

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДА ОТКЛЮЧЕНИЯ ЦИКЛОВ НА РОТОРНО-ПОРШНЕВОМ ДВИГАТЕЛЕ ВАНКЕЛЯ

Г.Н. Злотин, д.т.н., Е.Б. Морщихин, Е.А. Федянов, д.т.н., С.Н. Щумский, к.т.н.,
кафедра «Теплотехника и гидравлика»;
Волгоградский государственный технический университет

Выполнена оценка влияния пропуска циклов роторно-поршневых двигателей на их эксплуатационные показатели. Экспериментальный стенд с двигателем ВАЗ-311 был оборудован блоком пропуска импульсов управления форсунками.

Показано, что отключение части рабочих циклов эффективно лишь в ограниченной области нагрузок. Исследовано влияние пропуска цикла на показатели последующих рабочих циклов и указаны предполагаемые причины этого явления.

Эксплуатационный расход топлива автомобилем во многом зависит от совокупности скоростных и нагрузочных режимов работы его двигателя. В условиях городского движения значительную часть времени двигатель автомобиля работает на режимах частичных нагрузок, на которых удельный расход топлива существенно выше, чем на режиме максимальной мощности. Это обусловлено, в том числе, способом регулирования нагрузки. В двигателях, работающих на легком топливе, с принудительным зажиганием меняется количество смеси, подаваемой в цилиндры, путем изменения положения дроссельной заслонки. По мере прикрывания дроссельной заслонки возрастает величина потерь на газообмен, увеличивается коэффициент остаточных газов и др. Чтобы при снижении нагрузки на двигатель избежать необходимости сильно прикрывать дроссельную заслонку, предложены разные методы, в том числе отключение части цилиндров или пропуск части рабочих циклов. Метод пропуска рабочих циклов обладает некоторыми преимуществами, т. к. в большей степени обеспечивает сохранение теплового режима элементов конструкции и равномерности работы. Для поршневых двигателей внутреннего сгорания указанные проблемы в полной мере пока не решены и широкого применения на двигателях серийно выпускаемых автомобилей метод отключения части циклов пока не находит.

Опыт применения метода отключения части рабочих циклов для улучшения эксплуатационных показателей роторно-поршневых двигателей (РПД) мал [1, 2]. Вместе с тем РПД, в силу его

конструктивных особенностей, лучше приспособлен к работе с пропуском рабочих циклов, чем поршневой. В частности, в РПД отключение отдельных циклов должно в меньшей степени сказываться на неравномерности частоты вращения вала и уровне вибраций.

Для оценки эффективности применения рассматриваемого метода в РПД в Волгоградском государственном техническом университете, проведены экспериментальные исследования на РПД ВАЗ-311. Технические характеристики двигателя: односекционный, четырехтактный, приведенный рабочий объем 1308 см³, степень сжатия 9, 4, бензин Аи-92, номинальная мощность 52 кВт при $n = 6000$ об/мин. Геометрические параметры: ширина статора 80 мм, эксцентриситет 15 мм.

Двигатель был оснащен системой фазированного впрыска топлива во впускной трубопровод с возможностью изменения в широких пределах момента начала впрыска и его продолжительности.

Система управления углом опережения зажигания давала возможность устанавливать эти углы на каждой из двух свечей двигателя независимо друг от друга в пределах от 78 град поворота эксцентрикового вала (ПЭВ) до ВМТ до 36 град ПЭВ после ВМТ.

Для отключения части рабочих циклов в систему впрыска был включен дополнительный блок — блок пропуска импульсов (рис. 1), с помощью которого можно отключать управляющий импульс на топливной форсунке с заданной периодичностью. Минимальная доля отключаемых циклов 10 % — пропущен 1 цикл из 10, максимальная — 50 %.

Двигатель был установлен на испытательном стенде, оснащенном электрическим тормозом постоянного тока и комплексом необходимой измерительной аппаратуры.

В ходе исследований были сняты нагрузочные характеристики двигателя при различной доле δ_{nf} отключенных циклов. При этом двигатель работал со средним по камере значением коэффициента избытка воздуха $\alpha = 1,1$. На рис. 2 приведены такие характеристики для значений δ_{nf} , равные 10, 12,50, 14,30 и 20 % в диапазоне нагрузок 20–55 % от номинальной. Выбраны только те ха-



Рис. 1. Схема системы фазированного впрыскивания топлива с возможностью пропуска части циклов

рактические характеристики, которые получены при равномерном распределении отключенных циклов по камерам двигателя. Случаи, когда все отключаемые циклы приходятся на одну из камер (например, отключен каждый 9 цикл), не рассматриваются. На том же рисунке для сравнения нанесена характеристика, полученная без отключения циклов. При увеличении доли отключенных циклов свыше 20 % работа в указанном выше диапазоне нагрузок требует обогащения смеси по отношению $\alpha = 1,1$.

Из рисунка видно, что вопреки теоретическим предположениям положительный эффект, т. е. снижение величины удельного расхода топлива по сравнению с тем значением, которое получено при работе без отключения циклов, наблюдается не во всем диапазоне нагрузок. При снижении нагрузки ниже некоторого значения, характерного для каждой доли отключенных циклов, удельный расход топлива становится больше, чем без отключения циклов. Величина указанного граничного значения нагрузки уменьшается с ростом δ_{mf} .

Одной из причин выявленной ограниченности области нагрузок, в которой отключение циклов

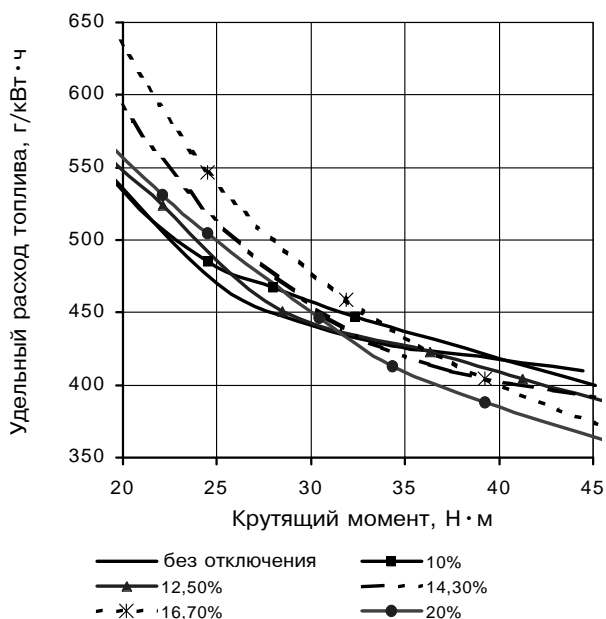


Рис. 2. Участок нагрузочных характеристик при различной доле пропущенных циклов, $n = 2000$ об/мин

является эффективным способом снижения расхода топлива, может быть изменение показателей рабочих циклов вследствие наличия циклов с пропуском подачи топлива. Влияние отключенных циклов на оставшиеся рабочие было, в частности, отмечено А.З. Филипповым [2] в ходе экспериментов, выполненных на поршневых двигателях. Им было установлено, что отключение цикла в любом цилиндре двигателя вызывает ухудшение показателей следующего рабочего цикла в том же цилиндре вследствие уменьшения коэффициента остаточных газов и соответствующего обеднения топливоздушной смеси.

В данном исследовании, с учетом особенностей РПД, было изучено влияние отключенного цикла не только на следующий цикл в этой же камере, но и на цикл в следующей по порядку камере.

Так как угол опережения зажигания и цикловая подача топлива при заданном значении δ_{mf} были во всех циклах одинаковыми, в качестве интегрального показателя протекания рабочего процесса в цикле выбрано максимальное давление цикла p_z . Цикловое значение p_z находили на основе индицирования двигателя. Система индицирования включала пьезодатчик фирмы AVL, усилитель, аналогово-цифровой преобразователь, с помощью которого результаты записывались на ЭВМ. Пример записи индикаторных диаграмм двигателя, работавшего с отключением 1-го цикла из 8-ми, приведен на рис. 3. Верхняя кривая на рисунке показывает изменение давления в рабочей полости, а нижняя — положение импульсов начала отсчета для системы впрыскивания и импульсов управления форсункой. Отсутствие импульса на форсунке соответствует пропуску подачи топлива, т. е. отключенному циклу.

Проведенный статистический анализ данных индицирования показал, что в испытанном РПД отсутствует четко выраженное влияние отключенного цикла на следующий цикл в этой же камере. Статистическая надежность предположения о наличии такого влияния не превышает 85 %. В то же время установлено сильное влияние отключенного цикла на протекание рабочего цикла в следующей по порядку камере (рис. 3).



Рис. 3. Индикаторные диаграммы рабочего процесса РПД при пропуске 1-го цикла из 8-ми (отключено 12,5 % циклов)

Для выяснения причин влияния отключенного цикла на рабочий процесс в соседней камере было выполнено индицирование двигателя, работавшего с различными значениями угла начала впрыска топлива. На основе полученных данных установлено, что рассматриваемое влияние связано с наличием во впускном трубопроводе топливной пленки. В последовательных рабочих циклах часть топлива поступает в камеру в капельно-паровой фазе, а часть — в виде пленки. Так как скорость движения пленки на порядок ниже скорости воздушного потока, то в камеру попадает пленка, сформировавшаяся при предыдущем впрыскивании. При пропуске топливоподачи процесс образования пленки прерывается и при впрыске в последующую камеру в нее попадает только та часть топлива, которая находится в капельно-паровой фазе в воздушном потоке. В результате топливоздушная смесь в камере сильно обедняется. Потерю мощности в цикле с обеднением приходится компенсировать увеличением расхода в оставшихся циклах.

Наличие топливной пленки приводит также к тому, что при пропуске впрыска в камеру, в которой не должно быть топлива, попадает некоторое его количество с пленкой, оставшейся от предыдущего впрыскивания. Последнее подтверждается тем, что при отсутствии или малом опережении начала впрыскивания относительно момента открытия впускного окна вялое горение наблюдается и в отключенных циклах.

Еще одной причиной влияния отключенного цикла на протекание цикла в следующей по порядку камере может быть изменение температуры поверхности статора, охватывающей зону горения топлива.

В целом проведенные на РПД ВАЗ-311 экспериментальные исследования с впрыском топлива во впускной трубопровод позволяют сделать следующие выводы. Во-первых, снижение расхода топлива на частичных нагрузках путем отключения части рабочих циклов удается получить лишь при нагрузках, превышающих некоторое граничное значение. В частности, при отключении одного цикла из пяти оно составляет 38 % от полной нагрузки. С увеличением доли отключенных циклов указанное граничное значение нагрузки уменьшается. Во-вторых, отключение цикла в любой из камер двигателя оказывает существенное влияние не на следующий рабочий цикл в этой же камере, а на рабочий цикл в следующей по порядку камере. Одной из причин указанного влияния является наличие топливной пленки на стенках впускного трубопровода, что подтверждено опытным путем. Кроме того, в условиях РПД такое влияние может быть в определенной мере связано с изменением температуры поверхности статора, ограничивающей камеру сгорания.

Литература

1. Дмитриевский А.В., Шатров Е.В. Топливная экономичность бензиновых двигателей. — М.: Машиностроение, 1985. — 208 с.
2. Зленко М.А. Теория и практика создания двигателей внутреннего сгорания с регулируемым рабочим объемом: Автореф. дис. ... доктора техн. наук. — М.: НАМИ, 2005. — 39 с.
3. Филлипов А.З. Повышение экономических и экологических показателей ДВС отключением отдельных рабочих циклов: Автореф. дисс. ... доктора техн. наук. — М.: МАДИ, 1987. — 50 с.