

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 629.3

*А. В. Вавилов, В. В. Яцкевич, А. Н. Максименко*

### МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ И ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНОЙ И ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

UDC 629.3

*A. V. Vavilov, V. V. Yatskevich, A. N. Maksimenko*

### METHODS OF ASSESSING THE TECHNICAL STATE IN DIAGNOSING MECHANICAL AND HYDROMECHANICAL TRANSMISSIONS OF ROAD-BUILDING AND TRANSPORT MACHINERY

#### **Аннотация**

Изложены методы диагностирования механических и гидромеханических трансмиссий транспортных объектов и строительного-дорожных машин. Отмечена важность диагностирования трансмиссии, ее элементов и механизмов управления гидроприводом как агрегатов, лимитирующих надежность и долговечность узлов машин. Подробно приведены методы виброакустической диагностики трансмиссий машин. Описаны технические средства систем диагностирования, применяемые для оценки технического состояния механических и гидромеханических трансмиссий транспортных и строительного-дорожных машин различного назначения.

#### **Ключевые слова:**

методы диагностирования, механическая трансмиссия, гидромеханическая трансмиссия, гидропривод, транспортная машина, автомобиль, строительная и дорожная машина, виброакустические методы диагностики.

#### **Abstract**

Methods of diagnosing mechanical and hydromechanical transmissions of transport and road-building machinery are presented. The paper highlights the importance of diagnosing the transmission, its elements and hydraulic drive control mechanisms which are the assemblies that limit the reliability and durability of machinery units. Vibro-acoustic methods of diagnosing the machinery transmissions are described in details. Technical tools of diagnosing systems used to assess the technical state of mechanical and hydromechanical transmissions of transport and road-building machinery for various purposes are given.

#### **Key words:**

diagnosing methods, mechanical transmission, hydromechanical transmission, hydraulic drive, transport machinery, vehicle, construction and road-building machinery, vibro-acoustic methods of diagnostics.

#### **Введение**

При оценке эффективности эксплуатации транспортных машин (ТМ) различного назначения (грузовых автомобилей, самосвалов, строительных и

дорожных машин) необходимо непрерывно восстанавливать их работоспособность. Важнейшими элементами машин являются ее силовая установка и трансмиссия, обеспечение технического

состояния которых на должном уровне является большой проблемой. В данной статье речь пойдет о *диагностике трансмиссии* и ее элементов как объекта, значительно ограничивающего надежность и долговечность основных узлов машин.

С ростом объемов строительных, дорожных и транспортных работ (в автохозяйствах, карьерах, на горно-обогатительных предприятиях и строительных площадках) актуальной становится проблема обеспечения безотказной работы техники. Решение данной проблемы возможно лишь в аспекте технической эксплуатации этих машин. На современном этапе повышение эффективности работы ТМ и строительных и дорожных машин достигается с учетом индивидуальных показателей по каждой машине (процесса старения, сезонных условий эксплуатации, показателей надежности и т. д.) и внедрения новых методов и технологий планирования и организации технической эксплуатации [1].

Существует множество методов оценки технического состояния техники [2, 3]. Эти методы различны по своей эффективности и существующим на сегодняшний день техническим средствам. Для непрерывной диагностики трансмиссий машин при наличии соответствующего технического оснащения широкое распространение получили акустические и виброакустические методы.

Для оценки шумов и вибраций при диагностировании гидронасосов и гидромоторов используют виброакустические методы, в частности, применяют метод кинематической синхронизации.

Работа гидравлических приводов машин сопровождается непрерывными волновыми и (или) колебательными процессами, возникающими вследствие неуравновешенности и износа движущихся частей гидропривода, изменения

нагрузок, перераспределения энергии при изменении направления движения или турбулизации потока рабочей жидкости. Эти колебательные процессы являются источниками вибраций и шума механизмов гидропривода.

С помощью вибрационных методов диагностирования осуществляют непосредственный контроль динамического нагрузочного воздействия, что позволяет на ранней стадии обнаружить неисправности. Так, повреждение отдельных элементов механизмов гидропривода систем управления трансмиссий вызывает мгновенное изменение уровня и частотных характеристик вибрационного спектра. Перекосы в шлицевых соединениях, повышенные зазоры в подшипниках могут быть выявлены по изменению характера динамических нагрузок значительно раньше, чем появятся следы явного износа, повышение температуры или снижение показателей эффективности объекта контроля.

Высокая информативность виброакустических сигналов, простота их преобразования в электрические сигналы способствует автоматизации средств контроля и диагностирования на основе вибрационных методов [2].

Наиболее часто методы вибродиагностики используются для определения технического состояния подшипников и элементов насосов и гидромоторов, а также контроля внутренней герметичности гидрораспределителей, гидроцилиндров, предохранительных и перепускных клапанов и т. д.

В качестве диагностических параметров при использовании вибрационных методов для оценок состояния основных механизмов гидропривода применяют амплитуды виброперемещения, виброскорости и виброускорения. Иногда используют среднее абсолютное или среднее квадратическое значение параметра. Измерение виброскорости позволяет оценить вибронпряженность конструкции, которая оп-

ределяет процесс накопления усталостных повреждений и долговечности гидроаппарата. Виброускорение характеризует уровень инерционных нагрузок, возникающих при колебаниях. Эти нагрузки могут быть определяющими при оценке состояния опор, стыков, фланцев, креплений механизмов и элементов гидропривода.

Для оценок можно использовать амплитудные и энергетические спектры, а также параметры корреляционной функции.

Спектр сложного сигнала, полученного на выходе вибропреобразователя, представляется в виде

$$D(\omega) = \int_0^T K(t) e^{-i\omega t} dt, \quad (1)$$

где  $\omega$  – частота сигнала  $K(t)$ ;  $T$  – длительность процесса.

Модуль функции  $|D(\omega)|$  характеризует распределение интенсивности гармонических составляющих сигнала  $K(t)$  по частотам. При пропускании сигнала, идущего из вибропреобразователя, через анализатор спектра с необходимой шириной полосы пропускания на выходе получают амплитудный спектр. По амплитуде составляющих спектра, зная частоты, на которых проявляются неисправности кинематических пар механизма, можно оценить их состояние.

Корреляционная функция  $R(\tau)$  определяет зависимость мгновенного значения амплитуды колебаний в данный момент времени от его более ранних значений:

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T Y(t)Y(t+\tau)dt, \quad (2)$$

где  $Y(t)$  и  $Y(t+\tau)$  – значения амплитуды колебаний в момент времени  $t$  и через промежуток времени  $\tau$ .

В качестве диагностического параметра (рис. 1), определяющего техническое состояние отдельных элементов гидромашины, можно использовать величину  $\delta$ :

$$\delta = \sigma_q^2 - \frac{\sum_{k=1}^N R(kT)}{N}, \quad (3)$$

где  $\sigma_q^2$  – дисперсия процесса;  $R(kT)$  – значение корреляционной функции при  $\tau = kT$ ;  $k$  – число усредненных пиковых значений корреляционной функции,  $k = \overline{1, n}$ .

Оценку технического состояния гидроаппаратов можно производить по характеристикам акустической эмиссии, представляющей собой сверхчастотные колебания (10...100 МГц), которые появляются при нарушении структуры металла. Энергия сигналов акустической эмиссии  $E$  используется для обнаружения усталостных трещин на ранней стадии их развития в корпусах гидрофильтров, гидроаккумуляторов, трубопроводов (рис. 2).

Техническое состояние подшипников можно определить по шумовому уровню спектра в определенных частотных диапазонах. Для получения этого параметра используют анализаторы спектра вибрации. На рис. 3 показаны спектры вибрации диагностического сигнала. Сплошной шумовой сигнал распространяется до частот 110 Гц, причем у исправного насоса (рис. 3, а) он в 6 раз ниже, чем у неисправного (рис. 3, б).

На рис. 4 приведены показания анализатора спектра вибрации  $G^*$  для трех групп насосов с различным техническим состоянием. Подобные приборы позволяют выявить, какое техническое состояние имеет тот или иной насос.

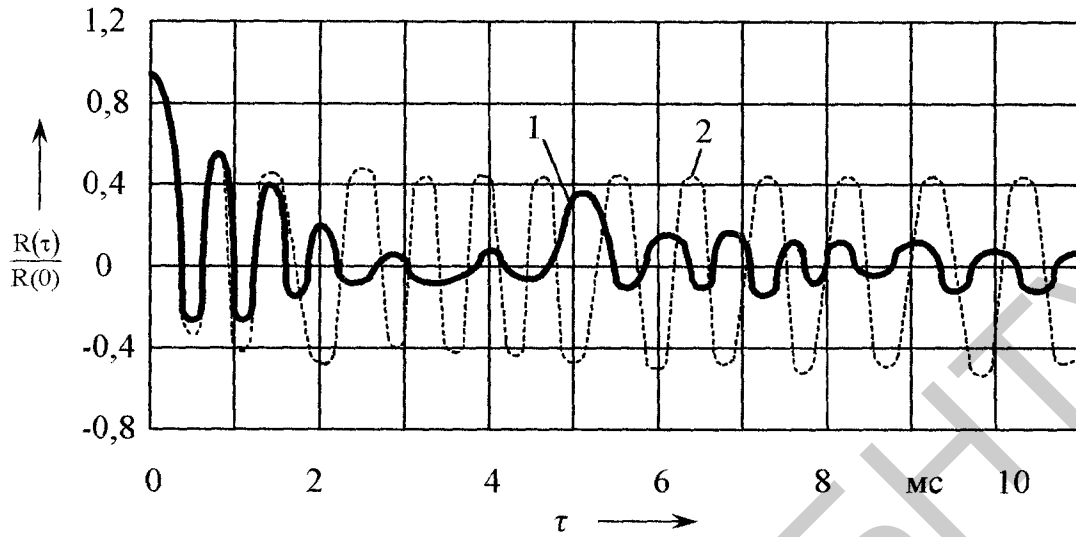


Рис. 1. Корреляционные функции виброускорения корпуса аксиально-поршневого насоса НП-43 переменной подачи при частоте вала  $1420 \text{ мин}^{-1}$ : 1 – исправный насос; 2 – насос с неисправным шариковым подшипником

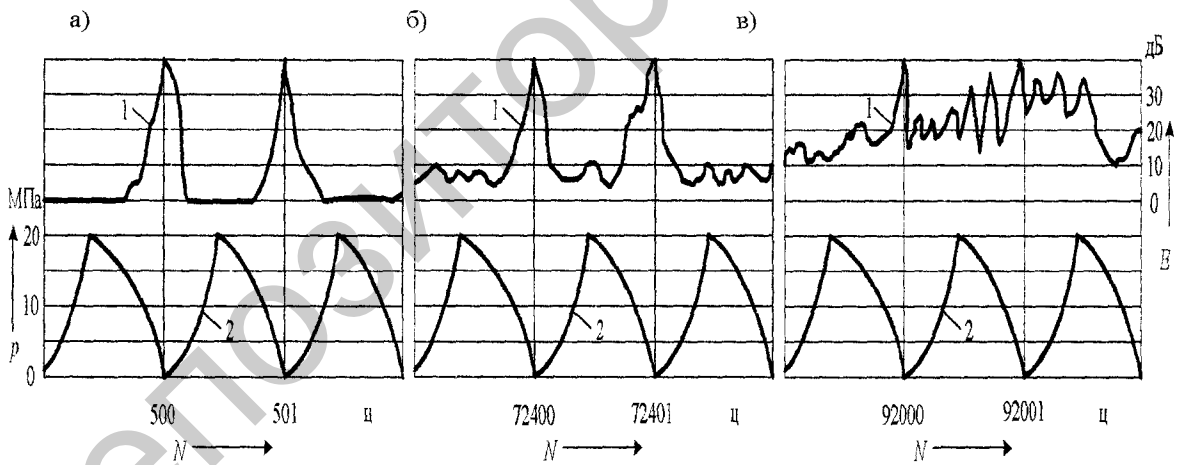
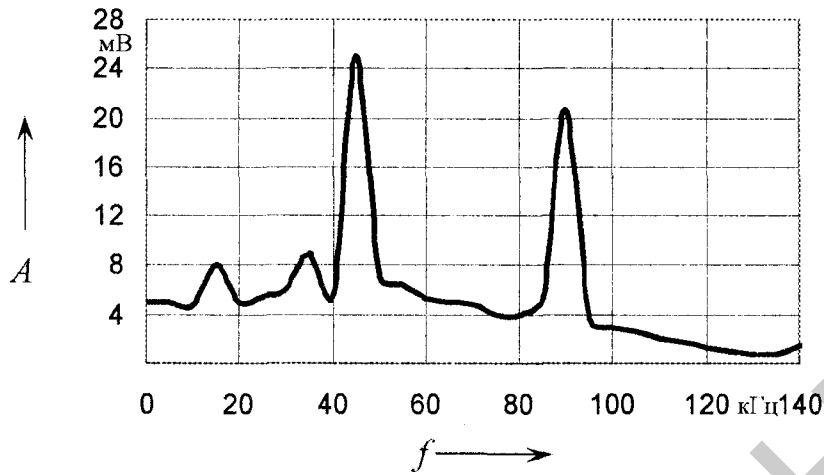


Рис. 2. Изменение энергии сигналов акустической эмиссии в процессе циклического нагружения корпуса гидравлического фильтра: а – корпус исправен; б – начальная стадия появления трещины в корпусе гидрофильтра; в – акустическая эмиссия перед раскрытием трещины; 1 – энергия сигналов акустической эмиссии; 2 – циклограмма нагружения корпуса фильтра давлением рабочей жидкости

а)



б)

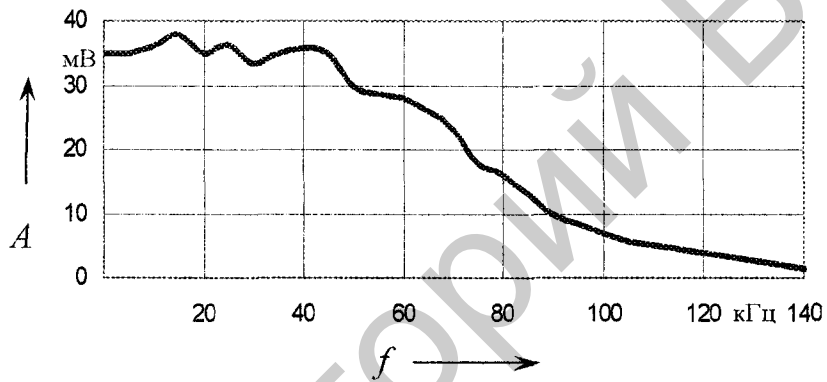


Рис. 3. Спектры вибрации сигналов с выхода анализатора спектра вибрации насосов: а – исправного аксиально-поршневого насоса; б – насоса с неисправным подшипником

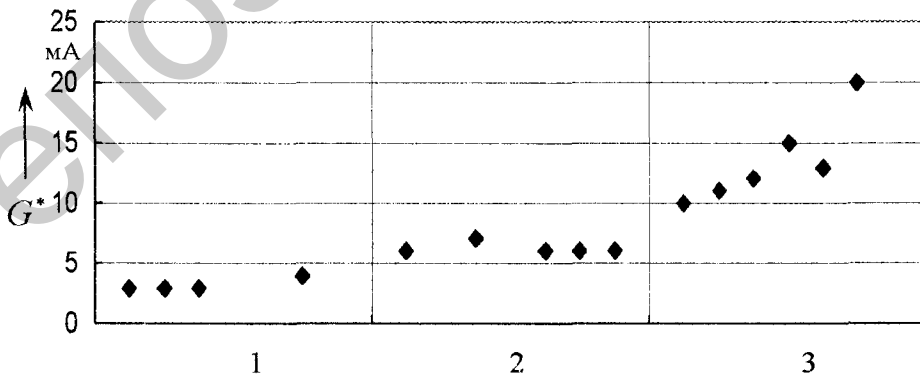


Рис. 4. Показания анализатора спектра вибрации при диагностировании насосов с различным техническим состоянием: 1 – исправные; 2 – начало развития дефекта; 3 – дефектные

Недостатком является необходимость строгого соблюдения режима диагностирования и частоты вращения во избежание сдвига спектра вибрации в одну из сторон от резонансной частоты полосового фильтра, что может привести к пропуску дефекта или ложной тревоге.

При анализе загрязнения рабочих жидкостей применяют специальные методы [2, 3]. Они основаны на определении количества и состава продуктов износа, находящихся в рабочей жидкости. Несмотря на достоинство этих методов, связанное с их низкой трудоемкостью, главные их недостатки – сложность, а иногда и невозможность локализации неисправностей, а также необходимость применения дорогостоящего оборудования.

В процессе эксплуатации гидропривода при износе деталей насоса начинают генерироваться акустические шумы, резко отличающиеся от шумов исправного гидронасоса. Это используется при диагностировании. Акустические шумы каждой составляющей части насоса зависят от геометрических размеров, зазоров в элементах трения и неравномерности потока жидкости. Источником информации о техническом состоянии отдельных частей гидронасоса является амплитуда генерируемых ими колебаний, изменяющаяся при постоянных начальных условиях в зависимости от значений структурных параметров.

Влияние наличия в жидкости воды на работоспособность гидропривода учитывается по появлению продуктов окисления и коррозии металла. При отрицательной температуре наличие воды в гидросистеме приводит к «прихватыванию» золотников и клапанов распределителя, появлению ледяных пробок и разрушению сборочных единиц, что также является диагностическими признаками.

Учитывая значительное влияние состава рабочей жидкости на показатели гидропривода, проводят физико-химический контроль с помощью стационарных, передвижных и переносных лабораторий. В условиях эксплуатации машин определяют плотность жидкости, кинематическую вязкость, содержание воды и качественное содержание механических примесей, степень содержания кислот и щелочей, температуру застывания и вспышки. Пробу рабочей жидкости для анализа берут из бака гидропривода машины после работы насоса не менее 10 мин. Для диагностирования состояния рабочей жидкости и отдельных сборочных единиц производится накопление данных, полученных через определенную наработку.

Вязкость рабочей жидкости гидропривода стараются поддерживать в пределах 16...33 мм<sup>2</sup>/с. От температуры вязкость рабочей жидкости находится в степенной зависимости с показателем степени до 2,6. Изменение температуры жидкости в функции времени при постоянном нагрузочном и скоростном режимах работы позволяет оценивать работоспособность гидропривода. Полученное значение интенсивности изменения температуры сравнивают с эталонным. Более высокая интенсивность свидетельствует о переходе большей части механической энергии в тепловую.

На работоспособность гидропривода влияет не только качество, но и количество рабочей жидкости, поэтому при эксплуатации стараются поддерживать рекомендуемый ее уровень. Внешние утечки возможны при разгерметизации гидросистемы, которая выявляется визуальным осмотром шлангов, трубопроводов, присоединительных устройств и уплотнений гидроцилиндров. Нарушение герметичности системы приводит к количественным потерям жидкости. Возможно интенсивное загрязнение жидко-

сти, особенно при ее замене. Загрязнение рабочей жидкости механическими примесями является основной причиной снижения надежности гидропривода. По зарубежным данным 90 % отказов гидропривода происходит из-за механических примесей в жидкости, причем на интенсивность изнашивания элементов гидропривода влияют размеры частиц. Так, снижение размеров частиц от 20 до 5 мкм увеличивает ресурс аксиально-поршневых насосов более чем на порядок, а других элементов гидроаппаратуры – в 7 раз [2].

С учетом возможности значительного повышения работоспособности сборочных единиц гидропривода очистка рабочей жидкости в процессе эксплуатации приобретает особую значимость. Желательно обеспечивать тонкость очистки 5...10 мкм. На практике широко применяется центробежный метод очистки. Однако подключение центрифуги только параллельно основной магистрали рабочей жидкости сужает область его применения. Этот недостаток устраняется при использовании циклона, который включают последовательно со сборочными единицами в начале (перед насосом) или в конце (перед сетчатым фильтром) гидросистемы. Изменением конструктивных параметров можно обеспечить необходимую производительность и тонкость очистки 5–8 мкм. При использовании циклонов

изъятие отфильтрованных механических включений не требует разъединения трубопроводов, вызывающих дополнительное загрязнение рабочей жидкости. Избежать разборки гидропривода при диагностировании сборочных единиц можно при использовании термодинамического или акустического методов.

Следует отметить большое разнообразие методов диагностирования [1, 2]. Однако многие из приведенных выше характеристик и полученных для различных параметров графических зависимостей, несмотря на их полезность, наглядность, информативность и другие пригодные для контроля качества, сложно использовать в системах оперативного диагностирования и невозможно использовать в режиме реального времени из-за их неоднозначности и статичности в условиях непрерывно меняющейся и динамичной внешней среды. В этом случае, с учетом данных [2, 3], целесообразно применять:

- методы на основе использования высокоинформативных источников первичной информации;
- методы, использующие новые технологии;
- методы, использующие технологии искусственного интеллекта и встроенные экспертные подсистемы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максименко, А. Н. Диагностика строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин : учеб. пособие для вузов / А. Н. Максименко, Г. Л. Антипенко, Г. С. Лягушев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 302 с. : ил.
2. Тарасик, В. П. Технологии искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2007. – 280 с. : ил.
3. Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин / Н. Н. Горбатенко [и др.] ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. П. Тарасика. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 511 с. : ил.

LIST OF LITERATURE

1. **Maksimenko, A. N.** Diagnostics of construction, road-building and hoisting-and-conveying machinery : tutorial for heis / A. N. Maksimenko, G. L. Antipenko, G. S. Lyagushev. – SPb. : BXV-Petersburg, 2008. – 302 p. : il.
2. **Tarasik, V. P.** Technologies of artificial intellect in diagnosing vehicles / V. P. Tarasik, S. A. Rynkevich. – Mogilev : Belarus.-Rus. Un-ty, 2007. – 280 p. : il.
3. Diagnosis of hydromechanical transmissions of mobile machinery / N. N. Gorbatenko [etc.] ; ed. by DSc, Prof. V. P. Tarasik. – Mogilev : Belarus.-Rus. Un-ty, 2010. – 511 p. : il.

*Статья сдана в редакцию 11 января 2012 года*

**Антон Владимирович Вавилов**, д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет.

**Владимир Владимирович Яцкевич**, д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет.

**Алексей Никифорович Максименко**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-295-44-77-75.

**Anton Vladimirovich Vavilov**, DSc, Professor, Belarusian National Technical University.

**Vladimir Vladimirovich Yatskevich**, DSc, Professor, Belarusian National Technical University.

**Alexei Nikiforovich Maksimenko**, PhD, Associate Professor, Belarusian-Russian University. Tel.: +375-295-44-77-75.