

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕЗРАЗБОРНЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ УТД-20



**Р.А. Куцко,**  
адъютант Военной академии  
Республики Беларусь

Анализ статистических данных показывает, что при эксплуатации военных гусеничных машин неисправности возникают с разной периодичностью практически во всех системах и механизмах. Так, например, при эксплуатации боевых машин пехоты БМП-2 отказы распределяются следующим образом: на комплекс вооружения — 15%, на силовую установку и ее системы — 45%, на трансмиссию — 5%, на элементы ходовой части — 20%, на приборы и системы электрооборудования — 15% [1]. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о необходимости контроля и прогноза технического состояния в первую очередь силовых установок образцов бронетанковых вооружения и техники (БТВТ).

В существующей системе технического обслуживания и ремонта БТВТ при определении технического состояния двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и их систем используются различные способы и методы диагностики:

1. Техническое состояние цилиндропоршневой группы определяется следующими методами:

- измерения давления воздуха в конце такта сжатия (компрессия);
- измерения давления газов в картере при работающем двигателе;
- измерения времени истечения определенного объема сжатого воздуха через зазоры между гильзами цилиндров и поршневыми кольцами;
- измерения угара масла.

2. Техническое состояние подшипников коленчатого вала определяется по величине давления масла на входе в двигатель [2].

Приведенные методы и построенные на их основе приборные комплексы диагностики ДВС обладают существенными недостатками, основными из которых являются:

- низкая достоверность поставленных диагнозов, так как одинаковые диагностические показатели могут соответствовать различным неисправностям;
- отсутствие возможности выявления истинных причин возникновения неисправностей и определения возможности дальнейшей эксплуатации;
- большие трудозатраты, связанные с частичной разборкой двигателя и монтажом диагностического оборудования;
- технические средства, при помощи которых реализуются вышеперечисленные методы, не унифицированы для применения на различных типах двигателей.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о необходимости разработки новых методик безразборной диагностики ДВС, применение которых позволяло бы не только повысить достоверность результатов диагностирования, но и прогнозировать возможность дальнейшей эксплуатации силовых установок объектов БТВТ.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований проведенных в Военной академии Республики Беларусь показывают, что в настоящее время при определении технического состояния ДВС наибольшее распространение получили следующие методы безразборной диагностики:

- бестормозной метод определения мощностных показателей двигателя по значению ускорения свободного разгона коленчатого вала;

– метод определения неисправностей двигателя по неравномерности вращения коленчатого вала на установившихся режимах работы;

– виброакустический метод диагностики технического состояния узлов и механизмов двигателя.

Определение эффективной мощности двигателя по значению ускорения свободного разгона коленчатого вала возможно исходя из следующих теоретических положений.

Эффективная мощность ДВС вычисляется по формуле [3]:

$$N_e = \frac{J\omega}{1000} \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где  $J$  — приведенный момент инерции двигателя, Н•м•с<sup>2</sup>;

$\omega$  — угловая скорость коленчатого вала, рад/с;

$\frac{d\omega}{dt}$  — угловое ускорение коленчатого вала, рад/с<sup>2</sup>.

Исходя из того, что приведенный момент инерции для однотипных двигателей величина постоянная, эффективная мощность будет зависеть от углового ускорения.

Возможность диагностирования ДВС по неравномерности вращения коленчатого вала обуславливается тем, что ускорение в каждый момент времени будет определяться выражением [4]:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{kpi} - \sum_{i=1}^n M_{ci}}{J}, \quad (2)$$

где  $M_{kpi}$  — крутящий момент  $i$ -го цилиндра Н•м;  $M_{ci}$  — момент сопротивления  $i$ -го цилиндра Н•м.

Таким образом, мгновенное значение ускорения является функцией суммарного крутящего момента и момента сопротивления. При повороте коленчатого угловое ускорение изменяется по закону изменения суммарного крутящего момента, проходящегося на такты сжатия и расширения.

Следует отметить, что момент внутренних механических потерь изменяется незначительно, поэтому величина изменения ускорения является функцией изменения суммарного крутящего момента в период рабочих тактов двигателя.

Неравномерность вращения коленчатого вала зависит от факторов влияющих на суммарный крутящий момент, таких как герметичность камеры сгорания и качества топливно-воздуш-

ной смеси. Увеличение неравномерности вращения коленчатого вала свидетельствует о наличии неисправности в ДВС.

Применение виброакустического метода позволяет определять техническое состояние узлов и механизмов ДВС по времени и амплитуде их вибраций. Метод диагностики состояния двигателя, его узлов и механизмов по виброакустическим параметрам является наиболее универсальным и информационным из всех вышеперечисленных. Недостатком этого метода является трудность выделения полезного сигнала. Проведенные исследования вибраций, формируемых механизмами двигателей при разной степени их износа, показали наличие взаимосвязи между параметрами вибраций и зазорами в сопряжениях и механизмах двигателя.

Вышеперечисленные методы достаточно просты в реализации и позволяют осуществлять как экспресс анализ, так и углубленную диагностику технического состояния ДВС.

Экспериментальные исследования возможности применения предлагаемых методов проводились на дизельных двигателях УТД-20 с различным расходом моторесурсов [5].

Для проведения эксперимента на двигателях были проведены следующие мероприятия:

1. Установлен датчик верхней мертвой точки первого левого цилиндра двигателя. Использование этого датчика позволяет осуществлять измерение частоты вращения коленчатого вала для определения мощности двигателя бесторозным методом, определение порядка работы цилиндров, получение базового сигнала для измерения угла опережения подачи топлива, а также измерение других фазовых параметров работы двигателя.

2. Установлен индуктивный датчик регистрации импульсов от зубьев зубчатого венца маховика коленчатого вала для определения ускорения вращения коленчатого вала. Использование этого датчика позволяет получить разгонную характеристику двигателя и неравномерность вращения коленчатого вала.

3. Определены места для крепления датчиков вибраций на двигателе.

При проведении экспериментальных исследований использовались регистрирующая аппаратура БЭМ-1, разработанная специалистами НИРУП «Белавтотракторостроение» и переносная модульная станция автоматизированной

системы диагностики (ПМС-АСД). Применение этого оборудования позволило без внесения изменений в конструкцию двигателя получить разгонные характеристики, характеристики неравномерности вращения коленчатого вала двигателей, временные сигналы виброускорений, снятых с различных узлов и деталей двигателя и их спектры

Оценка возможности диагностирования ДВС осуществлялась на двигателях, имеющих различное техническое состояние.

На рис. 1 приведены разгонные характеристики исправного (а) и неисправного (б) двигате-

лей. Анализ указанных характеристик указывает на увеличение времени разгона неисправного двигателя, а также на неисправность одной из цилиндропоршневых групп (рис. 1б).

Сравнительный анализ характеристик неравномерности вращения коленчатого вала (рис. 2) показывает, что у неисправного двигателя амплитуда пульсации ускорения вращения значительно увеличивается (в 2–2,5 раза).

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что полученные характеристики при наличии соответствующих статистических данных могут быть использованы для

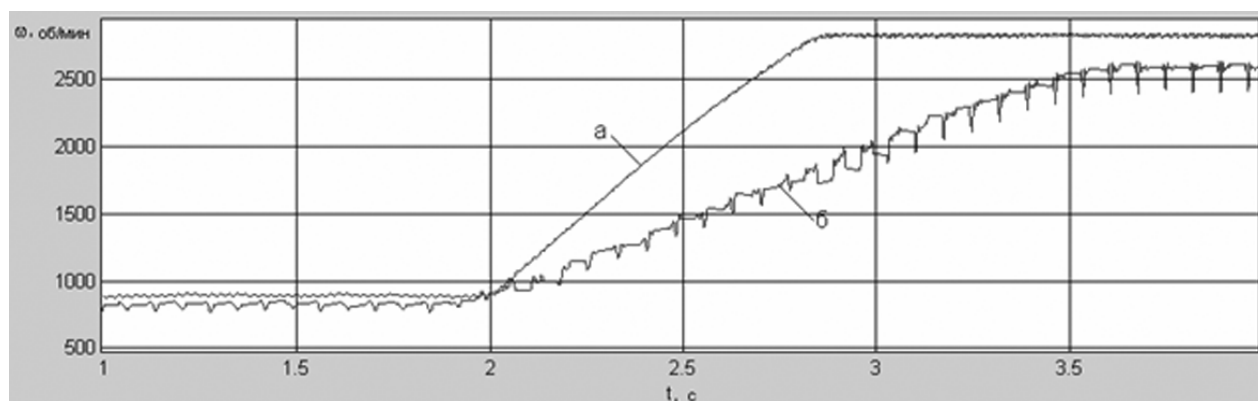


Рис. 1. Разгонные характеристики двигателей УТД-20:  
а) разгонная характеристика исправного двигателя; б) разгонная характеристика неисправного двигателя

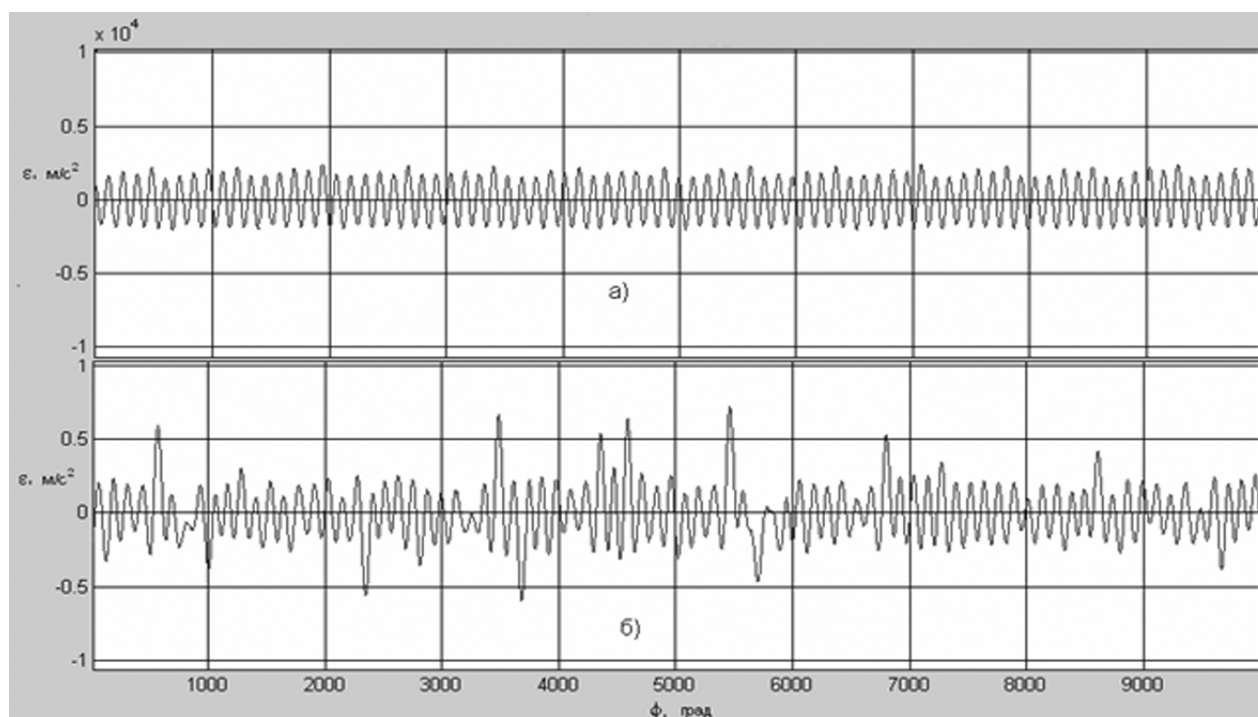


Рис. 2. Пульсация ускорения вращения коленчатого вала двигателей УТД-20 (при 1500 об./мин):  
а) исправный двигатель; б) неисправный двигатель

оценки технического состояния как двигателя в целом, так и его цилиндропоршневых групп в отдельности.

При проведении экспериментальных исследований вибрации узлов и механизмов двигателя УТД-20, были получены вибрационные сигналы цилиндропоршневой группы, форсунки, топливного насоса высокого давления, газораспределительного оборудования и кривошипно-шатунного механизма.

Для выявления диагностических признаков состояния двигателя проводился временной, спектральный и частотно-временной анализ полученных сигналов вибрации.

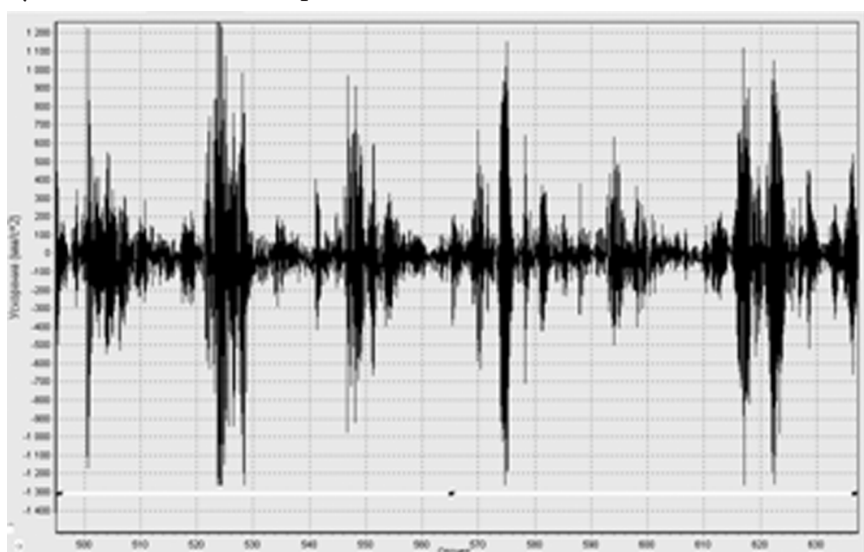


Рис. 3. Временная реализация сигнала вибрации снятого датчиком, установленным в районе верхней мертвой точки третьего левого цилиндра дизельного двигателя УТД-20

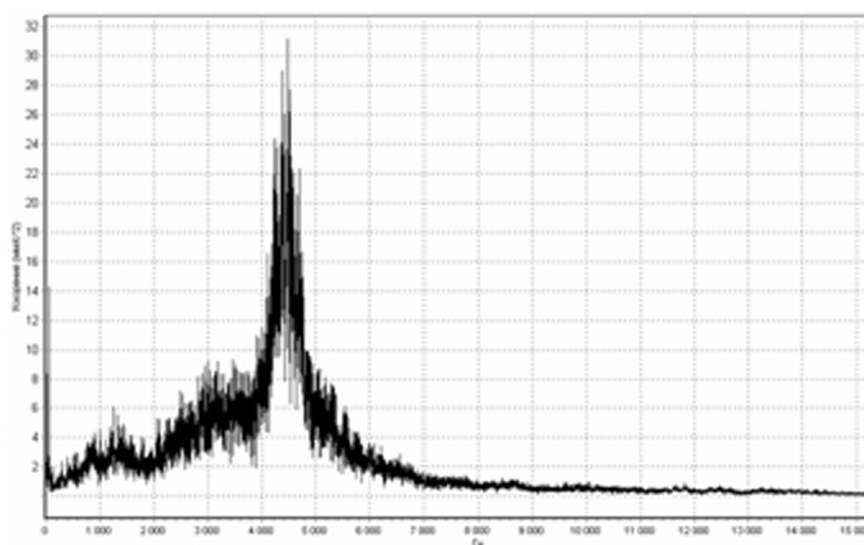


Рис. 4. Спектр сигнала вибрации, снятого датчиком, установленным в районе верхней мертвой точки третьего левого цилиндра дизельного двигателя

На рис. 3 приведена временная реализация сигнала вибрации снятого датчиком, установленным в районе верхней мертвой точки третьего левого цилиндра двигателя. Увеличение времени между началом образования вибрационного импульса от переключки поршня двигателя и удара о гильзу свидетельствует о повышенном износе цилиндропоршневой группы двигателя.

На рис. 4 представлен спектр того же сигнала.

При анализе спектра рассматривается энергия вибрации в активной полосе частот двигателей (0,5–4,0 кГц). С увеличением зазоров от номинальных до предельно допустимых значений

энергия вибрации возрастает в 5 раз на рабочих режимах и в 2,5 раза на режимах прокручивания двигателя от внешнего устройства.

На рис. 5 показан результат частотно-временного анализа вибрации цилиндропоршневой группы дизельного двигателя УТД-20. Четко видно, что вибрация второго и третьего правых цилиндров значительно выше, чем других цилиндров, что свидетельствует об их повышенном износе.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что применяемые в настоящее время методы диагностики ДВС объектов БТВТ не позволяют с достаточной полнотой и качеством определять их техническое состояние. Из современных методов безразборной диагностики ДВС объектов БТВТ наиболее приемлемыми можно считать виброакустический метод, методы определения мощностных показателей работы двигателя по времени разгона коленчатого вала и диагностирования по неравномерности вращения коленчатого вала двигателя.

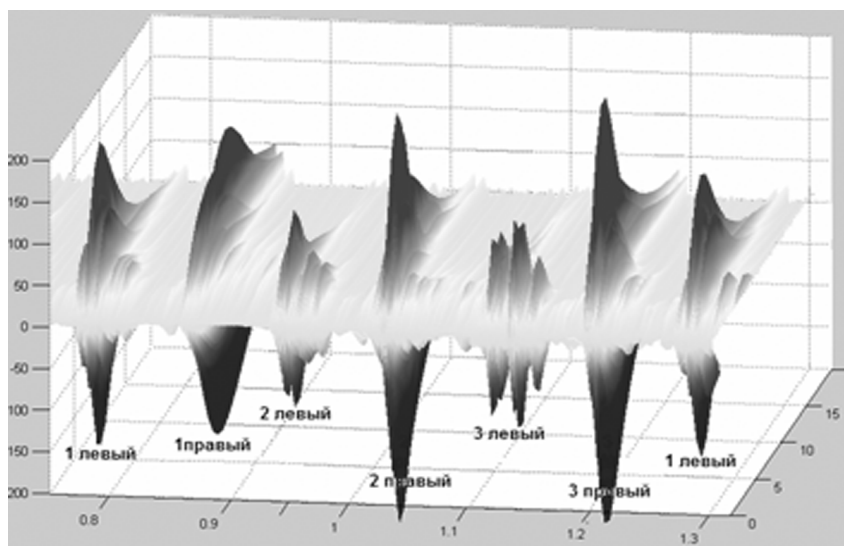


Рис. 5. Частотно-временной анализ вибрации цилиндропоршневой группы дизельного двигателя УТД-20

Анализ данных, полученных в ходе экспериментальных исследований, позволяет говорить о принципиальной возможности использования предлагаемых методов для диагностики технического состояния ДВС. Использование методов безразборной диагностики позволяет:

- увеличить достоверность поставленных диагнозов;
- устанавливать необходимость проведения ремонта и его объем, прогнозировать остаточный ресурс без разборки двигателя;
- выявлять неисправности двигателя на ранних этапах их развития;
- значительно снизить трудоемкость диагностических работ;
- снизить затраты на эксплуатацию и ремонт силовых установок объектов БТВТ.

#### Литература:

1. Комплекс для продления ресурса и диагностики дизельного двигателя гусеничных машин / Е.И. Бекбулатова // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. — М., 2003. — С. 19–25.
2. Эксплуатация бронетанкового вооружения и техники. — М.: Военное издательство, 1989. — 440 с.
3. Ждановский В.И., Аллилуев В.А., Николаенко А.В., Улитовский Б.А. Диагностика автотракторных двигателей. — Л.: Колос, 1977. — 264 с.
4. Борщенко Я.А. Разработка метода диагностирования автомобильных дизелей по неравномерности вращения коленчатого вала: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.10 / Я.А. Борщенко; Курган. гос. ун-т. — К., 2003. — 21 с.
5. Исследование вопросов диагностики двигателей УТД-20 виброакустическими методами: отчет о НИР / ВА РБ; рук. В.И. Климович. — Минск, 2006. — 106 с.