

## График давления в цилиндре

### Работа двигателя на холостом ходу без нагрузки

Положение характерных точек и участков графика давления в цилиндре бензинового двигателя внутреннего сгорания позволяет определить взаимное положение коленчатого и газораспределительных валов, а измерение и сравнение значений абсолютного давления в цилиндре в некоторых характерных точках позволяет определить состояние уплотнений диагностируемого цилиндра. Для наглядности, характерные точки и участки приведённых графиков давления в цилиндре отмечены буквами.

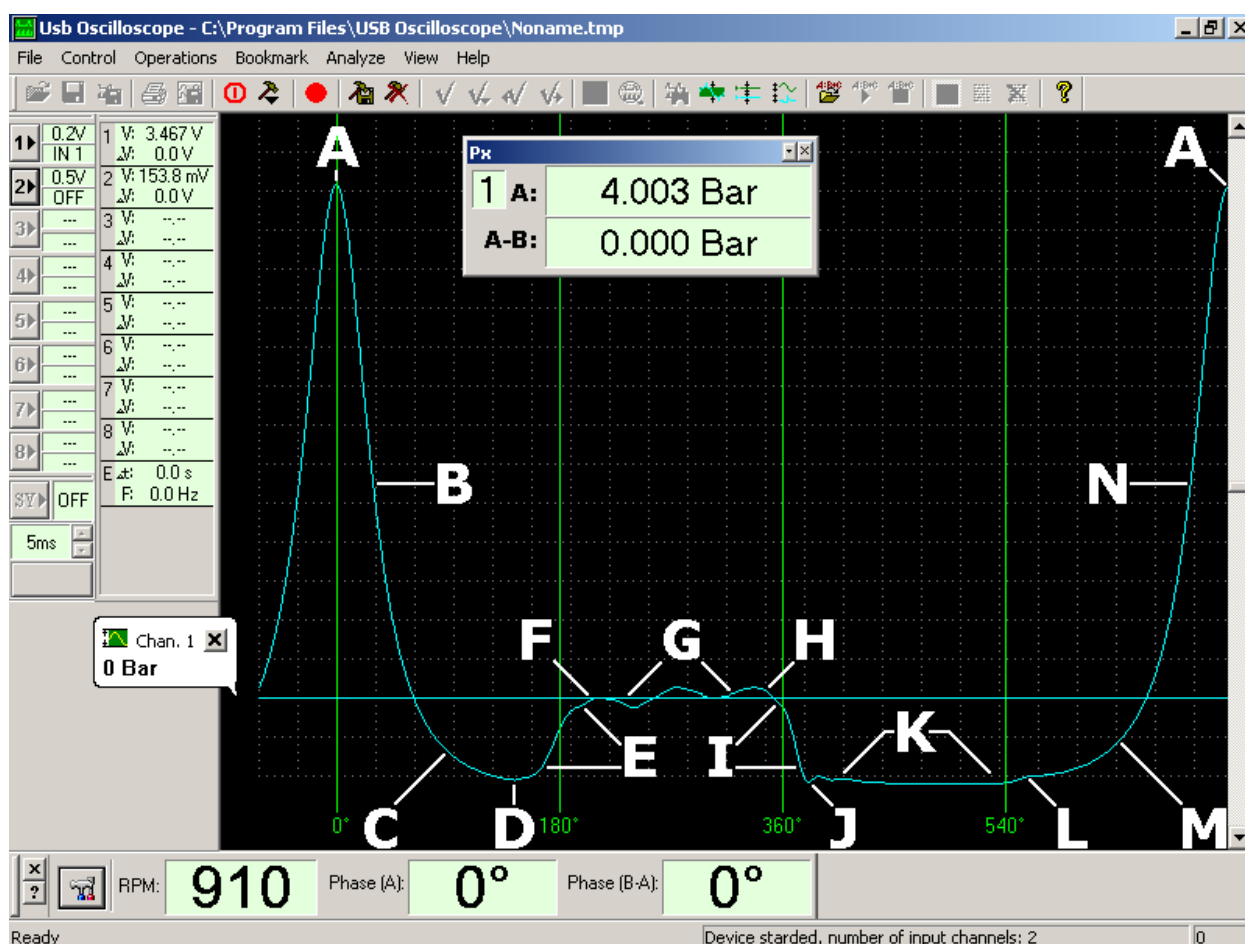
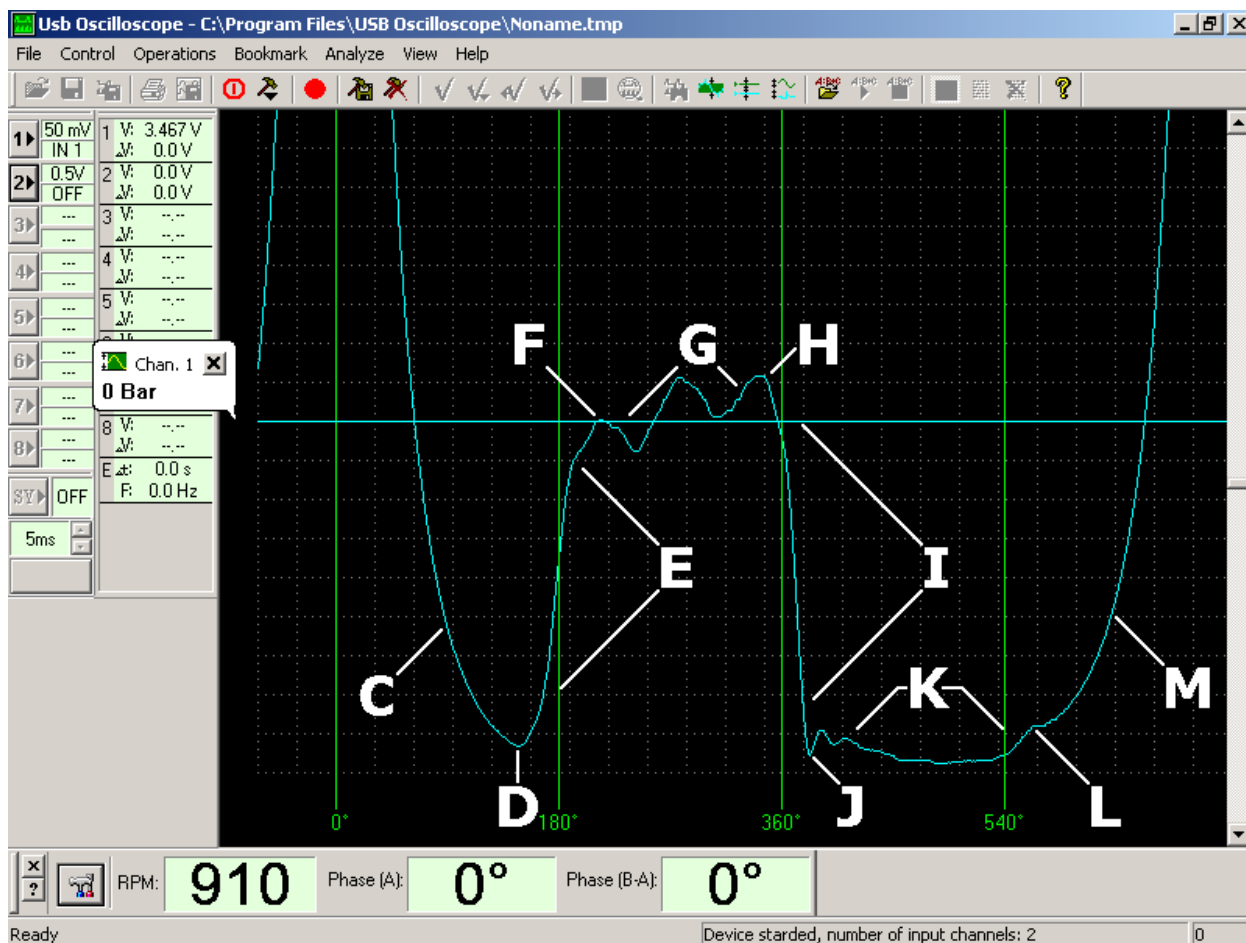


График давления в цилиндре и его характерные точки и участки прогретого до рабочей температуры исправного четырёхтактного четырёхцилиндрового бензинового двигателя, работающего на холостом ходу.



Тот же график, но с увеличенным усилением для лучшей наглядности участков выпуска отработавших газов и всасывания рабочей смеси.

### Точка А (или ВМТ 0°).

В вершине графика (точка А) давление в цилиндре достигает своего максимума. Иногда это давление называют динамической компрессией. В этот момент поршень находится на самом близком расстоянии от головки блока цилиндров. Такое положение поршня называют Верхняя Мёртвая Точка (ВМТ). Момент, когда поршень находится в ВМТ и при этом впускные и выпускные клапаны закрыты, отмечают как ВМТ 0° или 0°.

Давление в точке А возникает в результате сжатия смеси в цилиндре (или в результате сжатия воздуха в цилиндре при проведении диагностики механической части двигателя по графику давления в цилиндре; далее по тексту смеси) начиная с момента закрытия впускного клапана (точка L) до момента достижения поршнем ВМТ 0° (точка А). Значение давления в цилиндре в точке А может значительно изменяться и зависит от степени сжатия диагностируемого цилиндра, состояния уплотнений диагностируемого цилиндра, частоты вращения коленчатого вала двигателя и количества сжимаемой в диагностируемом цилиндре смеси.

1) Степень сжатия смеси в цилиндре.

Степень сжатия определяется конструкцией цилиндра – рабочий объём цилиндра и объём камеры сгорания. Степень сжатия фактически показывает во сколько раз полный объём цилиндра (сумма рабочего объёма и объёма камеры сгорания) больше объёма камеры

сгорания. Рабочий объём цилиндра в период эксплуатации двигателя практически не изменяется. Объём камеры сгорания в период эксплуатации двигателя может уменьшиться из-за отложения нагара на поверхности камеры сгорания и на дне поршня. Следствием уменьшения объёма камеры сгорания является увеличение степени сжатия. Таким образом, в период эксплуатации двигателя, степень сжатия может измениться.

Чем больше степень сжатия в диагностируемом цилиндре – тем больше значение давления в цилиндре в точке А.

## 2) Состояние уплотнений.

Качество уплотнения внутренней полости цилиндра определяется состоянием компрессионных колец, состоянием зеркала цилиндра, плотностью закрытия впускных и выпускных клапанов, целостностью прокладки головки блока цилиндров, целостностью стенки цилиндра, головки блока цилиндров и поршня.

В период эксплуатации двигателя качество уплотнений может ухудшаться вследствие износа или разрушений перечисленных элементов. Вследствие негерметичности уплотнений, часть смеси при сжатии выдавливается из цилиндра через уплотнения.

С ухудшением качества уплотнений диагностируемого цилиндра, значение давления в цилиндре в точке А уменьшается.

Количество просочившихся через уплотнения газов зависит от длительности воздействия на уплотнения повышенного давления в цилиндре, а длительность воздействия на уплотнения повышенного давления в цилиндре зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя. С увеличением частоты вращения двигателя, длительность воздействия на уплотнения повышенного давления в цилиндре уменьшается, вследствие чего количество просочившихся через уплотнения газов так же уменьшается. А чем меньше утечки смеси из цилиндра, тем больше значение давления в цилиндре в точке А.

## 3) Количество смеси в цилиндре в момент закрытия впускного клапана.

Количество смеси в цилиндре зависит от момента закрытия впускного клапана и от значения абсолютного давления во впускном коллекторе. Момент закрытия впускного клапана определяется работой системы газораспределения. При условии, что педаль акселератора не нажата (двигатель работает на холостом ходу), значение абсолютного давления во впускном коллекторе зависит от положения исполнительного механизма регулирования частоты вращения двигателя на холостом ходу (далее по тексту клапана холостого хода). Когда двигатель работает на холостом ходу, значение абсолютного давления во впускном коллекторе ниже атмосферного давления на 0,6...0,7 Bar – то есть, воздух во впускном коллекторе разрежен. С увеличением степени открытия клапана холостого хода, значение абсолютного давления во впускном коллекторе увеличивается (разрежение во впускном коллекторе уменьшается).

Чем больше абсолютное давление во впускном коллекторе, тем большее количество смеси окажется в цилиндре в момент закрытия впускного клапана, а чем большее количество смеси будет сжиматься в цилиндре, тем большего значения достигнет давление в цилиндре в точке А. Таким образом, чем больше степень открытия клапана холостого хода, тем выше значение давления в диагностируемом цилиндре в точке А.

Степень открытия клапана холостого хода в свою очередь зависит в основном от нагрузки на коленчатый вал двигателя, температуры охлаждающей жидкости, соотношения количества работающих и неработающих цилиндров, угла опережения зажигания и состава сжигаемой в работающих цилиндрах топливовоздушной смеси.

а) Нагрузка на коленчатый вал двигателя.

Блок управления двигателем изменяет положение клапана холостого хода так, чтобы частота вращения двигателя была равна заданной частоте вращения на холостом ходу. С увеличением нагрузки на коленчатый вал двигателя (работает насос гидроусилителя рулевого управления в момент вращения рулевого колеса, включены мощные электрические потребители) для поддержания заданной частоты вращения двигателя на холостом ходу, клапан холостого хода приоткрывается. Это вызывает увеличение абсолютного давления во впускном коллекторе, что в свою очередь приводит к увеличению количества смеси сжимаемой в цилиндре и к увеличению значения давления в цилиндре в точке А.

Таким образом, чем выше нагрузка на коленчатый вал двигателя, тем выше значение давления в диагностируемом цилиндре в точке А.

б) Температура охлаждающей жидкости.

Заданная частота вращения двигателя на холостом ходу зависит от температуры охлаждающей жидкости – чем температура ниже, тем заданная частота вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу выше. Для обеспечения повышенной частоты вращения двигателя на холостом ходу при низкой температуре охлаждающей жидкости, блок управления двигателем приоткрывает клапан холостого хода. Это вызывает увеличение абсолютного давления во впускном коллекторе, что в свою очередь приводит к увеличению количества смеси сжимаемой в цилиндре и к увеличению значения давления в цилиндре в точке А.

Таким образом, чем ниже температура охлаждающей жидкости, тем выше значение давления в диагностируемом цилиндре в точке А.

в) Количество работающих и неработающих цилиндров.

Для получения графика давления в цилиндре, датчик давления в цилиндре должен быть установлен на место свечи зажигания диагностируемого цилиндра. Высоковольтный провод диагностируемого цилиндра должен быть подключен к искровому разряднику. Разъём электромагнитной бензиновой форсунки диагностируемого цилиндра по возможности должен быть отключен от форсунки и подключен к резистору номиналом 100  $\Omega$ . Таким образом, диагностируемый цилиндр оказывается отключенным и воспламенение в диагностируемом цилиндре не происходит.

Так как один из цилиндров уже не работает, для обеспечения заданной частоты вращения двигателя на холостом ходу, клапан холостого хода приоткрывается, увеличивая нагрузку на работающие цилиндры – происходит перенос и распределение нагрузки с неработающего цилиндра на работающие цилиндры. Степень увеличения нагрузки на работающие цилиндры зависит от соотношения количества работающих и количества неработающих цилиндров. Например, при отключении одного из цилиндров четырёхцилиндрового двигателя, нагрузка на каждый из работающих цилиндров (нагрузка на три работающих цилиндра) увеличивается на ~33%. Если же диагностируемый двигатель, к примеру, восьмицилиндровый, то при отключении одного из его цилиндров, нагрузка на каждый из семи работающих цилиндра увеличивается только на ~14%.

В случае если кроме диагностируемого цилиндра отключен или по какой-либо причине не работает ещё один цилиндр, то нагрузка на работающие цилиндры возрастает ещё больше. Так, например, если при проведении диагностики работают только два цилиндра четырёхцилиндрового двигателя, то нагрузка на работающие два цилиндра оказывается увеличенной на ~100%.

Увеличение нагрузки на работающие цилиндры двигателя осуществляется блоком управления путём увеличения степени открытия клапана холостого, что и обеспечивает поддержание заданной частоты вращения двигателя на холостом ходу. При этом, абсолютное давление во впускном коллекторе увеличивается и как следствие – увеличивается количество сжимаемой в цилиндре смеси. А с увеличением количества смеси сжимаемой в цилиндре, увеличивается значения давления в цилиндре в точке А. Таким образом, значение давления в цилиндре в точке А зависит от соотношения количества работающих и неработающих цилиндров. Чем больше цилиндров двигателя не работает, тем выше значение давления в диагностируемом цилиндре в точке А.

г) Угол опережения зажигания.

С увеличением угла опережения зажигания эффективность работы каждого из работающих цилиндров увеличивается. За счёт этого, для поддержания заданной частоты вращения двигателя на холостом ходу при более раннем угле опережения зажигания требуется сжигание меньшего количества топливовоздушной смеси чем при более позднем угле опережения зажигания. С увеличением угла опережения зажигания, блок управления двигателем уменьшает количество сжигаемой топливовоздушной смеси путём закрытия клапана холостого хода, что обеспечивает поддержание заданной частоты вращения двигателя на холостом ходу. С закрытием клапана холостого хода абсолютное давление во впускном коллекторе уменьшается и как следствие – уменьшается количество смеси сжимаемой в цилиндре. А с уменьшением количества смеси сжимаемой в цилиндре, уменьшается значения давления в цилиндре в точке А. Таким образом, чем больше угол опережения зажигания рабочей смеси в работающих цилиндрах, тем ниже значение давления в диагностируемом цилиндре в точке А.

д) Состав топливовоздушной смеси.

Эффективность работы двигателя так же сильно зависит и от состава топливовоздушной смеси. Чем ближе состав топливовоздушной смеси к стехиометрическому, тем лучше эффективность сгорания такой смеси и как следствие – выше эффективность двигателя, работающего на такой смеси. Стехиометрической называют топливовоздушную смесь такого состава, при сгорании которой в отработавших газах остаётся минимальное количество свободного кислорода и несгоревших остатков топлива. Численное значение этого соотношения для бензина равно 14,7 Кг воздуха на 1 Кг бензина.

С увеличением отклонения состава топливовоздушной смеси от стехиометрического, эффективность работы двигателя ухудшается. Из-за ухудшения эффективности работы двигателя, для поддержания заданной частоты вращения двигателя требуется сжигание уже большего количества такой смеси. Поддержание заданной частоты вращения двигателя на холостом ходу при работе на бедной или богатой топливовоздушной смеси достигается за счёт увеличения количества сжигаемой в работающих цилиндрах смеси путём открытия клапана холостого хода. Вследствие увеличения степени открытия клапана холостого хода, увеличивается абсолютное давление во впускном коллекторе, а с увеличением абсолютного давления во впускном коллекторе увеличивается количество сжимаемой в цилиндре смеси. С увеличением количества сжимаемой в цилиндре смеси, увеличивается значения давления в цилиндре в точке А. Таким образом, чем больше отклонение состава топливовоздушной смеси в работающих цилиндрах от стехиометрического, тем выше значение давления в диагностируемом цилиндре в точке А.

Сгруппируем сделанные выводы.

**Значение давления в диагностируемом цилиндре в точке А тем больше, чем:**

- больше степень сжатия в диагностируемом цилиндре;**
- выше нагрузка на коленчатый вал двигателя;**
- ниже температура охлаждающей жидкости;**
- большее количество цилиндров двигателя не работает;**
- больше отклонение состава топливовоздушной смеси в работающих цилиндрах от стехиометрического.**

**Значение давления в диагностируемом цилиндре в точке А тем меньше, чем:**

- хуже состояние уплотнений диагностируемого цилиндра;**
- больше угол опережения зажигания рабочей смеси в работающих цилиндрах.**

При работе прогретого до рабочей температуры исправного бензинового двигателя на холостом ходу без нагрузки, давление в цилиндре в точке А равно 4...6 Bar. Если же при работе бензинового двигателя на холостом ходу давление в цилиндре в точке А ниже 3 Bar, воспламенение рабочей смеси в таком цилиндре на холостом ходу происходить не будет.

При работе прогретого до рабочей температуры исправного бензинового двигателя на холостом ходу в момент резкой перегазовки давление в цилиндре в точке А увеличивается примерно в 3 раза.

### **Точка В.**

По достижении верхней мёртвой точки ВМТ 0°, поршень останавливается и изменяет направление движения на противоположное, начиная отдаляться от головки блока цилиндров. Вследствие этого, объём между поршнем и головкой блока цилиндров начинает постепенно увеличиваться, а давление в цилиндре – уменьшаться.

Когда коленчатый вал провернётся на 30° после ВМТ 0°, давление в цилиндре численно будет близко к половине разницы максимального давления в цилиндре (точка А) и минимального давления в цилиндре (точка D). Эта точка на графике отмечена буквой В.

### **Точка С.**

Пройдя точку В, поршень продолжает отдаляться от головки блока цилиндров с по-прежнему возрастающей скоростью перемещения. Скорость перемещения поршня продолжает увеличиваться до тех пор, пока коленчатый вал не провернётся на 90° после ВМТ 0°, поршень при этом пройдёт половину хода. Здесь скорость перемещения поршня максимальна. По прохождению отметки 90° после ВМТ 0°, скорость перемещения поршня начинает уменьшаться. Эта точка отмечена на графике давления в цилиндре буквой С.

В точке С давление в цилиндре будет близким к атмосферному  $\pm 0,5$  Bar. Но так как движение поршня по-прежнему продолжается, объём между поршнем и головкой блока цилиндров продолжает увеличиваться. Из-за дальнейшего увеличения закрытого объёма в цилиндре, абсолютное давление в цилиндре продолжает уменьшаться – то есть в цилиндре возникает разрежение.

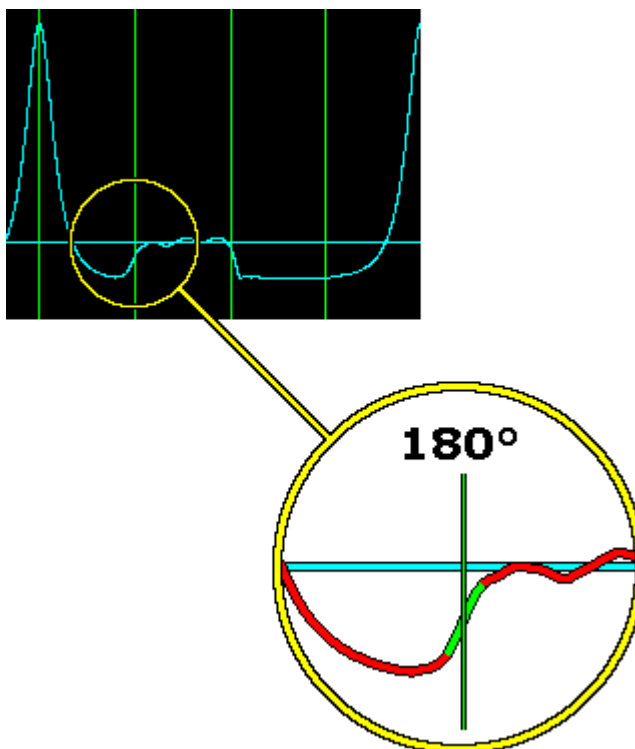
### Точка D.

Выпускной клапан начинает открываться прежде, чем поршень достигнет нижней мёртвой точки. Момент начала открытия выпускного клапана отмечен на графике буквой D. Поршень всё ещё отдаляется от головки блока цилиндров и объём между поршнем и головкой блока цилиндров продолжает увеличиваться. Но, начиная с точки D, абсолютное давление в цилиндре повышается. Повышение давления в цилиндре происходит за счёт того, что в цилиндр начинают перетекать отработавшие газы из выпускного коллектора через открывающийся выпускной клапан.

### Участок E.

Перетекание газов из выпускного коллектора в цилиндр происходит за счёт того, что абсолютное давление в выпускном коллекторе, близкое к атмосферному, оказывается большим абсолютного давления в цилиндре. На графике давления в цилиндре, участок, где происходит перетекание отработавших газов из выпускного коллектора в цилиндр отмечен буквой E.

Центр участка E и должен пересекать отметку НМТ 180°.



Если центр участка E находится в пределах 170°...195° после ВМТ 0° (-10°...+15° от НМТ 180°), то момент начала открытия выпускного клапана считают установленным правильно.

### **Точка НМТ 180°.**

Положение поршня, когда расстояние от него до головки блока цилиндров оказывается максимальным, называют Нижняя Мёртвая Точка (НМТ). В НМТ поршень останавливается, и изменяет направление движения на противоположное, начав вновь приближаться к головке блока цилиндров. Момент, когда поршень находится в НМТ и при этом впускной клапан закрыт, а выпускной клапан открыт (или начал открываться) отмечают как НМТ 180° или 180°, так как за время перемещения поршня от ВМТ 0° до НМТ 180° коленчатый вал двигателя поворачивается на 180°.

### **Точка F.**

Давление в цилиндре повышается до тех пор, пока не выровняется с давлением в выпускном коллекторе. Точка на графике, где давление в цилиндре уравнилось с давлением в выпускном коллекторе, отмечена буквой F.

### **Участок G**

Достигнув положения НМТ 180°, поршень начинает двигаться по направлению к головке блока цилиндров, что приводит к постепенному уменьшению объема между поршнем и головкой блока цилиндров. Постепенное уменьшение объема между поршнем и головкой блока цилиндров заставляет находящиеся в цилиндре газы перетекать в выпускной коллектор через открытый выпускной клапан – происходит выпуск отработавших газов.

Скорость перемещения поршня продолжает увеличиваться до тех пор, пока коленчатый вал не провернется на 90° после НМТ 180°. Здесь скорость перемещения поршня максимальна. По прохождению отметки 90° после НМТ 180°, скорость перемещения поршня начинает уменьшаться. Участок, на котором перемещающийся по направлению к головке блока цилиндров поршень заставляет находящиеся в цилиндре газы перетекать в выпускной коллектор, отмечен на графике давления в цилиндре буквой G.

Среднее значение давления в цилиндре на такте выпуска отработавших газов должно быть близким к текущему атмосферному давлению. Повышение абсолютного давления в цилиндре более чем на 0,5 Bar относительно текущего атмосферного давления в середине участка G указывает на затруднённый отток газов из цилиндра.

Ухудшение оттока газов из цилиндра в выпускной коллектор может наступить вследствие недостаточного открытия выпускного клапана либо вследствие недостаточной пропускной способности выхлопной системы двигателя. Выпускной клапан может открываться на недостаточную величину из-за неисправной работы гидрокомпенсатора теплового зазора выпускного клапана (или из-за неправильной регулировки теплового зазора выпускного клапана, в случае если двигатель не оснащён гидрокомпенсаторами тепловых зазоров клапанного механизма) или из-за износа кулачка распредвала, открывающего выпускной клапан. Пропускная способность выхлопной системы двигателя может ухудшиться вследствие механического повреждения металлических труб системы выпуска отработавших газов или вследствие того, что каналы глушителя оказались перекрытыми остатками разрушившегося катализатора.



### **Точка Н.**

Приблизительно за  $30^{\circ} \dots 0^{\circ}$  угла поворота коленчатого вала перед ВМТ  $360^{\circ}$  впускной клапан начинает открываться. Момент начала открытия впускного клапана на графике давления в цилиндре отмечен буквой Н.

По достижении поршнем токи Н, впускной клапан начинает открывать канал, через который внутренний объём цилиндра соединяется с впускным коллектором, где абсолютное давление значительно ниже давления в цилиндре. Но давление в цилиндре продолжает по-прежнему уравниваться с давлением в выпускном коллекторе через всё ещё открытый выпускным клапаном канал. По этой причине, обнаружить точку Н на графике давления в цилиндре большинства двигателей невозможно.

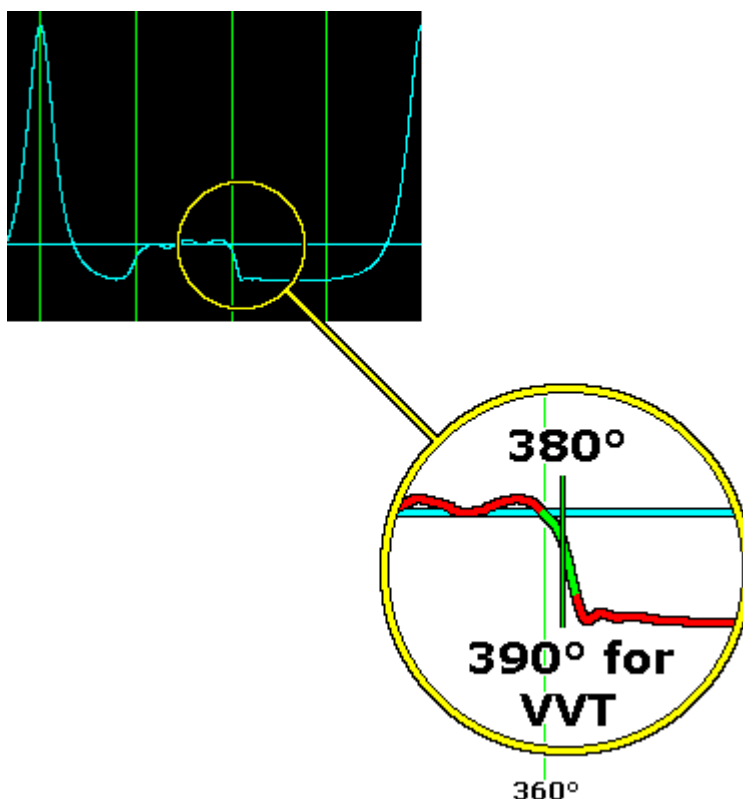
### **Точка ВМТ $360^{\circ}$ .**

Достигнув второй верхней мёртвой точки, поршень останавливается, и изменяет направление движения на противоположное, начав вновь отдаляться от головки блока цилиндров. Момент, когда поршень находится во второй ВМТ, отмечают как ВМТ  $360^{\circ}$  или  $360^{\circ}$ , так как за время перемещения поршня от ВМТ  $0^{\circ}$  до ВМТ  $360^{\circ}$ , коленчатый вал двигателя поворачивается на  $360^{\circ}$ .

### **Участок I.**

Когда поршень достигает точки ВМТ  $360^{\circ}$  и изменяет направление движения на противоположное, выпускной клапан оказывается уже почти закрытым. Вследствие закрытия канала, соединяющего внутренний объём цилиндра с выпускным коллектором, давление в цилиндре прекращает уравниваться с давлением в выпускном коллекторе. Впускной клапан при этом уже несколько открыл канал впуска рабочей смеси и продолжает открываться. Вследствие того, что канал, соединяющий внутренний объём цилиндра с впускным коллектором начал открываться, давление в цилиндре начинает уравниваться с давлением во впускном коллекторе. Так как значение абсолютного давления в цилиндре близко к атмосферному, газы из цилиндра начинают перетекать из цилиндра во впускной коллектор, где давление значительно ниже атмосферного.

Этот участок графика давления в цилиндре отмечен буквой I. Центр участка I должен пересекать отметку 380° после ВМТ 0° (20° после ВМТ 360°).



**Если центр участка I находится в пределах 370°...390° после ВМТ 0° ( $\pm 10^\circ$  от отметки 380° после ВМТ 0°), то момент начала открытия впускного клапана считают установленным правильно. Для двигателей оснащённых системой изменения фаз газораспределения (система VVT) центр участка I должен находиться в пределах 380°...400° после ВМТ 0° ( $\pm 10^\circ$  от отметки 390° после ВМТ 0°).**

### **Точка J.**

В точке J давление в цилиндре выравнивается с давлением во впускном коллекторе, так как канал, соединяющий внутренний объём цилиндра с впускным коллектором открылся уже на значительную величину.

### **Фрагмент участка K между точками J и НМТ 540°.**

Так как поршень отдаляется от головки блока цилиндров, объём между поршнем и головкой блока цилиндров увеличивается. Но, не смотря на увеличение внутреннего объёма цилиндра, понижение давления в цилиндре не происходит из-за того, что в цилиндр перетекает воздух из впускного коллектора через открытый впускным клапаном канал.

Скорость перемещения поршня продолжает увеличиваться до тех пор, пока коленчатый вал не повернётся на 90° после ВМТ 360°. Здесь скорость перемещения поршня максимальна. По прохождению отметки 90° после ВМТ 360°, скорость перемещения поршня начинает уменьшаться до тех пор, пока поршень не достигнет точки НМТ 540°.

### **Точка НМТ 540°.**

Достигнув второй нижней мёртвой точки, поршень останавливается, и изменяет направление движения на противоположное, начав вновь приближаться к головке блока цилиндров. Момент, когда поршень находится в НМТ и при этом выпускной клапан закрыт, а впускной клапан открыт (или начал закрываться) отмечают как НМТ 540° или 540°, так как за время перемещения поршня от ВМТ 0° до НМТ 540° коленчатый вал двигателя поворачивается на 540°.

### **Фрагмент участка К между точками НМТ 540° и L.**

Достигнув отметки НМТ 540°, поршень начинает вновь приближаться к головке блока цилиндров, что приводит к постепенному уменьшению объёма между поршнем и головкой блока цилиндров. Но впускной клапан при этом некоторое время остаётся всё ещё открытым. Опоздание закрытия впускного клапана служит для улучшения наполняемости цилиндра топливовоздушной смесью. Происходит это за счёт значительной инерционности потока смеси на такте впуска. Когда поршень начинает двигаться к головке блока цилиндров, несмотря на уменьшающийся внутренний объём цилиндра, топливовоздушная смесь ещё некоторое время продолжает по инерции перетекать из впускного коллектора в цилиндр. Данный эффект зависит от скорости потока смеси из впускного коллектора в цилиндр на такте впуска – чем скорость выше, тем эффект заметнее. Скорость потока смеси из впускного коллектора в цилиндр зависит от частоты вращения двигателя и от угла открытия дроссельной заслонки – чем выше частота вращения коленчатого вала двигателя и чем на больший угол открыта дроссельная заслонка, тем больше скорость потока смеси из впускного коллектора в цилиндр. Момент закрытия впускного клапана выбирают при проектировании двигателя таким, чтобы эффект избыточного наполнения цилиндра топливовоздушной смесью за счёт инерции потока смеси проявлялся в заданном диапазоне частот вращения двигателя при полностью открытой дроссельной заслонке. Когда же двигатель работает при низкой частоте вращения коленчатого вала, опоздание закрытия впускного клапана приводит к негативному эффекту – перетеканию поступившей в цилиндр смеси обратно во впускной коллектор.

В двигателях, оснащённых системой изменения фаз газораспределения, момент закрытия впускного клапана постоянно регулируется на работающем двигателе в зависимости в основном от частоты вращения двигателя и нагрузки на коленчатый вал двигателя. Благодаря наличию такой системы, эффект избыточного наполнения цилиндра топливовоздушной смесью за счёт инерции потока смеси в таких двигателях проявлялся в очень широком диапазоне частот вращения коленчатого вала и при различных углах открытия дроссельной заслонки, за счёт чего двигатель развивает более высокую мощность в значительно более широком диапазоне частот вращения. Кроме того, в таких двигателях минимален эффект перетекания поступившей в цилиндр смеси обратно во впускной коллектор при низких частотах вращения коленчатого вала, за счёт чего достигается очень устойчивая работа двигателя на холостом ходу и высокие ездовые качества двигателя при низких частотах вращения коленчатого вала.

### **Точка L.**

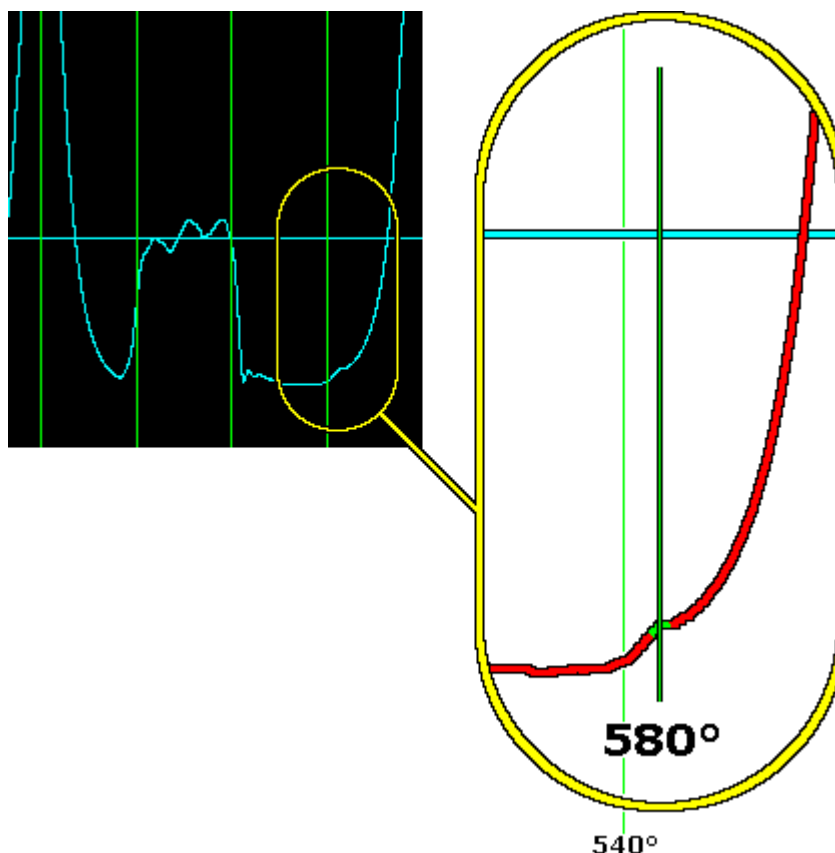
Конец закрытия впускного клапана отмечен на графике давления в цилиндре буквой L. С закрытием канала соединяющего внутренний объём цилиндра с впускным коллектором, при высоких частотах вращения двигателя прекращается избыточное наполнение цилиндра топливоздушной смесью за счёт инерции потока смеси, а при низких частотах вращения двигателя прекращается перетекание поступившей в цилиндр смеси обратно во впускной коллектор. Важно заметить, что форма графика давления в цилиндре в точке L определяется направлением движения смеси по впускному каналу непосредственно перед моментом закрытия впускного клапана.

При низких частотах вращения двигателя возникает эффект перетекания поступившей в цилиндр смеси обратно во впускной коллектор и давление в цилиндре не увеличивается вплоть до момента закрытия впускного клапана. С закрытием впускного клапана, после относительно пологого участка K возникает резкий перелом графика в точке L и с этого момента, абсолютное давление в цилиндре начинает сравнительно интенсивно нарастать.

При высоких частотах вращения двигателя возникает эффект избыточного наполнения цилиндра топливоздушной смесью за счёт инерции потока смеси и давление в цилиндре начинает увеличиваться уже с момента достижения поршнем точки НМТ 540°. С закрытием впускного клапана, после участка относительно интенсивного нарастания давления в цилиндре на участке между точками НМТ 540° и L, возникает заметный перелом графика в точке L и скорость нарастания абсолютного давления в цилиндре с этого момента резко уменьшается.

Поршень и далее продолжает перемещаться по направлению к головке блока цилиндров, уменьшая внутренний объём цилиндра. Теперь, когда оба клапана (впускной и выпускной) закрыты, уменьшение внутреннего объёма цилиндра приводит к увеличению давления в цилиндре.

Момент закрытия впускного клапана отмечен на графике давления в цилиндре буквой L. Точка L должна пересекать отметку 580° после ВМТ 0° (40° после НМТ 540°).



**Если точка L (конец закрытия впускного клапана) находится в пределах 560°...600° после ВМТ 0° (20°...60° после НМТ 540°), то момент конца закрытия впускного клапана считают установленным правильно.**

### **Точка М.**

Скорость перемещения поршня увеличивается до тех пор, пока коленчатый вал не провернётся на 90° после НМТ 540°. Здесь скорость перемещения поршня максимальна. Эта точка отмечена на графике давления в цилиндре буквой М.

В точке М давление в цилиндре будет близким к атмосферному  $\pm 0,5$  Bar. Но так как движение поршня по-прежнему продолжается, объём между поршнем и головкой блока цилиндров продолжает уменьшаться. Из-за дальнейшего уменьшения закрытого объёма в цилиндре, абсолютное давление в цилиндре продолжает увеличиваться.

По прохождению отметки 90° после НМТ 540°, скорость перемещения поршня начинает уменьшаться.

### **Точка N.**

За  $30^\circ$  перед ВМТ  $720^\circ$  давление в цилиндре численно будет близко к половине разницы минимального давления в цилиндре (точка L) и максимального давления в цилиндре (точка A). Эта точка на графике отмечена буквой N.

Давление в цилиндре продолжает увеличиваться до тех пор, пока поршень не достигнет точки A. Важно заметить, что основная работа по сжатию смеси в цилиндре производится за последние  $30^\circ$  поворота коленчатого вала перед ВМТ  $720^\circ$  – на участке между точками N и ВМТ  $720^\circ$ .

### **Точка A (или ВМТ $720^\circ$ ).**

По достижении точки A поршень останавливается, и изменяет направление движения на противоположное, начав вновь отдаляться от головки блока цилиндров. Таким образом, завершается полный цикл работы цилиндра и начинается новый.

За время перемещения поршня от предыдущей точки A (ВМТ  $0^\circ$ ) до текущей точки A (ВМТ  $720^\circ$ ), коленчатый вал двигателя поворачивается на  $720^\circ$ , по этому эту точку иногда отмечают как ВМТ  $720^\circ$  или  $720^\circ$ .

### **Утечки газов из цилиндра.**

Поршень, двигаясь от точки M к ВМТ, перемещается на расстояние равное расстоянию, на которое он перемещается, двигаясь от ВМТ до точки C. При этом сначала поршень сжимает воздух (смесь), а потом разжимает его.

Переместившись от точки M до точки C, поршень оказывается на прежнем расстоянии от головки блока цилиндров – то есть, внутренний объём цилиндра в точке C равен внутреннему объёму цилиндра в точке M. Таким образом, теоретически, значение абсолютного давления в цилиндре в точке C должно быть равным значению абсолютного давления в цилиндре в точке M. Но на практике, значение абсолютного давления в цилиндре в точке C всегда оказывается меньшим абсолютного давления в цилиндре в точке M. Это происходит потому, что часть смеси при сжатии выдавливается из цилиндра через в той или иной мере негерметичные уплотнения. Разница значений абсолютного давления в цилиндре в точках C и M зависит от количества просочившихся через уплотнения газов. А как ранее было рассмотрено, количество просочившихся через уплотнения газов зависит от состояния самих уплотнений и от частоты вращения коленчатого вала двигателя. **Чем лучше состояние уплотнений и чем выше частота вращения коленчатого вала двигателя, тем меньше разница значений абсолютного давления в цилиндре в точках C и M.**

## Прокрутка двигателя стартером

О правильности установки газораспределительных валов относительно коленчатого вала можно судить по положению ключевых участков Е и I графика давления в цилиндре. При работе двигателя на холостом ходу ключевые участки Е и I графика давления в цилиндре отчётливо видны за счёт возникающего в цилиндре разрежения в районе точки D и на участке К. Но при прокрутке двигателя стартером величина разрежения в цилиндре в точке D и/или на участке К очень мала, и положение ключевых участков Е и I невозможно измерить, так как они почти не видны на графике.

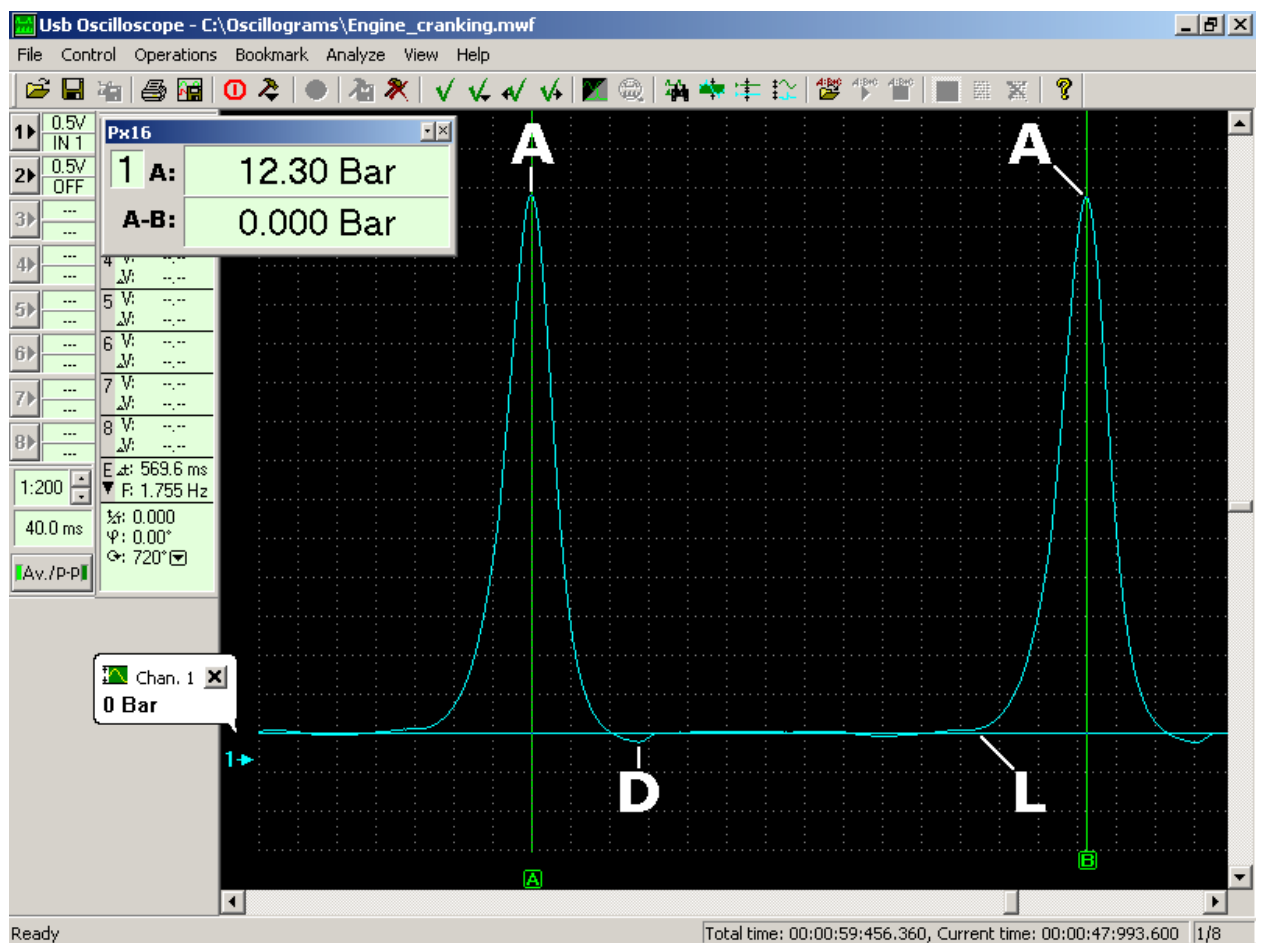
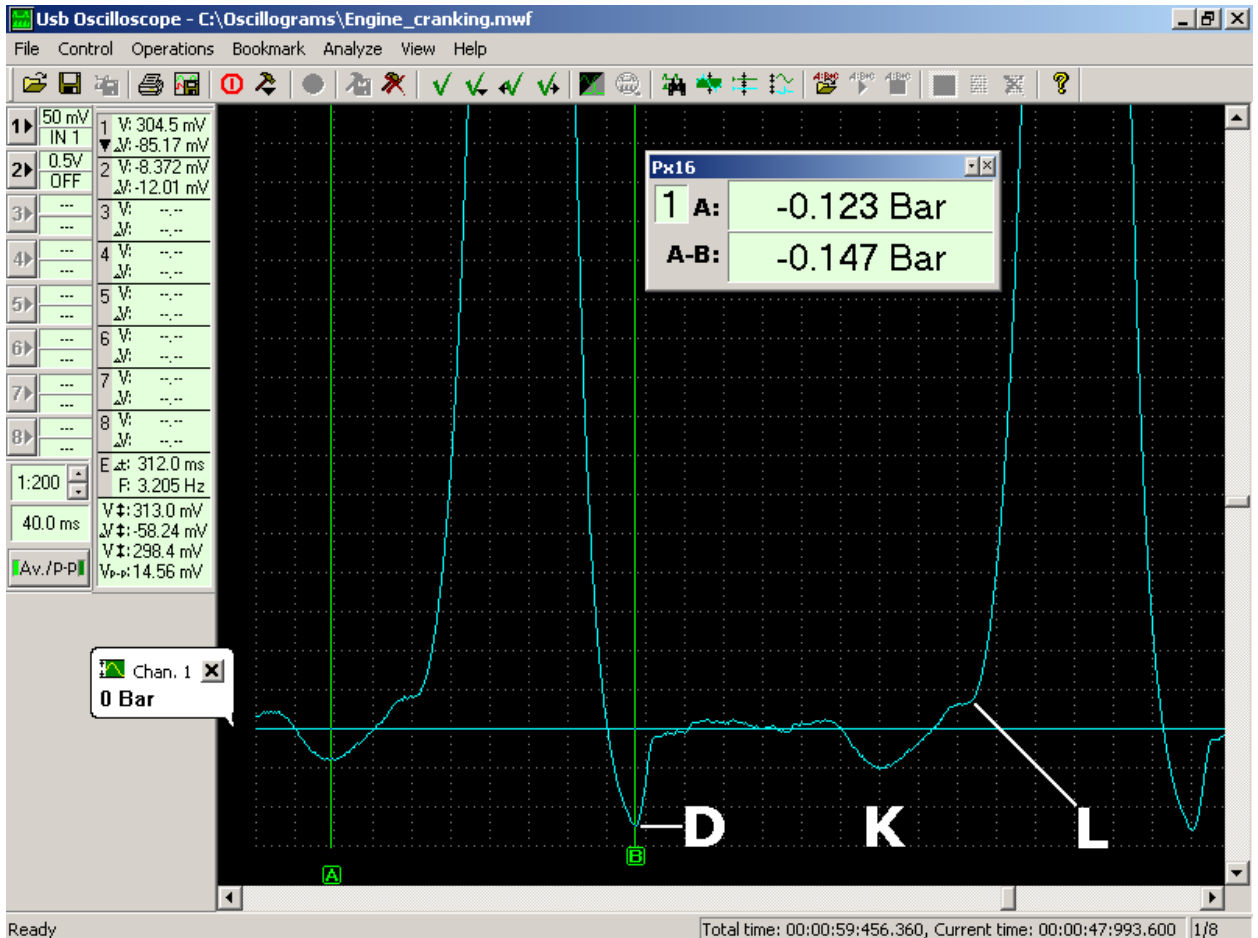


График давления в цилиндре при прокрутке двигателя стартером с закрытой дроссельной заслонкой.

## График давления в цилиндре



*Тот же график, но с увеличенным усилением для лучшей наглядности ключевых точек.*

Многие из рассмотренных ранее характерных точек и участков графика давления в цилиндре при работе двигателя на холостом ходу здесь не видны. Но положение ключевых точек D и L можно измерить с приемлемой точностью. Ошибка при измерении положения ключевых точек D и L возникает в основном из-за значительной неравномерности мгновенной частоты вращения коленчатого вала при прокрутке двигателя стартером.

Как видно по приведённым графикам, при прокрутке двигателя стартером возможно измерение положения только некоторых характерных точек графика давления в цилиндре. Измерение положения характерных участков графика давления в цилиндре невозможно. По этой причине, оценить взаимное положение коленчатого и газораспределительных валов по графику давления в цилиндре при прокрутке двигателя стартером можно только приблизительно. Проведение таких измерений имеет смысл только в том случае, если нет возможности получить график давления в цилиндре при работе двигателя на холостом ходу (двигатель невозможно запустить).



### **Точка А (или ВМТ 0°).**

Давление в цилиндре в точке А при прокрутке двигателя стартером всегда выше, чем при работе двигателя на холостом ходу. **Если при прокрутке двигателя стартером давление в цилиндре в точке А находится в пределах 8...16 Bar, цилиндр считают исправным.** Если же при прокрутке двигателя стартером давление в цилиндре в точке А меньше 6 Bar, такой цилиндр не обеспечивает нормального сгорания топливовоздушной смеси и его считают неисправным.

### **Участок К.**

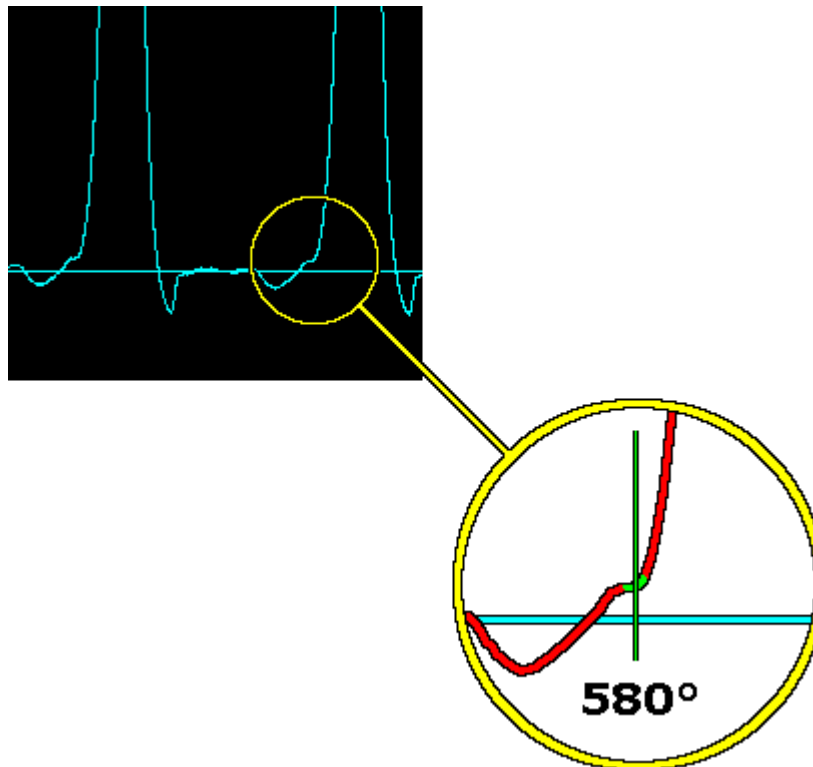
Величина разрежения в цилиндре на участке К определяется величиной разрежения во впускном коллекторе – чем больше разрежение во впускном коллекторе, тем больше разрежения в цилиндре на участке К.

Когда двигатель выключен, коленчатый вал двигателя не вращается и разрежение во впускном коллекторе не возникает вовсе – то есть, значение абсолютного давления во впускном коллекторе равно текущему атмосферному давлению. С началом прокрутки двигателя стартером, воздух (смесь) из впускного коллектора начинает "всасываться" в цилиндры двигателя и во впускном коллекторе возникает разрежение. Среднее значение возникшего во впускном коллекторе разрежения определяется в основном частотой вращения коленчатого вала двигателя и положением клапана холостого хода (дроссельной заслонки). Чем ниже частота вращения коленчатого вала и чем на большую величину открыт клапан холостого хода (дроссельная заслонка), тем меньшее разрежение возникает в цилиндре на участке К.

При прокрутке двигателя стартером, частота вращения коленчатого вала двигателя оказывается настолько низкой, что даже при закрытой дроссельной заслонке, величина разрежения, возникающего во впускном коллекторе, а значит и в цилиндре на участке К, составляет 0,05...0,3 Bar. Из-за столь низкой величины разрежения в цилиндре, при прокрутке двигателя стартером обнаружение участка I на графике давления в цилиндре оказывается невозможным. Но в большинстве случаев, можно довольно точно определить точку L.

### Точка L.

По положению точки L, можно приблизительно судить о правильности установки впускного газораспределительного вала двигателя.



Если измеренное положение точки L (конец закрытия впускного клапана) при прокрутке двигателя стартером находится в пределах 560°...600° после ВМТ 0° (20°...60° после НМТ 540°), то взаимное положение впускного газораспределительного вала и коленчатого вала можно считать приемлемым.

### Точка D.

Величина разрежения в точке D графика давления в цилиндре определяется моментом начала открытия выпускного клапана, величиной разрежения в цилиндре на участке К и количеством просочившихся через уплотнения газов.

Чем позже открывается выпускной клапан (но не позже ВМТ 180°), тем больше разрежение в цилиндре в точке D. Момент начала открытия выпускного клапана определяется работой системы газораспределения.

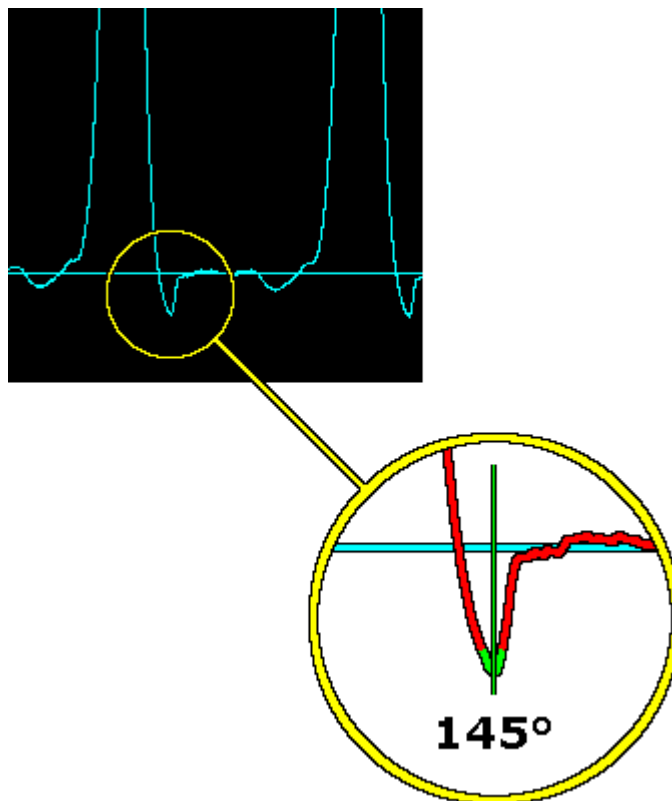
Чем больше разрежение в цилиндре на участке К, тем больше разрежение в цилиндре в точке D. Величина разрежения в цилиндре на участке К определяется частотой вращения коленчатого вала и положением клапан холостого хода и дроссельной заслонки.

Количество просочившихся через уплотнения газов определяется состоянием уплотнений и частотой вращения коленчатого вала. Чем хуже состояние уплотнений и чем ниже частота вращения двигателя, тем большее количество газов успеет просочиться через уплотнения и тем большее разрежение возникнет в цилиндре в точке D.

Таким образом, величина разрежения в точке D графика давления в цилиндре изменяется с изменением частоты вращения двигателя и с изменением положения клапана холостого хода (дроссельной заслонки).

При прокрутке двигателя стартером, частота вращения коленчатого вала двигателя оказывается настолько низкой, что через уплотнения даже исправного цилиндра успевают просочиться достаточно большое количество газов и в цилиндре в точке D графика давления возникает значительное разрежение. По этой причине, измерение положения центра участка E на графике давления в цилиндре при прокрутке двигателя стартером оказывается затруднительным. Но в большинстве случаев, можно с приемлемой точностью определить точку D.

По положению точки D, можно приблизительно судить о правильности установки выпускного газораспределительного вала двигателя.



**Если измеренное положение точки D (начало открытия выпускного клапана) при прокрутке двигателя стартером находится в пределах 130°...160° после ВМТ 0° (50°...20° перед НМТ 180°), то взаимное положение выпускного газораспределительного вала и коленчатого вала можно считать приемлемым.**

При условии, что измеренное положение при прокрутке двигателя стартером точки D графика давления в цилиндре находится в пределах 130°...160° после ВМТ 0° а точки L в пределах 560°...600° после ВМТ 0°, впускной и выпускной газораспределительные валы можно считать установленными с ошибкой не более ±2 зуба газораспределительного ремня (цепи) относительно коленчатого вала. Такое положение газораспределительных валов обеспечивает возможность запуска двигателя и его работы на холостом ходу. После пуска и прогрева двигателя, можно получить график давления в цилиндре при работе двигателя на холостом ходу. Тогда, по полученному графику давления в цилиндре при работе двигателя на холостом ходу, можно измерить положение участков E и I и теперь точно судить о правильности установки газораспределительных валов относительно коленчатого вала.