

2. Ryan, T. P. Statistical Methods for Quality Improvement [Text] / T. P. Ryan. — Ed. 3. — New York: Wiley, 2011. — 704 p. doi:10.1002/9781118058114
3. Тихонов, В. И. Случайные процессы. Примеры и задачи [Текст]. Т. 2. Линейные и нелинейные преобразования: учеб. пос.; в 4-х т. / В. И. Тихонов, Б. И. Шахтарин, В. В. Сизых. — М.: Радио и связь, 2004. — 400 с.
4. Гихман, И. И. Теория случайных процессов [Текст] / И. И. Гихман, А. В. Скороход. — М.: Книга по требованию, 2012. — 664 с.
5. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст]: учеб. пос. / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. — М.: Высшая школа, 2007. — 490 с.
6. Щапов, П. Ф. Планирование профилактического контроля маслonaполненного энергетического оборудования для выявления процессов старения с заданной достоверностью принятия решений [Текст] / П. Ф. Щапов // Электротехника и электромеханика. — 2005. — № 3. — С. 65–68.
7. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники [Текст]: в 3-х кн. / Б. Р. Левин. — М.: Советское радио, 1976. — Кн. 3. — 288 с.
8. Круглов, В. М. Случайные процессы [Текст]: учебник / В. М. Круглов. — М.: ИЦ Академия, 2013. — 336 с.
9. Шахтарин, Б. И. Случайные процессы в радиотехнике [Текст]. Т. 1. Линейные преобразования / Б. И. Шахтарин. — М.: Горячая линия-Телеком, 2010. — 520 с.
10. Чашкин, Ю. Р. Математическая статистика. Анализ и обработка данных [Текст]: учеб. пос. / Ю. Р. Чашкин; под ред. С. Н. Смоленского. — М.: Феникс, 2010. — 236 с.
11. Артюх, С. Ф. Оценка параметров случайных процессов загрязнения окружающей среды энергетическими предприятиями [Текст] / С. Ф. Артюх, Н. А. Любимова // Вестник НТУ «ХПИ». — 2014. — № 24(1067). — С. 11–16.

ПЛАНУВАННЯ КОНТРОЛЮ ПОРУШЕНЬ СТАЦІОНАРНОСТІ ПОТОКУ ВИКИДІВ ВІДХОДІВ ПРИ ФІКСОВАНОМУ ЧАСІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

В даному дослідженні розглядається можливість планування контролю порушень стаціонарності потоку викидів димових газів ТЕС у реальних умовах при фіксованому часі дослідження. Запропонована можливість корекції недосконалості інформаційних технологій за рахунок використання контрольно-попереджувальних інтервалів. Це дозволить підвищити якість контролю, його вірогідність, зменшити помилки та економічні витрати.

Ключові слова: контроль, викиди, забруднення, час, контрольно-попереджувальний інтервал, статистична значущість, вірогідність.

Любимова Ніна Александровна, доктор технічних наук, професор, кафедра механізації та електрифікації сільськогосподарського виробництва, Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, Україна, e-mail: n.liubimova@mail.ru.

Любимова Ніна Олександрівна, доктор технічних наук, професор, кафедра механізації та електрифікації сільськогосподарського виробництва, Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, Україна.

Lyubymova Nina, Kharkiv National Agriculture University named after V. V. Dokuchaev, Ukraine, e-mail: n.liubimova@mail.ru

УДК 006.91

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.59871

**Тыманюк К. С.,
Костенко В. Л.**

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИТЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ

В статье рассмотрены результаты исследований по созданию автоматизированной системы, реализующей итеративный метод контроля технического состояния двигателя транспортного средства, которая позволяет выбрать необходимое сочетание операций контроля для сокращения времени процедуры диагностики. Предложен алгоритм диагностики для автоматизированной системы контроля технического состояния двигателя транспортного средства. Результаты исследований апробированы в условиях коммерческого сервиса легковых автомобилей.

Ключевые слова: итеративный метод, алгоритм, параметр, техническое состояние.

1. Введение

Неразрушающий контроль и диагностика является одним из наиболее востребованных инструментов для проведения оценки состояния агрегатов автомобиля во время сервисного обслуживания. Современный автомобильный двигатель состоит из ряда систем, нарушение функционирования которых ведет к взаимному изменению информации о состоянии каждой системы в отдельности, что вызывает сложность при выборе необходимых методов контроля технического состояния и необходимость применения новых алгоритмов и методик контроля и диагностики [1].

При этом, несмотря на широкое применение многофункциональных диагностических комплексов для диагностики систем автомобильного двигателя в условиях технического сервиса, они не лишены недостатков связанных с длительным временем оценки технического состояния. Однако многие диагностические процедуры дублируют данные о параметрах работы систем двигателя внутреннего сгорания (ДВС), это может служить основой для сокращения диагностических операций путем совмещения взаимодополняющих методов.

Таким образом актуальным является анализ диагностических методов и выбор необходимых параметров для оценки технического состояния автомобильного

транспортного средства. С целью сокращения времени контроля и диагностики технического состояния целесообразно использование итеративного метода контроля.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Текущее развитие средств и методов диагностики технического состояния связывают прежде всего с необходимостью повышения точности результатов диагностирования. Существующие в настоящее время диагностические комплексы для оценки технического состояния ДВС автомобиля, базируются как правило на последовательном выполнении разработанных диагностических операций [2].

Вместе с тем анализ литературных данных и норм времени на выполнение операции [3], а также результаты ранее проведенных теоретических и экспериментальных исследований методик экспресс-диагностики ДВС [4] позволили сделать вывод, что не все проведенные операции контроля имеют достаточную информативную ценность, при этом наиболее информативными являются около 20–30%. Существующая необходимость в настоящее время оптимизации диагностики для повышения эффективности операций контроля может быть разрешена при помощи итеративного подхода с непрерывным анализом получаемых результатов и коррекцией предыдущих результатов диагностических тестов контроля технического состояния ДВС.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объектом исследований является метод итеративного контроля ДВС.

Целью данных исследований является создание автоматизированной системы контроля [5] и алгоритма, для получения возможности сокращения необходимого

фонда рабочего времени на проведение операций диагностики и контроля технического состояния ДВС, при помощи использования итеративного подхода к построению диагностических операций.

Для достижения поставленных целей необходимо:

1. Построить гибкую автоматизированную систему итеративного контроля (АСИК), содержащую необходимые средства и методы для измерений ключевых параметров функционирования ДВС, обладающую такими качествами:

– распознавание текущего состояния ДВС и его элементов, таких как цилиндропоршневая группа (ЦПГ) и газораспределительный механизм (ГРМ);

– обеспечение достаточной информации для формирования необходимых операций технического сервиса ДВС;

– возможность прогнозирования остаточного ресурса работы двигателя.

2. Сформировать алгоритм работы АСИК.

3. Провести испытания АСИК для целей диагностики двигателя автомобиля.

Целью работы является также обеспечение современных средств инструментального контроля технического состояния агрегатов.

4. Методы контроля технического состояния двигателя

Рассмотрим методы диагностики ДВС [6] независимые от бортовой диагностики OBD (On-Board Diagnostic), которая на данный момент не предусматривает контроля технического состояния механической части двигателя.

В табл. 1 приведена часть методов диагностики технического состояния, которые могут быть реализованы в автоматизированной системе контроля технического состояния ДВС, а также их сравнение.

Таблица 1

Методы диагностики технического состояния ДВС

№ п/п	Название метода	Реализуемый принцип	Достоинства метода	Недостатки метода
1	Метод диагностики ДВС по параметрам вибрации [7]	Производятся измерения при помощи комплекта датчиков вибрации, оценивается допустимый уровень вибрации, а также проводится анализ спектра сигналов	Обладает большим потенциалом, так как позволит в перспективе определять с высокой точностью неисправность в случаях, где иные методы малоэффективны	Высокие требования к квалификации оператора и необходимость тщательного закрепления датчиков вибрации
2	Метод оптического контроля [8]	Эндоскопия двигателя проводится для оценки величины износа и определения поломок в ЦПГ	Не требует высокой квалификации оператора, несложен в освоении	Недостатком метода является субъективность, так как оценку технического состояния выполняет непосредственно оператор
3	Метод утечек [9]	Производятся измерения при помощи пневмотестера, оценивается герметичность надпоршневого пространства, она определяется по падению давления сжатого воздуха, подаваемого в цилиндр через свечное отверстие (на бензиновом двигателе) или отверстие для форсунки (на дизельном двигателе)	Не требует высокой квалификации оператора, несложен в освоении, является одним из самых распространенных методов	Недостатком метода является невысокая информативность теста для выявления не только проблемных цилиндров, но и первопричины недостаточного давления
4	Метод диагностики ДВС основанный на изменении угловой скорости коленчатого вала [10]	Позволяет найти цилиндр с пониженной компрессией, без частичного разбора двигателя	Высокая оперативность получения диагностических данных, может быть интегрирован в бортовую систему диагностики, без существенного изменения конструкции	Требует большой компетентности и опыта в анализе получаемой информации с целью определения неисправностей двигателя
5	Метод оценки относительной компрессии по току стартера [11]	Этот метод позволяет провести оценку технического состояния двигателя не прибегая к частичной разборке двигателя и определить дефектный цилиндр основываясь на разнице относительной компрессии	Высокая оперативность, не требует частичной разборки	Недостатком метода является невозможность количественно оценить степень износа ЦПГ

Опыт проведения диагностики двигателя с учетом экспертной оценки показывает, что из рассмотренных методов основную информационную составляющую (около 80 % важной информации) несут методы: оптического контроля и относительной компрессии. Кроме методов контроля по параметрам вибрации и оптического остальные обладают общим недостатком — несоответствие состояния ГРМ одному ведет к снижению информативности метода контроля по отношению к состоянию ЦПГ, таким образом достоверность данных методов зависима и от состояния ГРМ, так как они базируются на параметре герметичности цилиндров. Для исправления данного недостатка может служить сочетание методов, базирующихся на герметичности цилиндров с параметром оптического контроля надпоршневого пространства ДВС, при котором возможно визуально оценить состояние элементов ГРМ.

5. Описание итеративного метода контроля

Так как отдельно каждый из методов не всегда удовлетворяет описанным выше требованиям было решено использовать их оптимальную комбинацию, выбор которой осуществляет АСИК. В результате анализа существующих методов для экспериментальных исследований диагностических параметров, в рамках данной работы, АСИК для двигателя BMW 523 выбрала сочетание методов: метод измерения относительной компрессии по току стартера и метод оптического контроля.

На рис. 1 приведена структурная схема АСИК которая содержит такие измерительные каналы как: напряжение бортовой сети и слаботочные сигналы датчиков 12–24 В; температура 0–160 °С; токовый датчик типа «клещи» для получения сигнала стартерного тока; датчики низкочастотной, высокочастотной и ультразвуковой вибрации для поиска и локализации дефектов

механизмов ДВС; датчики давления для измерения разрежения во впускном коллекторе, а также давления впрыска и индикаторного давления в цилиндрах; комплект бесконтактных датчиков системы зажигания и емкостной датчик работы первого цилиндра; видеозонд для эндоскопирования цилиндров. Работа измерительных каналов и анализ получаемых данных обеспечены возможностями специализированного ПО.

На рис. 2 приведен, задействованный в АСИК, укрупненный алгоритм диагностики двигателя, в описанном в данной работе случае, включающий в себя экспресс-контроль ЦПГ и ГРМ двигателя, состоящий из оценки относительной компрессии (первая ступень) и технического эндоскопирования (вторая ступень). Первая ступень представляет собой тест относительной компрессии и при наличии отклонений на диаграмме относительной компрессии более чем на 10–15 % между минимальным и максимальным значением компрессии в разных цилиндрах или выходе за зону допустимых значений для данного типа двигателя или недостаточности информации для определения технического состояния — выполняется вторая ступень диагностики. Проводится техническое эндоскопирование камеры сгорания и надпоршневого пространства с целью выявления дефектов и неисправностей. Первая ступень алгоритма реализуется следующим образом: в процессе прокрутки двигателя стартером (без запуска двигателя) регистрируется осциллограмма потребляемого стартером тока. 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.

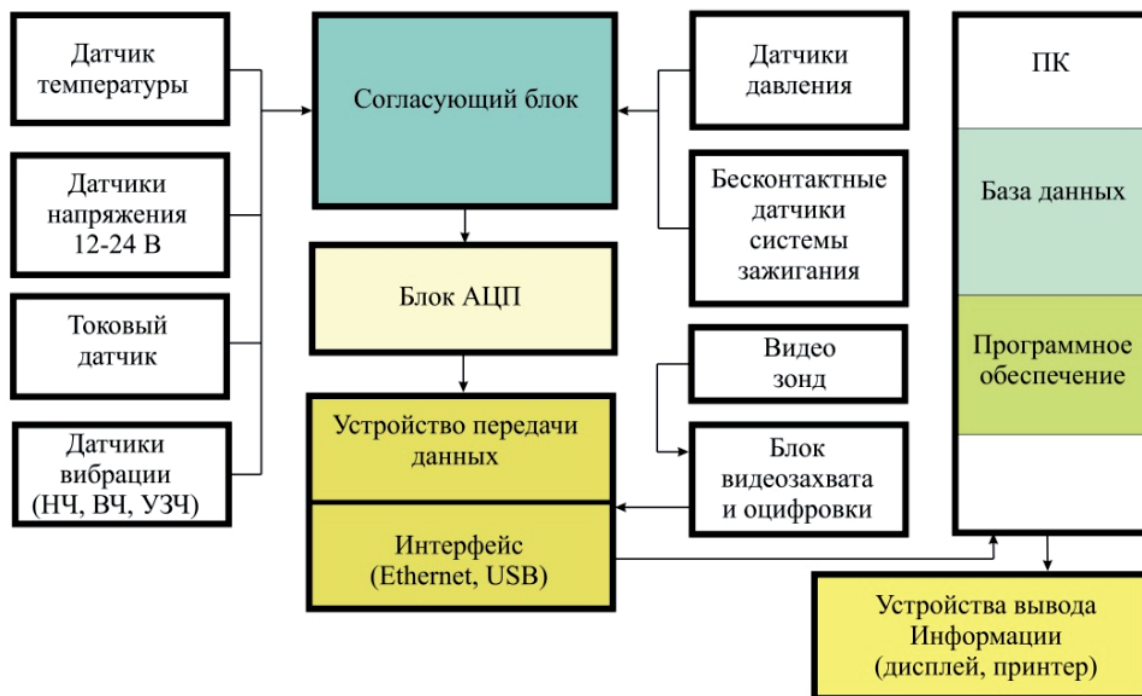


Рис. 1. Структурная схема АСИК

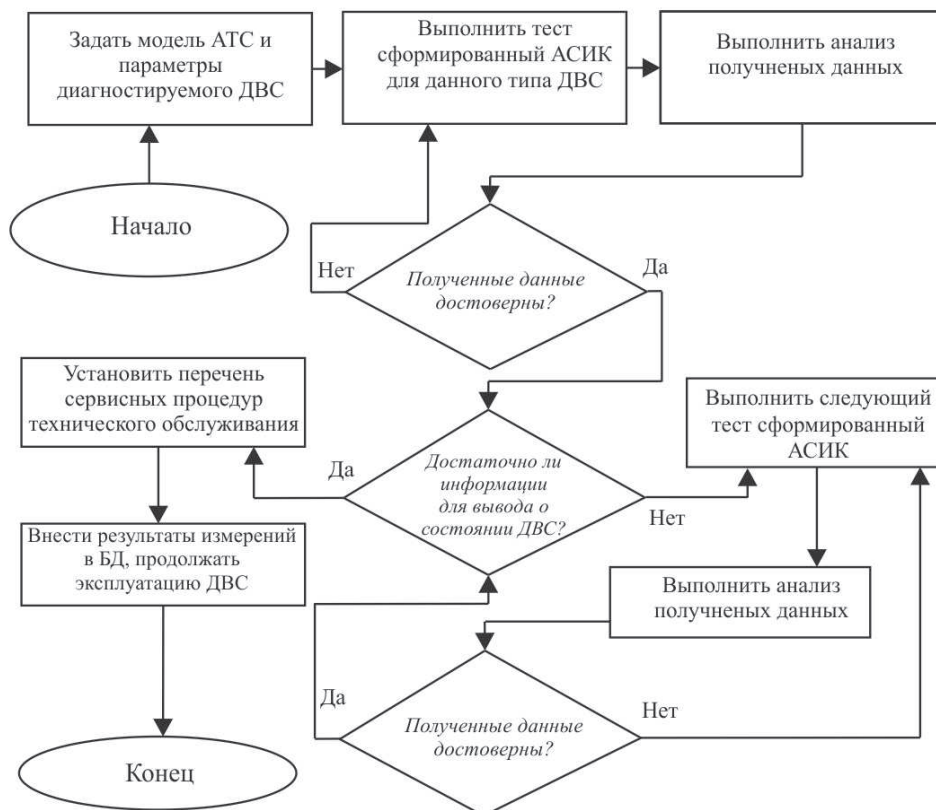


Рис. 2. Алгоритм диагностики двигателя, реализуемый АСИК

При снижении компрессии в отдельных цилиндрах наблюдается уменьшение амплитуды пульсаций тока. Повышенная частота вращения коленчатого вала при пониженном потреблении тока стартером указывают на плохую компрессию во всех цилиндрах. Показания частоты вращения менее 150–200 об/мин указывают на возможную низкую степень заряда аккумулятора или неисправность стартера, либо повышенное сопротивление вращению механической части двигателя.

Вторая ступень представляет собой визуальный контроль при помощи видеозонда дефектных цилиндров выявленных при выполнении первой ступени алгоритма. Во время данной операции определяется исправность

механизма ГРМ, а также состояние зеркала цилиндра. Исходя из анализа данных визуального контроля состояния элементов оператором-диагностом делается вывод о возможной причине дефекта в диагностируемом цилиндре и техническом состоянии двигателя.

6. Результаты экспериментальной диагностики ДВС с помощью системы АСИК

В табл. 2 приведены результаты контроля технического состояния двигателя при помощи системы АСИК.

Результаты контроля ДВС с помощью системы АСИК

Таблица 2

№ п/п	Марка автомобиля	Пробег	Тест по первому методу			Тест по второму методу		Углубленная диагностика	Необходимые процедуры сервиса или ремонта	Заключение	Сокращение времени принятия решения при диагностике, %
			Тест относительной компрессии	Значение	Соответствие норме	Эндоскопирование камеры сгорания и надпоршневого пространства	Соответствие норме				
1	BMW 523	50 тыс. км	Частота вращения, мин ⁻¹	214	да	Зеркало цилиндра	да	Не требуется	Не требуются	Возможна дальнейшая эксплуатация	21 %
			Температура масла, °С	87	да	Состояние клапанов	да				
			Напряжение акк. батареи	12,4	да	Состояние масляных колпачков	да				
			Ток стартера, А	-145	да	Нагар на поверхности камеры сгорания	да				
			Сжатие для каждого цилиндра, А	a-60; b-56; c-51; d-58; e-52; f-52	да						

Окончание табл. 2

№ п/п	Марка автомобиля	Пробег	Тест по первому методу			Тест по второму методу		Углубленная диагностика	Необходимые процедуры сервиса или ремонта	Заключение	Сокращение времени принятия решения при диагностике, %
			Частота вращения, мин ⁻¹	Температура масла, °С	Напряжение акк. батареи	Ток стартера, А	Сжатие для каждого цилиндра, А				
2	Nissan Maxima	450 тыс. км	Частота вращения, мин ⁻¹	207	да	Зеркало цилиндра	да	Требуется	Предварительно: замена маслосъемных колпачков	Уточнить необходимые ремонтные процедуры углубленной диагностикой	24 %
			Температура масла, °С	80	да	Состояние клапанов	да				
			Напряжение акк. батареи	12,1	да	Состояние маслосъемных колпачков	Нет				
			Ток стартера, А	-94	нет	Нагар на поверхности камеры сгорания	нет				
			Сжатие для каждого цилиндра, А	a-49; b-61; c-61; d-63; e-55; f-63	нет	—	—				
3	BMW X6	200 тыс. км	Частота вращения, мин ⁻¹	153	да	Зеркало цилиндра	да	Не требуется	Не требуется	Возможна дальнейшая эксплуатация	18 %
			Температура масла, °С	57	да	Состояние клапанов	да				
			Напряжение акк. батареи	12,1	да	Состояние маслосъемных колпачков	да				
			Ток стартера, А	-100	да	Нагар на поверхности камеры сгорания	да				
			Сжатие для каждого цилиндра, А	a-54; b-50; c-61; d-55; e-57; f-54	да	—	—				

На рис. 3, а, б изображены фото проведения технического эндоскопирования камеры сгорания для двигателя автомобиля BMW 523. На рис. 3: а — зеркало цилиндра в нормальном состоянии; б — фаска впускного клапана в нормальном состоянии, на поверхности клапана видны следы масла — изношены маслосъемные колпачки. С увеличением пробега автомобильного средства и появлением износа ЦПГ и ГРМ полученное сокращение времени диагностирования несколько снижается, это обусловлено дополнительными затратами времени на поиск и идентификацию дефектов.

Для проверки достоверности результатов исследований авторами статьи использовались диагностический комплекс BOSCH FSA 740, возможности которого позволяют проводить тест по всем необходимым параметрам (рис. 4, а) и технический эндоскоп OTC 3880 (рис. 4, б).

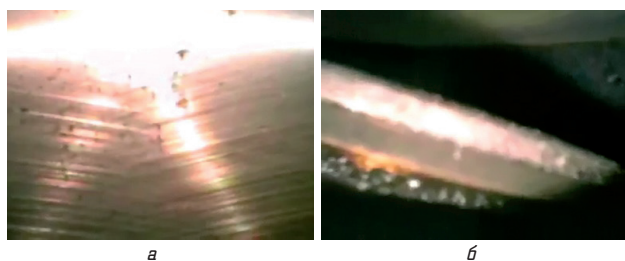


Рис. 3. Результаты теста: а — состояние стенки цилиндра; б — состояние клапана ГРМ

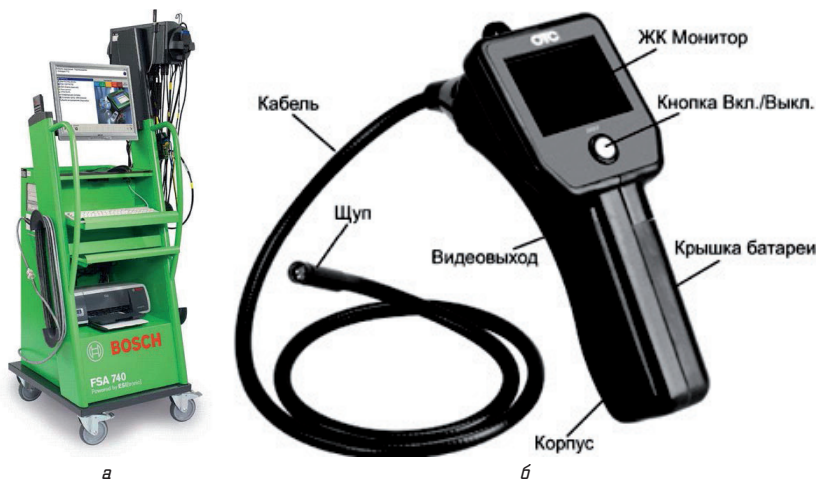


Рис. 4. Оборудование для проверки данных эксперимента: а — мотор-тестер FSA 740; б — видеоэндоскоп OTC 3880 (общий вид)

7. Обсуждение результатов диагностики ДВС при помощи АСИК

Испытания работы системы АСИК были проведены параллельно с использованием стандартных средств диагностики ДВС в рамках постгарантийного обслуживания автомобильных транспортных средств. Разработанный алгоритм на данный момент позволил сократить время процедуры диагностики технического состояния ЦПГ и ГРМ при сохранении приемлемого уровня ошибок при постановке решения о техническом состоянии ДВС, однако система требует дальнейшего совершенствования алгоритмов работы ПО, внедрение дополнительных методов диагностики и накопления экспертной информации.

Подобные системы диагностики будут полезны в рамках накопления исследовательских данных о изменении ресурса ДВС в течении жизненного цикла за счет применения БД для каждого конкретного типа двигателя.

Данная работа является продолжением исследований по созданию методик экспресс-диагностики ДВС автомобиля, а также поиску решений, для их аппаратного и программного обеспечения.

8. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Разработана автоматизированная система итеративного контроля, предложена структура системы, удовлетворяющая требованиям информативности, способная распознавать текущее техническое состояние систем ДВС с возможностью прогнозирования остаточного ресурса основываясь на полученной диагностической информации, а также накопленной ранее в БД. Предложен итеративный метод контроля технического состояния двигателя транспортного средства. Испытания в условиях коммерческого сервиса показали, что метод наиболее актуален при диагностике транспортных средств средней степени амортизации. Предложенный метод позволяет существенно сократить время проведения диагностики и обладает достаточной информативностью для возможности принятия решения оператором диагностом о необходимости дальнейших операций технического обслуживания или ремонта.

Результаты сравнительной диагностики с помощью мотор-тестера FSA-740 и видеоэндоскопа ОТС 3880 подтвердили высокую информационную емкость параметров рекомендованных системой, а именно: относительной компрессии по току стартера и оптического контроля. Таким образом реализуется возможность сокращения времени и расходов при оценке технического состояния.

Испытания показали, что метод также дает возможность предупреждать неисправное состояние работы ЦПГ и ГРМ, позволяет определить дефект цилиндра, а также быть основой для дальнейшего совершенствования нормативной базы при контроле двигателя транспортного средства. Ускорение проведения диагностирования по предложенному авторами статьи алгоритму составило 35–40 % за счет ограничения номенклатуры диагностических параметров наиболее информативными, с учетом задач, которые решает первичная диагностика.

2. Выполнение итеративной диагностики состояния ЦПГ с применением предложенного алгоритма позволяет учитывать изменение ресурсного состояния ДВС во время эксплуатации за счет применения базы данных, а также своевременно выявлять дефекты механизмов ЦПГ и ГРМ, таким образом избегать граничного состояния работы ДВС.

3. Испытания АСИК показали необходимость дальнейшего совершенствования алгоритмов работы с целью внедрение дополнительных методов диагностики и накопления экспертной информации.

Литература

1. Варнаков, Д. В. Методика выбора диагностических параметров при определении параметрической надежности двигателей автотранспортных средств [Текст]: мат. междунар. науч.-практ. конф. / Д. В. Варнаков // Сборник научных трудов SWorld «Современные направления теоретических и прикладных исследований '2013». — Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. — Вып. 1, Т. 9. — С. 17–24.

- Wu, J. An expert system for fault diagnosis in internal combustion engines using probability neural network [Text] / J. Wu, P. Chiang, Y. Chang, Y. Shiao // Expert Systems with Applications. — 2008. — Vol. 34, № 4. — P. 2704–2713. doi:10.1016/j.eswa.2007.05.010
- Komorska, I. The diagnostic model proposition of the engine vibration signal [Text] / I. Komorska // Journal of KONES. Powertrain and Transport. — 2008. — Vol. 15, № 2. — P. 191–197.
- Тыманюк, К. С. Исследование датчиков для экспресс-диагностики вибрации [Текст] / К. С. Тыманюк, В. Л. Костенко // Труды 14-й международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии СИЭТ-2013». — Одесса: ОНПУ, 2014. — С. 80–81.
- Костенко, В. Л. Информационно-измерительная система контроля нормированных параметров производственных факторов [Текст] / В. Л. Костенко, Е. Д. Поперека, А. А. Николенко, М. В. Ядрова, К. С. Тыманюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2014. — № 3/9(69). — С. 51–56. doi:10.15587/1729-4061.2014.25419
- Тыманюк, К. С. Методика экспресс-диагностики транспортного средства по параметрам вибрации, напряжения бортовой сети и системы зажигания [Текст] / К. С. Тыманюк, В. Л. Костенко, Е. Д. Поперека // Вестник НТУ «ХПИ». — 2015. — № 52(1161). — С. 44–51.
- Songpon, K. Condition monitoring of valve clearance fault on a small four strokes petrol engine using vibration signals [Text] / K. Songpon, P. Nivesrangsan // Songklanakarin Journal of Science and Technology. — 2010. — Vol. 32, № 6. — P. 619–625.
- Калиниченко, Н. П. Лабораторный практикум по визуально-оптическому контролю [Текст]: учеб. пос. / Н. П. Калиниченко. — Томск: Томский политехнический университет, 2012. — 114 с.
- Виснап, К. Н. Методики диагностики. Оценка герметичности камеры сгорания при помощи пневмотестера [Электронный ресурс] / К. Н. Виснап // Автомобильное ремонтное и диагностическое оборудование. — 25.05.2009. — Режим доступа: \www/URL: <http://www.ardio.ru/pnevmet.php>
- Geveci, M. An investigation of crankshaft oscillations for cylinder health diagnostics [Text] / M. Geveci, A. W. Osburn, M. A. Franchek // Mechanical Systems and Signal Processing. — 2005. — Vol. 19, № 5. — P. 1107–1134. doi:10.1016/j.ymsp.2004.06.009
- Бабошин, А. А. Оценка технического состояния двигателей внутреннего сгорания по току, потребляемому стартером при пуске двигателя [Текст] / А. А. Бабошин, А. С. Косарев, В. С. Малышев // Вестник Мурманского государственного технического университета. — 2013. — Т. 16, № 1. — С. 33–39.

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ІТЕРАТИВНОГО КОРТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИСТЕМ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ

У статті розглянуто результати досліджень по створенню автоматизованої системи, що реалізує ітеративний метод контролю технічного стану двигуна транспортного засобу, яка дозволяє вибрати необхідне поєднання операцій контролю для скорочення часу процедури діагностики. Запропоновано алгоритм діагностики для автоматизованої системи контролю технічного стану двигуна транспортного засобу. Результати досліджень апробовані в умовах комерційного сервісу легкових автомобілів.

Ключові слова: ітеративний метод, алгоритм, параметр, технічний стан.

Тыманюк Константин Сергеевич, аспирант, кафедра металлорежущих станков, метрологии и сертификации, Одесский национальный политехнический университет, Украина, e-mail: kstymaniuk@gmail.com.

Костенко Виталий Леонидович, доктор технических наук, профессор, кафедра металлорежущих станков, метрологии и сертификации, Одесский национальный политехнический университет, Украина.

Тыманюк Костянтин Сергійович, аспірант, кафедра металорізальних верстатів, метрології та сертифікації, Одеський національний політехнічний університет, Україна.

Костенко Віталій Леонідович, доктор технічних наук, професор, кафедра металорізальних верстатів, метрології та сертифікації, Одеський національний політехнічний університет, Україна.

Tymaniuk Konstantin, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: kstymaniuk@gmail.com.

Kostenko Vitaliy, Odessa National Polytechnic University, Ukraine