

УДК 621.43 : 629.3

Оценка технического состояния двигателей внутреннего сгорания по давлению во впускном и выпускном коллекторах

А.А. Бабошин, А.С. Косарев, В.С. Малышев

Политехнический факультет МГТУ, кафедра энергетики и транспорта

Аннотация. В статье содержатся результаты разработки методов диагностирования двигателей внутреннего сгорания по давлению во впускном и выпускном коллекторах. Представлено описание данных методов, определены информативные режимы диагностирования. Представлены также результаты исследования влияния различных неисправностей на значения диагностических параметров, определены предельные значения диагностических параметров.

Abstract. The paper presents the results of the development of methods of diagnosing the internal combustion engine by pressure in the intake and exhaust manifolds. The description of these methods have been given, the informative modes of diagnosis have been defined. Results of investigations of various faults effect on the values of diagnostic parameters have been given.

Ключевые слова: автомобильные двигатели, диагностика, средства диагностики, методы диагностирования, давление во впускном коллекторе, давление в выпускном коллекторе

Key words: automobile engines, diagnostics, diagnostic tools, methods and technology of diagnostics, intake manifold pressure, exhaust manifold pressure

1. Введение

Предупреждение отказов и неисправностей в работе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) требует регулярного выполнения определенных операций технического обслуживания с установленными периодичностью и трудоемкостью. Одной из важнейших составляющих современной системы технического обслуживания и ремонта является диагностирование. Особую ценность для практического использования представляют те методы диагностирования, которые просты в реализации и при этом обладают достаточной информативностью и чувствительностью.

Целью статьи является представление методов диагностирования двигателей внутреннего сгорания по давлению во впускном и выпускном коллекторах. В статье дается описание данных методов, определены информативные режимы диагностирования, представлены результаты исследования влияния различных неисправностей на значения диагностических параметров, определены предельные значения диагностических параметров.

2. Диагностирование двигателей по давлению во впускном коллекторе

Разрежение во впускном трубопроводе и его постоянство зависят от скоростного напора воздуха и потерь напора, обусловленных:

- сопротивлением воздушного фильтра;
- нарушением герметичности впускного коллектора;
- состоянием герметичности камер сгорания двигателя;
- неплотностью прилегания клапанов к седлам клапанов;
- правильностью установки фаз газораспределения и др. (Постоловский, 2005; Осциллограммы..., 2012; Диагностика..., 2012; Осциллографическая..., 2012).

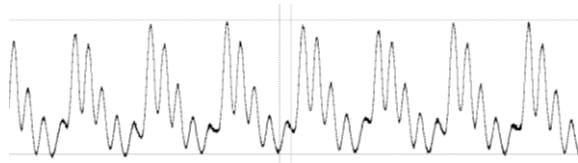
Разрежение во впускном трубопроводе измеряют с помощью вакуумметра, подсоединяемого к впускному коллектору. По показаниям вакуумметра можно определить относительное разрежение, которое сравнивается с аналогичной величиной, установленной для исправного двигателя при том же режиме работы, и оценить общее состояние двигателя. Более полную информацию можно получить по результатам регистрации кривой пульсирующего разрежения во впускном трубопроводе с использованием датчика давления.

При анализе осциллограмм давления во впускном коллекторе (рис. 1) важно понимать, что форма осциллограмм у различных двигателей и на различных режимах работы различна, однако при исправном состоянии ДВС колебания давления от каждого цилиндра одинаковые (низы и верха зарегистрированной осциллограммы находятся на одном уровне).

Результаты исследований показывают, что информативными режимами проверки являются следующие: 1) прокрутка двигателя стартером с закрытой дроссельной заслонкой (рис. 2); 2) прокрутка двигателя стартером с открытой дроссельной заслонкой (рис. 3); 3) работа двигателя на холостом ходу

(рис. 4а); 4) работа двигателя на холостом ходу с дополнительной нагрузкой (в виде включенного дальнего света фар и обогрева заднего стекла (рис. 4б); 5) работа двигателя на повышенной частоте вращения.

а)



б)

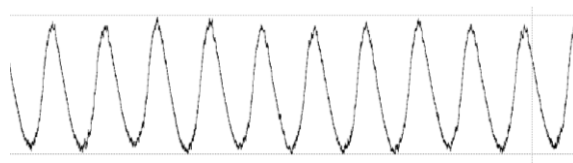


Рис. 1. Осциллограммы давления во впускных коллекторах исправных двигателей при работе на холостом ходу:

а) автомобиль ВАЗ-2115 с двигателем ВАЗ-2111; разрежение во впускном коллекторе $-0,62...-0,67$ атм;
 б) автомобиль ГАЗ-3110 с двигателем ЗМЗ-402; разрежение во впускном коллекторе $-0,63...-0,68$ атм

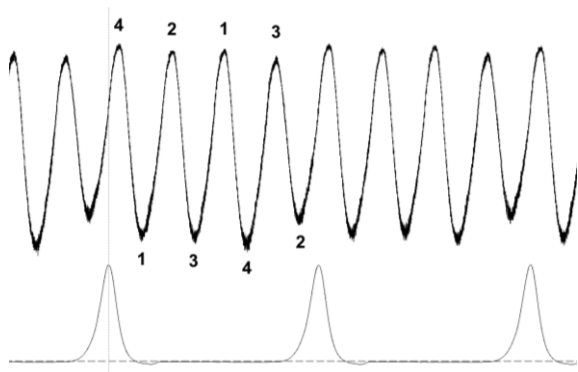


Рис. 2. Осциллограмма давления во впускном коллекторе при прокрутке двигателя ВАЗ-2111 стартером с закрытой дроссельной заслонкой: синхронизация по первому цилиндру; порядок работы 1-3-4-2; на осциллограмме заметно, что герметичность камеры сгорания второго цилиндра хуже остальных цилиндров

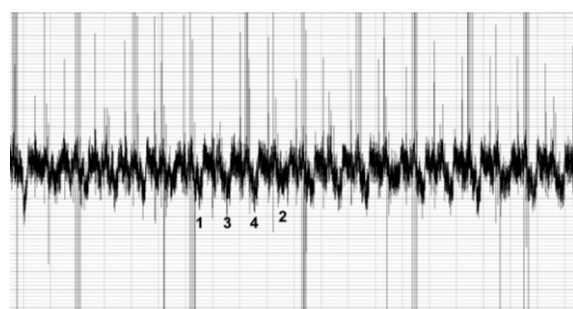
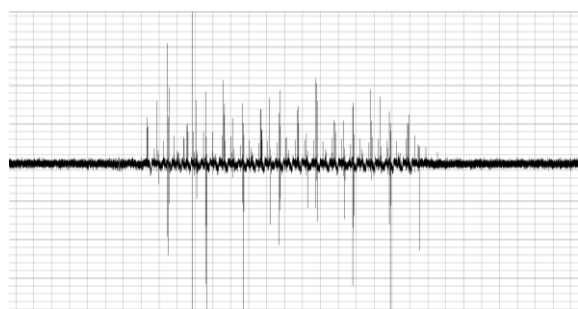


Рис. 3. Осциллограмма давления во впускном коллекторе

при прокрутке двигателя ВАЗ-2111 стартером с открытой дроссельной заслонкой:

наблюдаются незначительные колебания давления во впускном коллекторе (около атмосферного давления); большая величина разрежения на данном режиме говорит о повышенном сопротивлении впускного коллектора; на осциллограмме заметно, что герметичность камеры сгорания второго цилиндра хуже остальных цилиндров, эти данные подтверждают и другие проверки, в частности, компрессия по цилиндрам составляет: 1 – 12,3 атм; 2 – 11,8 атм; 3 – 12,2 атм; 4 – 12,5 атм

Осциллограммы давления во впускном коллекторе на режиме прокрутки двигателя стартером с открытой или закрытой дроссельной заслонкой анализируются следующим образом:

– вершины кривой давления во впускном коллекторе дают информацию о моменте закрытия выпускных клапанов (о правильности установки теплового зазора в клапанном механизме или о правильной работе гидрокомпенсаторов), при этом если синхронизация осуществляется по первому цилиндру, то **вершины соответствуют цилиндрам 4-2-1-3** (рис. 2); при исправном состоянии двигателя вершины будут на одном уровне;

– впадины кривой давления во впускном коллекторе дают информацию о герметичности камер сгорания; при этом если синхронизация осуществляется по первому цилиндру, то **впадины соответствуют цилиндрам 1-3-4-2** (рис. 2 и 3); при исправном состоянии двигателя впадины будут на одном уровне.

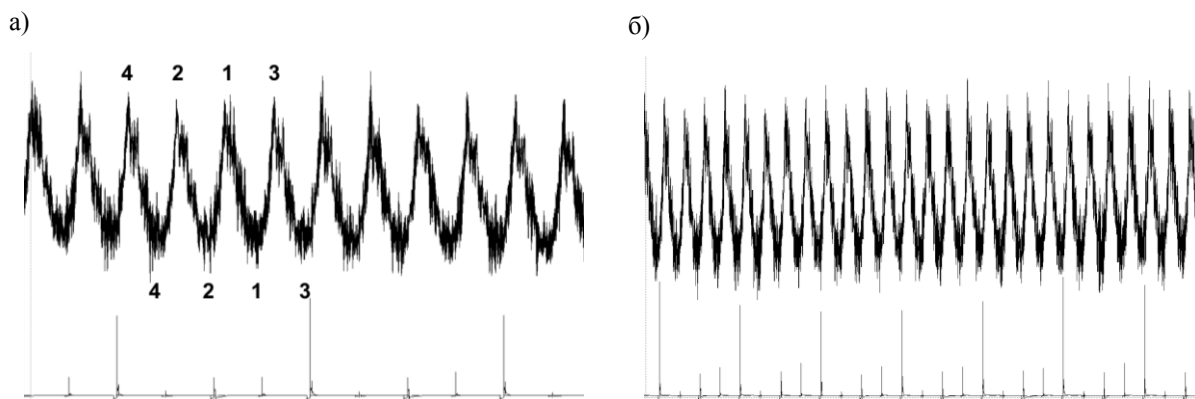


Рис. 4. Осциллограммы давления во впускном коллекторе двигателя ВАЗ-2111: синхронизация по первому цилиндру, момент искрообразования в первом цилиндре соответствует четвертому цилиндру; порядок работы 1-3-4-2; а) работа на режиме холостого хода; б) работа на режиме холостого хода с дополнительной нагрузкой

Давление во впускном коллекторе при работе двигателей на холостом ходу находится в пределах $-0,60 \dots -0,70$ атм (относительно атмосферного давления). Малая величина разрежения свидетельствует о нарушении герметичности впускного коллектора, повышенное разрежение – о повышенном сопротивлении впускного коллектора (засорении воздушного фильтра). При негерметичности впускного коллектора проверяется весь впускной коллектор: все соединения, шланги, вакуумный усилитель тормозов, регулятор давления на топливной рампе, карбюратор, вакуумный корректор угла опережения зажигания, в т.ч. возможное наличие прогара прокладки головки блока и прогар выпускных клапанов.

Осциллограммы давления во впускном коллекторе, при работе двигателя на холостом ходу и повышенной частоте вращения, анализируются следующим образом:

- вершины кривой давления во впускном коллекторе дают информацию о моменте закрытия выпускных клапанов, при этом если синхронизация осуществляется по первому цилиндру, то **вершины соответствуют цилиндрам 4-2-1-3** (рис. 4); при исправном состоянии двигателя вершины будут на одном уровне;

- впадины кривой давления во впускном коллекторе дают информацию о состоянии герметичности камер сгорания; при этом если синхронизация осуществляется по первому цилиндру, то **впадины соответствуют цилиндрам 4-2-1-3** (рис. 4); при исправном состоянии двигателя впадины будут на одном уровне.

При увеличении частоты вращения коленчатого вала разрежение во впускном коллекторе увеличивается, форма осциллограмм давления изменяется, однако анализ осциллограмм проводится аналогично.

При регистрации давления во впускной системе совместно с моментами искрообразования и сигналом датчика положения коленчатого вала (ДПКВ) по фазовому сдвигу можно выявить неправильную установку распределительного вала (РВ) относительно коленчатого вала ДВС. Нарушение фаз газораспределения может быть вследствие неправильной установки ремня привода газораспределительного механизма (ГРМ), износа кулачков РВ, неверно выставленных тепловых зазоров в клапанном механизме или неисправности гидрокомпенсаторов.

3. Диагностирование двигателей по давлению в выпускном коллекторе

Данный метод относится к методам экспресс-диагностирования ДВС, позволяет оценить общее техническое состояние двигателя, а при наличии неисправностей позволяет локализовать неисправный цилиндр (*Газетин, 2004*).

Для регистрации осциллограммы давления датчик устанавливается в выпускную трубу глушителя. При анализе осциллограмм давления в выпускном коллекторе необходимо руководствоваться тем же принципом, который используется при анализе осциллограмм давления во впускном коллекторе: при одинаковой герметичности камер сгорания и процессах сгорания колебания давления, соответствующие каждому цилиндру, будут одинаковыми. При исправном состоянии двигателя давление, регистрируемое датчиком, колеблется в небольших пределах относительно атмосферного давления и по форме напоминает синусоиду (рис. 5).

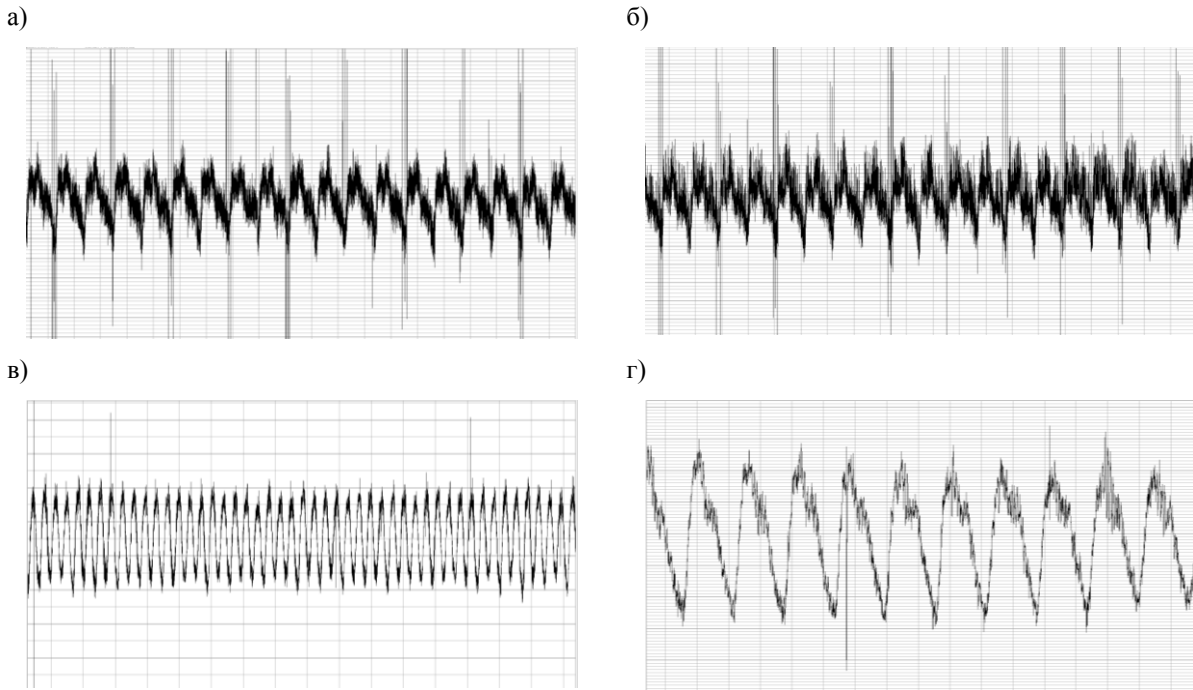


Рис. 5. Осциллограммы давления в выпускном коллекторе ДВС: режим прокрутки двигателя стартером с закрытой (а) и открытой (б) дроссельной заслонкой, а также при работе ДВС на режиме холостого хода (в, г)

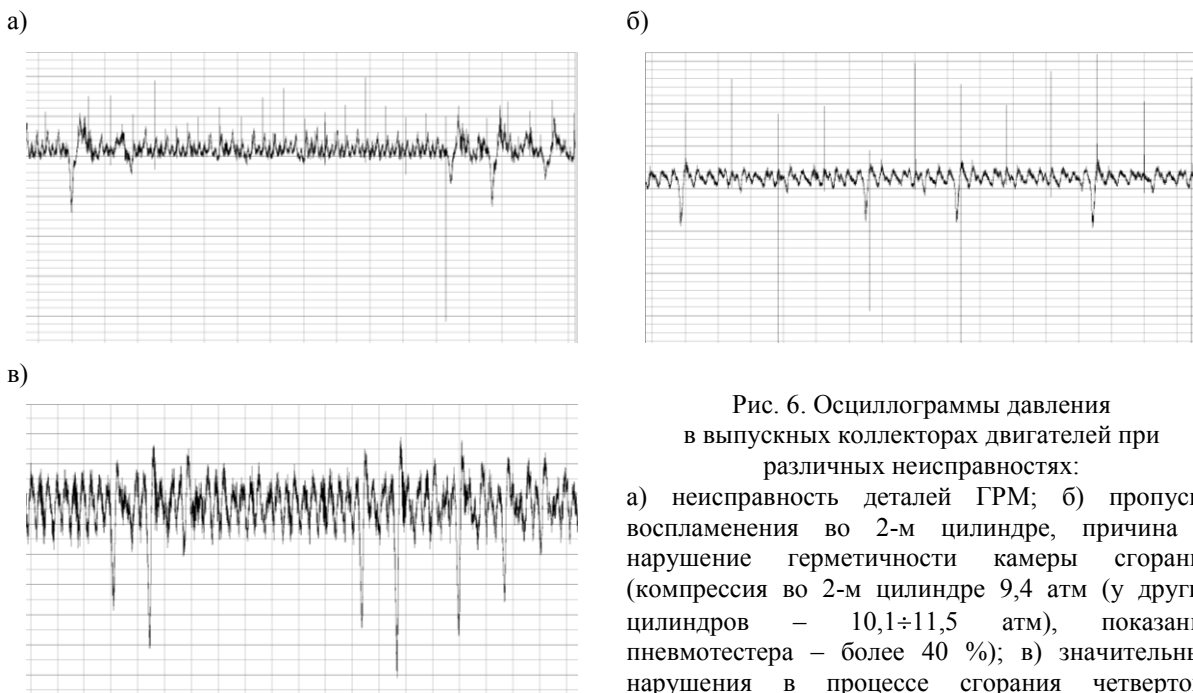


Рис. 6. Осциллограммы давления в выпускных коллекторах двигателей при различных неисправностях:

а) неисправность деталей ГРМ; б) пропуски воспламенения во 2-м цилиндре, причина – нарушение герметичности камеры сгорания (компрессия во 2-м цилиндре 9,4 атм (у других цилиндров – 10,1÷11,5 атм), показания пневмотестера – более 40 %); в) значительные нарушения в процессе сгорания четвертого цилиндра, причина – нарушение герметичности камеры сгорания (износ ЦПГ)

Неисправностями, оказывающими влияние на осциллограмму давления в выпускной системе, являются:

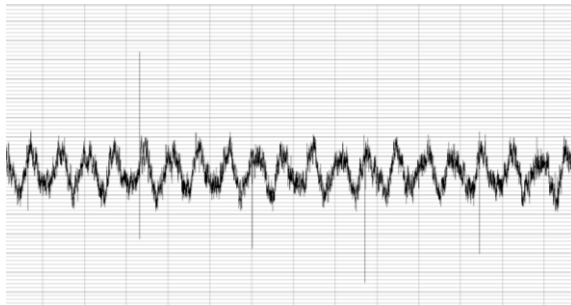
- пропуски воспламенения в цилиндрах ДВС;
- неисправности выпускных клапанов: прогар, неплотное прилегание к седлу клапана, "подвисание" клапанов;

- нарушение состава смеси: неисправности в системе воздухообеспечения, неисправности форсунок;
- нарушение процесса сгорания (например, из-за низкого качества искры);
- нарушение фаз газораспределения (из-за неисправностей ГРМ) и др.

На рис. 6 представлены осциллограммы давления в выпускных коллекторах ДВС при различных неисправностях.

На рис. 7 представлены осциллограммы давления в выпускной системе исправного двигателя (рис. 7а) и при имитации полностью неработающего одного из цилиндров (отключена топливоподача в цилиндр (рис. 7б)). Как показывают исследования, при отключении цилиндра амплитуда колебаний давления возрастает в 2÷3 раза. При работе двигателей с нарушением процессов сгорания в цилиндрах осциллограммы давления приобретают аналогичную форму, однако амплитуда колебаний давления меньше, чем при полностью неработающем цилиндре.

а)



б)

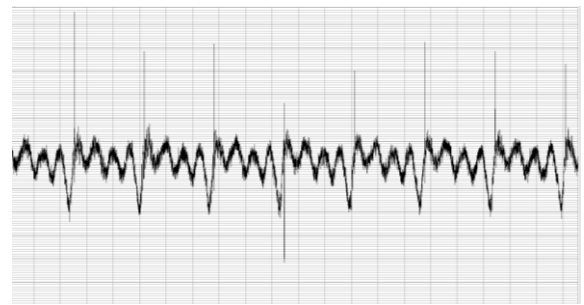


Рис. 7. Осциллограммы давления в выпускной системе исправного двигателя при работе на холостом ходу (а) и с имитацией неисправности (б) (отключение четвертого цилиндра)

4. Исследование влияния нарушения герметичности впускного коллектора на работу ДВС

Для реализации данного исследования было изготовлено устройство, позволяющее имитировать негерметичность впускного коллектора различной величины (рис. 8).

Устройство представляет собой металлическую трубку диаметром 10 мм. По ее периметру выполнены отверстия различного диаметра: 3 отверстия диаметром 0,5 мм и по 4 отверстия с диаметрами 1, 2, 3 и 4 мм. С одной стороны трубка соединена с датчиком давления, с другой – с впускным коллектором. Устройство позволяет имитировать нарушение герметичности впускного коллектора проходным сечением от 0,2 до 78,5 мм² при открытом состоянии различных отверстий.

В этом и других исследованиях объектом являлся двигатель ВАЗ-2111 автомобиля ВАЗ-2115.

Результаты исследования влияния нарушения герметичности впускного коллектора на давление в нем при работе ДВС на холостом ходу приведены на рис. 9.

Результаты исследования показывают следующее.

1) Негерметичность во впускном коллекторе суммарной площадью до 1,37 мм² практически не оказывает никакого воздействия на разрежение во впускном коллекторе.

2) При негерметичности во впускном коллекторе суммарной площадью 3,14 мм² наблюдается неравномерность в процессах сгорания от цикла к циклу, что видно на осциллограммах давления в впускном коллекторе (рис. 10).

3) При негерметичности во впускном коллекторе суммарной площадью 3,93 мм² визуально наблюдается повышенная вибрация двигателя, имеются явные нарушения процессов сгорания в цилиндрах, регистрируются редкие пропуски воспламенения (рис. 11).

4) При негерметичности во впускном коллекторе суммарной площадью 4,71 мм² имеются существенные нарушения процессов сгорания в цилиндрах, регистрируются частые пропуски воспламенения в цилиндрах (рис. 12).

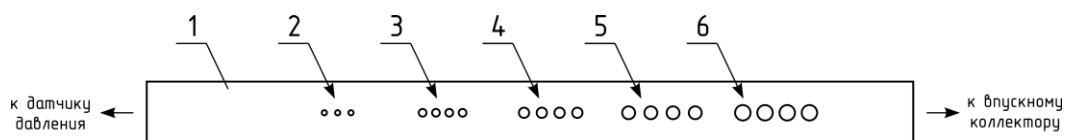


Рис. 8. Устройство для имитации негерметичности впускного коллектора:

1 – металлическая трубка; 2, 3, 4, 5 и 6 – отверстия диаметром 0,5, 1, 2, 3 и 4 мм соответственно

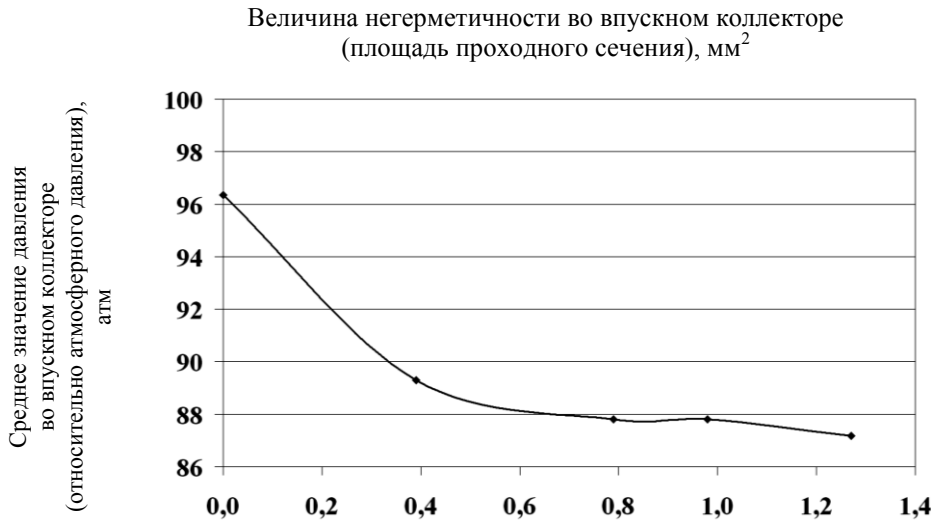


Рис. 9. Изменение среднего значения давления во впускном коллекторе при увеличении его негерметичности

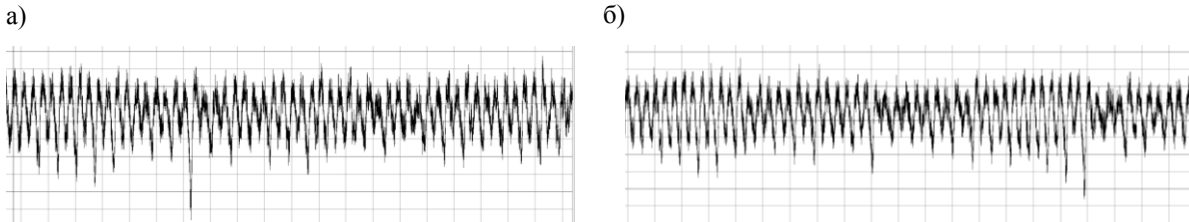


Рис. 10. Осциллограммы давления в выпускном коллекторе при работе ДВС на холостом ходу; впускной коллектор имеет негерметичность проходным сечением 3,14 мм²

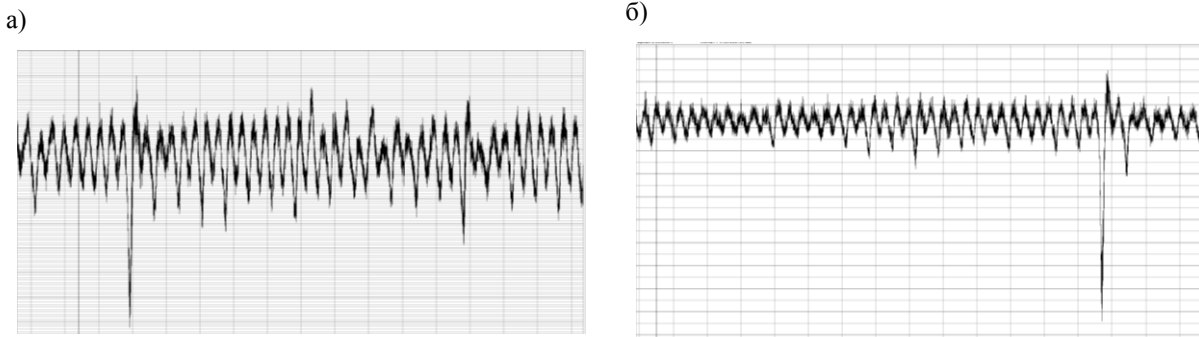


Рис. 11. Осциллограммы давления в выпускном коллекторе при работе ДВС на холостом ходу; впускной коллектор имеет негерметичность проходным сечением 3,93 мм²

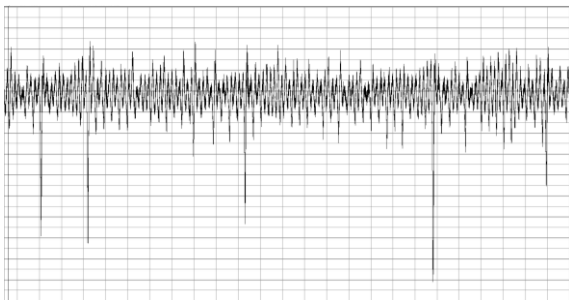


Рис. 12. Осциллограмма давления в выпускном коллекторе при работе ДВС на холостом ходу; впускной коллектор имеет негерметичность проходным сечением 4,71 мм²

Таким образом, негерметичность во впускном коллекторе суммарной площадью $3,93 \text{ мм}^2$ значительно влияет на работу двигателя. При данном проходном сечении разрежение во впускном коллекторе уменьшилось на $0,09 \div 0,10 \text{ атм}$.

Можно заключить, что уменьшение разрежения во впускном коллекторе на $0,1 \text{ атм}$ является предельным для исправного состояния ДВС.

5. Исследование влияния нарушения герметичности камеры сгорания на давление во впускном коллекторе ДВС при прокрутке двигателя стартером с закрытой дроссельной заслонкой

Для реализации данного исследования было изготовлено устройство, позволяющее имитировать негерметичность камеры сгорания различной величины. Схема для имитации негерметичности камеры сгорания представлена на рис. 13. Переходник 8 устанавливается вместо свечи зажигания одного из цилиндров (в нашем случае это первый цилиндр). С обратной стороны переходника 8 установлен датчик давления 7, который используется для регистрации давления в камере сгорания, а также в качестве датчика синхронизации. Болт 5 вкручивается в переходник 8 и фиксируется гайкой 4. Как видно по схеме, имеется связь камеры сгорания с атмосферой посредством отверстия в теле переходника 8, отверстия в теле болта 5 через калибровочное отверстие 6. Для имитации различной негерметичности камеры сгорания имеется набор болтов с различным диаметром калибровочного отверстия 6.

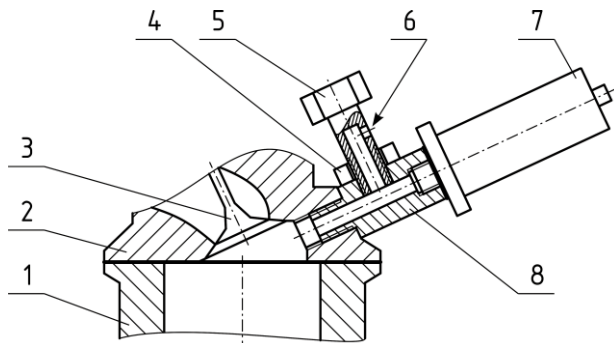


Рис. 13. Схема для имитации негерметичности камеры сгорания: 1 – блок цилиндров; 2 – головка блока цилиндров; 3 – клапан; 4 – гайка; 5 – болт; 6 – калибровочное отверстие; 7 – датчик давления; 8 – переходник

Проводилась регистрация осциллограмм давления во впускном коллекторе при прокручивании двигателя стартером с различной величиной негерметичности камеры сгорания первого цилиндра (с отверстиями различного диаметра, рис. 13, поз. 6). Полученные данные представлены на рис. 14.

Результаты исследования влияния нарушения герметичности камеры сгорания первого цилиндра двигателя ВАЗ-2111 на давление во впускном коллекторе при прокрутке двигателя стартером с закрытой дроссельной заслонкой приведены в табл. 1 и на рис. 15 и 16.

Компрессия в первом цилиндре от полностью исправного состояния до негерметичности проходным сечением $1,27 \text{ мм}^2$ уменьшилась на $2,9 \text{ атм}$ (с $13,3 \text{ атм}$ до $10,4 \text{ атм}$). Известно, что допустимая разница в значениях компрессии между цилиндрами двигателя не должна превышать 1 атм ; в данном случае разница в 1 атм достигается при негерметичности проходным сечением $0,41 \text{ мм}^2$, и при такой негерметичности камеры сгорания различия в величинах впадин на осциллограмме давления во впускном коллекторе при прокрутке ДВС стартером с закрытой дроссельной заслонкой составляет $7,1 \%$ (по сравнению с исправным цилиндром). Разница компрессии в 2 атм достигается при негерметичности проходным сечением $0,79 \text{ мм}^2$, и величина впадины на $8,5 \%$ отличается от величины впадины, соответствующей исправному цилиндру.

Таким образом, для двигателя ВАЗ-2111 неисправным можно считать ДВС, у которого различие в величинах впадин на осциллограмме давления во впускном коллекторе при прокрутке ДВС стартером с закрытой дроссельной заслонкой составляет более $7 \div 8 \%$. При такой разнице рекомендуется проводить углубленную диагностику (проверка компрессии, плотности и т.д.). Данный режим проверки, несмотря на простоту реализации, является достаточно информативным и чувствительным, особенно при малых значениях негерметичности камер сгорания.

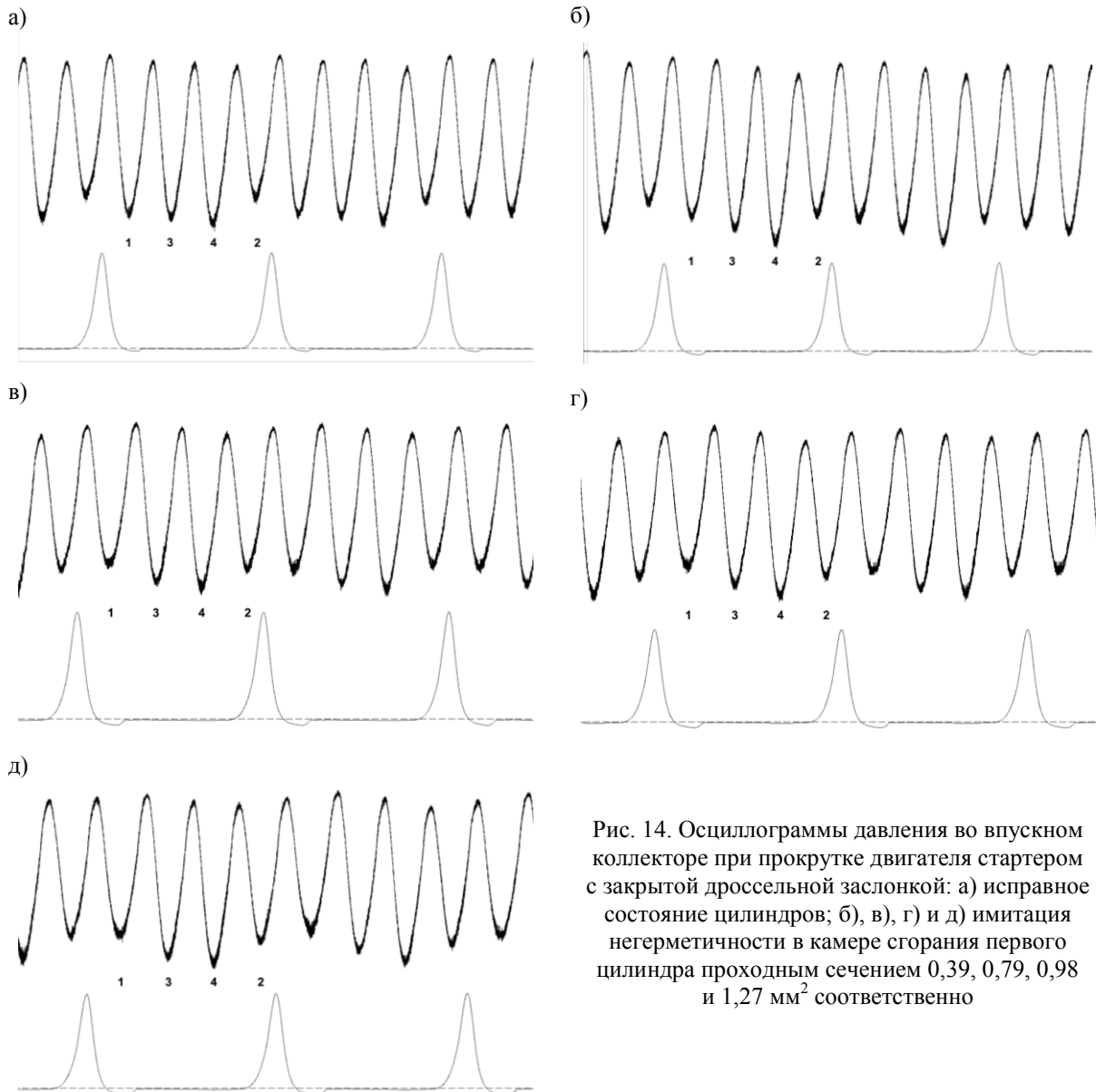


Рис. 14. Осциллограммы давления во впускном коллекторе при прокрутке двигателя стартером с закрытой дроссельной заслонкой: а) исправное состояние цилиндров; б), в), г) и д) имитация негерметичности в камере сгорания первого цилиндра проходным сечением 0,39, 0,79, 0,98 и 1,27 мм² соответственно

Таблица 1

Площадь проходного сечения отверстия (рис. 13, поз. 6), мм ²	Величина впадины на осциллограмме давления во впускном коллекторе, соответствующая первому цилиндру, в процентах от наилучшего цилиндра	Максимальное значение давления в камере сгорания (величина компрессии), атм
0,00	96,34	13,29
0,39	89,29	12,32
0,79	87,80	11,32
0,98	87,80	10,79
1,27	87,18	10,36

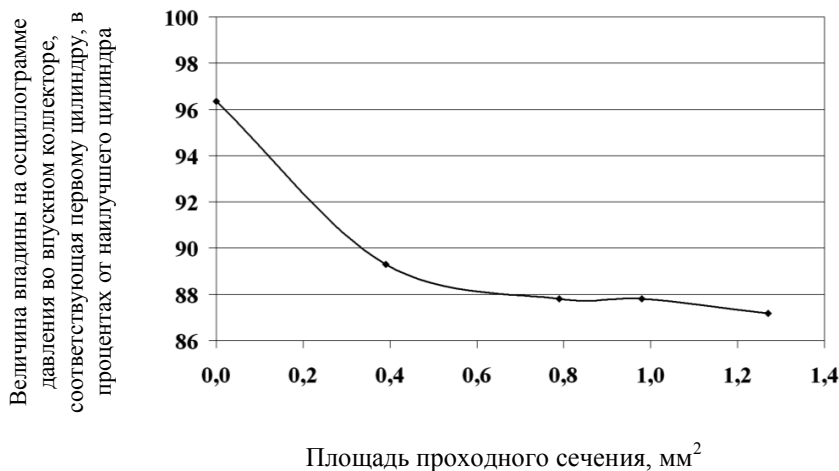


Рис. 15. Изменение величины впадины на осциллограмме давления во впускном коллекторе, соответствующей первому цилиндру (в процентах от наилучшего цилиндра) при увеличении негерметичности камеры сгорания в первом цилиндре

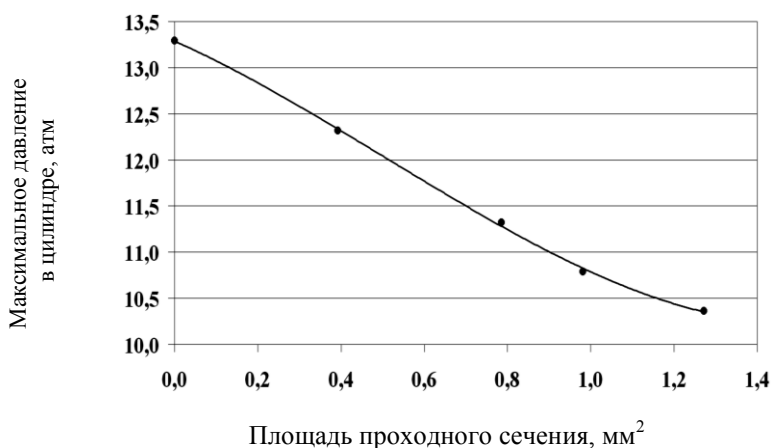


Рис. 16. Изменение компрессии при увеличении негерметичности камеры сгорания

6. Исследование влияния нарушения герметичности камеры сгорания на давление во впускном коллекторе ДВС при работе на холостом ходу

Проводилась регистрация осциллограмм давления во впускном коллекторе при работе двигателя на холостом ходу с различной величиной негерметичности камеры сгорания первого цилиндра (с отверстиями различного диаметра, рис. 13, поз. 6). Некоторые из полученных данных представлены на рис. 17.

Результаты исследования влияния нарушения герметичности камеры сгорания первого цилиндра двигателя ВАЗ-2111 на давление во впускном коллекторе при работе ДВС на холостом ходу приведены в табл. 2 и на рис. 18. При увеличении негерметичности камеры сгорания первого цилиндра до проходного сечения 0,39 мм² величина впадины уменьшается; при дальнейшем увеличении негерметичности камеры сгорания осциллограмма давления во впускном коллекторе практически не изменяется.

С учетом представленных выше результатов исследований, а также данных в табл. 2 и на рис. 18 можно заключить, что для двигателя ВАЗ-2111 неисправным можно считать ДВС, у которого различие в величинах впадин на осциллограмме давления во впускном коллекторе при работе ДВС на холостом ходу составляет более 7÷8 % (компрессия отличается более чем на 1 атм относительно исправного цилиндра). При такой разнице рекомендуется проводить углубленную диагностику.

Данный режим проверки ДВС является особенно чувствительным к малым величинам негерметичности камер сгорания.

Таблица 2

Площадь проходного сечения отверстия (рис. 13, поз. 6), мм ²	Величина впадины на осциллограмме давления во впускном коллекторе, соответствующая первому цилиндру, в процентах от наилучшего цилиндра
0,00	98,43
0,39	88,83
0,79	91,14
0,98	86,08
1,27	89,98

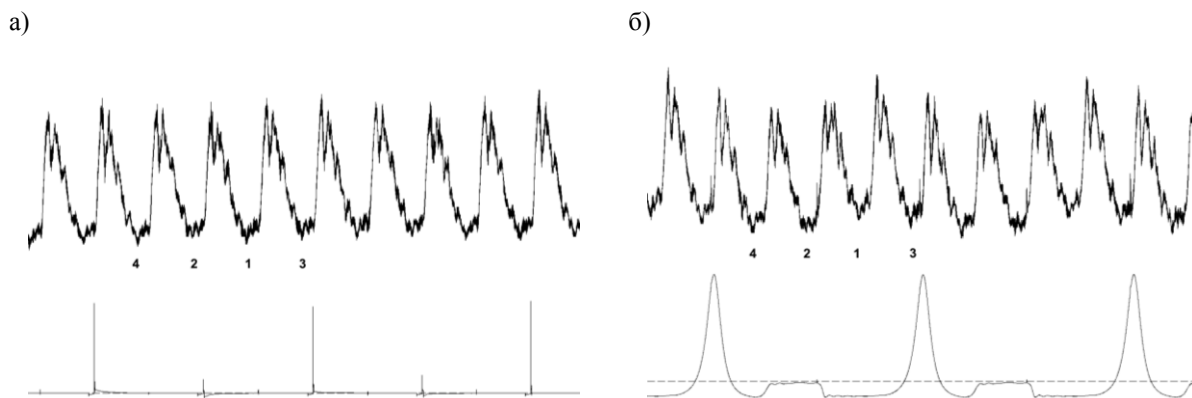


Рис. 17. Осциллограммы давления во впускном коллекторе ДВС при работе на холостом ходу: а) исправное состояние цилиндров; б) имитация негерметичности в камере сгорания первого цилиндра проходным сечением 1,27 мм²

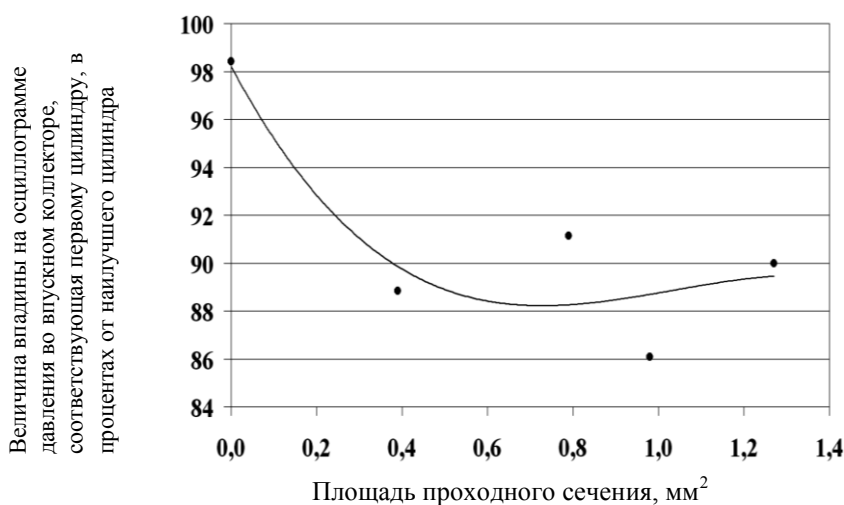


Рис. 18. Изменение величины впадины на осциллограмме давления во впускном коллекторе, соответствующей первому цилиндру (в процентах от наилучшего цилиндра) при увеличении негерметичности камеры сгорания в первом цилиндре

7. Заключение

В статье представлено описание двух методов экспресс-диагностирования ДВС: по давлению во впускном и выпускном коллекторах. Представлены режимы диагностирования и порядок анализа полученных осциллограмм.

Проведенные исследования позволили установить следующее:

- уменьшение разрежения во впускном коллекторе на 0,1 атм является предельным для исправного состояния ДВС;

- неисправным можно считать ДВС, у которого различие в величинах впадин на осциллограмме давления во впускном коллекторе при прокрутке ДВС стартером с закрытой дроссельной заслонкой и при работе ДВС на холостом ходу составляет более 7÷8 % (при такой разнице рекомендуется проводить углубленную диагностику).

Результаты диагностирования различных двигателей в различном техническом состоянии позволяют сделать заключение о том, что представленные методы диагностирования, несмотря на простоту реализации, являются достаточно информативным.

Литература

Газетин С. "Слушаем" двигатель. "12 вольт", № 07(62), с.52-54, 2004.

Диагностика механических неисправностей двигателя. URL: <http://motorhelp.ru/60-diagnostika-mehnicheskikh-neispravnostey-dvigatelya.html>. 2012.

Осциллограммы с датчика разрежения. URL: <http://motorhelp.ru/108-oscillogrammy-s-datchika-razryazheniya.html>. 2012.

Осциллографическая диагностика. URL: <http://www.b-storm.ru/viewtopic.php?f=34&t=356&start=0>. 2012.

Постоловский В. Компьютерная диагностика состояния механики двигателя. "12 вольт", № 9(76), с.46-49, 2005.