

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

© 2010 А.П. Шайкин, В.В. Смоленский

Тольяттинский государственный университет

Поступила в редакцию 14.12.2010

Рассматриваются проблемы создания высокоэнергоэффективных двигателей для транспортных средств. Полученные результаты на основе эффективности работы двигателя показывают большие преимущества разрабатываемой системы контроля.

Ключевые слова: двигатели, транспортные средства, система контроля

В нашей стране у выпускаемых и проектируемых двигателей с электронным впрыском топлива регулирование осуществляется по датчику кислорода установленному в систему выпуска отработавших газов, что приводит к необходимости поддержания режима работы на стехиометрическом составе смеси, который не является эффективным по токсичности и индикаторному КПД. Для создания высокоэффективных ДВС, выполняющих нормы ЕВРО-5, вводимые с 1 сентября 2009 года в странах ЕС, в которых на 20% снижаются выбросы по оксидам азота (NO_x), необходимо обеспечение работы двигателя на бедных смесях. При этом необходимо решение следующих задач: реализация устойчивого быстрого процесса сгорания на бедных смесях и создание системы контроля и регулирования, обеспечивающей использование всего диапазона составов смеси.

Проведённые исследования позволили подробно изучить действие малых добавок водорода, количественно определить их величиной порядка 4-6% от расхода бензина на данном режиме работы двигателя. Разработанная система добавка водорода позволяет в настоящее время работать на обедненной ТВС, до $\lambda = 1.4-1.6$, что снижает расход топлива на 20% и обеспечивает выполнение нормы по токсичности отработавших газов с Евро-3 до Евро-4. Необходимо отметить, что система обладает резервами, позволяющими обосновать возможность дальнейшего снижения уровня нормированных вредных выбросов и повышения эффективности работы двигателя за счет перехода на бедные смеси. Но для этого необходима разработка нового подхода к контролю и регулированию процесса сгорания

Александр Петрович Шайкин, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Тепловые двигатели". E-mail: office@tltsu.ru

Виктор Владимирович Смоленский, кандидат технических наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели". Email: office@tltsu.ru

ния обеспечивающего регулирование во всем диапазоне составов смеси, а не только в стехиометрической области. Основой для такой системы могут стать датчики ионизации, работающие на явлении электропроводности в пламени.

Известны диагностические методы, использующие свечу зажигания как датчик ионизации [1]. В этом случае исследуются характеристики распространения пламени в очень ограниченном объеме в начале основной фазы сгорания и остаются неисследованными процессы в конце основной фазы сгорания, которые определяют токсичность по оксиду азота и во многом по несгоревшим углеводородам. Т.е. подобная методология не пытается использовать богатую информацию о процессе сгорания, заложенную в характере изменения ионного тока в различных зонах КС.

В связи с этим, следующим шагом в использовании явления ионизации для контроля и диагностики сгорания в массовом производстве является анализ оцифрованного сигнала с датчика ионного тока [2, 3]. Для чего необходимо получение как можно более подробной информации о закономерностях взаимного изменения электропроводности пламени и характеристик сгорания в условиях ДВС. При этом необходимо отметить, что повышение экономичности и снижение токсичности бензинового двигателя возможно также за счет перехода с количественного на качественное регулирование, как в дизельном двигателе, обеспечиваемое системой управления по ионному току.

Изменение режимных параметров отражается на амплитуде рассматриваемого сигнала. На рис. 1 представлена экспериментальная оценка амплитуды сигнала от состава ТВС при различных изученных скоростных режимах и УОЗ.

Из анализа рисунка следует, что величина изменения напряжения ионного тока зависит не только от состава ТВС, но и отражает изменение УОЗ при всех исследуемых значениях скорост-

ного режима. Полученные результаты имеют качественную сходимость с результатами ранее проведенных исследований [4, 5 и др.].

Это подтверждает положение о том, что величина напряжения ионного тока отзывается на изменения физико-химических свойств ТВС, регулировочных и режимных параметров которые отражаются на протекании процесса сгорания и как следствие на мощностные и экономические показатели работы ДВС. Поэтому, использование информации с ИД применительно к регулированию и управлению процессом сгорания в двигателях, при работе на бедных смесях представляется возможным.

Показано, что в рассмотренном диапазоне составов ТВС ($\alpha=0.96-1.5$), при различных изученных режимах работы установки (скоростной режим, УОЗ, состав ТВС, доля добавляемого водорода), амплитуда полученного сигнала и состав ТВС (рис. 1) имеют линейную зависимость. Данная зависимость позволяет адекватно определить состав ТВС, т.к. имеется значительный наклон относительно оси абсцисс. Следовательно, можно утверждать, что существует линейная зависимость величины амплитуды полученного сигнала от состава ТВС.

Экспериментально полученные данные выделения NO_x в ОГ и значения средней скорости распространения фронта пламени позволили определить их взаимосвязь. На рис. 2 представлена экспериментальная оценка зависимости выделений NO_x в ОГ и средних скоростей распространения фронта пламени. Согласно проведенным экспериментам средняя скорость распространения пламени отражает эффективность процесса сгорания. Следовательно, добавка водорода позволяет снизить токсичность по NO_x при повышении или сохранении эффективности сгорания, при этом происходит обеднение смеси.

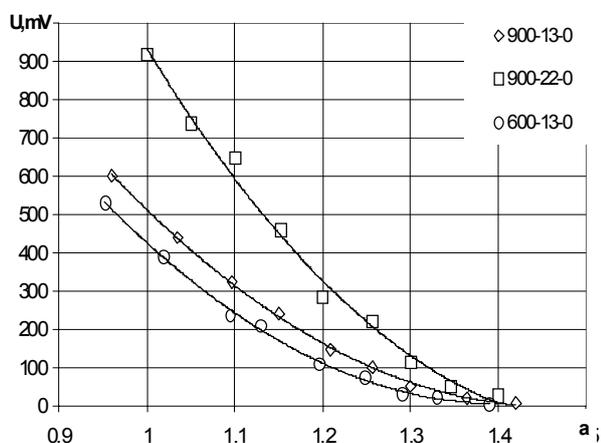


Рис. 1. Экспериментальная оценка взаимосвязи величины изменения напряжения при различных составах ТВС без добавки водорода

С добавлением в ТВС газообразного водорода линейная зависимость величины амплитуды полученного сигнала от состава ТВС смещается в сторону обеднения. Так при добавке $\text{H}_2 = 3-5\%$ четкая линейная зависимость находится в диапазоне составов ТВС $\alpha = 1,0-1,6$. Поэтому, установка ИД на каждый цилиндр в отдельности позволит определять состав ТВС по заранее определенной величине изменения напряжения ионного тока, которая соответствует как стехиометрическому, так и экономичному составу ТВС.

Проведенные опыты по определению взаимосвязи концентрации оксидов азота и несгоревших углеводородов в ОГ производились с варьированием параметров системы регистрации и записи ионного тока, в частности изменилось напряжение источника питания с 14 до 9 В, а также сопротивление осциллографа.

По результатам экспериментов было получено, наличие зависимости концентрации оксидов азота и несгоревших углеводородов в ОГ от амплитуды ионного тока, при этом наибольший интерес для использования в системе контроля и управления представляют зависимости с использованием приведенных значений ионного тока. За единицу приняты значения характеристик сгорания при работе на стехиометрической смеси с данной добавкой водорода в ТВС. В результате получено, что максимум концентрации NO соответствует приведенному значению ионного тока примерно равному 0.55 – 0.7, что показано на рис. 3.

Величина ионного тока, соответствующая максимуму концентрации NO в ОГ, соответствует также минимальному содержанию CH в ОГ, причем при добавках водорода в ТВС эти значения остаются примерно постоянными. Исходя из полученной взаимосвязи изменений ионного тока и концентрации CH и NO в ОГ возможно

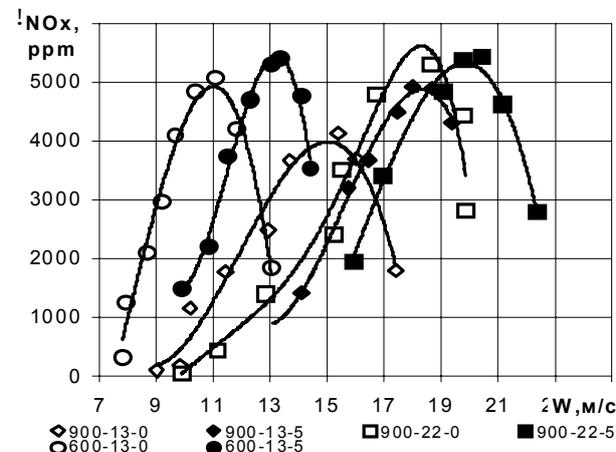


Рис. 2. Экспериментальная оценка взаимосвязи выделений NO_x и средней скорости распространения фронта пламени в КС при различных составах ТВС с добавкой водорода

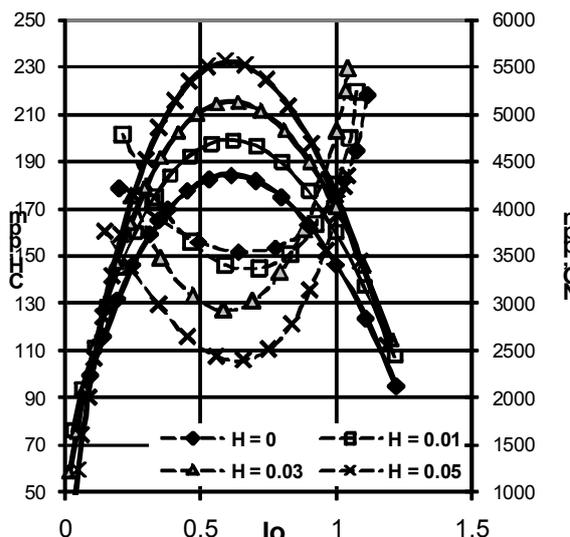


Рис. 3. Зависимость концентрации NO и CH в ОГ от амплитуды приведенного сигнала, при разных добавках водорода, сплошные линии – NO, пунктирные – CH

регулирование рабочего процесса по минимальной токсичности. Например, на режимах пуска и прогрева, характеризующихся повышенным содержанием CH в ОГ и неустойчивой работой при обеднении смеси, оптимальной будет работа при поддержании приведенного ионного тока в районе единицы, при работе на прогревом двигателе оптимально по токсичности будет смещение состава смеси в сторону обеднения, и регулирование ионного тока в области 0.2 – 0.3.

Для оценки влияния водорода на энергетические показатели двигателя на рис.4 приведены экспериментальные индикаторные диаграммы по давлению для 900 мин⁻¹ и УОЗ=13° без водорода и с 5% добавкой водорода в ТВС, полученные методом интегрирования сигнала с магнитострикционного датчика.

Полученные результаты показывают повышение эффективности процесса сгорания при добавке 5% водорода. Сгорание с добавкой водорода проходит за меньшее время в меньшем объеме КС, что увеличивает максимальное давление в цилиндре на 3% при α=1, на 5% при α=1.1 и на 10% при α=1.2, тем самым, улучшая мощностные показатели работы двигателя.

Оценка влияния водорода на энергетические показатели двигателя показывает еще одну особенность процесса сгорания при добавке водорода. При добавке 5% водорода произошло увеличение на 8% для α=1,2 среднего индикаторного давления в цилиндре двигателя, притом, что, низшая теплота сгорания введенного в цилиндр топлива при добавке водорода уменьшилась на 12%.

Такое влияние добавки водорода на увеличе-

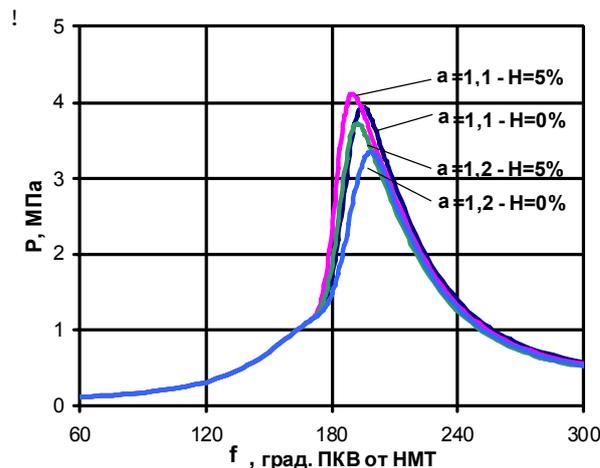


Рис. 4. Индикаторная диаграмма при n = 900 мин⁻¹, УОЗ=13° ПКВ

ние максимального и среднего индикаторного давления, объясняется качественным улучшением процесс сгорания, которое происходит за счет значительного повышения интенсивности протекания химических реакций во фронте пламени, позволяющее проводить процесс сгорания с большей термодинамической эффективностью, а, следовательно, и с большим КПД.

Исследование взаимосвязи работы в цикле с электропроводностью пламени (рис. 5) показало необходимость проведения дальнейших исследований в данной области. Краткий анализ взаимосвязей электропроводности пламени с характеристиками процесса горения и работы двигателя показал большие перспективы использования данного явления при создании перспективных высокоэффективных ДВС, работающих на альтернативных видах топлива.

Полученные результаты позволят глубже понять особенности процесса сгорания при добавке водорода в бензовоздушные смеси, которые будут необходимы для создания новых малотоксичных

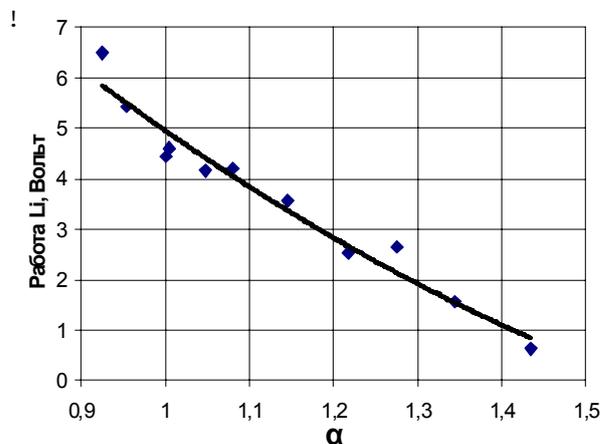


Рис. 5. Взаимосвязь работы в цикле от состава смеси в УИТ – 85, режим работы 900 мин⁻¹, УОЗ = 13° ПКВ

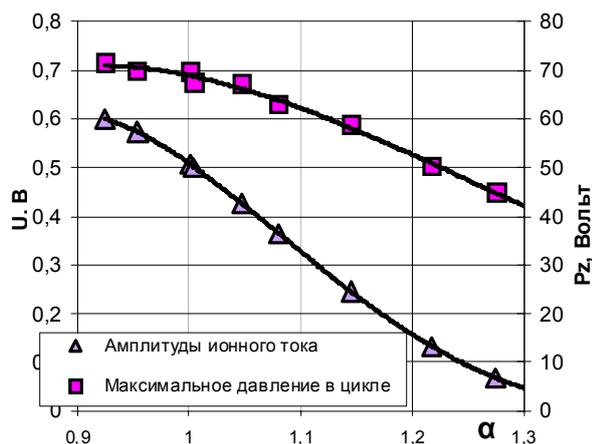


Рис. 6. Взаимосвязь максимального давления в цикле и амплитуды ионного тока, в УИТ–85, режим работы 900 мин⁻¹, УОЗ = 13°ПКВ

и высоко экономичных бензиновых двигателей работающих с добавками водорода с качественным регулированием рабочего процесса.

Амплитуда ионного тока является характеристикой отражающая протекание процесса сгорания в цилиндре двигателя. На рис.6 показана зависимость максимального давления, и амплитуды ионного тока от состава смеси в УИТ–85, режим работы 900 мин⁻¹, УОЗ=13°ПКВ. Анализ данной зависимости показал наличие явной корреляции между максимальным давлением в цилиндре двигателя и амплитудой ионного тока на ионизационном датчике. На рис. 7 приведена взаимосвязь максимального давления в цикле и амплитуды ионного тока, которая показывает возможность оценки эффективности работы двигателя по амплитуде ионного тока. Как видно из рис. 5 и рис. 7 максимальное давление в цикле отражает работу цикла, а, следовательно, и эффективность организации рабочего процесса.

Полученные результаты на основе эффективности работы двигателя показывают большие преимущества разрабатываемой системы контроля основанной на явлении электропроводности в пламени, работающей на всем диапазоне бедных смесей при непосредственном анализе процесса сгорания, над существующими системами использующие в которых, во первых лишь косвенные показатели характеризующие протекание сгорания, и во-вторых, работающие в узком диапазоне вблизи $\alpha=1$ обеспечиваемый λ -зондом (датчика кислорода).

Результаты экспериментального исследования и их анализ позволяют сделать следующие выводы:

1. Обобщение результатов экспериментальных исследований в виде полиномиальных зависимостей позволяет определять:

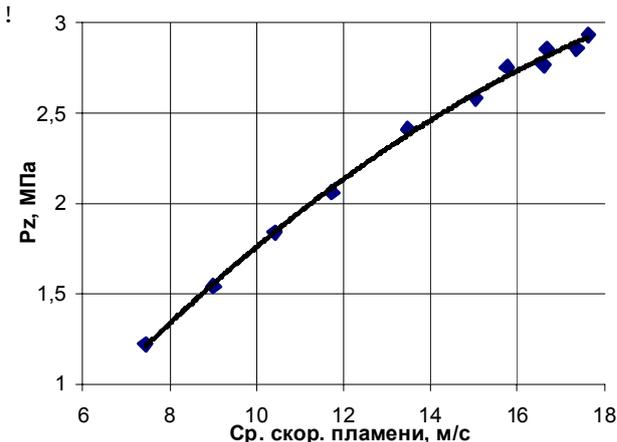


Рис. 7. Взаимосвязь работы в цикле от состава смеси в УИТ–85, режим работы 900 мин⁻¹, УОЗ = 13°ПКВ

- относительные значения ионного тока, скоростей пламени в “основной” и “заключительной” фазах сгорания в зависимости от физико-химических свойств смеси;

- концентрацию несгоревших углеводородов в ОГ в зависимости от относительных значений скорости пламени и ионного тока;

2. В области бедных составов ТВС ($\alpha > 1$) при одинаковых средних скоростях распространения пламени малые добавки водорода (до 5-6 % по массе бензина) приводят к снижению выделений NO_x в ОГ до 60%.

3. Показана принципиальная возможность контроля за выделениями NO_x и CH в ОГ и управления бензиновых двигателей по величине напряжения ионного тока, поддерживая среднюю скорость распространения фронта пламени на требуемом уровне интенсивности сгорания, обеспечивая тем самым необходимый выброс NO_x и CH в ОГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mustafi N.N., Miraglia Y.C., Raine R.R., Bansal P.K., Elder S.T. Spark-ignition engine performance with “Powergas” fuel (mixture of CO/H₂) // A comparison with gasoline and natural gas. Full 85,2006,1605-1612.
2. Yutaka Ohashi, Mitsuru Koïwa, Koichi Okamura and Atsushi Ueda. The Application of Ionic Current Detection System for the Combustion Control // SAE Paper 1999-01-0550.
3. Jurgen Forster, Achim Gunter, Marcus Ketterer, Klaus Jurgen. Ion Current Sensing for Spark Ignition Engines // SAE Paper 1999-01-0204.
4. Аравин Г.С. Ионизация пламенных газов в условиях бомбы и двигателя. Дисс. ИХФ АН СССР, 1952.
5. Andersson I. Cylinder Pressure and Ionization Current Modeling for Spark Ignited Engines // Linköping Universitet, SE 581 83 Linköping, Sweden, 2002/

**MAIN DIRECTIONS AND PROSPECTS OF CREATION
OF ENERGY-EFFICIENT ENGINES FOR TRANSPORT VEHICLES**

© 2010 A.P. Shaykin, V.V. Smolensky

Togliatti State University

Problems of development of high energy efficiency engines for vehicles are considered. Advantages of system of control developed by authors are shown.

Keywords: engines, vehicles, system of control

*Aleksander Shaykin, Doctor of Technical Science, Professor,
Head at the Heat Engines Department. E-mail: office@tltsu.ru.
Viktor Smolensky, Candidate of Technical Science, Associate
Professor at the Heat Engines Department.
E-mail: office@tltsu.ru*