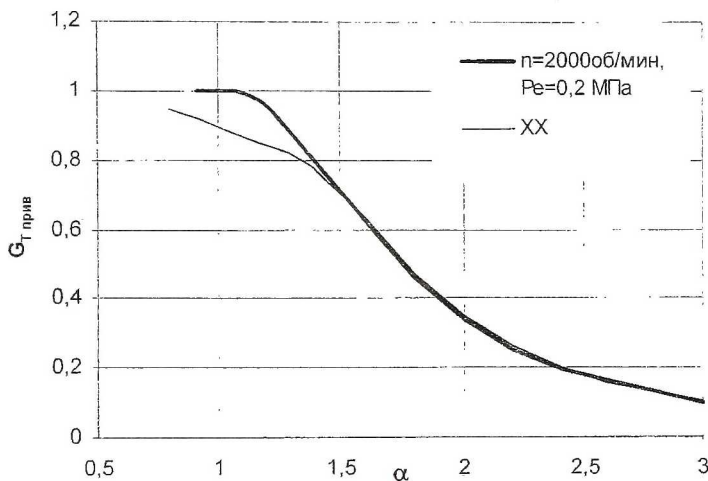


Рис.2. График изменения безразмерного расхода топлива от коэффициента избытка воздуха

Совместное представление обоих безразмерных критериев позволяет получить систему уравнений

$$G_{T \text{ прив}} = \frac{G_{\text{б}} + k \cdot G_{\text{н}}}{G_{\text{б0}}},$$

$$G_{\text{н прив}} = \frac{G_{\text{н}}}{G_{\text{н}} + G_{\text{б}}},$$

решение которой определяет конкретное соотношение водорода и бензина в бензоводородовоздушной смеси, соответствующее границе устойчивой работы ДВС, определенной в соответствии с графиком на рис.1.

На рис.3 и 4 приведены результаты исследований работы двигателя соответственно на холостом ходу $n = 850$ об/мин и на нагрузочном режиме, характеризуемом числом оборотов $n = 2000$ об/мин и средне эффективном давлением равным $P_e = 0,2$ МПа. Во всех опытах угол опережения зажигания (УОЗ) устанавливался оптимальным.

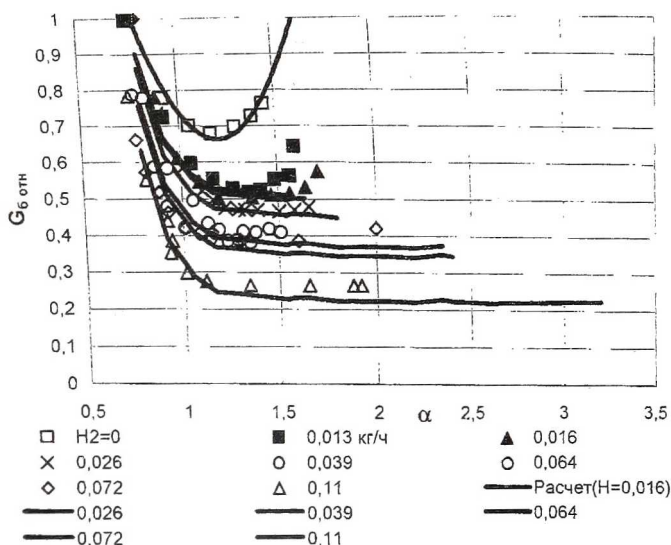


Рис.3. Сравнение расчетных и экспериментальных данных ($P_e = 0$ МПа, $n = 850$ об/мин, УОЗ = опт.)

Из рис.3 и 4 видно как в зависимости от коэффициента α при фиксированных расходах водорода располагаются экспериментальные точки величины относительного расхода бензина $G_{б\text{ отн}} = G_{б} / G_{бх}$, где $G_{бх}$ – расход бензина на выбранном режиме. Здесь же сплошными линиями показаны графики зависимостей, построенных по результатам расчетов по разработанной нами методике расчета потребных расходов бензина (водорода) при задаваемых величинах расходов водорода (бензина), которые обеспечивают устойчивую работу двигателей на бедных смесях.

Сравнение экспериментальных точек и графиков зависимостей на рис.3 и 4 показывает соответствие расчетных и экспериментальных данных. При этом следует отметить, что при $\alpha > 1,4$ в данной методике применяются фиктивные значения $G_{б0}$, полученные аппроксимацией исходных данных полиномом второй степени, что связано с невозмож-

ностью осуществления процесса горения в ДВС с искровым зажиганием при таких величинах коэффициента α . Однако, как видно из графиков, такой подход позволяет с достаточной точностью определять минимальные значения $G_{б\text{ опт}}$ вплоть до пределов устойчивого горения, которые находятся для каждого режима работы двигателя при допущении о малости изменения расхода бензина в диапазоне его минимума в соответствии с зависимостью рис.1.

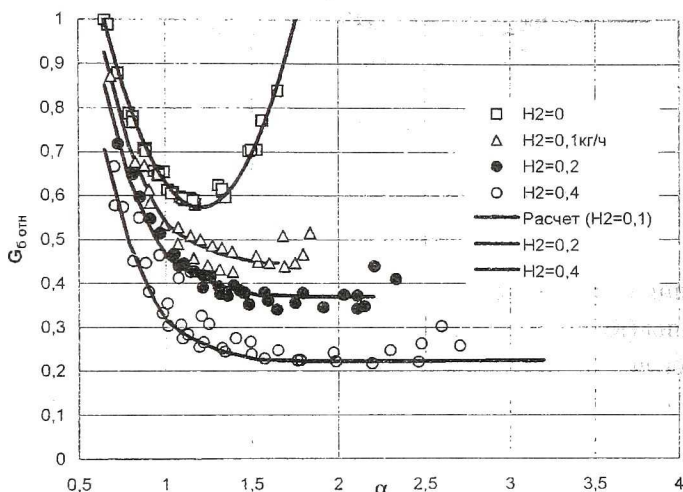


Рис.4. Сравнение расчетных и экспериментальных данных ($Pe = 0,2$ МПа, $n = 2000$ об/мин, УОЗ = опт.)

Таким образом, на основании результатов экспериментальных испытаний разработана методика расчетной оценки соотношения бензин-водород, которая может использоваться для определения потребных расходов бензина и водорода для обеспечения устойчивой работы ДВС на бедных смесях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДВС с непосредственным впрыскиванием топлива. Ультра бедный двигатель / Зленко М.А. и др.// Автомобильная промышленность, 1999, №1.
2. Automotive Environment Analyst, 1998, № 36.
3. Мищенко А.И. Применение водорода в автомобильных двигателях.— Киев, Наукова думка, 1984.— 143с.

4. Злотин Г.Н., Гибадуллин В.З. Если водород подать в конце такта сжатия./ Автомобильная промышленность, № 11, 1995.
5. Бортников Л.Н. и др. Токсичность отработавших газов при добавке водорода./ XI симпозиум по горению и взрыву, Черногловка, 1996, 129–130с.

УДК 621.452.3.034

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИКАЦИЙ АВИАЦИОННОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДЛЯ ГТД НАЗЕМНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Волков С.А.

Центральный институт авиационного моторостроения, г. Москва

При конвертировании авиационных ГТД в двигатели наземного применения необходимо существенным образом модифицировать камеру сгорания (КС) в связи с заменой топлива, предъявлением более жестких экологических требований, необходимостью многократно увеличить ресурс и т.д. Отечественные предприятия обладают значительным опытом в этой области [1-3]. На рисунке 1 представлено обобщение данных по доработке авиационных КС с целью снижения выбросов (эмиссии) оксидов азота (NO_x) при сжигании газообразного топлива до нормируемого уровня - одного из основных требований к наземным установкам.

Прослеживается известная тенденция возрастания концентрации NO_x в продуктах сгорания с увеличением степени повышения давления π_x . Путем конструктивных доработок при сохранении типа КС удается уменьшить концентрацию NO_x примерно в 2 раза от исходного уровня. В случае принципиального изменения типа КС удастся уменьшить концентрацию NO_x до меньшего уровня. Однако при этом возникает ряд сложных проблем с организацией рабочего процесса в таких камерах, увеличивается стоимость КС и системы топливоподачи, снижается надежность работы камеры и т.д. Поэтому естественным является желание сохранить тип КС и путем ее модификации и относительно простых конструктивных приемов достигнуть минимально возможных концентраций NO_x и оксида углерода (CO) при устойчивом процессе сжигания топлива.