

ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЁМА СГОРАНИЯ И КОНЦЕНТРАЦИЯ ОКСИДОВ АЗОТА В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

© 2011 П. В. Коломиец

Тольяттинский государственный университет

Для сходимости расчётной модели образования и разложения оксидов азота в отработавших газах с экспериментальными данными следует принимать во внимание изменение объёма сгорания, поскольку это изменение является параметром, который определяет время протекания процесса сгорания.

Поршневой двигатель, внутрицилиндровый объём, сгорание, оксиды азота.

Введение

Для уменьшения воздействия на человека и окружающую среду вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу с отработавшими газами (ОГ) ДВС, необходимо постоянное совершенствование его конструкции. Современные исследования в этой области направлены на поиски способов эффективной работы ДВС на обеднённых и бедных топливно-воздушных смесях (ТВС), благодаря чему достигается снижение токсичности ОГ и повышается топливная экономичность двигателя. Однако при этом встречается ряд трудностей, в числе которых невозможность количественного прогнозирования выбросов вредных веществ, в частности оксидов азота (NO_x) на определенном режиме работы ДВС.

Общепринятой теорией образования NO_x считается «термическая» теория, предложенная Я.Б. Зельдовичем [1]. Известно, что причинами образования NO_x в поршневых ДВС являются высокая температура процесса сгорания, наличие свободного кислорода и время продолжительности протекания процесса сгорания. При сгорании углеводородно-воздушных смесей NO_x в основном образуются по «термическому» механизму, однако имеет место наличие так называемых «быстрых» NO_x , образующихся во фронте пламени за меньший промежуток времени, чем «термические» [2].

Одним из направлений уменьшения токсичных веществ в ОГ бензиновых ДВС является применение альтернативных топлив [3]. Анализ исследований [3,4] показал, что эффективным методом воздействия на выбросы NO_x является организация рабочего процесса на бедных ТВС. Это возможно достичь или расслоением ТВС, или путём изме-

нения физико-химических свойств ТВС за счёт использования водородного топлива в качестве добавки к основному. К настоящему времени известны отдельные исследования в этом направлении.

Расчётные модели определения выброса вредных веществ для ДВС, работающих на альтернативных топливах, неадекватно описывают концентрацию NO_x в ОГ. По экспериментальным данным [5], при использовании в качестве топлива синтез-газа выброс NO_x в ОГ возрос примерно в три раза по сравнению с использованием бензовоздушной смеси, а его расчёт по многозонной модели ISIS показал превышение над измеренным в шесть раз (рис. 1). Причем пик сместился в область бедной смеси $\alpha = 1,4$. Методика расчета образования NO_x В.А. Звонова [6] вообще не включает в себя расчёты для водорода.

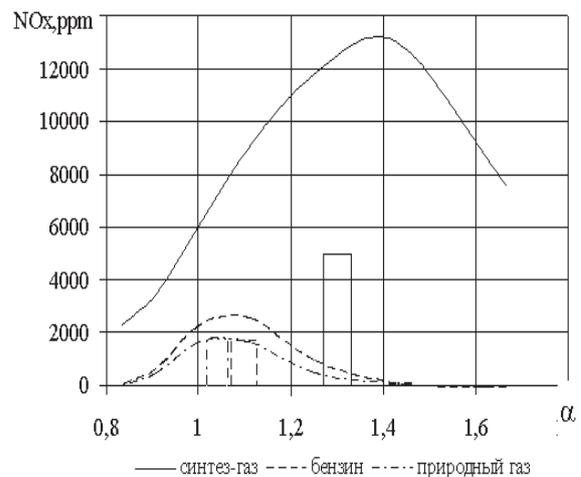


Рис. 1. Расчётная и экспериментальная оценки выделения NO_x в ОГ при работе ДВС на различных видах топлива. Линии – расчётные данные, столбцы – эксперимент

Экспериментальные исследования при работе ДВС на водородовоздушных смесях и с добавками водорода в бензовоздушную смесь [7,8,9] показали, что добавка газообразного водорода значительно расширяет пределы устойчивого горения, увеличивает скорость распространения пламени в основной и заключительной фазах сгорания, уменьшает задержку воспламенения. Однако в исследованиях нет как единого понимания, так и раскрытия механизма влияния физико-химических свойств ТВС на процесс сгорания и выделения NO_x двигателем. Так, по данным [7] наибольший выброс NO_x наблюдается при $\alpha \approx 1,2$, а другие работы [10] указывают на состав смеси $\alpha \approx 1,5$. Между тем в работах говорится о принципиальной возможности влияния объема завершения сгорания на выделения NO_x .

Основным процессом в ДВС, влияющим на энергетические и экологические показатели, является процесс сгорания. В современных поршневых бензиновых ДВС сгорание протекает в течение нескольких миллисекунд при существенно меняющихся скоростях и турбулентности рабочего тела, варьировании температуры и давления. В течение процесса сгорания из-за перемещения поршня объем внутрицилиндрового пространства существенно меняется. Поэтому сгорание фактически протекает в суммарном объеме, включающем в себя постоянный (заданный конструктивно) объем камеры сгорания (КС) и переменный объем цилиндра, зависящий от текущего положения поршня. Т.к. величина объема внутрицилиндрового пространства при сгорании термодинамически связана с температурой и давлением рабочего тела, то своевременной является задача оценки влияния объема завершения процесса сгорания, объема расширения и их изменений на выделения NO_x при воздействии на физико-химические свойства ТВС добавкой водорода, что актуально в свете необходимости снижения токсичности воздействием на рабочий процесс.

Целью исследования является определение влияния объема, при котором завершается процесс сгорания, на концентрацию NO_x в ОГ поршневых бензиновых двигателей при добавке водорода в ТВС.

Методика проведения исследований

При выполнении работы применялся экспериментальный метод, включающий регистрацию времени перемещения фронта пламени ионизационным методом и токсичность ОГ.

Углубленное изучение процесса сгорания удобнее проводить на специальных установках, где рабочий процесс воспроизводится в виде одиночных циклов.

Для изучения взаимосвязи объема завершения процесса сгорания и объема последующего расширения с токсичностью ОГ по NO_x использовалась модельная исследовательская установка для измерения октановых чисел топлив (рис. 2).

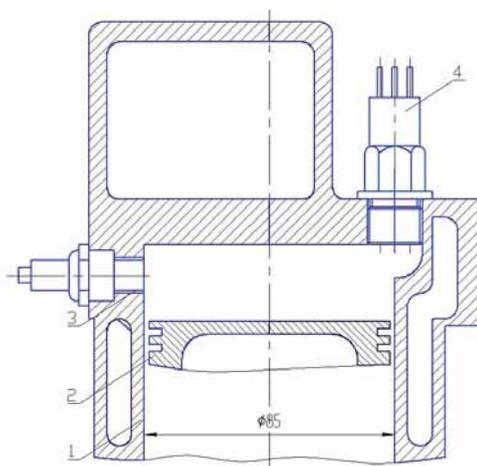


Рис. 2. Расположение ИД в КС УИТ-85:

1 – цилиндр; 2 – поршень;
3 – свеча зажигания; 4 – ИД

УИТ-85 - одноцилиндровая четырехтактная карбюраторная установка с изменяемой степенью сжатия, диаметр цилиндра $D = 85$ мм, отношение $S/D = 1,35$ с приводом от электромотора. Обороты поддерживаются постоянными: 600 и 900 мин^{-1} . Особенности конструкции позволяют снизить неоднородность состава ТВС от цикла к циклу. Постоянная частота вращения коленчатого вала способствует уменьшению межцикловой нестабильности работы установки, позволяет достаточно точно контролировать режимные параметры работы ДВС (частота вращения коленчатого вала, состав ТВС, угол опережения зажигания УОЗ) и варьировать ими независимо друг от друга, что позволяет определить влияние на процесс сгорания и токсичность ОГ отдельных параметров. В КС модельной установки имеется штатное место

под магнитострикционный датчик для измерения детонации, что даёт возможность замены этого датчика ионизационным датчиком (ИД) без изменений в конструкции установки. На рис. 2 показано место установки ИД. ИД находится на максимальном удалении от свечи зажигания. Такая конструктивная схема головки блока цилиндра позволяет получить более полную картину протекания процесса сгорания и факторов, влияющих на исследуемый процесс.

Для регистрации времени перемещения фронта пламени был спроектирован и изготовлен пятиэлектродный ИД (рис. 3).

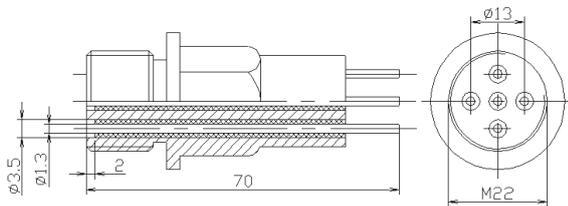


Рис. 3. Ионизационный датчик

Фронт пламени, омывая электроды и корпус ИД, замыкает электрическую цепь, в которой возникает импульс напряжения ионного тока, обусловленный электропроводностью пламени. Продолжительность сигнала определяется временем замыкания цепи, т.е. временем от первого касания центрального электрода и корпуса датчика

фронтом пламени до погасания при соприкосновении с внутренней полостью ИД.

Схема экспериментального комплекса и электрической схемы подключения показана на рис.4. Электрическая схема подключения ИД и измерения напряжения ионного тока включала в себя: ИД, элементы питания, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), ПЭВМ на базе процессора Intel Pentium II, экранированные соединительные кабели. Разность потенциалов (напряжение) создаётся источником питания. Ионный ток при замыкании пламенем электрода и корпуса ИД течёт по замкнутому контуру «УИТ-85 – ИД - Блок питания – АЦП - Общий провод - УИТ-85 - земля». Замеряется напряжение между электродами ИД последовательно включенным в цепь источником питания и заземленным общим проводом установки УИТ-85. На параллельный канал аналогового ввода АЦП подаётся сигнал с катушки зажигания 8 и электромагнитного датчика 9, установленного на проводе высокого напряжения свечи зажигания. В момент искрового разряда на ИД 7 возникает импульс напряжения ионного тока, который фиксируется АЦП и используется для синхронизации осциллограмм. Т.е. начало сгорания соответствует моменту подачи искры на свечу зажигания, который фиксируется ИД 7 и записывается в память АЦП.

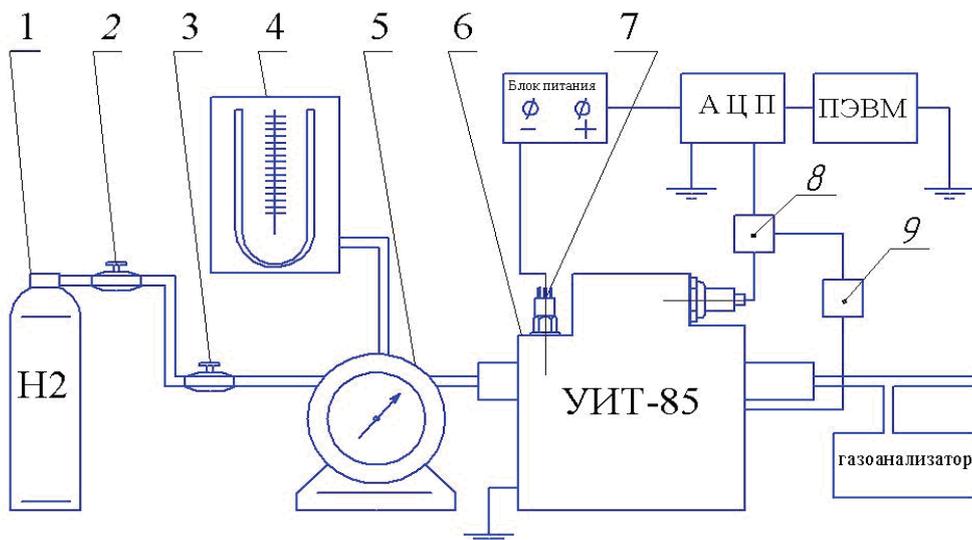


Рис. 4. Схема экспериментального комплекса и электрической схемы подключения: 1 - баллон; 2 – газовый редуктор первой ступени; 3 – газовый редуктор второй ступени; 4 - манометр; 5 – газовый счетчик барабанный ГСБ - 400; 6 – установка УИТ - 85; 7 – ИД; 8-катушка зажигания; 9 – электромагнитный датчик

Запись показаний с ИД осуществлялась через АЦП Е-440 фирмы «L-Card» (Россия). Для определения выделений NO_x в ОГ применялся микропроцессорный газоанализатор «АВТОТЕСТ-02 $\text{CO-CO}_2\text{-CH-O}_2\text{-NO}_x\text{-}\lambda\text{-T}$ » фирмы «МЕТА» (Россия).

Методика проведения экспериментов заключалась в одновременной записи осциллограмм напряжения ионного тока и измерении выделений NO_x в ОГ после вывода установки на соответствующий режим работы.

Испытания проводились при степени сжатия $\varepsilon = 7$, частоте вращения коленчатого вала $n = 600, 900 \text{ мин}^{-1}$, составах ТВС от $\alpha = 1,0$ до предела бедного срыва. УОЗ был подобран и поддерживался постоянным для $n = 600 \text{ мин}^{-1}$ $\theta_3 = 13^\circ$ пкв, для $n = 900 \text{ мин}^{-1}$ $\theta_3 = 13^\circ, 19^\circ$ и 22° пкв.

Изменение физико-химических свойств ТВС осуществлялось добавками водорода в ТВС в малых количествах, от 1% до 6% массы от общего расхода бензина. Необходимо отметить, что увеличение доли добавляемого водорода более 6-7 % массы от общего расхода бензина снижает его эффективное влияние на процесс сгорания. При этом происходит элементарное замещение одного вида топлива другим.

Для подтверждения достоверности полученных результатов проведена оценка погрешностей измерений в соответствии с ГОСТ 8.207-76. Определены следующие значения относительных погрешностей: для выделений NO_x , $\delta_{\text{NO}_x} = \pm 5 \%$, для времени начала сигнала t , $\delta t = \pm 3.71 \%$, для времени продолжительности сигнала τ , $\delta \tau = \pm 3.11 \%$, для расхода водорода H_2 , $\delta \text{H}_2 = \pm 3.2 \%$, коэффициента избытка воздуха α , $\delta \alpha = \pm 2.3 \%$.

Результаты исследований

Характерный вид сигнала (импульса) напряжения ионного тока представлен на рис. 5. Осциллограммы импульсов, записанных в 40 отдельных циклах на одном режиме, усреднялись и оценивались по их суммарной продолжительности Σt (мс). Этот параметр включает в себя время от момента зажигания до начала появления сигнала на электродах ИД t (мс) и время продолжительности существования сигнала τ (мс).

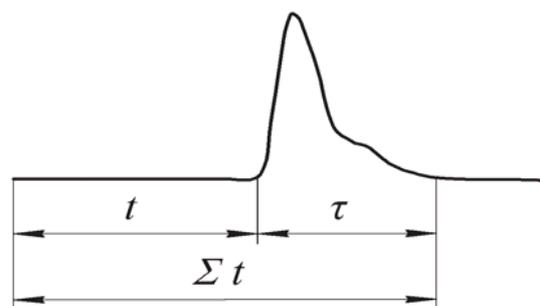


Рис. 5. Параметры оценки осреднённого сигнала

По результатам измерений отрезка времени Σt от искрового разряда до окончания импульса напряжения ионного тока и с помощью построения кривой изменения объёма цилиндра определён объём завершения сгорания.

На рис. 6 представлено изменение суммарной продолжительности процесса сгорания Σt в зависимости от состава ТВС, частоты вращения коленчатого вала и доли добавляемого водорода. Промежуток времени Σt включает развитие начального очага пламени и распространение фронта турбулентного пламени по объёму КС. Частота вращения коленчатого вала оказывает значительное влияние на суммарную продолжительность процесса сгорания Σt . При увеличении частоты вращения коленчатого вала, Σt уменьшается. Добавка газообразного водорода в количестве 5 % по массе ($\text{H}_2 = 0.05$) дополнительно сокращает время Σt в среднем на 23 %, при $\alpha > 1,3$ данное сокращение достигает 35 % по сравнению с аналогичными показателями при работе установки без добавки водорода в ТВС.

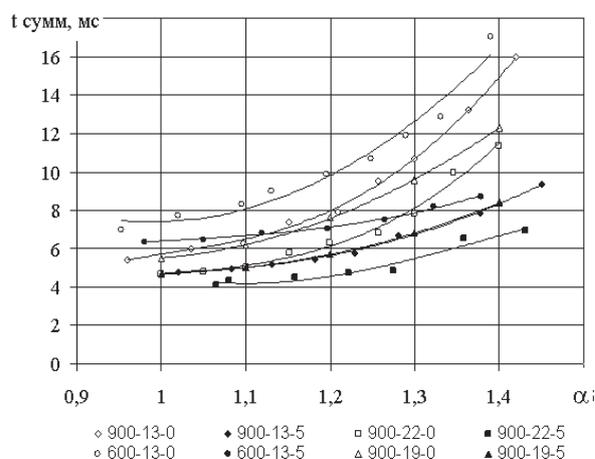
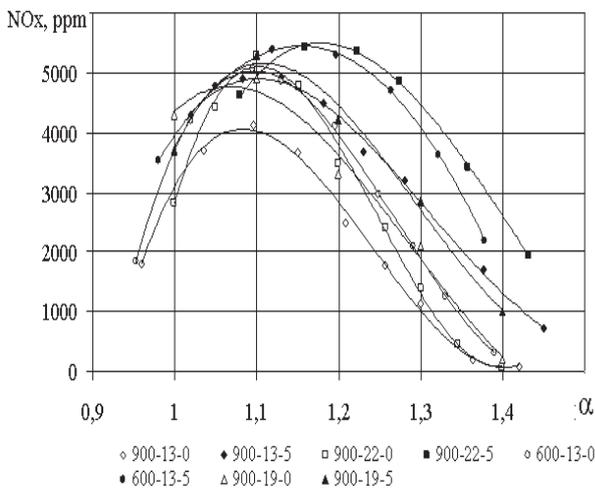


Рис. 6. Зависимость суммарной продолжительности сгорания t от состава ТВС и доли добавляемого водорода

На рис. 6 и в дальнейшем приняты следующие сокращения: XXX-XX-X – 1-я группа цифр обозначает частоту вращения коленчатого вала модельной установки, 2-я группа обозначает УОЗ, 3-я группа обозначает процентное содержание добавляемого газообразного водорода в ТВС.

Одновременно оценено влияние варьируемых факторов на выделения NO_x в ОГ как при работе установки с добавкой водорода, так и без добавки (рис. 7). Выявлены определяющее влияние состава ТВС и добавок водорода. С увеличением доли добавляемого в бензовоздушную смесь водорода



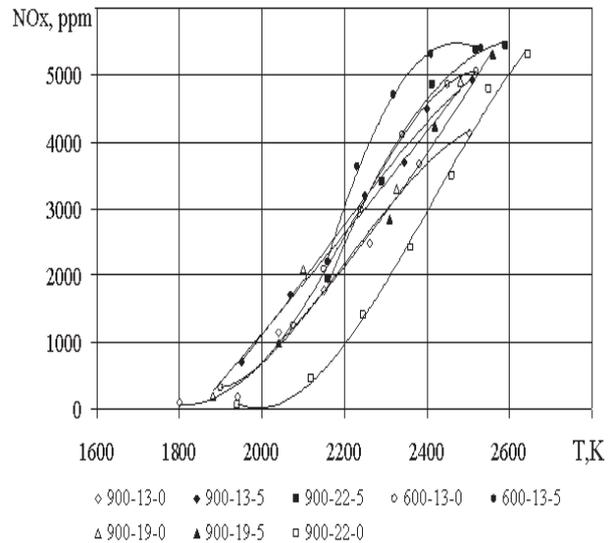
получено смещение максимальных выделений NO_x в область более бедной смеси. NO_x^{max} бензовоздушной смеси соответствует $\alpha = 1,097$ ($n = 600, 900 \text{ мин}^{-1}$, УОЗ = 13°пкв), NO_x^{max} для $n = 900 \text{ мин}^{-1}$ и УОЗ = 22°пкв - $\alpha = 1,12$. При добавке $\text{H}_2 = 0,05$ массовой доли водорода NO_x^{max} соответствует $\alpha = 1,2$ для всех исследуемых режимов. При увеличении доли водорода в бензовоздушной смеси, в области бедных ТВС происходит возрастание выделений NO_x в ОГ примерно на 20 %. Увеличение выделений NO_x при добавке водорода при одинаковых составах ТВС объясняется возрастанием средней скорости распространения фронта пламени, что приводит к увеличению температуры сгорания и, как будет показано далее, к уменьшению объёма, при котором завершается процесс сгорания.

Обсуждение результатов

Для исследования зависимости температуры процесса сгорания от состава ТВС как с добавкой, так и без добавки газообразного водорода с целью последующего опре-

деления влияния температуры на выделения NO_x использовалась расчётная методика И.И. Вибе [11]. Расчёт действительного рабочего цикла осуществлялся по углу поворота коленчатого вала с учётом УОЗ и показателя характера сгорания. Данный метод позволяет определить с наибольшей точностью изменение температуры рабочего тела в процессе сгорания.

Оценено влияние температур на выделения NO_x в ОГ при различных составах ТВС и добавках водорода (рис. 8). Видно, что увеличение средней температуры процесса сгорания на 6 % приводит к росту выбросов NO_x на 23 % ($\alpha = 1,1$). На составах ТВС $\alpha = 1,25$ при сохранении частоты вращения коленчатого вала и регулировочных параметров средние расчётные температуры



процесса сгорания различаются на 20 %, а выделения NO_x на 28 % в сторону увеличения.

Определено влияние на изменения объёма завершения сгорания физико-химических свойств ТВС при различных составах ТВС и введении добавки водорода. Показано уменьшение объёма завершения сгорания при работе установки с добавками водорода в ТВС в изученном диапазоне (рис. 9).

Экспериментально полученные данные выделения NO_x в ОГ и значения объёма завершения сгорания позволили определить их взаимосвязь (рис. 10). В известных работах показано, что с увеличением доли добавляемого водорода в бензовоздушную смесь, расширяются пределы стабильного воспламенения и сгорания.

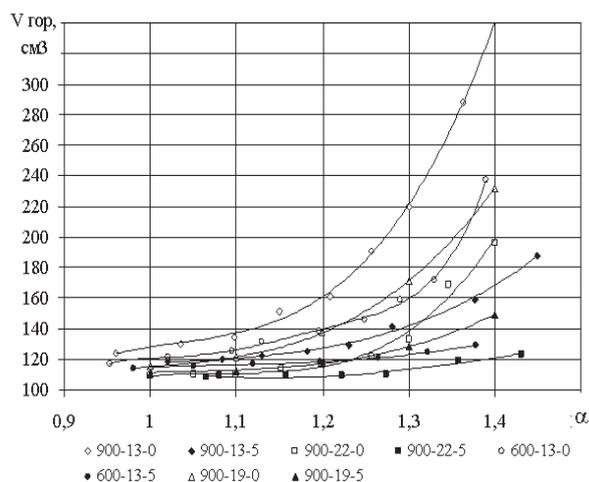


Рис. 9. Изменение объема КС, соответствующее завершению процесса сгорания в зависимости от состава ТВС и доли добавляемого водорода

Добавка водорода в ТВС расширяя пределы стабильного воспламенения и сгорания, позволяет осуществлять работу ДВС на обед-

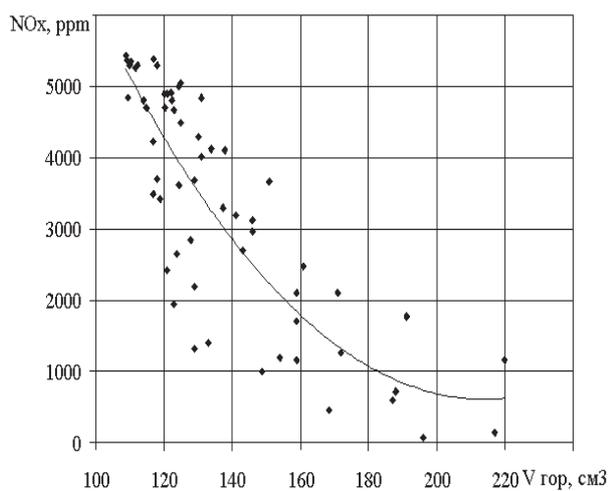


Рис. 10. Зависимость выделений NO_x в ОГ от объема завершения сгорания во всем изученном диапазоне составов ТВС, скоростных и регулировочных параметров при различных добавках газообразного водорода

нённых и бедных ТВС без потери интенсивности сгорания, но уже с меньшими температурами процесса протекания химических реакций и последующего расширения продуктов сгорания. Другими словами, при достаточно высоких скоростях протекания химических реакций сгорание осуществляется в меньшем объеме и с меньшими температурами, но уже в области обеднённых ТВС, а снижение средней температуры процесса сгорания приводит к уменьшению выделений NO_x в ОГ.

В одной из последних работ [12] показано, что для сходимости расчётных моделей с экспериментальными данными следует учитывать изменение объема завершения сгорания, т.к. это изменение является параметром, определяющим располагаемое время процесса сгорания. Показано, что с увеличением доли водорода в смеси процесс сгорания заканчивается в меньшем объеме, по сравнению с работой установки на бензо-воздушной смеси. Выделения NO_x в ОГ снижаются за счёт уменьшения объема расширения. Сокращается время пребывания азота и количества кислорода в зоне высоких температур. Увеличение объема завершения сгорания приводит к снижению выделений NO_x в ОГ.

На рис. 11 представлен график, отражающий изменение объема процесса расширения и выделений NO_x в ОГ. Уменьшение объема расширения продуктов сгорания приводит к снижению рассматриваемого токсичного компонента ОГ из-за ограниченности времени на его образование и разложение. Следует отметить то, что меньшие значения выделений соответствуют работе установки на обеднённых и бедных составах ТВС. Стабильное воспламенение и сгорание

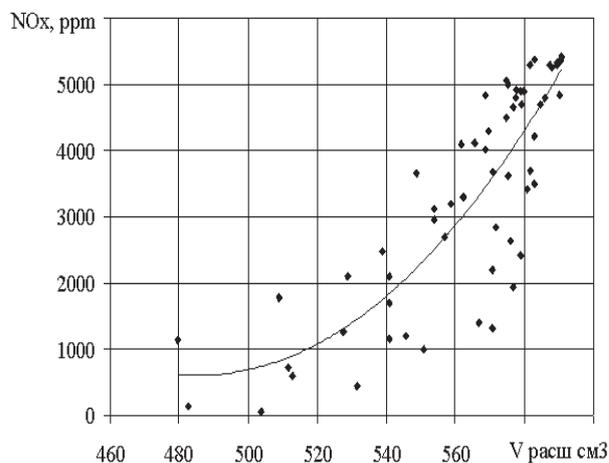


Рис. 11. Экспериментальная оценка зависимости выделений NO_x в ОГ и объемов расширения продуктов сгорания во всем изученном диапазоне составов ТВС, скоростных и регулировочных параметров при различных добавках газообразного водорода

бедных ТВС обеспечивается вводом в смесь газообразного водорода. С обогащением ТВС и введением в смесь водорода времени, отводимого на процесс расширения, в ходе которого происходит образование и разложение NO_x , становится больше.

Заключение

Выделения NO_x в ОГ определяются максимальной температурой рабочего цикла, наличием свободного кислорода и временем нахождения азота и кислорода в зоне высоких температур. При создании расчётных моделей образования NO_x и прогнозировании их выделения кроме указанных факторов также должно учитываться влияние объёма завершения процесса сгорания и объёма последующего расширения рабочего тела, т.к. эти объёмы влияют на выделения NO_x поршневыми двигателями.

Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 г.г. (ГК № П 1557).

Библиографический список

1. Зельдович, Я.Б. Окисление азота при горении [Текст] / Я.Б. Зельдович, П.Я. Садовников, Д.А. Франк-Каменецкий. - АН СССР, 1947.-144 с.
2. Fenimore, С.Р. Studies of Fuel-Nitrogen in Rich Flame Gases [Text]/ 17 Th Symposium of Combustion – Pittsburg, 1979. – P.166.
3. Кавтарадзе, З.Р. Перспективы применения поршневых двигателей на альтернативных моторных топливах [Текст] / З.Р. Кавтарадзе, Р.З Кавтарадзе // Транспорт на альтернативном топливе. - 2010. - N 1(13). - С.74-80.
4. Кульчицкий, А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей [Текст]: учеб. Пособие / А.Р. Кульчицкий - М: ООО "Академический проект", 2004. – 400 с.
5. Mustafi, N.N. Spark-ignition engine performers with «Powergas» fuel (mixture of CO/H_2): A comparison with gasoline and natural gas. / N.N. Mustafi, Y.C. Miraglia, Full 85, 2006. - 1605-1612.
6. Звонов, В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания [Текст] / В.А. Звонов - М.: Машиностроение, 1981. - 158с.
7. Мищенко, А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей [Текст] / А.И.Мищенко. - Киев, Наукова думка, 1984.-167с.
8. Коломиец, П.В. Влияние скорости распространения пламени на выделение оксида азота при добавке водорода в бензиновые двигатели [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 : защищена 26.06.07 : утв. 14.12.07 / П.В. Коломиец - Тольятти, 2007.- 125 с.
9. Ивашин, П.В. Зависимость концентрации несгоревших углеводородов в отработавших газах бензиновых ДВС от скорости распространения пламени и ионного тока [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.04.02 : защищена 20.05.04 : утв. 24.12.04 / П.В. Ивашин.- Тольятти, 2004.- 125 с.
10. Хмыров, В.И. Водородный двигатель [Текст] / В.И. Хмыров, Б.Е. Лавров - Алма-Ата, Наука КазССР, 1981.- 170с.
11. Вибе, И.И. Новое о рабочем цикле двигателей. Скорость сгорания и рабочий цикл двигателя [Текст] / И.И. Вибе - Свердловск, Машгиз, 1962.- 270с.
12. Andersson, I. Cylinder Pressure and Ionization Current Modeling for Spark Ignited Engines [Text]/ Linkopings Universitet, SAE 581 83 Linkoping, Sweden, 2002.

HANGES IN VOLUME COMBUSTION AND CONCENTRATION OF NITROGEN OXIDES IN THE EXHAUST GASES GASOLINE ENGINE

© 2011 P. V. Kolomiets

Togliatti State University

For the convergence of the computational model the formation and decomposition of nitrogen oxides in exhaust gases from the experimental data should take into account changes the volume of combustion. Since this change is the parameter that determines the flow of the combustion process.

The piston engine, the volume, combustion, nitrogen oxides.

Информация об авторах

Коломиец Павел Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые двигатели» Тольяттинского государственного университета. Тел.: (8482) 54-64-58. E-mail.: kolomietspv@yandex.ru. Область научных интересов: контроль, управление и организация процессов сжигания топлива в тепловых двигателях.

Kolomiets Pavel Valerievich, candidate of technical sciences, associated professor of the chair «Heat engine» of Togliatti State University. Phone: (8482) 54-64-58. E-mail: kolomietspv@yandex.ru. Area of research: control, management and organization of fuel combustion in heat engines.

ВЕСТНИК
САМАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени академика С. П. КОРОЛЁВА
(национального исследовательского университета)

№3 (27)
Часть 1
2011

Корректор **Кретинина Т. К., Куприянова Н. С.**
Компьютерная вёрстка **Холодкова Г. В., Паровой Ф. В.**

Каталожная цена: 1000 руб.

Формат 60 ×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Тираж 500. Заказ _____

Отпечатано в типографии ООО «Самбр Принт»
443090, г. Самара, Московское шоссе, 77

Правила оформления статей для журнала

«Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета

имени академика С. П. Королёва (национального исследовательского университета)»

1. Статья представляется в двух экземплярах, распечатанных на лазерном принтере на одной стороне бумаги в режиме качественной печати, а также в электронном виде на отдельном носителе по адресу: 443086, Самара, Московское шоссе, 34, 212а – 3А, тел.: (846) 267 48 41, электронная почта: vest@ssau.ru.

2. Текст статьи представляется в формате Microsoft Word на дискетах, CD или DVD. Объём статьи – до 10 страниц формата А4. Имя файла определяется по фамилии первого автора: фамилия.doc. Поля – по 2,5 см с каждой стороны, текст – кегль 12, одинарный междустрочный интервал. Выравнивание: по ширине страницы. Шрифты – Times New Roman, Symbol. Отступ первой строки абзаца – 1 см. Страницы должны быть пронумерованы.

Замена буквы «ё» на букву «е» недопустима. Написание в тексте буквы «ё» является обязательным.

3. Допускается наличие рисунков, формул и таблиц по тексту.

Рисунки могут быть созданы средствами Microsoft Word/Excel или представлены в форматах JPEG, GIF, TIFF, PNG. Подпись к рисунку начинается со слова «Рис.» и номера по порядку, подпись располагается снизу, выравнивание – по центру. Для ссылки по тексту статьи на рисунок 1 следует использовать сокращение: рис. 1.

Для математических выражений и формул следует использовать Microsoft Equation 3.0 и буквы латинского (*Times New Roman*, курсив, размер 12) и греческого (*Symbol*, курсив, размер 12) алфавитов. Формулы, на которые в статье делаются ссылки, следует печатать с новой строки, при этом формулы нумеруются в порядке следования по тексту статьи. Номер формулы и ссылка на неё в тексте обозначается числом в круглых скобках: (1), (2), (3). Длина формулы на строке строго ограничена – до 80 мм (допускается перенос на следующие строки).

Заголовок таблицы начинается со слова «Таблица» и её номера по порядку, заголовок размещается сверху, выравнивание – по левому краю. Для ссылки по тексту статьи на таблицу 1 следует использовать сокращение: табл. 1.

4. Библиографический список оформляется отдельным разделом в конце статьи, при этом литературные источники располагаются в порядке их использования по тексту статьи в виде нумерованного списка, и оформляется в соответствии с действующим ГОСТ 7.1-2003.

5. К тексту статьи прилагается направление организации (если авторы не являются сотрудниками СГАУ), рецензия специалиста по научному направлению статьи (не являющегося сотрудником подразделения, где работают авторы), акт экспертизы, информация об авторах для опубликования в журнале. На отдельной странице указываются сведения об авторах для служебного пользования: фамилия, имя, отчество, учёная степень, учёное звание, должность, место работы, служебный и домашний адреса, телефон, электронная почта. Статья должна быть подписана всеми авторами.

6. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются. Рукописи и сопроводительные документы не возвращаются. Датой поступления рукописи считается день получения редакцией окончательного текста.

7. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Образец оформления:

УДК 536.04

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ СЛОЖНОЙ ЗАМКНУТОЙ СТРУКТУРЫ НА БОРТУ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

© 2011 Г. П. Аншаков¹, В. В. Бирюк², В. В. Васильев², В. В. Никонов², В. В. Салмин²

¹ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-ПРОГРЕСС»

²Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

(аннотация статьи 50...150 слов, кегль: 10)

(ключевые слова 8-12 слов, кегль: 10, начертание: курсив)

(текст статьи)

(библиографический список)

(информация об авторах для опубликования: фамилия, имя, отчество, учёная степень, учёное звание, должность, место работы, электронная почта, область научных интересов – до 10 слов)

THERMAL FIELDS SIMULATING OF COMPLEX CLOSED STRUCTURE ABOARD RESEARCH SPACE
LABORATORY

© 2011 G. P. Anshakov¹, V. V. Biruk², V. V. Vasiliev², V. V. Nikonov², V. V. Salmin²

¹FSUE SRPSRC "TsSKB-Progress"

²Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University)

(аннотация статьи – на английском языке)

(ключевые слова – на английском языке)

(информация об авторах для опубликования – на английском языке)