

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗООБМЕНА ДЛЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ МЕХАНИЗМА ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Хрунков С.Н., Мозолин Н.Е.

ФГБ ОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева», Нижний Новгород, Россия (603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24), e-mail: khrunkov@mail.ru

Обоснована актуальность исследований в области повышения технико-экономических показателей работы поршневых двигателей внутреннего сгорания за счет совершенствования протекания рабочих процессов. Предложена методика проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, обеспечивающая решение поставленной задачи. Проведен анализ взаимосвязи совместной работы кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов поршневых двигателей внутреннего сгорания. Предложена математическая модель процессов газообмена с указанием принятых допущений. Построенная математическая модель основана на совместном использовании принципа изотропности и основных уравнений нестационарной газодинамики. Рассмотрены задачи о цилиндре и об органах впуска и выпуска. Задача о цилиндре поставлена в форме открытой равновесной термодинамической системы. Задача об органах впуска и выпуска рассмотрена в квазиодномерной постановке. Обосновано использование нового динамического критерия оценки эффективности газообмена. Показана возможность численной оценки эффективности регулирования фаз газораспределения в процессе продувки цилиндра. Сделан вывод о необходимости одновременного регулирования фаз впуска и выпуска рабочего тела.

Ключевые слова: двигатели внутреннего сгорания, газообмен, рабочие процессы.

USING GAS EXCHANGE DYNAMICS BENCHMARK FOR SELECTION OF RATIONAL DESIGN OF VALVE TRAIN MECHANISM IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Khrunkov S.N., Mozolin N.E.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia (603950, Nizhny Novgorod, Minin street, 24), e-mail: khrunkov@mail.ru

We have done the research in the field of increasing the performance of internal combustion engines by improving the works processes. We proposed a method for carrying out research and development work, providing solution to the problem. We carried out the analysis of the relationship of teamwork crank and valve train mechanisms reciprocating internal combustion engines. We proposed a mathematical model of gas exchange processes specifying assumptions. Constructed a mathematical model based on the principle of sharing the basic equations of isotropic and unsteady gas dynamics. Consider the problems of the cylinder, intake and exhaust. The problem of the cylinder placed in the form of open-equilibrium thermodynamic system. The problem of the intake and exhaust considered in quasi-one setting. Justified using gas exchange dynamics benchmark for selection of rational design of valve train mechanism internal combustion engines. The possibility of numerical evaluation of the effectiveness of the variable valve timing in the process of purging the cylinder are considered. Conclusion about the necessity of simultaneous variable valve train, intake and exhaust working fluid.

Keywords: internal combustion engines, gas exchange, works processes.

Введение

Широчайшее распространение транспортных поршневых ДВС, обусловленное их высокими потребительскими свойствами, вкупе с высокими рыночными ценами на топливо и мощным конкурентным давлением со стороны зарубежных двигателестроителей, вызывает острую необходимость повышения технико-экономических показателей отечественных поршневых двигателей. Термины «современный двигатель» и «система регулирования фаз

газораспределения» уже стали устойчивым словосочетанием. Моторы с такими механизмами есть почти у всех производителей. Механизмы управления процессами газообмена (путем регулирования фаз газораспределения) в современных двигателях обеспечивают формирование внешних скоростных и нагрузочных характеристик ДВС.

Цель исследования

Цель исследования состоит в уточнении методики проектирования и модернизации газораспределительного механизма (ГРМ) поршневого двигателя, позволяющей решать проблему повышения технико-экономических показателей транспортных поршневых двигателей. Решаемые в исследовании задачи:

- выбор и доработка соответствующей математической модели процессов газообмена; разработка численных алгоритмов решения уравнений принятых математических моделей, их реализация в виде пакета прикладных программ; проведение серии вычислительных экспериментов и на основе анализа их результатов выбор наиболее рациональной характеристики ГРМ;
- проведение комплекса экспериментальных работ с целью оптимизации характеристик элементов органов впуска и выпуска и получения эмпирических данных, уточняющих разработанную математическую модель;
- создание скорректированной методики проектирования ГРМ с рациональными характеристиками, разработка рекомендаций по модернизации существующих механизмов газораспределения;
- разработка конструкций новых деталей ГРМ, их изготовление, обработка, испытания и доводка;
- экспериментальная проверка эффективности изменений, внесенных в организацию процессов газообмена поршневого двигателя.

Материал и методы исследования

Одним из перспективных путей улучшения конструкции поршневых двигателей с целью приближения их энергетических и экономических показателей к предельным показателям идеального двигателя является путь совершенствования процесса наполнения цилиндра двигателя свежим зарядом, оптимизации дозарядки в конце процесса наполнения, совершенствования смесеобразования в цилиндре за счёт создания вращательного движения свежего заряда, совершенствования процесса расширения за счёт оптимизации предварения открытия выпускного отверстия, совершенствования процесса выпуска [7].

Совершенствование организации и протекания названных процессов предлагается осуществлять за счёт корректировки параметров работы механизма газораспределения. Обзор современных достижений и перспективных технологий в разработке ГРМ поршневых

двигателей внутреннего сгорания, в том числе анализ существующих конструктивных схем привода ГРМ, методов профилирования кулачковых шайб распределительного вала, способов организации потока рабочего тела во впускном и в выпускном отверстиях, мероприятий по обеспечению стабильности характеристик ГРМ на расчётном рабочем режиме, динамических исследований работы ГРМ показал, что в данном направлении имеются существенные резервы для совершенствования конструкций. Модернизацию механизма газораспределения, обеспечивающую совершенствование рабочих процессов поршневого двигателя, предложено проводить в рамках существующей технологии в направлении обеспечения большей согласованности совместного действия кривошипно-шатунного механизма, органов впуска и выпуска и газораспределительного механизма за счёт совмещения их характеристик.

В ходе исследования построена математическая модель удаления отработавшего рабочего тела из цилиндра четырёхцилиндрового четырёхтактного двигателя и заполнения его свежим зарядом, позволяющая, в том числе, оценить распределение параметров состояния рабочего тела по длине газозадушного тракта. Построенная математическая модель основана на совместном использовании принципа изотропности и основных уравнений нестационарной газодинамики. Параметры газового потока, которые необходимо рассчитать, определяются тремя законами сохранения – законами сохранения массы, импульса и энергии [6]:

$$\begin{cases} -\frac{\partial}{\partial t} \int \rho \cdot dV = \oint \rho \cdot (\bar{W} \cdot d\bar{F}) \\ -\frac{\partial}{\partial t} \int \rho \cdot \bar{W} \cdot dV = \oint \rho \cdot \bar{W} \cdot (\bar{W} \cdot d\bar{F}) + \oint p \cdot d\bar{F} \\ -\frac{\partial}{\partial t} \int \rho \cdot E \cdot dV = \oint \rho \cdot E \cdot (\bar{W} \cdot d\bar{F}) + \oint p \cdot (\bar{W} \cdot d\bar{F}) \end{cases}$$

Решение задачи об органах впуска и выпуска в квазиодномерном приближении описывается системой дифференциальных уравнений, построенной на основании законов сохранения массы (уравнение неразрывности), импульса (уравнение Эйлера) и уравнения адиабатного состояния газа (уравнение адиабаты Пуассона) [3, 4, 5]:

$$\begin{cases} \left[\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{2}{k-1} \cdot a + W \right) + (W + a) \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{2}{k-1} \cdot a + W \right) \right] = 0, \\ \left[\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{2}{k-1} \cdot a - W \right) + (W - a) \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{2}{k-1} \cdot a - W \right) \right] = 0. \end{cases}$$

где t – время,

k – показатель адиабаты рабочего тела,
 a – местная скорость звука,
 W – мгновенная скорость рабочего тела,
 x – геометрическая координата.

Решение задачи о цилиндре описывается системой дифференциальных уравнений, построенной на основании законов сохранения массы и энергии и уравнения состояния идеального газа для открытой термодинамической системы [1. 2]:

$$\begin{cases} dp = p \cdot k \cdot \left(\frac{dM}{M} - \frac{dV}{V} \right), \\ \frac{dM}{dt} = f \cdot W \cdot \rho. \end{cases}$$

где t – время,

p – давление в цилиндре в текущий момент времени,
 k – показатель адиабаты рабочего тела,
 M – масса рабочего тела в цилиндре двигателя в текущий момент времени,
 V – объем цилиндра в текущий момент времени,
 f – эффективная площадь поперечного сечения отверстия для газообмена,
 W – мгновенная скорость истечения рабочего тела,
 ρ – плотность рабочего тела в цилиндре в текущий момент времени.

Основными допущениями построенной математической модели являются:

- применение модели невязкого совершенного газа;
- применение модели квазиодномерного нестационарного изоэнтропийного течения рабочего тела по газоздушному тракту;
- применение гипотезы мгновенного выравнивания параметров состояния газа по всему объему цилиндра.

Особенностями математической модели являются:

- корректировка параметров рабочего тела в цилиндре с учетом процесса переноса теплоты;
- итерационный способ определения начальных условий;
- задание граничных условий, позволяющее моделировать целенаправленную модернизацию механизма газораспределения;
- учет влияния процессов в смежных ветвях органов впуска и выпуска, осуществляемый по аналогии с работой инжектора.

Главной особенностью построенной математической модели является постановка граничных условий по эффективной площади впускного и выпускного отверстий, что

позволило моделировать влияние целенаправленной модернизации ГРМ на процессы газообмена и решать задачу подбора эффективной площади впускного и выпускного отверстий в ходе вычислительного, а не натурного эксперимента.

Результаты исследования и их обсуждение

Как показывает решение, полученное с использованием построенной математической модели для описания процессов продувки рабочей камеры цилиндра, необходимо введение дополнительного динамического критерия – отношения среднего за период продувки объема цилиндра к объему камеры сжатия. Анализ серийно производимых поршневых двигателей показывает, что в случае регулирования фаз газораспределения только по впуску момент совпадения величин подъема впускного и выпускного клапанов не всегда приходится на момент нахождения поршня в верхней мертвой точке. Это увеличивает среднюю за период продувки величину объема цилиндра на 3...7 %, рисунок 1. Увеличение продуваемого объема одновременно ведет и к изменению геометрических параметров продуваемого пространства – изменению отношения высоты и ширины. Влияние этого фактора на процессы газообмена нуждается в дополнительном исследовании.

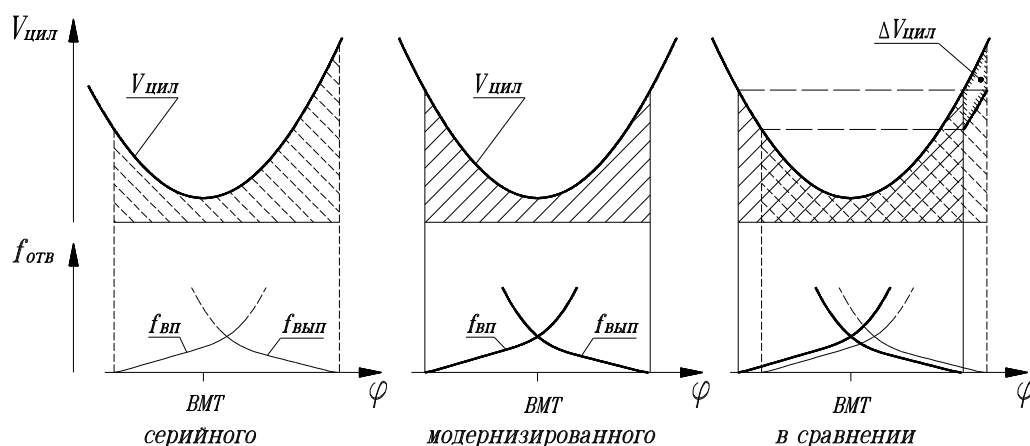


Рис. 1. Уменьшение продуваемого объема цилиндра.

Увеличение продуваемого объема неизбежно ведет к ухудшению очистки цилиндра от отработавших газов и снижению качества процессов образования горючей смеси. Данные теоретические построения были проверены экспериментально.

С целью реализации предложенных изменений в организации процессов газообмена поршневого двигателя в комплектации «нетто» за счёт корректировки параметров работы механизма газораспределения были разработаны рабочие чертежи деталей модернизированного механизма газораспределения — впускного клапана изменённой геометрии и распределительного вала с новым профилем кулачковых шайб и с изменённым порядком работы цилиндров.

Новый профиль кулачковых шайб был рассчитан методом *Multipol*, рекомендуемым к применению в современных двигателях специалистами фирмы *Ricardo Consulting grp.* Согласно рассчитанному профилю были разработаны рабочие чертежи механической оснастки, необходимой для изготовления модернизированного распределительного вала — высокоточного копира и копирного валика.

По специальному заказу на Ивановском заводе ремонта и изготовления автомобильной техники была изготовлена опытная партия модернизированных деталей ГРМ (впускного клапана и распределительного вала). На специализированном моторном стенде определены сравнительные оценочные показатели модернизированного двигателя.

Заключение

Таким образом, с точки зрения организации процессов газообмена одной из важнейших характеристик КШМ является средняя за период перекрытия впускного и выпускного отверстий величина объёма цилиндра. Приближение данного показателя к объёму камеры сжатия при неизменных времени-сечении и длительности фазы перекрытия впускного и выпускного отверстий позволяет увеличить степень согласованности работы КШМ и ГРМ поршневого двигателя.

Это позволяет сделать практически важный вывод о целесообразности регулирования фаз газораспределения одновременно и на впуске, и на выпуске, что требует конструкции с отдельными распределительными валами.

Список литературы

1. Захаров И.Л., Макаров А.Р., Хрунков С.Н., Люхтер А.Б. Трехзонная математическая модель смесеобразования и сгорания в бензиновом ДВС // Автомобильная промышленность. – 2007. - № 1. – С. 15-18.
2. Захаров И.Л., Химич В.Л., Захаров Л.А., Тарасов А.Н. Методика оценки термодинамических показателей поршневого ДВС с переменной степенью сжатия на ранней стадии проектирования // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2012. – Т. 16. - № 5 (50). – С. 69-74.
3. Захаров И.Л., Химич В.Л., Тарасов А.Н., Захаров Л.А. Повышение технических показателей перспективного поршневого многотопливного ДВС с переменной степенью сжатия на ранней стадии проектирования // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева – 2012. - №4. – С. 207-213.

4. Захаров Л.А., Захаров И.Л., Сеземин А.В. Повышение топливной экономичности дизельного двигателя за счет снижения механических потерь // Журнал Автомобильных Инженеров. – 2011. - № 3 (68). – С. 41-43.
5. Захаров Л.А., Захаров И.Л., Хрунков С.Н. Моделирование смесеобразования и горения в рабочей камере поршневого двигателя внутреннего сгорания // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева – 2010. - №2. – С. 178-186.
6. Захаров Л.А., Хрунков С.Н., Лимонов А.К. Методика выбора рациональных технических характеристик газораспределительного механизма поршневого двигателя внутреннего сгорания // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2010. - № 4. – С. 181-189.
7. Хрунков С.Н. Повышение технико-экономических показателей поршневого двигателя за счет совершенствования механизма газораспределения: дис.... канд. тех. наук. – Нижний Новгород, 2001. – С. 122-129.

Рецензенты:

Зуев В.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Кораблестроение и авиационная техника» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.

Ваганов А.Б., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Аэро-гидродинамика, прочность машин и сопротивление материалов» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.