

## ПНЕВМОДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

**А.Н. Туренко, профессор, д.т.н., В.А. Богомолов, профессор, д.т.н.,  
Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., С.С. Жилин, доцент, к.т.н.,  
А.И. Харченко, доцент, к.т.н., В.С. Червяк, мл. научн. сотр.,  
В.И. Рубцов, инженер, ХНАДУ**

***Аннотация.** Рассмотрены конструктивные особенности экспериментального образца поршневого кривошипного пневмодвигателя как составной части гибридной силовой установки и даны результаты пробных его испытаний на автомобиле.*

***Ключевые слова:** поршневые кривошипные пневмодвигатели, конструкции, технические характеристики.*

### Введение

В работе [1] изложены основные требования к рабочему процессу и конструкции поршневого кривошипного пневмодвигателя, используемого в качестве составной части комбинированной (гибридной) силовой установки автомобиля схемы «двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – пневмодвигатель» (реверсивный мотор-компрессор с автоматическим регулированием фаз воздухораспределения, с электрогидравлическим приводом клапанов и др.). Достаточно полное выполнение этих требований, как показывают наши расчетные исследования, может сделать схему «ДВС-пневмодвигатель» конкурентоспособной по отношению к схеме «ДВС-электродвигатель», эффективность и жизнеспособность которой к настоящему времени доказана в мировой практике все нарастающим выпуском и растущим спросом на гибридные автомобили с такой схемой [2 – 6].

В ХНАДУ ведется работа по созданию пневмодвигателя, отвечающего названным требованиям. Но такая работа, как показывает опыт, является проблемной, и требует значительных затрат времени и материальных ресурсов.

Важным вопросом этой многоплановой работы является оптимизация взаимодействия

между ДВС и пневмодвигателем при эксплуатации автомобиля по городскому ездовому циклу. Здесь необходимы как расчетные исследования, так и накопление опытных данных. В ХНАДУ создан экспериментальный автомобиль, который оборудуется гибридной силовой установкой как по схеме «ДВС-электродвигатель», так и по схеме «ДВС-пневмодвигатель». Для начального этапа испытаний такого автомобиля создан экспериментальный образец поршневого пневмодвигателя, особенности конструкции которого рассмотрены в данной статье.

### Общая характеристика пневмодвигателя

Рассматриваемый пневмодвигатель в комплексе проводимых по теме экспериментальных исследований предназначен сыграть роль временного, как бы «технологического» образца для изучения узкого круга вопросов взаимодействия двух независимых бортовых источников энергии – двигателя внутреннего сгорания и двигателя, работающего на сжатом воздухе при эксплуатации автомобиля в реальных условиях городского автомобильного движения. Двигатель был создан и испытан во второй половине 2007 г.

По типу – это поршневой четырехцилиндровый V-образный нереверсивный пневмодви-

гатель с золотниковым воздухораспределением, с комбинированной системой смазки (подшипники скольжения коленчатого вала смазываются под давлением, а детали цилиндро-поршневой группы смазываются разбрызгиванием). Диаметр цилиндра  $D = 76$  мм, ход поршня  $S = 66$  мм, угол развала цилиндров  $90^\circ$ .

Рабочий цикл двигателя четырехпроцессный: впуск, расширение, выпуск-выталкивание и обратное сжатие. Процесс расширения не полный, а частичный, ограничиваемый минимально допустимой температурой рабочего тела в конце процесса по условию недопущения обмерзания выпускного тракта.

### **Особенности конструкции**

Базовые детали: блок-картер, оребренные цилиндры, детали цилиндро-поршневой группы, шатуны, вкладыши коренных и шатунных подшипников и ряд других деталей взяты от ДВС МеМЗ-968, который является четырехтактным, четырехцилиндровым *V*-образным бензиновым двигателем воздушного охлаждения. *V*-образная компоновка цилиндров обеспечила компактность и сравнительно малые габариты двигателя. Использование алюминиевого сплава в изготовлении туннельного картера даёт возможность получить умеренную массу всей конструкции. Наличие четырех цилиндров позволяет получить достаточно равномерный суммарный крутящий момент и возможность запуска двигателя при любом положении коленчатого вала. Наличие оребрения на цилиндрах интенсифицирует подвод теплоты из окружающей среды к расширяющемуся с понижением температуры рабочему телу, что положительно влияет на КПД рабочего цикла и препятствует обмерзанию выпускных каналов.

Вместо серийного коленчатого вала с крестообразным расположением кривошипов изготовлен новый коленчатый вал, соответствующий двухтактному рабочему циклу пневмодвигателя. Вал трехопорный с двумя кривошипами, расположенными под углом  $180^\circ$  («плоский вал»). К каждому кривошипу подсоединяется два шатуна от левого и правого цилиндров.

Анализ уравновешенности двигателя показал, что при заданном расположении цилин-

дров и новой конструкции коленчатого вала неуравновешенными оказываются моменты от сил инерции вращающихся масс и момент от сил инерции первого порядка. Эти моменты уравновешиваются размещением противовесов на продолжении шёк.

Золотниковое воздухораспределение двухлинейное, т.е. имеет два канала: один напорный и один выпускной, связанный с атмосферой, и состоит из неподвижной цилиндрической золотниковой коробки и расположенного внутри неё золотника, вращающегося синхронно коленвалу.

Золотниковая коробка расположена в развале блока цилиндров на возможно близком расстоянии от головок цилиндров, с которыми она соединена каналами (трубками). Проходное сечение соединительных каналов оптимизировано: с увеличением этого сечения гидравлические потери снижаются (положительный фактор), а мертвый объем увеличивается (отрицательный фактор). Фазы воздухораспределения, как и сечения соединительных каналов, оптимизированы путем расчетного исследования, в котором критерием оптимизации был выбран минимальный удельный расход сжатого воздуха.

Проходные сечения каналов выпуска в золотнике и за его пределами приняты в два раза большими в сравнении с каналами впуска. Это вызвано главным образом тем, что объем рабочего тела на выпуске после расширения становится многократно больше его объема на впуске.

Следует заметить также, что через канал в золотнике впуск происходит только в один цилиндр (фазы впуска цилиндров не перекрываются), тогда как выпуск через один и тот же канал в золотнике происходит на значительном протяжении одновременно из двух цилиндров (фазы выпуска чередующихся в работе цилиндров в определенной мере перекрываются).

Привод золотника осуществляется цепной передачей от коленчатого вала.

### **Результаты пробных испытаний пневмодвигателя**

После сборки пневмодвигатель прошел обкаточные, наладочные и регулировочные испы-



Рис. 1. Автомобиль «Таврия», оборудованный созданной в ХНАДУ экспериментальной гибридной силовой установкой схемы «ДВС на сжатом природном газе – поршневой пневмодвигатель»

тания и как агрегат гибридной силовой установки был смонтирован на экспериментальном автомобиле «Таврия» (рис. 1). Лабораторными испытаниями автомобиля на беговых барабанах с приводом от пневмодвигателя было установлено, что последний на требуемых частотах вращения и при рабочих давлениях сжатого воздуха на входе развивает крутящий момент весьма близкий к расчетному. Например, на скорости движения автомобиля 38 км/ч и тяговом усилии на ведущих колесах 800 Н крутящий момент на валу пневмодвигателя составил 146 Н·м при частоте его вращения  $600 \text{ мин}^{-1}$  и развиваемой на валу мощности 9,2 кВт.

Результатом дорожных испытаний автомобиля с гибридной силовой установкой по схемам «ДВС-электродвигатель» и «ДВС-пневмодвигатель» будет посвящена отдельная публикация.

### Заключение

В ХНАДУ в 2007 г. для гибридной силовой установки автомобиля «Таврия» создан экспериментальный образец поршневого кривошипного четырехцилиндрового V-образного пневмодвигателя с двухлинейным золотниковым воздухом распределением вращательного движения золотника. Пробные испытания пневмодвигателя дали удовлетворительные результаты. При разработке конструкции пневмодвигателя использованы корпусные узлы и детали кривошипношатунного механизма бензинового двигателя

внутреннего сгорания MeM3-968 (изготовитель – Мелитопольский моторный завод).

### Литература

1. Туренко А.Н., Богомолов В.А., Абрамчук Ф.И. и др. О требованиях к конструкции и рабочему процессу пневмодвигателя для комбинированной энергоустановки автомобиля // Автомобильный транспорт: Сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2006. – Вып. 18. – С. 7–12.
2. Савченко А. Гибридные автомобили и концепткарры на Международном автосалоне во Франкфурте 2007 г. // Автостроение за рубежом. – 2007. – №11. – С. 17–19.
3. Савченко А. Разработки автомобилей с гибридным приводом // Автостроение за рубежом. – 2007. – №9. – С. 3–4.
4. Голубничий М. Гибридная техника на выставке в Нью-Йорке // Автостроение за рубежом. – 2007. – №8. – С. 21–23.
5. Коммерческие концептуальные автомобили из Японии // Автостроение за рубежом. – 2004. – №3. – С. 2–3.
6. Гибридная силовая установка // Автостроение за рубежом. – 2002. – №4. – С. 18.

Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 17 марта 2008 г.