

теля б) дизеля

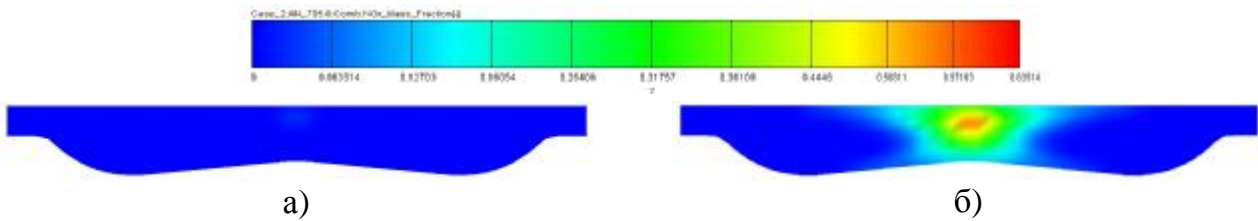


Рис. 6. Массовые доли оксидов азота, определенные при а)  $\varphi = 345^\circ$  ПКВ б)  $\varphi = 375^\circ$  ПКВ

### **Заключение**

1. Проведен анализ существующих конструкций двигателей, работающих на водородном топливе. Для дальнейшей разработки выбрана схема с подачей в цилиндр предварительно перемешанной смеси и искровым зажиганием.

2. Проведен расчет рабочего процесса исследуемого двигателя и получены его эффективные показатели, не уступающие дизельному прототипу.

3. На основании результатов расчетов делается заключение о целесообразности перевода дизельного двигателя на водородное топливо, в силу отсутствия в выхлопных газах диоксида углерода и сажи.

### **Литература**

6. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 472с.

7. FIRE. Users Manual Version 2009. AVL List GmbH Graz, Austria, 2009.

8. Magnussen B.F., Hjertager B.H. On mathematical models of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion. 16-th International Symposium on Combustion. Cambridge, 1976. P. 719-729.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В ДВС И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

**Александров А.В., Долгов И.А., Петров А.М.** (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет)

В 2007 году на конференции МАНФ в НАМИ коллективом Хозрасчетной научно-производственной лаборатории ДВС кафедры ТиАТД МАДИ была представлена первая версия исследовательского комплекса для анализа рабочих процессов в ДВС. За прошедшее время этот комплекс совершенствовался и развивался. На рис. 1 показана принципиальная схема комплекса.

Комплекс подключается в разрыв между блоком управления двигателем с одной стороны и информационными датчиками и исполнительными устройствами с другой. Он состоит из разветвителя, коммутационного блока, нормирующего блока и 16-канального АЦП, установленного в компьютер.

Традиционно, при проведении исследовательских работ, для регистрации сигналов применяется одна программная среда, а для обработки их приходится переносить в специализированные прикладные программы. Это снижает производительность труда и может приводить к появлению ошибок.

Представляемый исследовательский комплекс предназначен для углубленной диагностики четырехтактных ПДВС. Он имеет ряд существенных новаций:

Ø регистрация сигналов с различных датчиков и исполнительных органов производится как в автоматическом режиме, заданием времени регистрации, так и в ручном, что облегчает фиксацию быстропеременных переходных процессов;

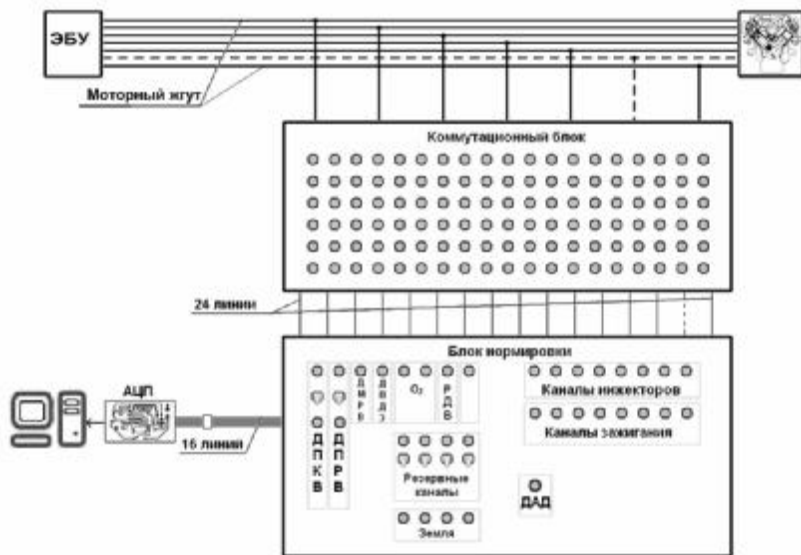


Рис.1. Принципиальная схема исследовательского комплекса

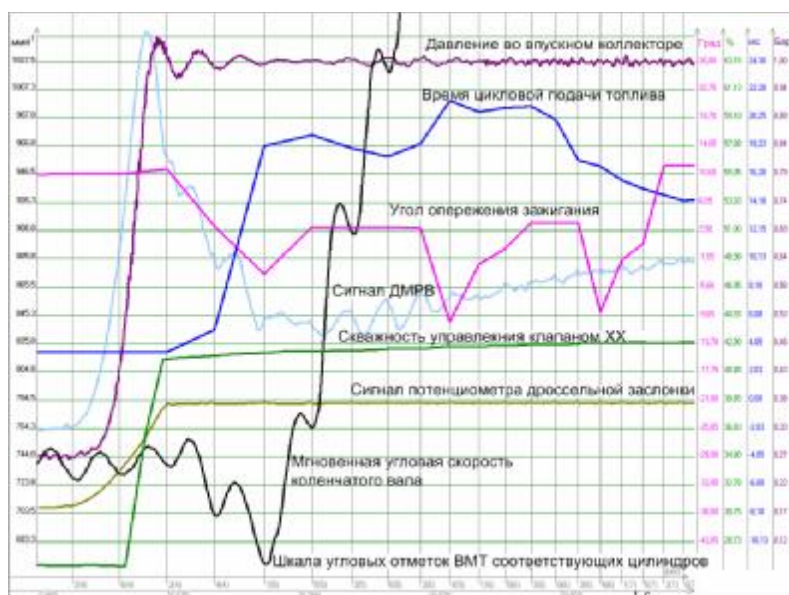
Ø создаваемый в процессе регистрации файл данных содержит всю необходимую для дальнейшей обработки информацию;

Ø сигналы всех зарегистрированных штатных и дополнительных датчиков представляются в функции угла поворота коленчатого вала, а шаг расчета угла ПКВ может варьироваться от 6 до 0,1 градуса ПКВ;

Ø рассчитываются мгновенная скорость и мгновенное ускорение коленчатого вала;

Ø для обработки зарегистрированных сигналов различных датчиков применяются оригинальные математические алгоритмы комплекса;

Ø программное обеспечение комплекса позволяет пользователю реализовывать собственные алгоритмы обработки данных, для этого имеется соответствующий набор функций.



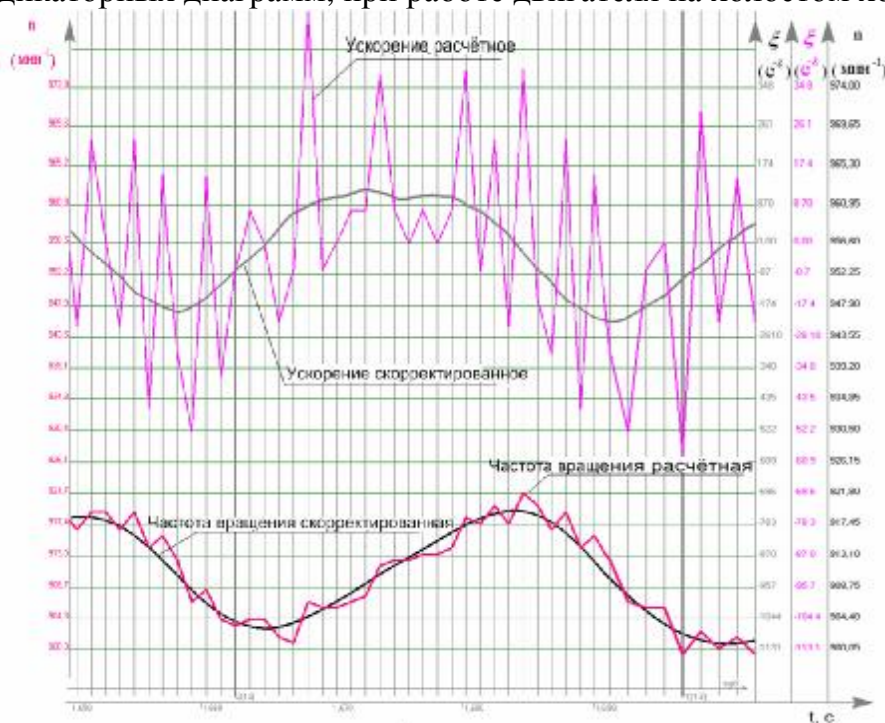
На рис. 2 представлены графики, отображающие процессы, сопровождающие начало свободного разгона рядного шестицилиндрового двигателя.

Рис.2. Свободный разгон двигателя

Сигнал потенциометра, находящегося на оси дроссельной заслонки, позволяет оценить управляющее воздействие – скорость и степень открытия дроссельной заслонки. Остальные графики – расхода воздуха, давления во впускном коллекторе, мгновенной скорости коленчатого вала, угла опережения зажигания, цикловой подачи топлива – иллюстрируют отклик системы. Эти графики можно рассматривать

не только относительно временной шкалы – на шкалу времени наносятся линии ВМТ начала рабочего хода соответствующих цилиндров двигателя.

Рассмотрим возможности разработанного комплекса на примере его использования при выполнении дипломного проекта, защищенного в 2010 году на кафедре ТиАТД МАДИ. Цель проекта состояла в расчете среднего момента сил сопротивления и сопоставлении ускорения коленчатого вала с развиваемым двигателем крутящим моментом, который определялся на основании зарегистрированных индикаторных диаграмм, при работе двигателя на холостом ходу.



Одна из задач, которую предстояло решить при работе над проектом, это переход от шкалы угловых отметок с шагом 6 градусов ПКВ, обусловленной инкрементным колесом «60-2» к шкале большего разрешения – 0,5 или 0,1 градус ПКВ.

Рис.3. Коррекция графика скорости и ускорения коленчатого вала двигателя

При переходе к шкале большого разрешения простая линейная интерполяция для построения дополнительных линий угловых отметок представляется не целесообразной – это не обеспечивает получения правдоподобных графиков мгновенной угловой скорости и ускорения коленчатого вала.

Применяя специальные программные фильтры при переходе к шкале угловых отметок высокого разрешения, удаётся добиться коррекции графиков угловой скорости и углового ускорения коленчатого вала. На рис.3 представлены графики скорости и ускорения коленчатого вала двигателя, полученные на основании обработки сигнала инкрементного колеса «60-2» и графики скорости и ускорения, полученные после перехода к шкале высокого разрешения. Для обеспечения контроля за достоверностью полученной шкалы высокого разрешения, в точках исходной угловой шкалы вычисляется время расхождения двух шкал. Для скоростного режима ДВС 1000 мин<sup>-1</sup> расхождение шкал не более, чем на 5 мкс обеспечивает относительную точность графика скорости 0,5%.

После регистрации сигналов с датчиков давления в цилиндрах двигателя, необходимо выполнить их пересчет – данных, полученных от АЦП в единицы давления и позиционировать их относительно ВМТ соответствующих цилиндров. После этого можно рассчитать индикаторный крутящий момент (момент от газовых сил). При правильно подобранном моменте сил сопротивления, работа разности момента газовых сил и момента сил сопротивления (интегральная работа) на стационарном режиме работы ДВС находится в пределах изменения кинетической энергии подвижных деталей двигателя (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_{ср} = const \\ (\varphi_{к} - \varphi_{н}) \rightarrow \infty \\ \int_{\varphi_{н}}^{\varphi_{к}} (M_{г} - M_{с}) d\varphi \in [E_{кинmax} - E_{кинmin}] \end{array} \right. \quad (1)$$

Так как при работе на холостом ходу эффективный крутящий момент равен нулю, средний момент сил сопротивления  $M_c$ , который в общем случае является функцией различных параметров, можно найти из следующего соотношения: интегральная работа равна изменению кинетической энергии подвижных деталей двигателя (2).

$$\int_{\varphi_{н}}^{\varphi_{к}} (M_{г} - M_{с}) d\varphi = \Delta E_{кин} \quad (2)$$

где:  $M_g$  – момент от газовых сил,  $M_c$  – средний момент сил сопротивления,  $\varphi$  – угол поворота коленчатого вала,  $\Delta E_{кин}$  – изменение кинетической энергии подвижных деталей двигателя на интервале интегрирования.

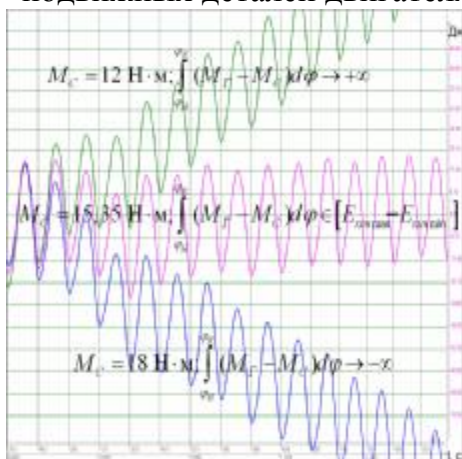


Рис.4. Графики интегральной работы при различных значениях момента сил сопротивления

На рис.4 представлены графики интегральной работы при различных значениях среднего момента сил сопротивления. В случае, если момент сил сопротивления принимается равным 12 Н м, интегральная работа стремится в бесконечность, если, например, 18 Н м, то в минус бесконечность, и только при значении среднего момента сил сопротивления приблизительно 15,35 Н м интегральная работа на данном режиме длительное время находится в пределах изменения кинетической энергии подвижных деталей двигателя. При работе двигателя без внешней нагрузки значение интегральной работы должно совпадать с изменением кинетической энергии подвижных масс двигателя.

На рис.5 приведены графики изменения кинетической энергии системы и интегральной работы. Интегральная работа рассчитывается на основании индикаторных диаграмм, а кинетическая энергия подвижных деталей двигателя в каждый момент времени является функцией угловой скорости коленчатого вала. На рисунке представлен фрагмент работы двигателя продолжительностью 2,5 секунды. Во втором цилиндре выключена подача топлива, этим объясняется значительное колебание мгновенной угловой скорости коленчатого вала относительно средней. Индикаторная диаграмма во втором цилиндре также значительно отличается от диаграмм в остальных трёх цилиндрах.

Но, даже при такой нестабильной работе ДВС, графики изменения кинетической энергии системы и интегральной работы отличаются друг от друга не более чем на 3%. Их хорошее совпадение свидетельствует о сходимости результатов, полученных в различных расчётах.

На рис.6 представлено сопоставление индикаторных диаграмм, зарегистрированных в одном цилиндре в двух последовательных циклах: первый (красный цвет) с подачей топлива, второй (оливковый цвет) – с отключенной подачей топлива. При этом условия на впуске во втором цикле такие же, как и в первом, потому что режим работы двигателя ещё не изменился – отсутствие воспламенения не повлияло на предшествующий ему впуск. При анализе индикаторных диаграмм

