

ЛИТЕРАТУРА

1. Klein U. Merkmalbestimmung an Zahnradgetrieben mittels Wavelet- Transformation und Koeffizientenanalyse. VDI Berichte Nr. 1466. – Düsseldorf: VDI-Verlag, 1999. – S. 461–475.
2. Kolerus J. Zustandsüberwachung von Maschinen. / 3. Erweiterte Auflage, Renningen. – Malsheim: Expert-Verlag, 2000.
3. Reitz K. u. a. Verschleißerkennung an Getriebeverzahnungen mit Hilfe der Körperschallanalyse. // Forschungsbericht AiF-Vorhaben. – Nr. 11554 N/1, RWTH. – Aachen: Institut für Bergwerks- und Hüttenmaschinenkunde, 2000.
4. Драган, А. В. Способы представления виброакустического сигнала для повышения эффективности диагностики зубчатых приводов / А. В. Драган, Д. В. Омесь // Вестник Брестского государственного технического университета. – Серия: Машиностроение. – 2014. – № 4. – С. 49–53.
5. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации [Электронный ресурс] / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. – Санкт-Петербург: Официальный сайт, 2014. – Режим доступа: <http://www.vibrotek.com/russian/articles/book/index.htm>.
6. McFadden P. D. Examination of a technique for the early detection of failure in gears by signal processing of the time domain average of the meshing vibration. Mechanical System and Signal Processing, 1(1987)2. – S. 173–183.
7. McFadden P. D., Cook J. G., Forster, L. M. Decomposition of gear vibration signals by the generalised S transform. // Mechanical System and Signal Processing, 13(1999)5. – S. 691–707.
8. Драган, А. В. Оценка плавности работы прямозубой зубчатой передачи по данным кинематического контроля // Вестник Брест. гос. техн. ун-та. – 2000. – № 4. – С. 2–6.
9. Blatter, C. Wavelets – Eine Einführung. Braunschweig / Wiesbaden: Vieweg Verlag, 1998.
10. Boashash, B. Time-Frequency Signal Analysis. – Longman Cheshire, 1992.
11. Cohen L. Time-Frequency Analysis. – NJ, Prentice Hall: Englewood Cliffs, 1995.
12. Howard L. R., Raymond O. W. J. Wavelet Analysis: The Scalable Structure of Information. – Berlin: Springer Verlag, 1998.
13. Mertins A. Signaltheorie. – Stuttgart: Teubner Verlag, 1996.

Поступила 02.11.2023

УДК 629.3

Рынкевич С. А.¹, Сонич О. А.²

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ СО СЛОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ЗВЕНЬЕВ

1. Белорусско-Российский университет, Могилев, Беларусь
2. Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Рассмотрена методика диагностирования технического состояния зубчатых передач автомобильных трансмиссий со сложным движением звеньев. Исследованы причины возникновения дефектов в зубчатых зацеплениях. Разработаны основы диагностики технического состояния этих передач.

Передачи со сложным движением звеньев – это такие зубчатые передачи и зубчатые зацепления, в которых, во-первых, оси колес и шестерен совершают сложные вращательные движения, во-вторых, происходит изменение в процессе износа геометрических параметров профилей зубьев, при этом профили отклоняются от эвольвенты, а линии зацепления трансформируются.

Для своевременного обнаружения неисправностей и дефектов в зубчатых передачах, предупреждения отказов трансмиссий мобильных машин применяются различные

методы диагностирования: метрический, акустический, виброакустический, метод неразрушающего контроля и ряд других.

Виброакустический метод технического диагностирования является одним из самых эффективных. Он состоит в следующем. В подвижных сопряжениях и зацеплениях механизмов трансмиссии энергия, передаваемая от одной детали к другой, и амплитуда вибраций пропорциональны величинам зазора или надлома, количеству трещин и осколков в деталях данной пары или звена. Увеличение или уменьшение зазора вызывает рост ускорения вибраций. Таким образом, измерив ускорение вибрации данного сопряжения и сравнив его с эталонным значением, можно оценить техническое состояние диагностируемого узла. В процессе эксплуатации автомобилей можно по параметрам вибраций установить такой зазор, при котором обеспечивается наилучшая геометрия зацепления, т. е. исправное техническое состояние механизма.

Вибрационная диагностика является одной из наиболее важных задач контроля зубчатых передач, обнаружения дефектов и оценки остаточного ресурса в реальных условиях эксплуатации или в условиях, максимально приближенных к реальным.

Рассмотрим особенности методики вибродиагностики вращающихся элементов трансмиссий мобильных машин, а также технологического оборудования.

При вибродиагностике вращающихся узлов одним из критериев появления дефектов является обнаружение микроударов, создающих импульсные компоненты в сигнале вибрации. При этом наиболее эффективными методами оценки технического состояния таких узлов при периодических ударах – это различные виды спектрального анализа вибрации с накоплением результатов, а при непериодических ударах – анализ изменения формы сигнала или его мощности во времени.

На рис. 1 показан пример анализа виброскорости и виброускорения в подшипниковом узле трансмиссии технологического оборудования строительной-дорожной техники, что происходит при изменении геометрии сложного зубчатого зацепления. На рис. 1 показаны спектры виброакустических параметров. Второй график, построенный в линейном масштабе, малоинформативен, поэтому удобно строить график в логарифмическом масштабе по оси амплитуд (третий график на рис. 1).

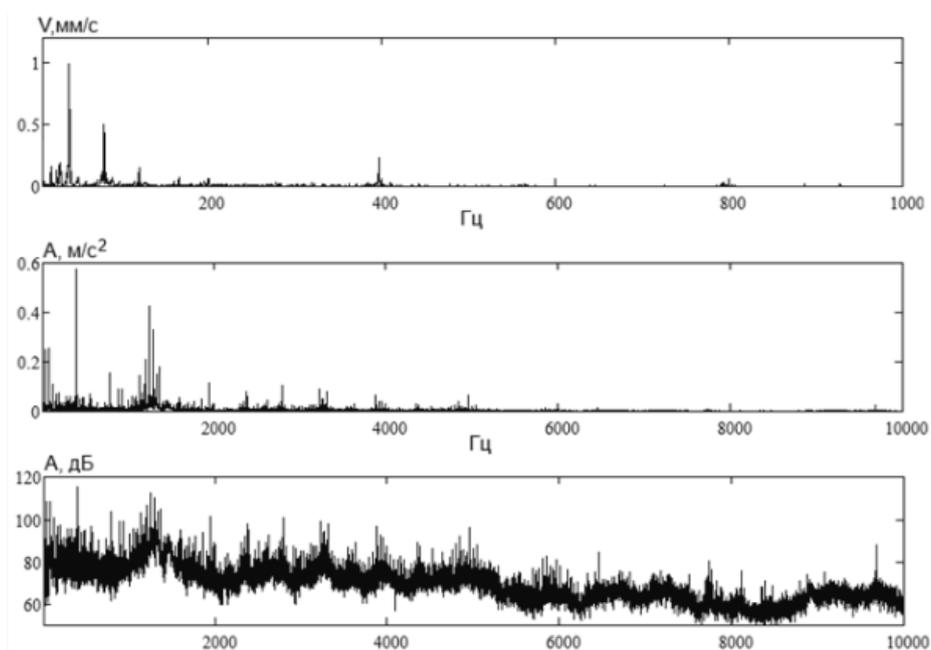


Рис. 1. Спектр виброскорости в мм/с и виброускорения в м/с² в линейном масштабе и тот же спектр в децибелах (дБ) виброускорения

Вибрация, возбуждаемая короткими ударными импульсами, мало изменяет ее спектр, лишь незначительно повышая уровень случайных составляющих в широком диапазоне частот. Обнаруживаются ударные импульсы по форме высокочастотной вибрации, как это показано на первом графике рис. 2. Более наглядной для анализа является огибающая высокочастотного сигнала, отражающая изменение мощности сигнала (второй график). Если характер ударов является периодическим, то для анализа можно использовать спектр огибающей (третий график).

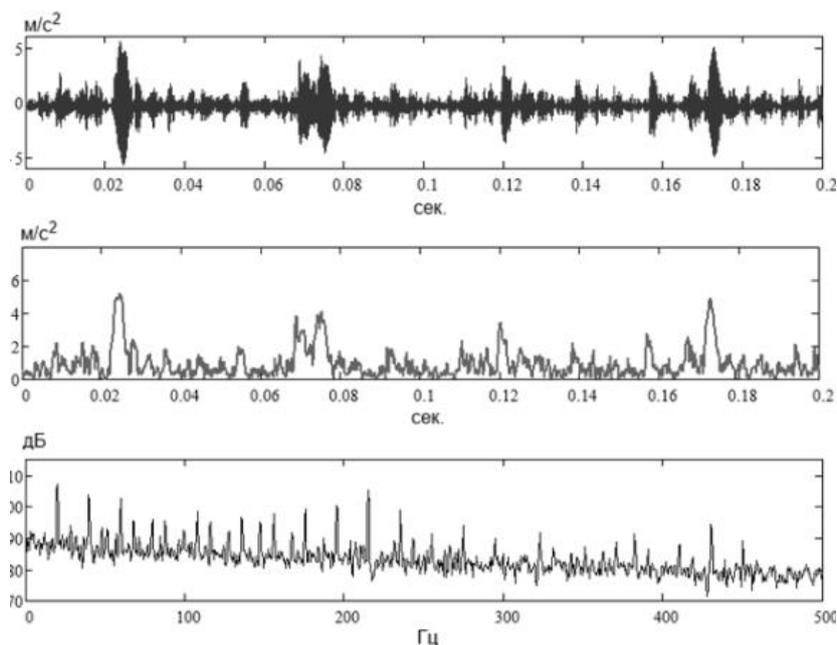


Рис. 2. Форма сигнала вибрации на выходе широкополосного фильтра (первый график), форма ее огибающей (второй график) и спектр огибающей (третий график)

Измерение спектров виброакустических сигналов, включая низкие и средние частоты, а также пиковых значений и спектров огибающих высокочастотной вибрации в опорах и подшипниковых узлах позволяет обнаружить большинство дефектов до того, как они станут опасными.

Рассмотрим особенности вибродиагностики зарождающихся дефектов. Колебательные силы, возбуждаемые дефектом на стадии зарождения, настолько малы, что практически не изменяют уровень низкочастотной вибрации в контрольных точках измерения. Однако здесь имеется возможность выделить составляющие вибросигналов, близко расположенных к месту приложения колебательных сил.

Особенностью диагностики зарождающихся дефектов в технологическом оборудовании является то, что она требует измерения и анализа вибрации в широком диапазоне частот с большим числом контрольных точек с выбором оптимального направления измерения, причем на установившем режиме работы оборудования. Поскольку развитие зарождающихся дефектов происходит медленно, интервалы между измерениями можно делать большими и проводить их можно последовательно с использованием переносных средств измерения вибрации, а обработку результатов осуществлять в лабораторных условиях. Для виброизмерений можно использовать многоканальные переносные системы автоматизированной диагностики или мобильные виброанализаторы для полной диагностики опасных дефектов.

Рассмотрим особенности оперативной вибродиагностики опасных дефектов в режиме реального времени. Первой особенностью оперативной вибродиагностики является ее выполнение в режиме реального времени, при этом к ней предъявляется требование быстроедействие при высокой достоверности постановки технического диагноза при обнаружении дефектов и отказов. Такая диагностика может быть реализована при параллельном измерении и анализе вибросигналов в ряде контрольных точек. При этом используются многоканальные on-line анализаторы вибрационных сигналов и тока с максимальной скоростью реакции на изменение состояния вращающихся элементов.

Другой особенностью оперативной вибродиагностики является необходимость применения компромиссного подхода между высокой скоростью измерения и глубины получаемого технического диагноза. Здесь необходим переход на обнаружение неисправностей и дефектов не с момента их зарождения, а с того момента, когда дефект начинает реально влиять на техническое состояние и работоспособность объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рынкевич, С. А. Концептуальные основы диагностики гидрофицированных трансмиссий карьерной техники / С. А. Рынкевич // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Материалы международной научно-технической конференции. Сборник трудов. – Тюмень, – 2018. – С. 237–241.

2. Рынкевич, С. А. Автоматизация диагностирования механических и гидромеханических трансмиссий / С. А. Рынкевич // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сборник научных трудов в 2-х томах / Белорусский национальный технический университет; редкол.: отв. ред. Д. В. Капский [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 46–50.

Поступила 02.11.2023

УДК 629.373.3

Скойбеда А. Т., Жуковец В. Н.

ВЫБОР КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ КОЛЕСНО-ШАГАЮЩЕЙ ХОДОВОЙ СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО ДРОНА

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В статье выполнен обзор перспектив развития беспилотной наземной техники различного назначения. Рассмотрены области практического применения проектируемого беспилотного наземного аппарата, использующего колесно-шагающую ходовую систему. Описаны варианты конструктивной схемы колесно-шагающей ходовой системы, предназначенной для беспилотной наземной техники.

Беспилотные сухопутные аппараты (наземные дроны) – транспортные средства, перемещающиеся по поверхности Земли (или поверхности небесного тела), выполняющие свои функции без присутствия на борту человека-оператора. Беспилотная сухопутная техника применяется [1; 2]:

- в космических исследованиях (аппараты-планетоходы);
- в сельском хозяйстве при использовании технологий точного земледелия (механическая обработка почвы с использованием минеральных удобрений, применение химических средств защиты растений, полив выращиваемых культур, различные технологические этапы при уборке урожая);