

УДК 621.43.056

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА ЗМЗ 405.

Татарников А. П., Хрипач Н. А.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», (107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д.38), e-mail: tatarnikovalex@gmail.com.*

В статье проведен анализ используемых механизмов, принципов изменения фаз газораспределения, исполнительных механизмов и компоновочных решений. Также была проведена исследовательская работа, направленная на изучение принципов регулирования фаз газораспределения, оценке преимуществ и недостатков различных систем и механизмов, диапазонов регулирования, изменения фаз только впускных и обоих распределительных валов. На основании анализа существующих систем была создана концепция системы изменения фаз газораспределения и собран опытный образец двигателя. Описаны конструкция системы изменения фаз, конструкция механизма изменения фаз. Описаны конструктивные и компоновочные особенности системы изменения фаз газораспределения. Рассмотрен принцип управления фазами газораспределения. После отладки системы управления были проведены испытания двигателя с изменяемыми фазами газораспределения. Использование системы изменения фаз газораспределения показало снижение расхода топлива до 15 %, увеличение крутящего момента на средних оборотах до 18 %, увеличение максимальной мощности до 19 % по сравнению с базовым двигателем с постоянными фазами газораспределения.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, изменение фаз газораспределения, непрерывное регулирование.

## DEVELOPING SYSTEM OF VARIABLE VALVE TIMING FOR GASOLINE ENGINES OF ZMZ 405

Tatarnikov A. P., Khripach N. A.

*Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow state university of mechanical engineering (MAMI)" (107023, Moscow, st. Bolshaya Semenovskaya, 38), e-mail: tatarnikovalex@gmail.com*

The analysis of the mechanisms used, the principles of variable valve timing actuator and layout solutions. The same research was carried out, aimed at the study of the principles of variable valve timing, evaluation of the advantages and disadvantages of the different systems and mechanisms that control range, variable valve inlet and two camshafts. Based on the analysis of existing systems created the concept of variable valve timing and built a prototype engine. The design of variable valve timing system, the design of the mechanism of valve timing change. Constructive and assembly system features variable valve timing. The principle of the control valve timing. After debugging control systems were tested engine with variable valve timing system. The use of variable valve timing system showed a reduction in fuel consumption of up to 15% increase in torque at medium speed to 18% increase in maximum power of up to 19% compared with the base engine with constant valve timing.

Keywords: internal combustion engines, variable valve timing, continuous regulation.

### Введение

На сегодняшний день представить себе современный бензиновый двигатель внутреннего сгорания без механизма изменения фаз газораспределения практически невозможно. Систем изменения фаз газораспределения в мире существует почти столько же, сколько и крупных мировых компаний, занимающихся производством двигателей. Рассмотрим некоторые из них: – VANOS[2] и DOUBLEVANOS от BMW позволяет изменять фазы только впускных или обоих распределительных валов соответственно. Принцип действия механизма основан на перемещении промежуточной детали с винтовыми шлицами, которые преобразуют

поступательное движение во вращательное движение распределительного вала относительно звездочки цепи ГРМ.

– VVT-i [4] от Toyota позволяет плавно изменять фазы газораспределения в соответствии с условиями работы двигателя [1]. Механизм схож по структуре с лопастным насосом, ротор которого поворачивается относительно корпуса под действием давления масла.

Одни производители склонны к тенденции регулирования впускных и выпускных клапанов, другие же изменяют фазы только впускных клапанов, считая нерентабельным усложнения конструкции ради не столь ощутимого эффекта.

Все ныне существующие серийные механизмы, за счет которых происходит изменение фаз газораспределения, имеют свои характерные особенности, однако могут быть разделены по:

- принципу изменения углового положения:
  - механические;
  - гидравлические;
- режимам работы механизмов изменения фаз:
  - двухрежимных;
  - всережимных;
- конструкции приводного механизма:
  - внешнего расположения;
  - внутреннего расположения;
- системе фиксации механизма от поворота:
  - с механизмом фиксации;
  - без механизма фиксации;

Системы изменения фаз газораспределения в зависимости от производителя хоть и отличаются вышеописанными признаками, имеют схожие параметры регулирования фаз газораспределения.

В рамках проведения научно-исследовательской работы было решено разработать механизм изменения фаз газораспределения для современных российских бензиновых двигателей семейства ЗМЗ 40524 (объемом 2.46 л., степенью сжатия 9.4 и максимальной мощностью 103.1 кВт при 5000 мин<sup>-1</sup>)[3].

### **Анализ и выбор конструкции**

В ходе научно-исследовательской работы был проведен анализ используемых механизмов, принципов изменения фаз газораспределения, исполнительных механизмов и компоновочных решений. Также была проведена исследовательская работа, направленная на

изучение принципов регулирования фаз газораспределения, оценке преимуществ и недостатков различных систем и механизмов, диапазонов регулирования, изменения фаз только впускных и обоих распределительных валов. На основании анализа существующих систем была создана концепция системы изменения фаз газораспределения. Было решено, что система изменения фаз газораспределения не должна кардинально менять габаритные размеры двигателя, его компоновку, иметь минимально возможные габаритные размеры, для работы механизмов изменения фаз использовать как можно больше штатных узлов и агрегатов. В качестве основных конструктивных особенностей были выбраны:

- механизм с двумя винтовыми разнонаправленными шлицами;
- привод механизма гидравлический с питанием от масляной магистрали двигателя;
- с непрерывным регулированием фаз газораспределения;
- изменений фаз газораспределения обоих валов;
- широкий диапазон регулирования 30–35 градусов поворота распределительного вала.

К преимуществам выбранной концепции можно отнести малые габаритные размеры, широкий диапазон регулирования фаз газораспределения, простота конструкции, установка механизма вносит существенные изменения лишь в форму корпусных деталей. К недостаткам выбранной конструкции относятся трудности в изготовлении винтовых шлицев и увеличение нагрузки на шейки распределительных валов.

На основании выбранной концепции была разработана трехмерная компоновка основных элементов системы изменения фаз газораспределения (рисунок 1).

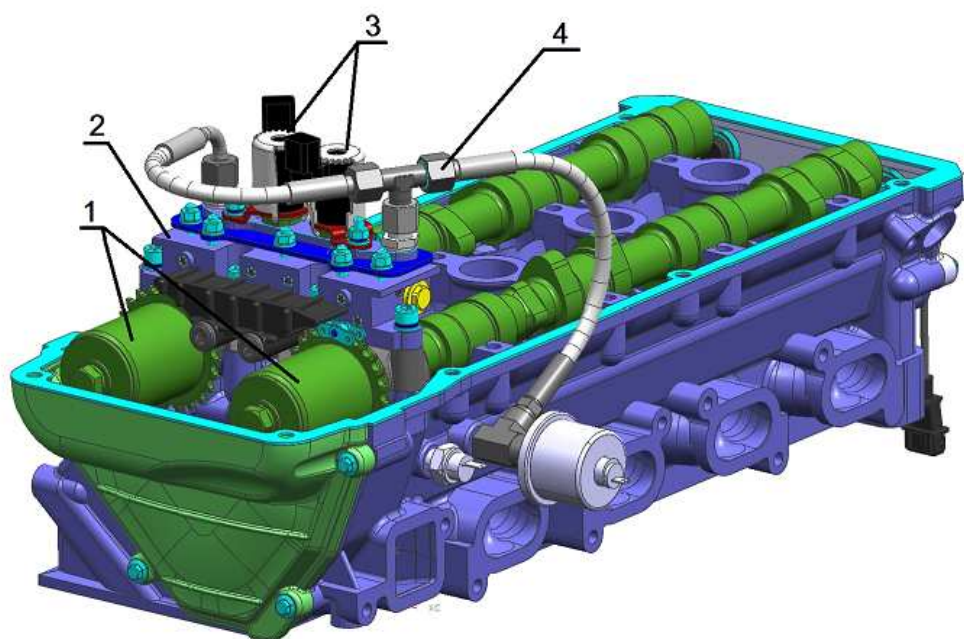


Рисунок 1. Трехмерная компоновка основных элементов системы изменения фаз газораспределения: 1 – механизмы изменения фаз; 2 – корпус масляных клапанов; 3 –

электромагнитные клапаны управления подачей масла; 4 – гибкая подводка масла из головки блока цилиндров

Вся система изменения фаз газораспределения состоит из:

- механизмов поворота распределительных валов;
- системы подачи масла в механизмы;
- системы управления;

Механизм поворота распределительного вала состоит из внутренней детали, которая крепится к распределительному валу, поршня, который одевается на внутреннюю деталь, внешняя деталь с приводной звездочкой и направляющей шайбы. В механизме используются правые и левые шлицевые винтовые соединения, одни в паре «внутренняя деталь» – «поршень», вторые в паре «поршень» – «внешняя деталь», которые позволяют малым перемещением поршня обеспечить широкий диапазон регулирования фаз газораспределения. Уплотнительные элементы в виде резиновых колец образуют внутри механизма две полости по обе стороны поршня, за счет чего при подаче масла в одну из полостей из второй полости происходит слив масла в головку блока цилиндров и поршень перемещается вдоль оси, поворачивая внешнюю деталь. Масло подается в механизм через специальные сверления в распределительном валу.

#### **Система подачи масла в механизмы**

В ходе разработки системы изменения фаз газораспределения было решено максимально использовать узлы и агрегаты базового двигателя, поэтому для управления механизмами изменения фаз масло подается из масляной магистрали головки блока цилиндров. Система подачи масла в механизмы состоит из двух электромагнитных масляных клапанов, корпуса масляных клапанов, доработанной передней крышки распределительных валов, штуцеров и гибкой подводки. На место установки датчика аварийного давления масла устанавливается тройник, в который вворачивается датчик аварийного давления масла и масляный шланг для отбора масла в корпус масляных клапанов.

В связи с тем, что головка блока цилиндров и крышки распределительных валов обрабатываются в сборе, для проведения испытаний было решено доработать переднюю крышку распределительных валов и создать сопряженную ей деталь – корпус масляных клапанов, которые в случае серийного производства стали бы единой деталью. Корпус масляных клапанов представляет собой гидравлический распределитель, в который устанавливаются два электромагнитных клапана управления подачей масла, и подводится масло из масляной магистрали двигателя.

В корпусе существует система сверлений, за счет которых с помощью клапана управления можно через переднюю крышку распределительных валов и отверстий в распределительном

валу направлять поток масла в одну или другую полость механизма, а из второй производится слив масла в головку блока цилиндров. Каждый электромагнитный клапан управляет подачей масла в свой механизм, а расход масла изменяется степенью открытия золотника. Клапан так же обеспечивает заданное угловое смещение механизма за счет закрытия золотником двух каналов сразу, его положение регулируется с помощью ШИМ сигнала. Схема работы механизма представлена на рисунке 2.

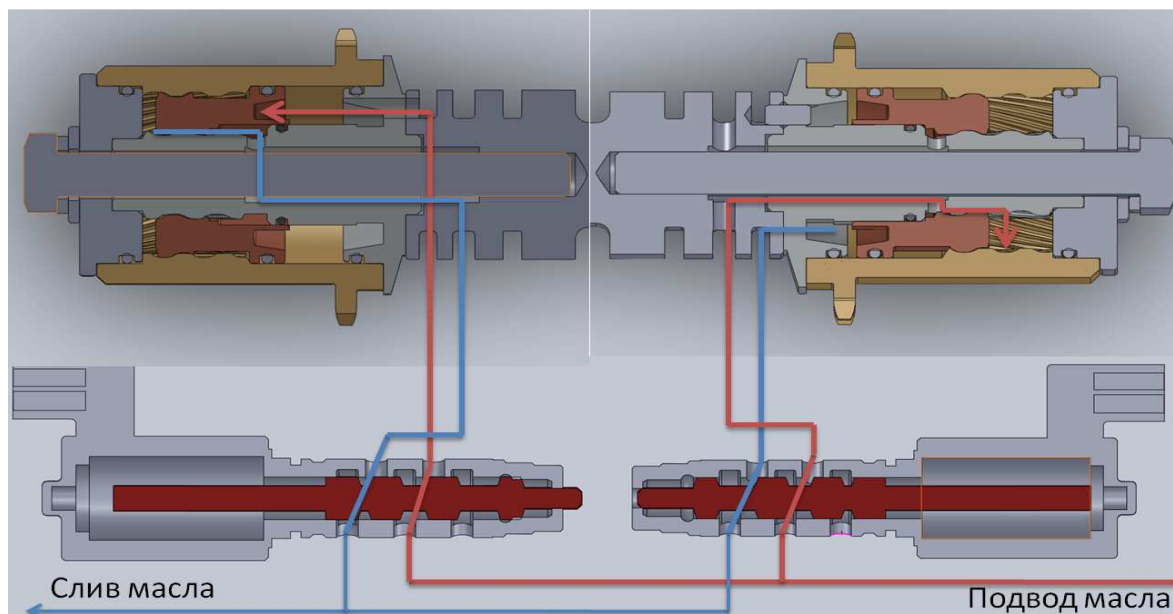


Рисунок 2. Схема работы механизма

### Система управления

Система управления изменениями фаз газораспределения опытного образца двигателя построена на базе блока управления базовым двигателем и промышленного контроллера RIO-9012. Управление фазами газораспределения производится на основании экспериментальных фаз газораспределения, обеспечивающих наилучшее наполнение цилиндров в зависимости от режима работы двигателя. Регулирование изменения фаз газораспределения производится на основе принципа регулирования с обратной связью, для чего на оба распределительных вала установлены стальные лепестки, а на задней крышке ГБЦ – два датчика с принципом действия на эффекте Холла. При достижении заданного программой углового смещения распределительных валов электромагнитные клапаны управления закрываются, прекращается подача и слив масла из механизма и фазы остаются постоянными. Широкий диапазон регулирования фаз газораспределения позволяет улучшить пусковые характеристики двигателя, снизить расход топлива за счет снижения доли обратного выброса, увеличить энергоэффективные параметры двигателя, а также экспериментально реализовать цикл с продолженным расширением (цикл Аткинсона-Миллера) [5, 6]. Для отладки системы, наглядного отображения текущих фаз газораспределения и управления ими было разработано программное обеспечение с графическим интерфейсом.

## **Регулирование фаз газораспределения**

Системы с двухпозиционным механизмом изменения фаз просты в управлении, но все-таки не могут обеспечить оптимальное наполнение цилиндров двигателя, так как начальные фазы газораспределения рассчитаны на средние обороты работы двигателя. Использование бесступенчатого регулирования фаз газораспределения позволяет подбирать оптимальные фазы газораспределения для каждого режима работы двигателя.

### **Экспериментальные данные**

По окончании сборки и отладки системы изменения фаз газораспределения на двигателе ЗМЗ 40524 были проведены испытания. Результаты испытаний показали снижение расхода топлива на 15 %, увеличение крутящего момента на средних оборотах до 18 %, увеличение максимальной мощности на 19 % по сравнению с базовым двигателем с постоянными фазами газораспределения. Экологические параметры двигателя с системой изменения фаз газораспределения при использовании современных каталитических нейтрализаторов и систем управления при проведении испытаний по правилам ЕЭК ООН № 83 должны соответствовать уровню Евро-5.

Работа проведена в рамках государственного контракта № 16.526.12.6007 от «08» июля 2011 г. при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

### **Список литературы**

1. Борщенко А. Я., Васильев В. И. Электронные и микропроцессорные системы автомобилей. Учебное пособие. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2007. – 207 с.
2. За рулем [Электронный ресурс]: Многопредмет. журн. // ОАО «За рулем»; ред. П. С. Меньших; – Электрон. дан. – М.: ОАО «За рулем», 2006. – Режим доступа: <http://www.zr.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. англ.
3. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту двигателя ЗМЗ-40524.10, ОАО «Заволжский моторный завод». 2008. – 164 с.
4. Устройство, диагностика и ремонт систем управления [Электронный ресурс]. Статьи издательства / Изд-во Легион-Автодата. – Электрон. дан. – М.: Изд-во Легион-Автодата, 2006. Режим доступа: <http://www.autodata.ru/>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус.
5. Хрипач Н. А., Лежнев Л. Ю., Папкин Б. А., Шустров Ф. А., Татарников А. П., Тингаев Н. В. Анализ конструкций, обеспечивающих максимальную термодинамическую эффективность поршневых двигателей // Известия Московского государственного технического университета. МАМИ. – 2012. – Т. 1. – № 2.
6. Yamaguchi J. Toyota Prius // Automotive Engineering International. – 1998. – № 1.

**Рецензенты:**

Химич Владимир Леонидович, д-р техн. наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.

Ерохов Виктор Иванович, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки, Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), г. Москва.