

О.В. БЕРЕСТНЕВ, член-корр. НАН Беларуси, д.т.н., проф., главный научный сотрудник ОИМ НАН Беларуси, Минск;

Я.О. БЕРЕСТНЕВ, к.т.н., старший научный сотрудник ОИМ НАН Беларуси

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ВИБРАЦИОННЫХ СПЕКТРОВ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ РЕСУРСОВ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПРИВОДНЫХ МЕХАНИЗМОВ МАШИН

Показана высокая эффективность обкаточных испытаний для повышения и сравнительной оценки качества изготовления, прогнозирования ресурсов работоспособности зубчатых приводных механизмов по данным диагностического вибрационного мониторинга.

Ключевые слова: вибрационный спектр, зубчатый приводной механизм.

Введение. Актуальность работы. Эксплуатационные характеристики и ресурсы работоспособности большинства современных приводных механизмов машин определяются совершенством конструкций и качеством финишных операций изготовления зубчатых колес и фрикционных дисков, по технологическим уровням которых часто можно довольно точно характеризовать реальную конкурентоспособность предприятий изготовителей в целом.

Из анализа современных тенденций развития производства зубчатых передач как в нашей стране, так и за рубежом следует, что востребованная в настоящее время точность изготовления зубчатых колес для основных потребителей в авто- и тракторостроении должна обеспечиваться на уровне 7-й степени по ГОСТ 1643-81. Соответственно этим требованиям необходимо создание более производительных методов и средств современного комплексного контроля качества изготовления зубчатых передач массового производства, которые и являются объектами рассмотрения в опубликованных нами методических рекомендациях [1].

В связи с появлением и все более широким применением за рубежом приборов двухпрофильного контроля с возможностями записи колебания измерительного межосевого расстояния ИМР и последующего программного анализа этих результатов, перспективной является и активно ведущаяся разработка отечественных средств измерения для контроля колебаний измерительных межосевых расстояний с полной записью их изменений.

Сочетание комплексного метода контроля ИМР с приработочными и выборочными ускоренными стендовыми ресурсными испытаниями позволит рассматривать разрабатываемые нами методические рекомендации в этой области в качестве универсальных для оценки и обеспечения точности изготовления ответственных зубчатых передач, которые в настоящее время лимитируют ресурсы работоспособности и качественные характеристики приводных механизмов большой группы современных машин.

Содержание исследований. Для прогнозирования ресурсов работоспособности изготавливаемых ответственных зубчатых колес обычно проводят выборочные ускоренные стендовые испытания образцов созданных колес. В рекомендациях обобщен большой опыт белорусских ученых в разработке ме-

тодов ускоренных ресурсных испытаний, создании испытательного оборудования, методик инструментального мониторинга параметров виброактивности и сравнительной оценки полученных результатов при прогнозировании ресурсов работоспособности зубчатых колес.

Обработку, приработочные и ускоренные ресурсные испытания целесообразно сопровождать вибрационной диагностикой и мониторингом изменений виброакустических параметров испытываемых механизмов на всех стадиях их проведения. Для этих целей нами широко используются современная вибро- и шумодиагностическая аппаратура, а также созданные в ОИМ НАН Беларуси целевые микропроцессорные диагностические комплексы "Вибротест-2000" и "ВАТСОН", имеющие ряд достоинств при исследованиях изменений параметров сложных динамических систем приводных механизмов.

Для эффективного диагностирования очень важно получать точные оценки спектральной мощности на характерных частотах механизма. Определенным вкладом в повышение точности вибрационной диагностики является разработанная в институте методика определения рациональной длительности анализируемого участка вибрационной сигналаграммы, в которой точно укладывается целое число периодов 1-й гармоники (оборотной) сигнала [2].

Применение быстрого преобразователя Фурье для прямоугольного временного окна, с рассчитанной длительностью, дает существенно уточненные оценки амплитуд вибраций и спектральной мощности, а также четкие линии гармоник оборотной и зубцовой частот на спектрограммах (см. рисунок).

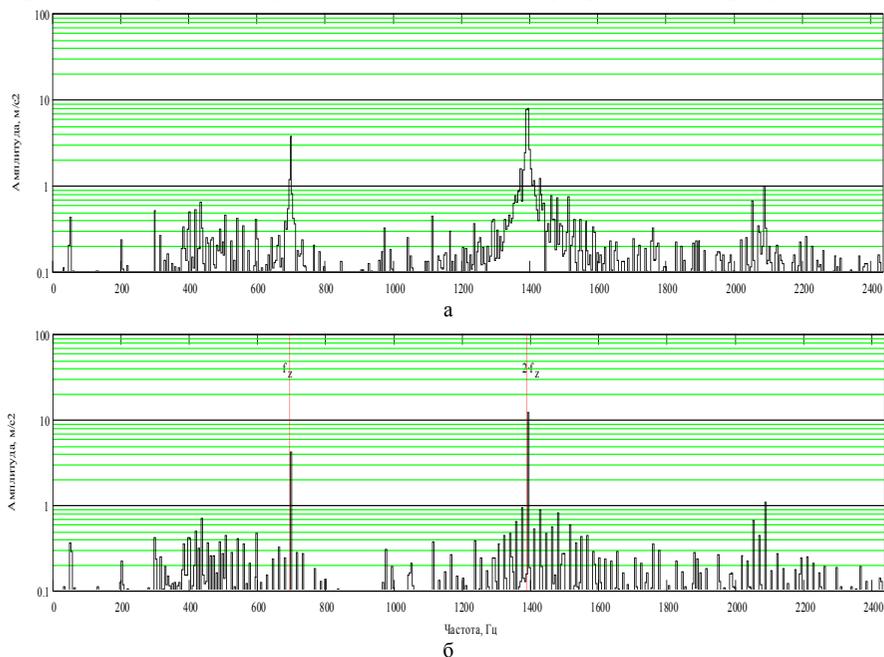


Рисунок – Спектры виброускорений при испытаниях пары зубчатых колес, $z_1=z_2=40$, $n=1040$ об/мин, отмечены зубцовая частота и ее 2-я гармоника:
а – первое приближение спектра; б – уточненный по предложенному методу

В представленном примере реального спектра виброускорений, полученного при испытаниях исследуемой пары зубчатых колес, уточнение величин амплитуд составило для 1-й гармоники зубцовой частоты 9,3%, для 2-й гармоники – 35,1%.

В представленном примере реального спектра виброускорений, полученного при испытаниях исследуемой пары зубчатых колес, уточнение величин амплитуд составило для 1-й гармоники зубцовой частоты 9,3%, для 2-й гармоники – 35,1%. Ожидаемое по расчету – до 36%. Разработано необходимое программное обеспечение "Виброспектр 2007" для автоматизации получения уточненных спектральных характеристик вибраций при сравнительных испытаниях зубчатых приводных механизмов, которое уже устанавливается в создаваемые ОИМ НАН Беларуси виброизмерительные комплексы, передаваемые заказчиком на контрактной основе, и может быть также применено в практические всех современных системах этого типа.

Эффективность методики сравнительной оценки состояния приводных механизмов при обкатке с применением вибрационного мониторинга подтверждена при приемочных испытаниях редукторов приводов шахтных конвейеров, изготавливаемых ЗАО "Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством". Широко используется обкатка ответственных приводных механизмов в качестве обязательной технологической операции на БелАЗе. Ее дополнение периодическим инструментальным вибрационным мониторингом, как показали результаты предварительных совместных исследований, представляет большие возможности для ранжирования и повышения качества важнейших механизмов карьерных самосвалов – редукторов мотор-колес (РМК). Качество обкатываемых РМК и срок объективно рациональной длительности обкатки можно оценить по установлению устойчивой в течение принятой в настоящее время длительности обкатки тенденции к минимально инструментально обнаруживаемому (на 5-8%) снижению среднеквадратичных значений (СКЗ) по крайней мере, одной из групп регистрируемых параметров: виброускорений, виброскоростей или виброперемещений. На анализируемых вибрационных спектрах также четко выделяются амплитуды вибрации на зубцовых и кратных им гармониках практически всех зубчатых сопряжений обкатываемых РМК, что позволяет, уже и при необходимых переборках вполне целенаправленно проводить их требуемые технологические доработки.

Большое внимание уделяется ресурсным испытаниям зубчатых колес. Одним из наиболее перспективных путей сокращения длительности испытаний является, предложенный и развиваемый нами, новый метод ускоренной сравнительной оценки служебных характеристик сопоставляемых конструкционных и технологических решений путем испытаний пар зубчатых колес с передаточным отношением, равным единице, и рассмотрением каждой сопрягаемой пары зубьев такой передачи, как отдельного объекта исследований, имеющего отличную от других, даже соседних пар динамическую составляющую нагрузки из-за различий шагов зацепления, возникающих вследствие естественных, либо специально формируемых погрешностей изготовления и сборки [3]. Вследствие этого процессы расходования ресурсов работоспособности, происходящие в каждой паре сопрягаемых зубьев, протекают во времени по-разному. Поэтому при испытаниях двух зубчатых колес с передаточным отношением, равным единице ($Z_1=Z_2$), рассматривая при этом каждую пару зубьев как отдельный объект испытаний, можно построить блок нагруженности каждой сопрягаемой пары зубьев и получить обширную информацию о процессах износа, накопления усталостных по-

вреждений, изменений виброактивности, практически равноценную статистическим данным от испытаний Z пар. Такой подход позволяет значительно сократить количество испытываемых зубчатых колес, время проведения испытаний.

Точная оценка нагруженности отдельных зубьев может быть осуществлена посредством прямого тензометрирования. Однако осуществление тензометрирования всех зубьев колеса, вследствие достаточно высокой сложности и трудоемкости этой операции, едва ли целесообразно. Поскольку динамическая составляющая нагрузки во многом определяет виброакустическую активность зубчатой передачи, то данная задача может быть решена путем одновременного фиксирования в реальном масштабе времени нагруженности и виброактивности при работе в зацеплении тензометрируемого зуба. На основании полученных данных устанавливается связующая эти параметры корреляционная зависимость, использование которой, позволяет по амплитуде вибрационных импульсов, генерируемых и не тензометрируемыми зубьями, оценить их действительную нагруженность.

Выводы. Изложенный в рекомендациях [1] с примерами реализации метод ускоренных испытаний по анализу отдельных пар сопрягаемых зубьев позволит более чем на порядок сократить длительность трудоемких и дорогостоящих ресурсных испытаний зубчатых колес за счет уменьшения числа испытываемых образцов, ускорит внедрение при производстве зубчатых колес новых конструктивных решений, перспективных материалов и технологий.

Разработанное программно-методическое обеспечение построения уточненных спектральных характеристик и полученные первые результаты введения при обкатке дополнительного контроля изменений параметров вибрационных спектров показывают реальную возможность отработать методы объективного инструментального вибрационного контроля качества изготовления и сборки, и повысить ресурсы работоспособности наиболее ответственных приводных механизмов, лимитирующих основные показатели большой группы современных машин.

Список литературы: 1. Комплексный контроль и повышение качества зубчатых приводных механизмов для машиностроения: методические рекомендации / *О.В. Берестнев, В.Е. Антонюк, Н.Н. Ишин* и др. – Мн.: БелГИСС, 2009. – 115с. 2. *Берестнев Я.О.* Методика получения уточненных спектральных характеристик вибрации для механизмов циклического действия // *Весті Акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук.* – 1998. – №2. – С.31-35. 3. *Берестнев О.В., Берестнев Я.О., Ишин Н.Н., Антоюченя Л.М.* Метод ускоренных испытаний зубчатых передач приводных механизмов для испытательных модулей, работающих в условиях космоса // *Материалы Первого Белорусского конгресса.* – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2003. – С.38-40.

Поступила в редакцию 24.04.2013

УДК 621.833

Повышение информативности вибрационных спектров при экспериментальных исследованиях ресурсов работоспособности зубчатых приводных механизмов машин / *О.В. Берестнев, Я.О. Берестнев* // *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу.* – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – №41(1014). – С.19-22. – Бібліогр.: 3 назв.

Показано високу ефективність обкатних випробувань для підвищення та порівняльної оцінки якості виготовлення, прогнозування ресурсів працездатності зубчастих приводних механізмів за даними діагностичного вібраційного моніторингу.

Ключові слова: вібраційний спектр, зубчастий приводний механізм.

High efficiency tests for raise and a comparative estimation of a workmanship, forecasting of resources of working capacity of gear drive mechanisms according to diagnostic vibrating monitoring is shown.

Keywords: vibrating spectrum, gear drive mechanism.