

ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ

A detailed close-up photograph of an engine's gas distributor mechanism. The central focus is a polished metal shaft with a valve assembly in the middle, featuring a white ceramic or metal tip. The shaft is surrounded by various gears, including a large white gear on the right and a smaller one on the left. The background shows the intricate metal parts of the engine block, with some components having a blueish tint. The lighting is bright, highlighting the metallic surfaces and the complex arrangement of the mechanism.



Газораспределительный механизм (ГРМ) — механизм управления газовыми потоками в цилиндре двигателя внутреннего сгорания, переключающий фазы газораспределения.

Состоит из распределительного вала — или нескольких валов — и механизмов привода к ним, клапанов, открывающих и закрывающих впускные и выпускные отверстия в камерах сгорания, и передаточных звеньев — толкателей, штанг, коромысел и некоторых вспомогательных деталей (регулирующих элементов, клапанных пружин, системы поворота клапанов и проч.) В некоторых конструкциях система распределения представлена вращающимися или качающимися распределительными гильзами или золотниками.

Система привода распределительного вала четырехтактного двигателя в любом случае обеспечивает его вращение с угловой скоростью, равной $1/2$ угловой скорости коленвала, двухтактного - синхронно с коленвалом.

Типология

Классификация механизмов газораспределения производится в зависимости от того, каким образом в них осуществляется управление впуском и выпуском. Обычно выделяют четыре типа механизмов управления впуском и выпуском — поршневые, золотниковые, клапанные и гильзовые.

- **С поршневым управлением газораспределением**

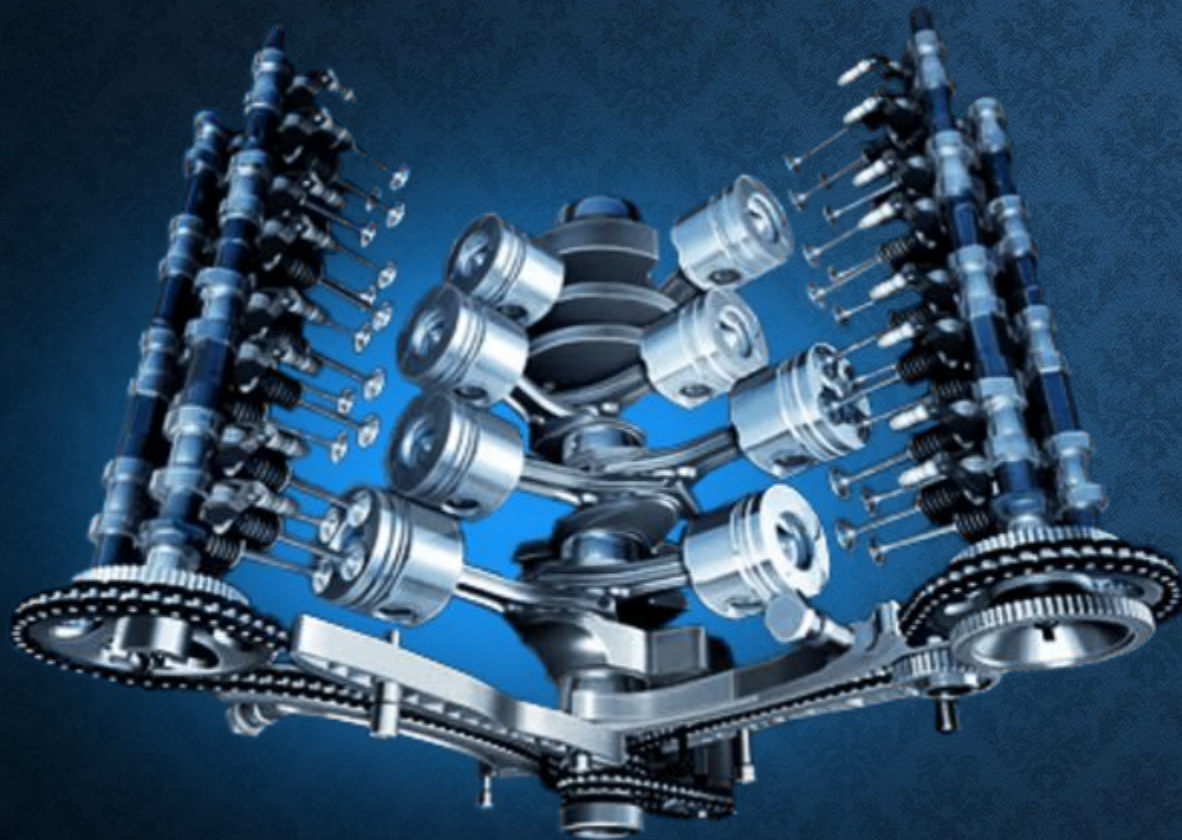
Механизм газораспределения с поршневым управлением впуском и выпуском применяется на двухтактных двигателях сравнительно небольшого литража. В нём фазы газораспределения задаются за счёт осуществляемого непосредственно поршнем открытия и закрытия окон в стенке цилиндра. Впускное окно обычно открывается при положении коленчатого вала, в котором поршень не доходит $40-60^\circ$ до верхней мёртвой точки (по углу поворота коленвала), а закрывается спустя $40-60^\circ$ после её прохождения, что даёт достаточно узкую фазу впуска — не более $130-140^\circ$. На высокофорсированных спортивных моторах открытие впускного окна может производиться за $65-70^\circ$ до ВМТ, что расширяет фазу впуска, но при этом работа двигателя на малых и средних оборотах становится неустойчивой, значительно увеличивается непроизводительный расход топлива из-за обратного выброса топливной смеси в атмосферу. Выпускное окно открывается примерно за $80-85^\circ$ до достижения поршнем нижней мёртвой точки, а закрывается спустя $80-85^\circ$ после её прохождения, что даёт длительность фазы выпуска около $160-165^\circ$. Фаза продувки имеет длительность около $110...125^\circ$. Симметричность фаз газораспределения при поршневом управлении впуском и выпуском обусловлена тем, что взаимное расположение поршня и окон в стенке цилиндра одинаково как при ходе вверх, так и при ходе вниз.

- **С золотниковым управлением газораспределением**

Для управления впуском используется золотник (клапан) дискового, лепесткового или мембранного типа. Благодаря нему удаётся сделать фазу впуска асимметричной относительно ВМТ и увеличить её длительность до $180-200^\circ$, тем самым улучшив наполнение цилиндра.

Также золотниковое газораспределение использовалось на некоторых четырёхтактных двигателях начала XX века, но впоследствии вышло из употребления.





- **С клапанным управлением газораспределением**

Управление газораспределением осуществляется при помощи тарельчатых клапанов, как правило имеющих привод от распределительного вала. Эта система наиболее распространена на современных четырёхтактных двигателях, а также мощных двухтактных (с клапанно-щелевой продувкой, имеются только выпускные клапана).

КЛАССИФИКАЦИЯ



По расположению клапанов выделяют двигатели:

- Нижнеклапанные (с боковым расположением клапанов);
- Верхнеклапанные (в старой литературе — «с подвесными клапанами»);
- Со смешанным расположением клапанов.

По расположению распределительного вала выделяют двигатели:

- С распредвалом, расположенным в блоке цилиндров (Cam-in-Block);
- С распредвалом, расположенным в головке блока цилиндров (Cam-in-Head);
- Без распределительного вала.

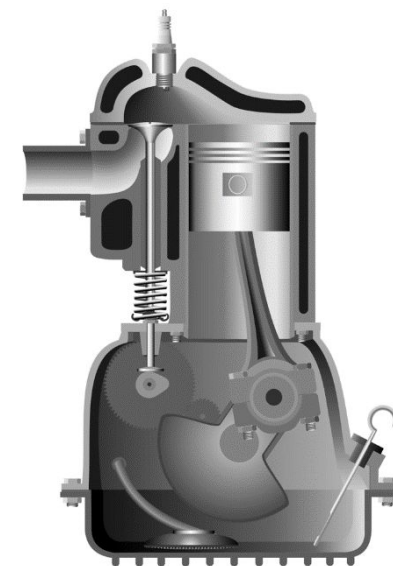
По этим признакам клапанные механизмы четырёхтактных двигателей внутреннего сгорания разделяются на целый ряд подтипов.



Нижнеклапанные

Нижнеклапанный двигатель (с боковым расположением клапанов, англ. *L-Head, Flathead, SV – Side-Valve*) – двигатель, у которого распредвал расположен в блоке и клапаны расположены также в блоке, в ряд сбоку от цилиндров, тарелками вверх. Привод непосредственно от расположенного под ними распредвала.

Плюсы схемы – малая шумность, простота конструкции, отсутствие опасности касания клапанов и поршня при неправильной установке угла распределительного вала. При наличии гидравлических толкателей клапанов или правильно выставленном клапанном зазоре нижнеклапанные двигатели работают на холостых оборотах почти совершенно бесшумно – отчётливо слышен только шум воздуха, обтекающего вентилятор системы охлаждения. Все детали ГРМ этого типа находятся внутри блока, что позволяет получить очень компактный двигатель. Распределительный вал находится в общем картере с коленвалом, что упрощает систему смазки и повышает безотказность, отсутствуют промежуточные передаточные звенья между кулачками распредвала и клапанами (коромысла, рокеры, рычаги и т. п.), нет необходимости в сложных уплотнениях стержней клапанов (маслосъёмные колпачки). Головка блока нижнеклапанного мотора представляет собой простую чугунную или алюминиевую плиту с каналами для охлаждающей жидкости, она легко демонтируется, открывая удобный доступ к клапанам и поршням, что было весьма актуально в годы, когда поршни требовалось регулярно очищать от нагара, а клапаны – периодически притирать к седлам, для чего в их тарелках делались специальные шлицы для притирочной машинки.



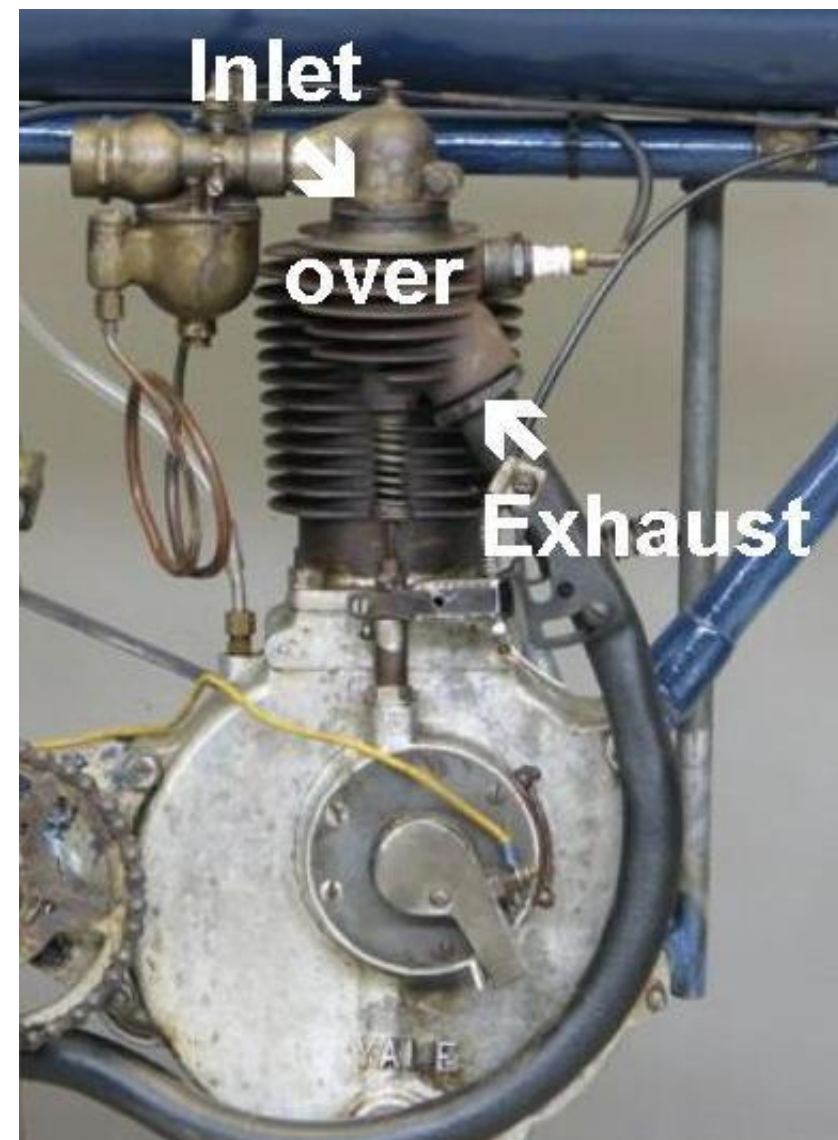
Главный минус нижнеклапанной компоновки — из-за сложного пути бензовоздушной смеси значительно ухудшается наполнение цилиндров, в особенности на высоких оборотах, как следствие — достигается ощутимо меньшая удельная мощность по сравнению с остальными конфигурациями, двигатель получается тихоходным и неэкономичным. Камеры сгорания нижнеклапанного мотора имеют сложную форму и из-за этого как правило не подвергаются механической обработке, сохраняя шероховатую поверхность, полученную при отливке, что ещё больше снижает показатели двигателя и является причиной появления различий в объёме и характере работы камер сгорания одной головки. Длинные выпускные каналы способствуют перегреву нижнеклапанного двигателя. Необходимость обеспечить, с одной стороны, минимальное конструктивно обусловленное расстояние между осями цилиндра и распределительного вала, а с другой — необходимый зазор между тарелкой клапана и стенками камеры сгорания вынуждает конструкторов придавать камере сгорания сильно вытянутую форму и не даёт уменьшить её объём, а это, в свою очередь, не позволяет увеличить степень сжатия, что является наиболее простым и эффективным способом повышения удельной мощности, выше $7\div 7,5:1$ — при дальнейшем росте степени сжатия нижнеклапанный двигатель становится склонен к детонации (в незначительной степени этот недостаток может быть устранён наклоном осей клапанов относительно оси цилиндров, однако при этом растут габариты двигателя). По той же причине невозможно создание нижнеклапанного дизеля, поскольку в дизель-моторах необходимы степени сжатия порядка 19 и выше.

Ещё одним недостатком нижнеклапанного двигателя является сложность в обслуживании газораспределительного механизма — при такой его компоновке весьма затруднён доступ к толкателям клапанов для их регулировки. На некоторых нижнеклапанных двигателях штатная регулировка клапанного зазора вообще не была предусмотрена (Ford T), в случае серьёзного нарушения работы стержни клапанов немного подпиливали.

Со смешанным расположением клапанов

Также встречается обозначение — *F-Head*. У такого двигателя обычно впускные клапаны находятся в головке блока, как у верхнеклапанного мотора, и приводятся в действие при помощи штанг толкателей, а выпускные — в блоке, как у нижнеклапанного двигателя. Распределительный вал был один и был расположен в блоке, как у обычного нижнеклапанного мотора.

Эта схема обладает тем преимуществом, что её мощность ощутимо выше, чем у «чистого» нижнеклапанного — верхнее расположение впускных клапанов позволяет ощутимо улучшить наполнение цилиндров рабочей смесью. Как правило, такие двигатели переделывались из нижнеклапанных в качестве меры текущей модернизации, что зачастую было технологически проще и экономически выгоднее перехода к полностью верхнеклапанному мотору на основе того же блока цилиндров.



Верхнеклапанные со штанговым приводом клапанов (тип OHV)

Данная конструкция ГРМ была изобретена Дэвидом Данбаром Бьюиком (*David Dunbar Buick*) в самом начале XX века. У этих двигателей клапаны расположены в головке цилиндров, а [распредвал](#) — в блоке (английское обозначение — *OHV* — «*OverHead Valve*»; также встречается *I-Head*, или *Pushrod*, то есть, «со штангами толкателей»). Привод клапанов — от кулачков распределительного вала посредством толкателей, штанг толкателей и коромысел.

Плюс такой схемы — относительно простая конструкция и обеспечиваемая ей конструктивная надёжность — в частности, как правило используется простой и надёжный привод распределительного вала шестернями, что исключает саму возможность таких неисправностей, как разрыв ремня ГРМ или «перескакивание» цепи в механизме с цепным приводом. Эксплуатационные нагрузки на детали ГРМ также оказываются сравнительно невысокими, чем обеспечивается высокая долговечность.

Многие двигатели с ГРМ типа OHV ощутимо более компактны по сравнению с верхневальными, так как у них отсутствует расположенный сверху в головке блока распределительный вал, что особенно актуально для двигателей без оси коромысел, у которых коромысла опираются на шаровые пальцы; для рядных двигателей это в особенности касается габарита по высоте, а для V-образных — и высоты, и габаритной ширины.

Существенный минус ГРМ типа OHV по современным меркам — большая инерционность такого механизма газораспределения, что несколько ограничивает безопасные максимальные обороты коленчатого вала двигателя и, следовательно, развиваемые двигателем крутящий момент и литровую мощность (степень форсирования). Спортивные двигатели с ГРМ типа OHV, например — у машин, участвующих в гоночной серии NASCAR, могут работать и на 11 000 оборотах в минуту, но для обеспечения этого требуются специальные, достаточно дорогостоящие конструктивные и технологические решения (впрочем, это касается любых специализированных гоночных агрегатов).

Кроме того, такая схема затрудняет использование более двух клапанов на цилиндр (двигатели с таким ГРМ, имеющие 4 клапана на цилиндр, имеют большие габариты и массу, что делает их малоприменимыми в легковых автомобилях, но вполне приемлемыми для грузовиков и тяжёлой техники — примеры тому двигатели КамАЗ, ЯМЗ, ТМЗ, дизель тепловоза ЧМЭЗ и многие другие) и усложняет проектирование впускных и выпускных окон в головке цилиндров с высокоэффективной с точки зрения пропускной способности и сопротивления потоку конфигурацией.

Двигатели этой схемы, как правило, сравнительно низкооборотные и относительно тихоходные, но с гибкой моментной характеристикой. Если не используются гидравлические толкатели, такой двигатель будет одним из наиболее шумных по сравнению с остальными схемами.

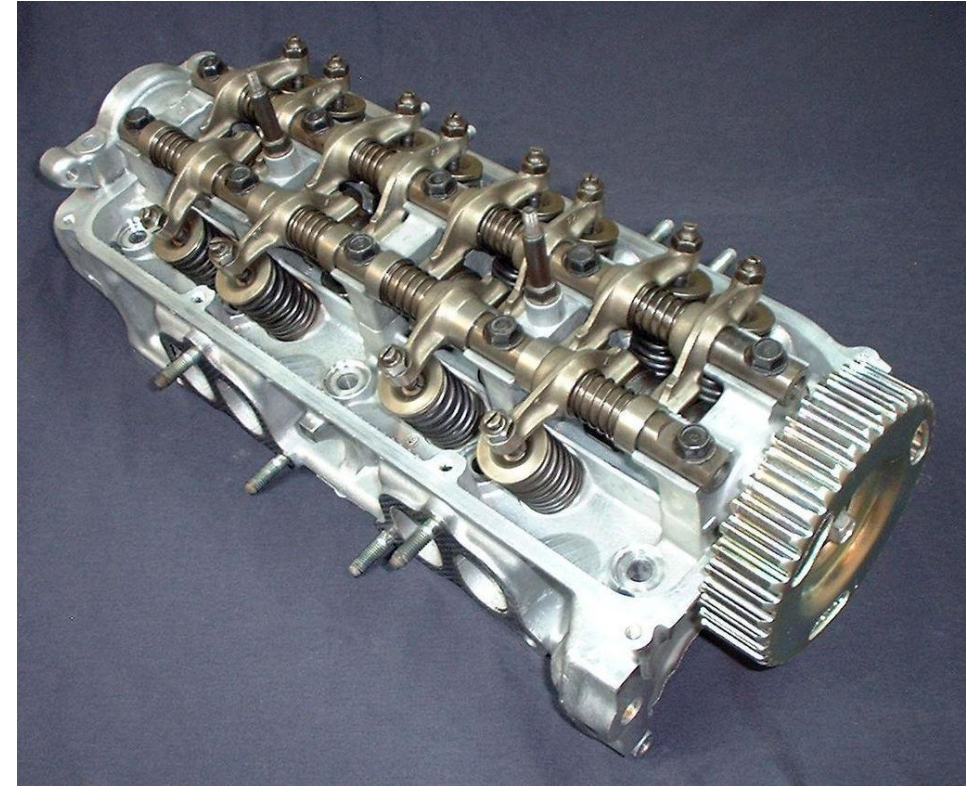
Двигатели с распредвалом в головке цилиндров

SOHC

Двигатель с одним распределительным валом и клапанами в головке (*Overhead Camshaft* или *SOHC* — *Single OverHead Camshaft*). Одним из первых был применён в 1910 году британской фирмой Maudslay на модели 32 HP.

В зависимости от конкретной конфигурации привода клапанов, выделяют двигатели с:

- Приводом клапанов коромыслами («Москвич-412», старые модели BMW, Honda) — клапаны расположены по бокам от распредвала, обычно V-образно, и приводятся в движение насаженными на общую ось коромыслами, одни концы которых толкаются кулачками вала, а другие приводит в движение стержни клапанов; обычно сочетается с полусферической камерой сгорания.
- Приводом клапанов рычагами / рокерами (ВАЗ-2101 — 2107 и некоторые другие моторы) — распредвал над расположенными в ряд клапанами, приводит их посредством рычагов, опирающихся на ось или шаровую опору, толкая их кулачками примерно посередине; минус — повышенная шумность, высокие нагрузки в месте контакта кулачков вала и рычагов.
- Приводом клапанов толкателями (ВАЗ-2108, многие высокооборотные двигатели) — очень простой механизм с минимальной инерцией деталей, в котором распредвал расположен прямо над клапанами, расположенными тарелками вниз, и приводит их в движение через цилиндрические толкатели; минус — меньшая эластичность характеристики двигателя, сложная регулировка клапанного зазора (современные моторы с таким ГРМ обычно имеют гидрокомпенсаторы клапанного зазора).



На одном моторе могут применяться сразу несколько типов привода клапанов — так, в двигателе Triumph Dolomite Sprint с четырьмя клапанами на цилиндр впускные клапаны приводились через толкатели, а выпускные — через рокеры, причём от одного и того же кулачка на единственном распределительном валу.

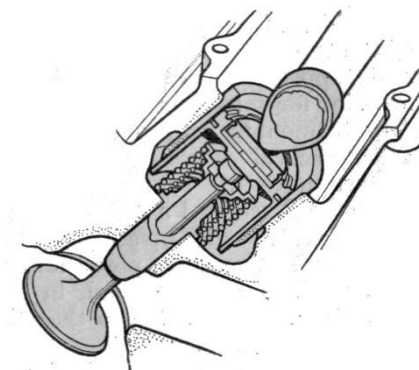
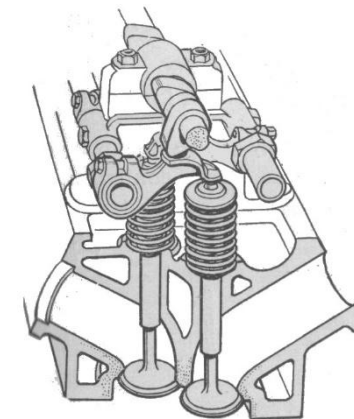
Схема ОНС была наиболее распространена во вторую половину шестидесятых — восьмидесятые годы. Целый ряд двигателей такой схемы выпускается и в наше время, преимущественно для недорогих автомобилей (скажем, ряд двигателей Renault Logan).

Распредвалы двигателей, выполненных по схеме SOHC или DOHC, приводятся в движение зубчатым ремнем или цепью.

Привод распредвалов зубчатым ремнем является в настоящее время наиболее распространенным на легковых автомобилях. Зубчатый ремень находится вне объёма, омываемого маслом, попутно ремень приводит в движение водяной насос. Преимущество привода зубчатым ремнем — дешевизна, бесшумность. Недостатки — в большинстве выпускаемых двигателей обрыв ремня вызовет удар тарелок клапанов о поршни. Во избежание этого рекомендуется строго соблюдать установленную периодичность замены зубчатого ремня. Ресурс обычно составляет от 50 до 150 тыс. км. Но необходимо помнить, что резина стареет со временем, и при малых ежегодных пробегах замена ремня может потребоваться раньше, чем это установлено производителем. Необходимо также помнить, что к обрыву ремня может привести и неисправность роликов натяжения, поэтому если двигатель «втыковой» (то есть обрыв или проскок ремня ГРМ приведёт к столкновению тарелок клапанов и поршней), то следует время от времени осматривать механизм зубчатого ремня. Заклинивание водяного насоса также обычно приводит к обрыву ремня со всеми его последствиями (типичная проблема двигателей ВАЗ с ременным приводом). Обрыв ремня ГРМ особенно часто происходит зимой или после длительного простоя автомобиля.

Цепной привод ГРМ является распространенным в верхнем ценовом сегменте легковых автомобилей, используется в двигателях внедорожников, грузовых автомобилей. Цепь обычно двояная, находится в объёме двигателя, омываемого маслом. Преимущества — отсутствие опасности внезапного обрыва, изношенная цепь начинает стучать, особенно на холодном двигателе, предупреждая владельца о необходимости замены; большой ресурс — в 2-3 раза больше, чем у зубчатого ремня; долговечность. Недостатки — дороговизна, несколько большая шумность. Сильно изношенная цепь может растягиваться и перескакивать через несколько зубьев звёздочки — к катастрофическим для мотора последствиям это не приводит, но вызывает смещение фаз газораспределения и, соответственно, существенное нарушение его работы, которое не всегда сразу верно диагностируется при ремонте из-за сходства симптомов с иными неисправностями.

В некоторых двигателях использовался привод распределительного вала промежуточным валом с коническими шестернями на концах, примеры — двигатели американской фирмы Crosley, танковый дизель В-2 (последний имеет 4 клапана на цилиндр).



DOHC

Двигатель с двумя распредвалами в головке цилиндров (Double OverHead Camshaft).

При этом существуют две серьёзно различающиеся разновидности этого механизма, отличающиеся количеством клапанов.

2ОНС / DOHC с двумя клапанами на цилиндр. Эта схема является усложнённой разновидностью обычной ОНС. В головке блока цилиндров расположены два распредвала, один из которых приводит впускные клапаны, второй — выпускные. Эта схема применялась в 1960-х — 1970-х годах на высокопотенциальных двигателях таких автомобилей, как Fiat 125, Jaguar, Alfa Romeo, а также опытном двигателе гоночных автомобилей «Москвич-412Р», «Москвич-Г5» и в легковых автомобилях, также лёгких коммерческих, концерна Ford для европейского рынка, вплоть до 1994 года.

Схема позволяет значительно увеличить количество оборотов коленчатого вала за счёт уменьшения инерции привода клапанов, следовательно, увеличить мощность, снимаемую с двигателя. Например, мощность спортивной модификации двигателя «Москвича-412» с двумя распределительными валами объёмом 1,6 литра составляла 100—130 л. с.

DOHC с четырьмя и более клапанами на цилиндр. Два распредвала, каждый из которых приводит свой ряд клапанов. Как правило, один распредвал толкает два впускных клапана, другой — два выпускных. Фактически, двухрядный вариант схемы ОНС со вдвое большим количеством распредвалов и клапанов, однако могут осуществляться и иные схемы с общим количеством клапанов на цилиндр от трёх до шести. Привод клапанов, как правило, толкателями.

Данная схема ГРМ даёт большое преимущество по мощностной отдаче, особенно на высоких оборотах — за счёт лучшего наполнения цилиндра. Однако такой двигатель из-за быстрого очищения цилиндра более чувствителен к длительности фазы перекрытия клапанов (когда открыты одновременно впускные и выпускные клапаны) — при высокой скорости длительность фазы должна быть больше для лучшей очистки цилиндров, однако на низких оборотах это приводит к потерям заряда горючей смеси и снижению эффективности работы. Иными словами, двигатель с таким ГРМ обычно имеет слабую тягу «на низах» и требует поддержания высоких оборотов для интенсивного разгона. Радикальным решением данной проблемы является применение изменяемых фаз газораспределения.

Двигатели с четырьмя клапанами на цилиндр применяются на большей части выпускаемых в настоящее время автомобилей, в частности — на двигателях ЗМЗ-406, ЗМЗ-405 и ЗМЗ-409, устанавливаемых на автомобилях «Газель» (ранее) и УАЗ (до 2008-го года также «Волга»), или моторах ВАЗ-21126, 21127, устанавливаемых на современных моделях ВАЗ.

Даже если двигатель имеет более одной головки блока цилиндров, и, следовательно, более двух распредвалов, в итоге он всё равно относится к схеме DOHC.

Стоит отметить, что существуют двигатели с четырьмя клапанами на цилиндр, не принадлежащие к схеме DOHC, например — дизельные моторы Cummins с четырьмя клапанами на цилиндр (устанавливаются на автомобили группы ГАЗ), в которых привод всех клапанов осуществляется от единственного распределительного вала через коромысла с крейцкопфами.

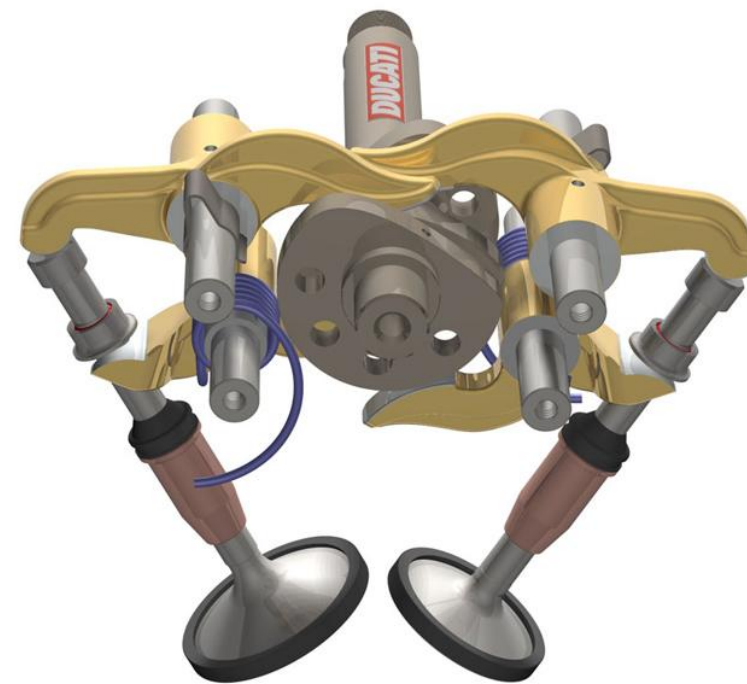


ДЕСМОДРОМНЫЙ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ

В нём используются два распределительных вала (либо один, но с кулачками сложной формы): один перемещает клапаны вниз, второй — вверх. Клапанные пружины отсутствуют.

Двигатели с десмодромным газораспределением могут работать на оборотах, недоступных для обычных клапанных механизмов с пружинами, у которых при определённых оборотах коленчатого вала скорости срабатывания клапанных пружин не будет хватать для того, чтобы отвести клапаны из-под удара поршня до его прихода в верхнюю мёртвую точку («зависание» клапанов), что приводит к выходу двигателя из строя.

Десмодромный механизм имеет много прецизионных деталей, очень трудоёмок и дорог в изготовлении, требует высочайшего качества смазочного масла. Этот механизм применялся на ряде гоночных автомобилей, например, Mercedes-Benz W196^[1], O.S.C.A. Barchetta и Mercedes-Benz 300 SLR, а ныне — на мотоциклах Ducati.



ГРМ с изменяемыми фазами газораспределения

Механизмы, позволяющие прямо во время работы двигателя изменять длительность и высоту открытия выпускных клапанов, использовались ещё в начале XX века — например, на авиационном моторе Gnome-Monosoupape первых лет выпуска (с 1913 года) при помощи такого механизма осуществлялось управление оборотами. Однако чисто-механические системы изменения фаз газораспределения широкого распространения не получили — недостаточно точное управление процессом приводило к тому, что в некоторых режимах работы происходил перегрев клапанов, приводящий к их прогоранию. Интерес к ним возник лишь после резкого ужесточения требований к экономичности и экологичности двигателей, а также развития управляющей микроэлектроники, позволившего полноценно реализовать эту идею.

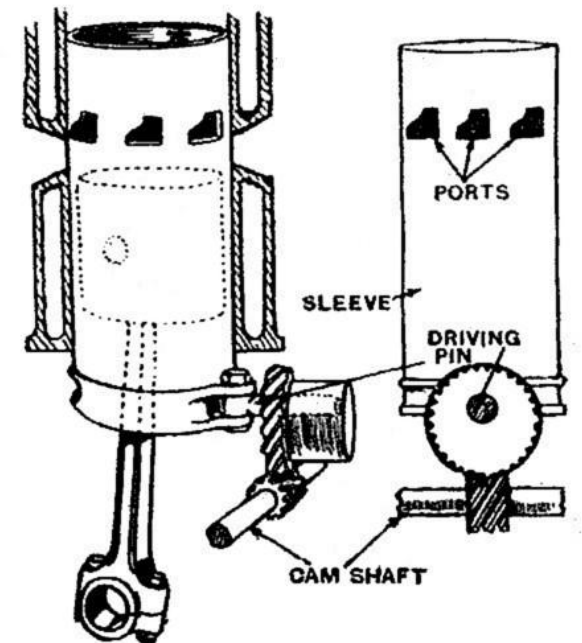
В настоящее время большинство производителей автомобилей мирового уровня предлагают на некоторых своих двигателях систему изменения фаз газораспределения, которая регулирует параметры открытия клапанов в соответствии со скоростью вращения и нагрузкой на двигатель, благодаря чему достигается более эффективное использование мощности двигателя, снижается расход топлива, снижается загрязнённость выхлопа. В частности, существуют варианты такой системы разработки фирм Honda (VTEC), Toyota (VVT-i), Mitsubishi (MIVEC), Nissan (VVL), BMW (VANOS), Ford (Ti-VCT), Subaru (AVCS) и других.

ГРМ без распределительного вала

В них используются электрический (соленоиды), гидравлический или пневматический привод клапанов. На легковых автомобилях в настоящее время не вышли из стадии опытно-конструкторских работ. Фирмы MAN (серия ME) и Wartsila (серия RT-flex) выпускают серийно тихоходные дизельные двигатели без распределительного вала.

С гильзовым управлением газораспределением

Эта конструкция впервые была разработана американским инженером Чарльзом Найтом (*Charles Yale Knight*), часто по его фамилии называется «системой Найта», хотя Найт разработал лишь один из типов гильзового газораспределения — со скользящими гильзами. В такой конструкции гильза цилиндра выполняется в виде подвижной вдоль оси цилиндра детали, имеющей привод от распределительного вала через пару косозубых шестерён. Этот привод обеспечивает перемещение гильзы вверх-вниз, синхронизированное с движением поршня. Окна в стенках гильзы при этом в определённый момент оказываются напротив ответных окон в стенке цилиндра, тогда через них осуществляется впуск рабочей смеси и выпуск отработанных газов.



С гильзовым управлением газораспределением

Главное преимущество гильзового газораспределения — полная бесшумность работы двигателя, поскольку в его работе полностью отсутствуют удары деталей друг о друга. Кроме того, для неё характерны высокая долговечность и хорошее наполнение цилиндров бензовоздушной смесью за счёт большого размера и меньшего сопротивления окон в гильзах по сравнению с каналами клапанов — особенно относительно нижнеклапанных двигателей. В то же время, двигатель с гильзовым газораспределением сложен по конструкции, нетехнологичен и дорог в изготовлении. Кроме того, неистребимым недостатком системы со скользящими гильзами являлся высокий расход масла на угар — обеспечить надёжное уплотнение пары трения «цилиндр — гильза» было практически невозможно, так что масло в значительных количествах прорывалось внутрь цилиндра, где сгорало вместе с

