

УДК 621.43 : 629.3

Оценка технического состояния двигателей внутреннего сгорания по току, потребляемому стартером при прокрутке двигателя

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

Политехнический факультет МГТУ, кафедра энергетики и транспорта

Аннотация. В статье представлены результаты разработки метода диагностирования двигателей (ДВС) по току, потребляемому стартером при прокрутке ДВС. Представлена общая идея данного метода, оборудование, используемое для проведения исследований. Представлены также результаты исследования влияния негерметичности камеры сгорания на осциллограмму тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя и уточненные предельные значения диагностических параметров.

Abstract. The paper presents results of working out the method of diagnosing an internal combustion engine by current consumed by the starter when scrolling engine. The general idea of the method, equipment used for research have been presented. The results of researching impact of combustion chamber leakage on oscillogram of current consumed by the starter when scrolling engine have been given as well as revised limits of diagnostic parameters.

Ключевые слова: автомобильные двигатели, диагностика, средства диагностики, методы диагностирования, ток стартера
Key words: automobile engines, diagnostics, diagnostic tools, methods and technology of diagnostics, starter current

1. Введение

Основным агрегатом в автомобиле, на долю которого приходится наибольшее число отказов, является двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Надежность работы двигателя определяется не только конструктивными и технологическими мероприятиями, реализованными заводом-изготовителем, но и условиями эксплуатации, организацией и качеством его обслуживания.

Для выявления и предотвращения неисправностей в работе двигателей внутреннего сгорания необходимо проводить периодическое техническое обслуживание и диагностирование. В условиях большого количества транспортных средств и ограниченного времени на их обслуживание наибольшую ценность представляют те методы диагностирования, которые просты в реализации, позволяют быстро оценить техническое состояние ДВС и, в то же время, обладают достаточной информативностью и чувствительностью. Одним из таких методов экспресс-диагностирования поршневой части ДВС является метод диагностирования ДВС по току, потребляемому стартером при прокрутке двигателя.

Целью статьи является представление метода диагностирования ДВС по току, потребляемому стартером при прокрутке двигателя, схемы для измерения тока стартера. В статье представлены также результаты исследования влияния негерметичности камеры сгорания на осциллограмму тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя и уточненные предельные значения диагностических параметров.

2. Диагностирование двигателей по току, потребляемому стартером при прокрутке ДВС

В процессе прокрутки двигателя стартером (без запуска двигателя) регистрируется осциллограмма потребляемого стартером тока (рис. 1). Чем герметичнее надпоршневое пространство цилиндра, тем больше максимальное давление сжимаемого при прокрутке двигателя стартером воздуха (смеси), тем больше сопротивление вращению двигателя, когда данный цилиндр находится в фазе сжатия, и тем больший ток потребляет стартер для проворачивания коленчатого вала. Для цилиндров двигателя с одинаковой компрессией характерна одинаковая амплитуда пульсаций стартерного тока. При снижении компрессии в отдельных цилиндрах наблюдается соответственное уменьшение амплитуды пульсаций тока (Клюев и др., 1989; Гюнтер, 2007).

Анализ осциллограммы начинается с определения значения пусковой частоты вращения (рис. 1, поз. 2) и амплитуды колебания тока (рис. 1, поз. 4). При исправном двигателе и системе пуска, а также при окружающей температуре около 20 °С стартер раскручивает коленчатый вал двигателя примерно до 200÷350 об/мин, и ток потребления стартера составляет 80÷250 А.

Повышенная частота вращения коленчатого вала и пониженное потребление тока стартером указывают на одинаково плохую компрессию во всех цилиндрах. Показания частоты вращения менее

150÷200 об/мин указывают на возможную неисправность аккумуляторной батареи (возможно низкая степень заряда аккумулятора) или стартера, либо повышенное сопротивление вращению механической части двигателя.

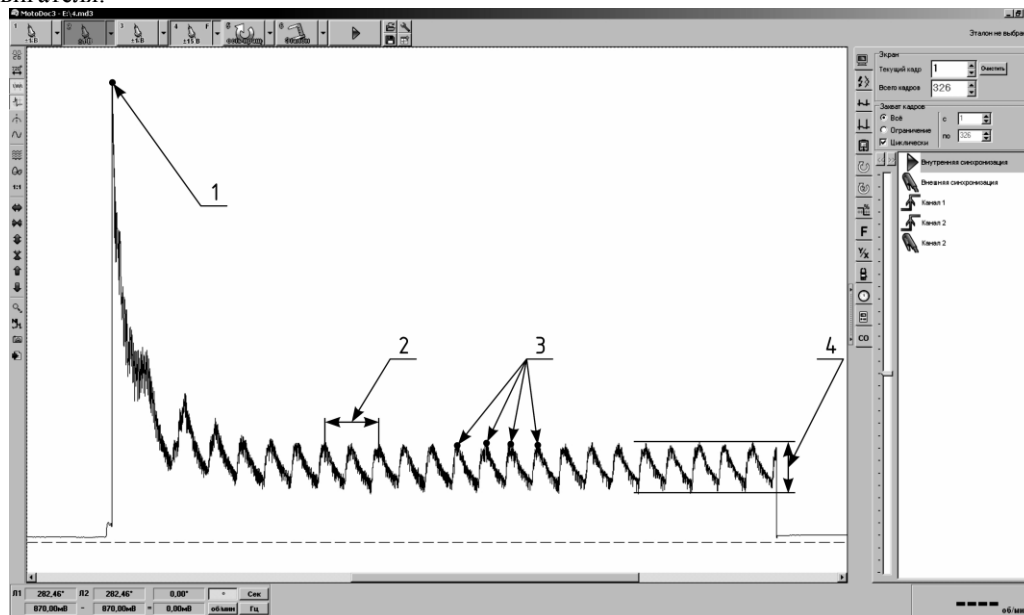


Рис. 1. Оциллограмма тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя:

1 – максимальное значение тока (соответствует началу вращения коленчатого вала ДВС); 2 – период времени, соответствующий одному обороту коленчатого вала (зная время одного оборота, можно рассчитать пусковую частоту вращения коленчатого вала); 3 – значения токов, потребляемых стартером для отдельных цилиндров в моменты достижения поршнями ВМТ на такте сжатия (чем лучше герметичность камеры сгорания, тем больше ток, потребляемый стартером; при исправном состоянии ДВС и одинаковой герметичности камер сгорания ток будет находиться на одном уровне, что видно на представленной оциллограмме); 4 – амплитуда колебания тока

Если потребляемый стартером ток меньше указанных выше величин, то причиной может быть неисправность стартера: сильный износ щеток или снижение упругости их пружин, зависание щеток в щеткодержателях, окисление или подгорание контактных болтов втягивающего реле и др. Если сила тока выше 300 А, то причиной этого может быть межвитковое замыкание в обмотках стартера или замыкание обмоток на массу.

После анализа пусковой частоты вращения и амплитуды колебания тока проводится анализ значения токов, потребляемых стартером для отдельных цилиндров в моменты достижения поршнями ВМТ на такте сжатия (рис. 1, поз. 3). Неисправным считается цилиндр, у которого значение тока, потребляемого стартером, – менее 90 % (за 100 % принимается значение тока лучшего цилиндра) (Методики..., 2002). Кроме того, при анализе оциллограммы тока необходимо обращать внимание на изменения потребляемого тока стартером для каждого цилиндра от цикла к циклу; значительные колебания тока могут свидетельствовать о нарушении правильной работы деталей газораспределительного механизма (клапанов, гидрокомпенсаторов и др.).

Схема для измерения тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя, приведена на рис. 2. Измерение тока производится с помощью преобразователя тока АРРА-32 (Quantex Laboratory, 2010). Порядок регистрации тока стартера заключается в следующем.

1) Устанавливается датчик синхронизации на высоковольтный провод первого цилиндра; подключается к 1 каналу усилителя (ZET 411) и от него – к аналого-цифровому преобразователю (ZET 210) (ZETLab, 2010).

2) Преобразователь тока устанавливается вокруг провода, идущего от плюсовой клеммы аккумуляторной батареи к стартеру. Выбранный диапазон измерения преобразователя тока: 0÷600 А; в соответствии с выбранным диапазоном коэффициент преобразования: 1 мВ / 1 А. Выход с преобразователя тока подключается ко 2 каналу усилителя (ZET 411) и от него – к аналого-цифровому преобразователю (ZET 210).

3) Производится калибровка преобразователя тока (установка нуля).

4) Принимаются меры для того, чтобы двигатель не запустился: блокируется топливоподача путем отключения форсунок или заземляются все свечи.

5) Производится прокрутка двигателя стартером в течение 3÷5 секунд. Производится запись сигналов и их последующая обработка.

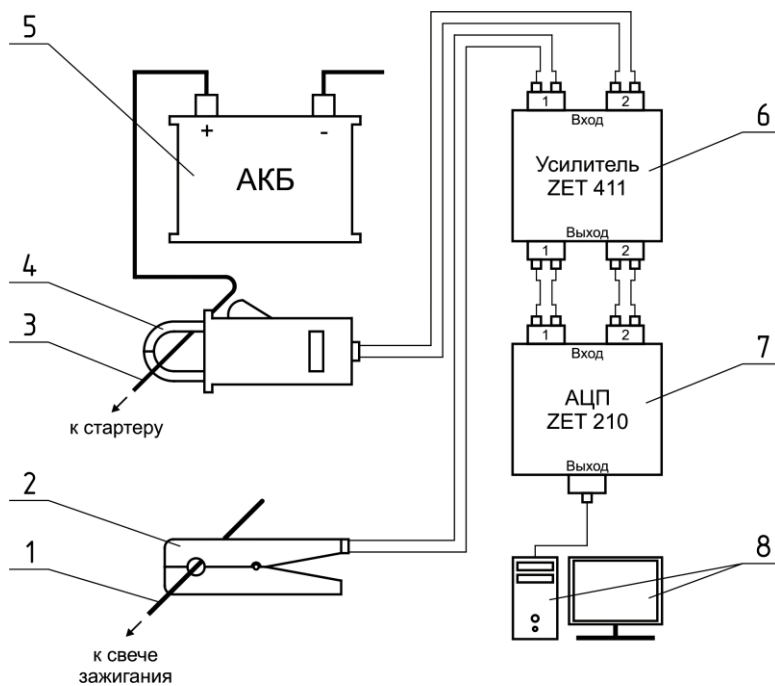


Рис. 2. Схема для измерения тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя:
 1 – высоковольтный провод первого цилиндра; 2 – датчик синхронизации; 3 – провод питания стартера;
 4 – преобразователь тока;
 5 – аккумуляторная батарея;
 6 – усилитель сигнала;
 7 – аналого-цифровой преобразователь; 8 – компьютер

Методика диагностирования ДВС по току, потребляемому стартером при прокрутке двигателя, была отработана на десятках автомобилей. В качестве примеров на рис. 3 и 4 приведены осциллограммы тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателей.

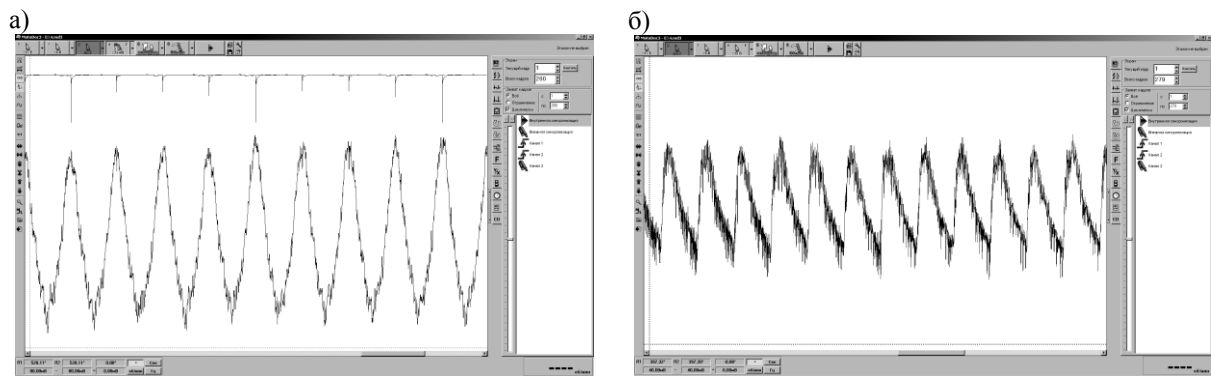


Рис. 3. Осциллограммы тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателей:

а) двигатель автомобиля ВАЗ-21093; амплитуда тока $80 \div 130A$, 215 об/мин, синхронизация по первому цилиндру (порядок работы 1-3-4-2); цилиндры находятся в примерно одинаковом техническом состоянии (компрессия по цилиндрам: 1 цилиндр – 11,4 атм; 2 – 11,8 атм; 3 – 11,4 атм; 4 – 11,9 атм); б) двигатель автомобиля Toyota Camri; амплитуда тока $90 \div 170A$, 250 об/мин; двигатель находится в исправном техническом состоянии

3. Исследование влияния негерметичности камеры сгорания на осциллограмму тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя

Основной целью метода диагностирования ДВС по току стартера является экспресс-оценка механической части двигателя, поэтому в качестве имитируемой неисправности было выбрано нарушение герметичности камеры сгорания двигателя ВАЗ-2111.

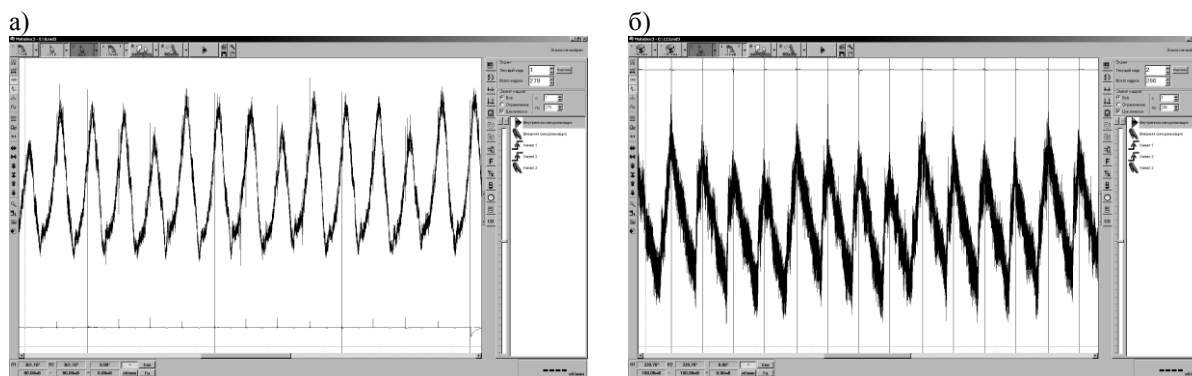


Рис. 4. Осциллограммы тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателей:

а) двигатель автомобиля ВАЗ-21053; амплитуда тока $110 \div 180$ А, 215 об/мин, синхронизация по первому цилиндру (порядок работы 1-3-4-2); состояние четвертого цилиндра хуже остальных (компрессия по цилиндрам: 1 цилиндр – 11,8 атм; 2 – 11,9 атм; 3 – 12,3 атм; 4 – 10,6 атм); данные, подтверждающие худшее техническое состояние четвертого цилиндра, получены при использовании других методов диагностирования; ток стартера показывает примерно одинаковое состояние 1, 2 и 3 цилиндров, четвертый цилиндр находится в относительно худшем техническом состоянии (94 % по сравнению с лучшим цилиндром); б) двигатель автомобиля ВАЗ-1118; амплитуда тока $110 \div 170$ А, 225 об/мин, синхронизация по первому цилиндру (первый цилиндр лучший) (порядок работы 1-3-4-2); состояние второго цилиндра хуже остальных (компрессия по цилиндрам: 1 цилиндр – 14,2 атм; 2 – 11,6 атм; 3 – 13,7 атм; 4 – 13,7 атм); данные, подтверждающие худшее техническое состояние второго цилиндра, получены при использовании других методов диагностирования; при проверке с использованием пневмотестера было установлено, что неисправность связана с выпускным клапаном (прогар или неплотное прилегание); ток стартера, как видно по осциллограмме, показывает примерно одинаковое состояние 3 и 4 цилиндров, первый показывает наибольшее значение, второй цилиндр находится в относительно худшем техническом состоянии (94 % по сравнению с лучшим цилиндром)

Для реализации данного исследования было изготовлено устройство, позволяющее имитировать негерметичность камеры сгорания различной величины. Схема для имитации негерметичности камеры сгорания представлена на рис. 5. 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.

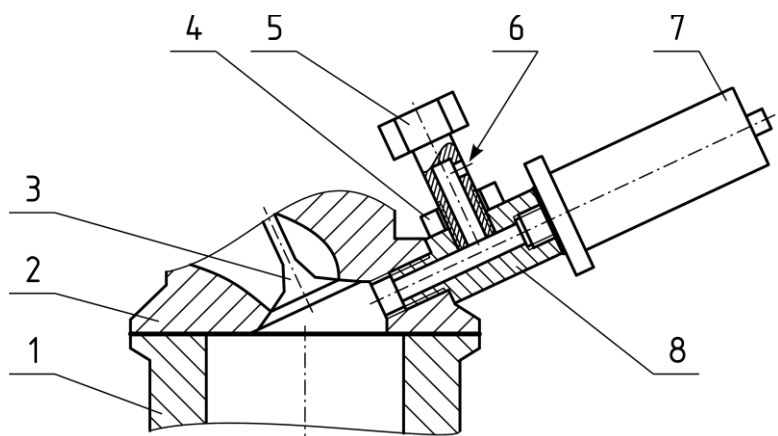


Рис. 5. Схема для имитации негерметичности камеры сгорания: 1 – блок цилиндров; 2 – головка блока цилиндров; 3 – клапан; 4 – гайка; 5 – болт; 6 – калибровочное отверстие; 7 – датчик давления; 8 – переходник

Проводилась регистрация тока, потребляемого стартером при прокручивании двигателя с различной величиной негерметичности камеры сгорания (с отверстиями различного диаметра, рис. 5, поз. 6). Полученные результаты представлены на рис. 6-8.

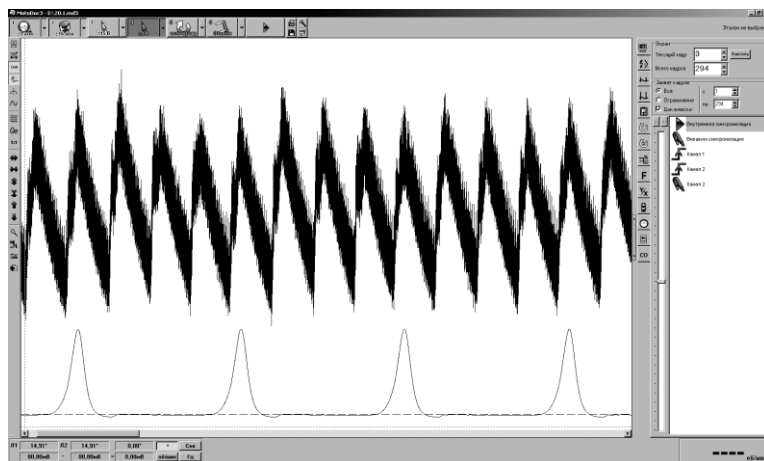


Рис. 6. Осциллограмма тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя: исправное состояние двигателя; амплитуда колебания тока $110 \div 170$ А; синхронизация по первому цилиндру

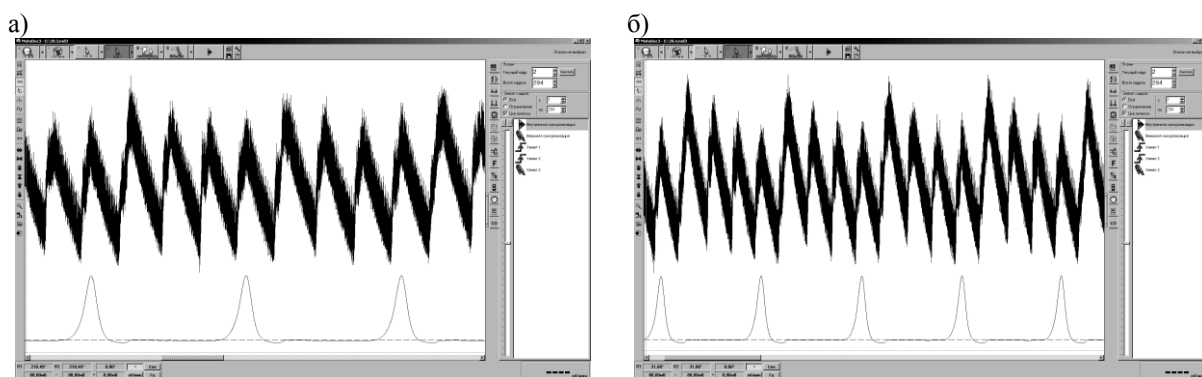


Рис. 7. Осциллограммы тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя: имитация нарушения герметичности камеры сгорания первого цилиндра; синхронизация по первому цилиндру; а) площадь проходного сечения $0,39 \text{ мм}^2$; б) площадь проходного сечения $0,79 \text{ мм}^2$

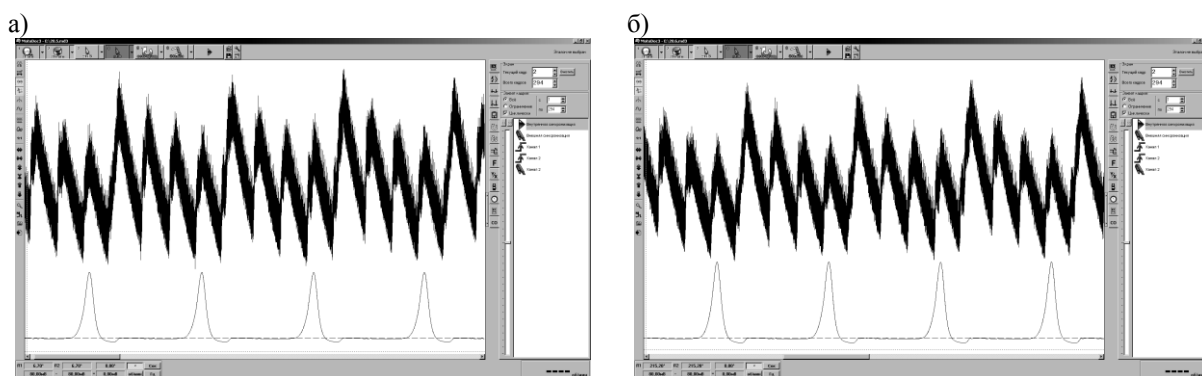


Рис. 8. Осциллограммы тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя: имитация нарушения герметичности камеры сгорания первого цилиндра; синхронизация по первому цилиндру; а) площадь проходного сечения $0,98 \text{ мм}^2$; б) площадь проходного сечения $1,27 \text{ мм}^2$

Результаты обработки полученных осциллограмм показывают следующее:

- амплитуда колебаний тока остается постоянной на всех режимах и составляет $110 \div 170$ А (не изменяется при нарушении герметичности камеры сгорания первого цилиндра);
- частота вращения остается постоянной на всех режимах и находится на уровне $255 \div 260$ об/мин;
- данные обработки осциллограмм тока представлены в таблице; на рис. 9 показана зависимость изменения тока стартера (выраженная в процентах от наилучшего цилиндра) от величины

негерметичности камеры сгорания (от площади проходного сечения). При полностью исправном техническом состоянии двигателя ток, потребляемый стартером в момент достижения поршнем первого цилиндра ВМТ, на такте сжатия составляет 168,5 А и отличается от тока, соответствующего третьему цилиндру (173,0 А) на 2,6 (третий цилиндр является лучшим). При имитации негерметичности камеры сгорания первого цилиндра с увеличением площади проходного сечения ток, потребляемый стартером в момент достижения поршнем первого цилиндра ВМТ на такте сжатия, уменьшается, и, как следствие, процент расхождения (относительно лучшего цилиндра) увеличивается;

– в третьем столбце таблицы представлены значения компрессии в цилиндре при различной негерметичности камеры сгорания; на рис. 10 представлена зависимость изменения компрессии от величины негерметичности камеры сгорания.

Таблица

Площадь проходного сечения отверстия (рис. 5, поз. 6), мм ²	Ток стартера при увеличении негерметичности камеры сгорания в первом цилиндре, в % от наилучшего цилиндра	Максимальное значение давления в камере сгорания (величина компрессии), атм
0,00 (полностью исправное состояние цилиндра)	97,4	13,29
0,39	95,6	12,32
0,79	91,9	11,32
0,98	90,9	10,79
1,27	89,8	10,36

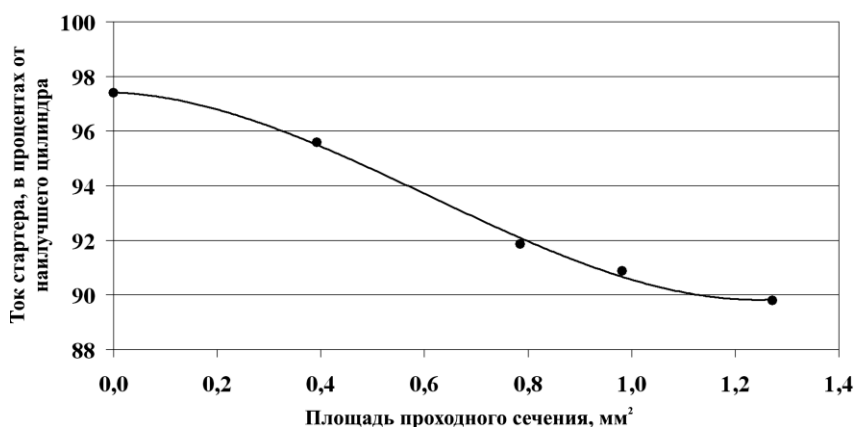


Рис. 9. Изменение тока стартера (в % от наилучшего цилиндра) при увеличении негерметичности камеры сгорания в первом цилиндре

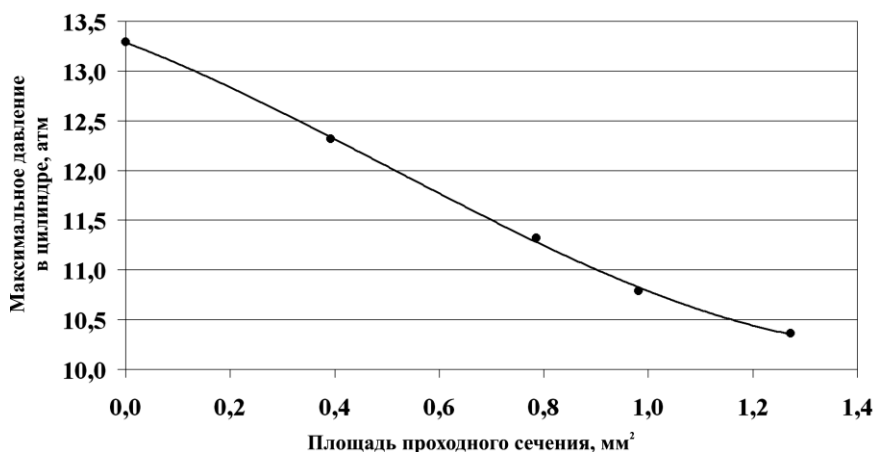


Рис. 10. Изменение компрессии при увеличении негерметичности камеры сгорания

Известно, что неисправным является цилиндр, у которого значение тока, потребляемого стартером, выраженное в процентах, – менее 90 % (за 100 % принимается лучший цилиндр). Негерметичность камеры сгорания первого цилиндра проходным сечением 1,27 мм² привела к разнице в токах стартера на 7,6 % по сравнению с полностью исправным цилиндром. Компрессия в первом

цилиндре от полностью исправного состояния до негерметичности проходным сечением $1,27 \text{ мм}^2$ уменьшилась на 2,9 атм (с 13,3 атм до 10,4 атм). При таком состоянии одного из цилиндров двигатель имеет нестабильную работу, пропуски воспламенения (или вообще нерабочий цилиндр), потерю мощности, повышенный расход топлива, экологичность двигателя не соответствует требованиям законодательства.

Однако также 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 ток, потребляемый стартером, на 2 % отличается от исправного цилиндра. Разница в 2 атм достигается при негерметичности проходным сечением $0,79 \text{ мм}^2$, и ток, потребляемый стартером, на 5,5 % отличается от тока, соответствующего исправному цилиндру.

Таким образом, авторами рекомендуется считать неисправным тот цилиндр, у которого значение тока, потребляемого стартером, выраженное в процентах, – менее 95 % (за 100 % принимается лучший цилиндр). При разнице в значениях токов, потребляемых стартером, между цилиндрами в $3 \div 5$ % рекомендуется проводить углубленную диагностику.

4. Заключение

Результаты диагностирования различных двигателей в различном техническом состоянии по току стартера, потребляемого при прокрутке ДВС, позволяют сделать заключение о том, что данный метод диагностирования, несмотря на простоту реализации, является достаточно информативным и чувствительным. Метод позволяет быстро оценить техническое состояние всех цилиндров двигателя, что особенно удобно при диагностировании многоцилиндровых двигателей, а также при проверке дизелей.

Метод диагностирования ДВС используется при проведении диагностирования транспортных средств в рамках "Регионального научно-производственного центра сертификации транспортных средств и безопасности движения" (г. Мурманск, ФГБОУ ВПО "МГТУ"). На основании материала, собранного в процессе научного исследования, были разработаны методические указания для лабораторных работ по дисциплине "Технический контроль и диагностика АМТС" для студентов различных курсов и форм подготовок по специальности 190601.65 "Автомобили и автомобильное хозяйство".

Литература

Quantex Laboratory. Мотор-тестер MotoDoc III. URL: <http://www.quantexlab.ru>. 2010.

ZETLab. Испытательное измерительное оборудование. URL: <http://www.zetms.ru>. 2010.

Гюнтер Г. Диагностика дизельных двигателей. М., ООО "Книжное издательство «За рулём»", 176 с., 2007.

Клюев В.В., Пархоменко П.П., Абрамчук В.Е. Технические средства диагностирования. Справочник. М., Машиностроение, 672 с., 1989.

Методики диагностики. Относительная компрессия. URL: <http://www.ardio.ru/relkompr.php>. 2002.