

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

А. П. Быченин
Р. Р. Мингалимов

СОВРЕМЕННЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АВТОТРАНСПОРТА

Учебное пособие

Кинель 2015

УДК 629.113 (075)
ББК 51.245.2
Б95

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Тракторы, автомобили
и теплоэнергетика» ФГБОУ ВО «Пензенская государственная
сельскохозяйственная академия»

А. П. Уханов;

канд. техн. наук, руководитель инженерно-технического отдела
ООО Компания «БИО-ТОН»

Г. С. Мальцев

Быченин, А. П.

Б95 Современные пути повышения эксплуатационных
свойств автотранспорта : учебное пособие / А. П. Быченин,
Р. Р. Мингалимов. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2015. – 160 с.
ISBN 978-5-88575-394-4

В пособии рассмотрены особенности современных двигателей внутреннего сгорания, в частности, систем изменения фаз газораспределения и системы изменения степени сжатия, особенности систем питания современных ДВС, устройство и принцип действия автоматических трансмиссий и гибридного привода. Рассмотрены способы повышения мощности двигателя наддувом. Дано представление о современных системах, облегчающих управление автомобилем и повышающих безопасность его эксплуатации.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

УДК 629.113 (075)
ББК 51.245.2

ISBN 978-5-88575-394-4

© Быченин А. П., Мингалимов Р. Р., 2015
© ФГБОУ ВО Самарская ГСХА, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	5
1. Особенности устройства современных автомобильных двигателей внутреннего сгорания.....	7
1.1. Системы изменения фаз газораспределения.....	7
1.2. Системы изменения степени сжатия.....	24
2. Системы топливоподачи современных двигателей внутреннего сгорания.....	32
2.1. Классификация моторных топлив и систем питания ДВС.....	32
2.2. Системы впрыска легкого топлива.....	36
2.3. Классификация систем топливоподачи дизельных двигателей. Характеристики и общая схема системы типа Common Rail.....	46
2.4. Основные узлы системы Common Rail.....	53
2.5. Принцип действия форсунки с электрогидравлическим управлением.....	60
2.6 Особенности системы топливоподачи с индивидуальными насос-форсунками.....	66
3. Повышение мощности ДВС наддувом.....	75
3.1. Способы повышения мощности двигателя.....	75
3.2. Способы наддува.....	76
3.3. Классификация, устройство и принцип действия нагнетателей с механическим приводом.....	82
3.4. Устройство и работа турбокомпрессоров.....	86
4. Особенности устройства трансмиссий современных автомобилей.....	98
4.1. Назначение, классификация и требования, предъявляемые к трансмиссиям.....	98
4.2. Устройство и принцип действия гидродинамических трансмиссий.....	102
4.3. Устройство и принцип действия роботизированных коробок передач.....	110
4.4. Устройство и принцип действия вариатора.....	113
4.5. Общая характеристика гибридного привода. Функциональная классификация гибридного привода....	118

5. Системы, повышающие безопасность вождения автомобиля.....	131
5.1. Усилители рулевого управления.....	131
5.2. Устройство и принцип действия антиблокировочной системы (АБС).....	138
5.3. Парктроник. Системы, облегчающие парковку автомобиля.....	146
Рекомендуемая литература.....	156
Алфавитно-предметный указатель.....	158

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие автомобильной техники в последние десятилетия идет ускоренными темпами, производство автомобилей, оснащенных двигателями внутреннего сгорания, несмотря на все большую популярность альтернативных источников энергии, сохраняется на стабильно высоком уровне во всех регионах мира. В настоящее время все больше внимания уделяется повышению экологичности автотранспорта, его безопасности, а также повышению экономичности автомобилей. В связи с этим предъявляются определенные требования к конструкции основных узлов и механизмов современных автомобилей.

Учебное пособие «Современные пути повышения эксплуатационных свойств автотранспорта» посвящено обзору перспективных направлений повышения эффективности использования отечественных и импортных автомобилей, распространенных на территории РФ. В пособии рассмотрено устройство систем изменения фаз газораспределения, систем изменения степени сжатия ДВС, систем топливоподачи двигателей с принудительным воспламенением, систем питания дизелей типа «Common Rail» и систем с индивидуальными ТНВД и насос-форсунками, уделено внимание вопросу повышения мощности двигателей наддувом. Рассмотрены устройство и принцип действия наиболее распространенных в настоящее время агрегатов трансмиссии, в том числе гидромеханических, роботизированных и бесступенчатых коробок передач. Приведена классификация типов гибридного привода, дан анализ основных схем гибридных автомобилей. Рассмотрены особенности устройства и функционирования антиблокировочной системы тормозов, системы стабилизации курсовой устойчивости, усилителя руля, а также систем, облегчающих парковку автомобиля.

Цель издания «Современные пути повышения эксплуатационных свойств автотранспорта» – формирование у студентов системы компетенций для решения профессиональных задач по эффективному использованию, обеспечению высокой работоспособности и сохранности автотранспорта.

В процессе изучения учебного пособия «Современные пути повышения эксплуатационных свойств автотранспорта» студент должен:

- освоить устройство и принцип действия системы питания двигателя с принудительным воспламенением смеси; системы питания двигателя с самовоспламенением смеси; систем изменения фаз газораспределения; систем наддува воздуха; бесступенчатых автомобильных трансмиссий; систем, обеспечивающих повышение безопасности эксплуатации автомобиля;

- научиться самостоятельно осваивать конструкцию новых систем автомобильной техники и эффективно использовать автомобили в условиях сельскохозяйственного производства.

Представленный в учебном пособии материал в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования и требованиями к результатам освоения основной образовательной программы по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» способствует формированию следующих профессиональных компетенций:

- *владения* знаниями технических условий и правил рациональной эксплуатации транспортной техники, причин и последствий прекращения ее работоспособности (ПК-15);

- *способности* в составе коллектива исполнителей к анализу передового научно-технического опыта и тенденций развития технологий эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов (ПК-17);

- *владения умением* изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы по совершенствованию технологических процессов эксплуатации, ремонта и сервисного обслуживания транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения, их агрегатов, систем и элементов, проводить необходимые расчеты, используя современные технические средства (ПК-21);

- *способности использовать* данные оценки технического состояния транспортной техники с использованием диагностической аппаратуры и по косвенным признакам (ПК-35).

1. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА СОВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

1.1. Системы изменения фаз газораспределения

В настоящее время в двигателях внутреннего сгорания применяются различные системы регулирования фаз газораспределения. В зависимости от особенностей организации процесса сгорания топлива и концепции двигателя (с гомогенным смесеобразованием или с послойным распределением заряда топлива), результаты их использования могут быть различны. В связи с этим существует несколько концептуальных подходов к изменению фаз газораспределения в процессе работы двигателя [1, 2, 4, 9].

Регулирование распределительного вала. Концепция регулирования впускного и выпускного распределительных валов приобретает все большую популярность, так как предполагает высокую степень гибкости во всем диапазоне режимов работы двигателя. Она заключается в изменении положения распределительных валов относительно коленчатого вала, тем самым достигается смещение моментов открытия и закрытия клапанов без изменения длительности фаз при сохранении профилей приводных кулачков. В таких системах находят применение электрические или электрогидравлические исполнительные устройства.

В двигателях с искровым зажиганием, работающих на гомогенной смеси, впускные клапаны открываются с запаздыванием, например, в диапазоне низких частот вращения коленчатого вала и низких нагрузок. В то же время выпускной распределительный вал обеспечивает очень раннее закрытие клапанов (рис. 1.1).

Перекрытие клапанов минимально, соответственно, минимален сквозной поток свежей горючей смеси в область выпускного клапана, что исключает выброс свежего заряда в выпускной коллектор. В то же время значительное запаздывание открытия впускного клапана также вызывает уменьшение дросселирования за счет соответствующего позднего закрытия впускного клапана, поскольку заряд смеси выдавливается из цилиндра через впускной клапан после прохождения поршнем нижней мертвой точки. Соответственно, для данной точки диапазона нагрузки посредством смещения впускного распределительного вала относительно

коленчатого, можно получить быстрое увеличение крутящего момента [8, 11].

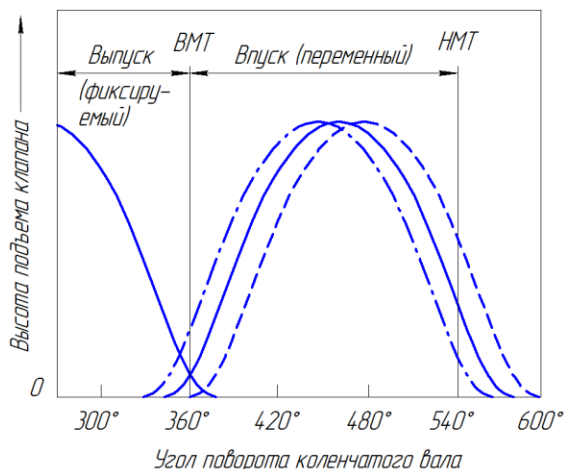


Рис. 1.1. Способ регулировки фаз впускных клапанов путем поворота распределительного вала на определенный угол:

1 – запаздывание открытия впускного клапана; 2 – исходный момент открытия; 3 – опережение открытия

Регулирование положения выпускного распределительного вала также дает дополнительные степени свободы. Оптимальная регулировка впускного и выпускного распределительных валов зависит от большого количества факторов. Главными из них являются режим работы двигателя и положение рабочей точки. Важное значение имеют турбонаддув и режимы работы на бедной смеси (на дизельных двигателях, двигателях с искровым зажиганием с послойным распределением заряда топлива и т.д.). Примером положительного эффекта использования системы регулирования фаз газораспределения в сочетании с турбоагнетателем является зависимое от характеристики двигателя максимальное перекрытие клапанов (очень позднее закрытие выпускного клапана и очень раннее закрытие впускного клапана), при котором большая часть смеси направляется из области впуска в область выпуска. Это приводит к увеличению массы воздуха, нагнетаемого турбокомпрессором, а также скорости воздушного потока. Регулирование положения впускного и выпускного распределительных валов

позволяет оптимизировать различные процессы, протекающие при работе двигателя, и потому все шире используется на современных двигателях с искровым зажиганием.

Примером подобной системы может служить система VTC (Variable Timing Control) фирмы Honda (рис. 1.2).

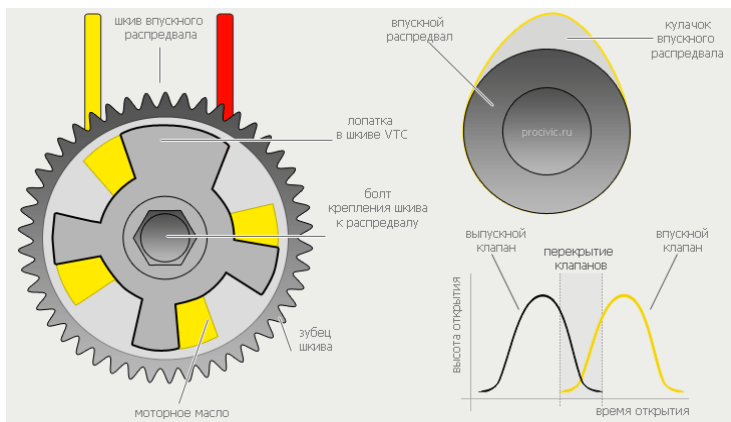


Рис. 1.2. Принцип действия системы VTC

Исполнительная часть системы VTC интегрирована в шкив впускного распределительного вала, состоящий из корпуса шкива VTC, который посредством цепи ГРМ связан со шкивом коленчатого вала; лопаток шкива VTC – детали, имеющей свободный ход внутри шкива VTC, и жестко закрепленной на распределительном вале впускных клапанов.

Полости внутри корпуса шкива VTC между его стенками и лопатками заполнена моторным маслом. Подвод масла в полость организован с двух сторон от лопатки. Подавая масло под давлением с одной стороны лопатки, перемещаем ее в противоположном направлении, и тем самым напрямую воздействуем на распределительный вал с кулачками, который смещается относительно коленчатого вала. В результате впускные клапаны будут открываться или закрываться раньше либо позже верхней мертвой точки в зависимости от того, с какой стороны лопаток подается масло. Происходит так называемое «смещение» фаз газораспределения без изменения их длительности. Роль управляющего органа в этом процессе играет соленоид VTC, служащий гидрораспределителем.

Получая данные о нагрузке на двигатель с электронного блока управления, соленоид подает масло под давлением в одну из сторон [4, 8, 11].

К соленоиду VTC подведено масло из смазочной системы двигателя, в которой смазочное вещество имеет определенное давление, заданное масляным насосом. Внутри соленоида происходит разделение общего потока масла на два канала – условно назовем их «темный» канал и «светлый» канал (рис. 1.2). Оба канала ведут от соленоида к полости шкива VTC. «Темный» канал подведен с одной стороны лопатки шкива, «светлый» – с противоположной. В зависимости от условий работы двигателя соленоид подает давление в один из каналов. Если давление направлено, например, в «темный» канал, то через «светлый» канала осуществляется слив масла – воздействуя на лопатку шкива с одной стороны, система заставляет ее выдавливать масло с другой стороны. При изменении направления подачи масла происходит обратный процесс. На холостых оборотах и на низких оборотах при малой нагрузке двигателя система VTC доводит угол перекрытия клапанов до минимума для обеспечения стабильной работы двигателя. При увеличении нагрузки система плавно увеличивает угол перекрытия. На высоких оборотах при большой нагрузке система доворачивает распредвал (увеличивает угол перекрытия) до максимально возможного уровня. Величина угла перекрытия клапанов зависит от модели двигателя и как правило находится в пределах 25...50°.

Системы с механизмом контроля формы кулачков. Кроме систем регулирования фаз газораспределения находят применение более простые системы, в которых в цифровой форме осуществляется адаптация к различным формам кулачков распределительных валов. Обычно такие системы обеспечивают большую величину подъема клапанов при полной нагрузке и малую величину подъема в диапазоне частичных нагрузок. Такой эффект достигается установкой на коромысле или толкателе клапана исполнительного механизма, который приводит в действие один или более (обычно два) кулачка на распределительном валу.

Также применяются системы, контролирующие только два положения распределительного вала. В отличие от полностью регулируемых систем, эти системы игнорируют команду точного позиционирования, поступающую на регулятор фаз распределительного вала.

На разных режимах работы двигателя оптимальная «ширина» фаз газораспределения различна. Так, при низких оборотах двигателя фазы должны иметь минимальную продолжительность («узкие» фазы). На высоких оборотах, наоборот, фазы газораспределения должны быть максимально «широкими» и при этом обеспечивать перекрытие тактов впуска и выпуска, когда одновременно открыты и впускные, и выпускные клапаны. За счет этого возможна организация естественной рециркуляции отработавших газов.

Кулачок распределительного вала имеет определенную форму, заданную при проектировании и изготовлении, и не может одновременно обеспечить «узкие» и «широкие» фазы газораспределения. На практике форма кулачка представляет собой компромисс между обеспечением высокого крутящего момента на низких оборотах и высокой мощности на высоких оборотах коленчатого вала. Это противоречие и разрешает система изменения фаз газораспределения.

В зависимости от регулируемых параметров работы газораспределительного механизма различают следующие способы изменения фаз газораспределения:

- поворот распределительного вала;
- применение кулачков с разным профилем;
- изменение высоты подъема клапанов.

Одна из разновидностей системы изменения «ширины» фаз газораспределения построена на применении кулачков различной формы, чем достигается ступенчатое изменение продолжительности открытия и высоты подъема клапанов. Примерами таких систем являются:

- VTEC (Variable Valve Timing and Lift Electronic Control) фирмы Honda;
- VVTI-i (Variable Valve Timing and Lift with intelligence) фирмы Toyota;
- MIVEC (Mitsubishi Innovative Valve timing Electronic Control) фирмы Mitsubishi;
- Valvelift System фирмы Audi.

Данные системы имеют, в основном, схожую конструкцию и принцип действия, за исключением Valvelift System. К примеру, одна из самых известных систем, система VTEC, включает в себя набор кулачков различного профиля и систему управления (рис. 1.3, 1.4). Распределительный вал имеет два малых и один

большой кулачок. Малые кулачки через соответствующие коромысла (рокеры) соединены с парой впускных клапанов. Большой кулачок перемещает свободное коромысло.

Система управления обеспечивает переключение с одного режима работы на другой путем срабатывания блокирующего механизма, который имеет гидравлический привод. При низких оборотах двигателя (малой нагрузке) работа впускных клапанов производится от малых кулачков, при этом фазы газораспределения характеризуются малой продолжительностью. При достижении определенного значения частоты вращения коленчатого вала двигателя система управления приводит в действие блокирующий механизм. Коромысла малых и большого кулачков соединяются с помощью стопорного штифта в одно целое, при этом усилие на впускные клапаны передается от большого кулачка [4, 8].

При низких оборотах коленчатого вала распределительный вал 1 впускных клапанов воздействует одновременно на все три коромысла, каждое из которых повторяет профиль соответствующего кулачка на распределительном валу (рис. 1.3). Это приведет к увеличению коэффициента наполнения, вследствие чего мощность двигателя увеличится. При этом электромагнитный клапан 3 открыт, и масло от насоса 6 идет на слив в поддон картера 7.

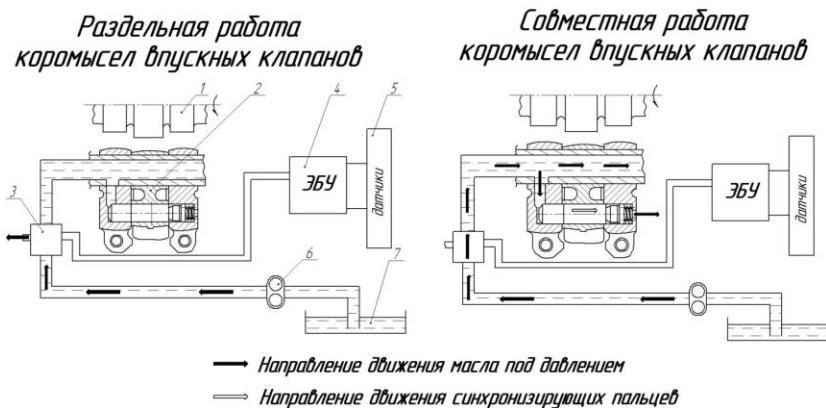


Рис. 1.3. Схема механизма газораспределения с устройством изменения высоты подъема впускных клапанов типа VTEC:

1 – распределительный вал; 2 – качающийся узел; 3 – электромагнитный клапан; 4 – электронный блок управления; 5 – блок датчиков; 6 – масляный насос; 7 – поддон картера

При повышении оборотов коленчатого вала, что свидетельствует о неполной загрузке двигателя, сигнал с блока датчиков 5 поступает в электронный блок управления 4, открывается электромагнитный клапан 3 и масло подается в качающийся узел 2.

Масло поступает в ось коромысел 1 качающегося узла, воздействует на синхронизирующий палец 4 первичного кулачка (рис. 1.4). В результате он вместе с синхронизирующим пальцем 3 вторичного кулачка перемещается, фиксируя среднее коромысло 5. В итоге появляется жесткая связь между первичными коромыслами 6 и средним коромыслом 5. Амплитуда качающегося узла увеличивается, так как все три коромысла будут перемещаться под воздействием вторичного кулачка распределительного вала впускных клапанов, который имеет больший профиль, чем первичные кулачки.

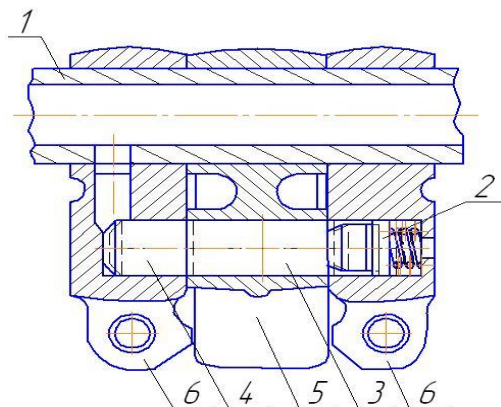


Рис. 1.4. Качающийся узел:

1 – ось коромысел; 2 – плунжер; 3 – синхронизирующий палец вторичного кулачка; 4 – синхронизирующий палец первичного кулачка; 5 – среднее коромысло; 6 – первичное коромысло

Переключение на номинальный режим производится автоматически при возрастании нагрузки на двигатель.

При этом коэффициент наполнения несколько снизится, что приведет к падению мощности и уменьшению расхода топлива. Данный режим особенно актуален в городском цикле езды, когда большую часть времени двигатель не нагружен до номинала или работает в холостом режиме [4, 8, 11].

Прочие регулируемые системы. В настоящее время все увеличивающимися темпами ведется разработка новых, полностью регулируемых систем изменения фаз газораспределения для двигателей с искровым зажиганием. Некоторые из них уже нашли применение на серийно выпускаемых автомобилях. Эти системы обеспечивают оптимизацию фаз газораспределения в широких пределах в зависимости от режима работы двигателя и позволяют как «сдвигать» фазы, так и изменять их продолжительность.

Для создания полностью регулируемых клапанных механизмов могут быть использованы механические, электрогидравлические или электропневматические системы.

Механические системы. Механические полностью регулируемые клапанные механизмы обычно включают комбинацию регулятора, позволяющего изменять высоту подъема клапана, и регулятора фазы распределительного вала. Основной функцией является регулирование высоты подъема клапана [2, 6, 8].

Рассмотрим функционирование такого клапанного механизма на примере системы Valvematic фирмы Toyota (рис. 1.5).

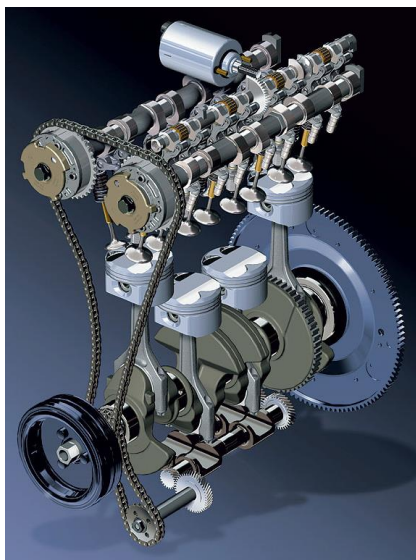


Рис. 1.5. Система изменения фаз газораспределения Valvematic

Такая система позволяет исключить наличие дроссельной заслонки, а количество топливо-воздушной смеси регулируется за счет плавного изменения во всем диапазоне оборотов величины хода впускных клапанов при одновременной работе «фазовращателей» на распределительных валах впускных и выпускных клапанов для обеспечения оптимального их перекрытия. В результате система распределенного впрыска позволит получить экономичность и экологичность двигателя, сравнимые с таковыми при использовании системы прямого впрыска топлива типа GDI, и существенно снизить стоимость двигателя. На инжекторных двигателях заслонка выполняет роль дозатора поступающего в цилиндры воздуха, образующего вместе с бензином и остаточными газами рабочую смесь, от количества и качества которой зависит мощность. При неполной нагрузке частично открытая дроссельная заслонка становится преградой на пути поступающего в цилиндры воздуха. На преодоление этого сопротивления затрачивается часть мощности, что сказывается на расходе топлива и количестве вредных выбросов.

Эффекта дроссельной заслонки можно достичь, плавно изменяя во всем диапазоне оборотов величину хода впускных клапанов. В настоящее время уже существуют такие серийные системы, например, Valvetronic фирмы BMW, или Valvematic фирмы Toyota. Они способны изменять перемещение клапанов в диапазоне 0-11 мм с очень высокой точностью. Известно, что применение системы Valvetronic позволяет повысить топливную экономичность на холостом ходу на 18%, а в режиме частичных нагрузок – на 10%. В последнем случае между клапаном и седлом образуется зазор порядка 0,5-2 мм, и проходящий через него воздух лучше смешивается с бензином, образуя более качественную однородную смесь.

Рассмотрим функционирование системы Valvematic, которая позволяет изменять высоту подъема впускного клапана в диапазоне 0,9-10,9 мм, что обеспечивает угол открытого состояния клапана в пределах 106-260° поворота коленчатого вала (рис. 1.6).

На рисунке 1.7 показано, чем рабочий процесс двигателя с системой Valvematic отличается от рабочего процесса традиционного ДВС, не оснащенного системой регулирования фаз газораспределения, на режимах холостого хода и при нагрузке 30%.