

УДК 620.004.5

Лалин В.В.

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Драган А.В.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ И СПОСОБОВ ДИАГНОСТИКИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Введение. Проблемы обеспечения качества и конкурентоспособности машиностроительной продукции, использующей механические зубчатые приводы, были и остаются ключевыми для большинства отечественных производственных предприятий. Это объясняется постоянным повышением производительности и снижением металлоемкости, что накладывает дополнительные требования к зубчатым передачам. Кроме того, особенности геометрии зубчатого зацепления, погрешности изготовления и монтажа зубчатых колес, а также объективные закономерности процесса пересопряжения зубьев, связанные с возникновением параметрических составляющих погрешностей зубьев - далеко не полный перечень наиболее значимых причин, вызывающих рост динамических нагрузок и ухудшение эксплуатационных характеристик механизмов в целом.

Достоверно установлено, что показатели надежности и долговечности зубчатых приводов достаточно тесно коррелируются с параметрами акустического шума и вибрации, которые фиксируются при их работе. Поэтому указанные параметры являются важными источниками информации о техническом состоянии зубчатых передач и находят в мировой практике широкое применение при контрольных и диагностических работах, которые обоснованно признаны одним из приоритетных направлений современного машиностроения.

Средства обработки виброакустических сигналов. Многообразие решаемых задач экспериментального исследования шума и вибраций привело к созданию большого числа самых различных средств обработки виброакустических сигналов. В последние годы на рынке стран СНГ появились портативные виброметры, виброанализаторы и сборщики виброинформации, разработанные и выпускаемые зарубежными и российскими фирмами. Это, как правило, устройства, построенные на принципе преобразования аналоговых сигналов в цифровую форму с выводом их среднего квадратического значения на жидкокристаллический экран, либо помещающие массив числовых данных в память устройства для последующей обработки на ЭВМ. Встроенное программное обеспечение содержит обычно блок быстрого преобразования Фурье, позволяющий получить спектр исходного процесса [1].

Например, как заявлено разработчиками, прибор Vibro IC фирмы «Шенк» (Schenck) - первая «интеллектуальная» система мониторинга машин [1]. Микропроцессорная система может использоваться так же, как и обычные системы вибрационного мониторинга и может выполнять мониторинг температуры, давления, потока, скорости и дисбаланса. Один Vibro-IC модуль может обрабатывать 8 каналов вибрации, 8 каналов температуры, 4 канала скорости и 5 цифровых каналов. Vibro-IC может включать несколько программных модулей фирмы «Шенк», выбираемых заказчиком. В комбинации с различными вариантами программного обеспечения система приобретает мощные способности мониторинга и анализа, которые включают архивирование, визуализацию, построение трендов и сигналы тревоги.

Система Vibrocontrol 1100 может одновременно вести мониторинг вибрации и состояния подшипников узлов зубчатых передач. Микропроцессорный блок мониторинга оборудован шестью регулируемыми пределами тревоги, которые могут быть предварительно запрограммированы и сконфигурированы со звуковыми, визуальными и электронными сигналами в случае ухудшения состояния узла.

Приборы Vibrotest серии 60 являются мощными карманными модулями, которые могут использоваться как автономные анализаторы или объединяться с программным

обеспечением Шенк с возможностью полного машинного контроля [1].

Фирма SKF Condition Monitoring предлагает полный диапазон карманных, переносных и стационарных систем мониторинга, анализа и диагностики вибрации, работающих с программным обеспечением PRISM 4 и Machine Analyst под Windows.

Прибор Microlog CMVA 60 является представителем линии портативных сборщиков данных - анализаторов фирмы SKF. Этот инструмент не только собирает вибрационные данные, но и имеет встроенную логику для облегчения обнаружения, анализа и коррекции проблем машины и модуль частотного анализа, который автоматически перекрывает не только частоты дефектов подшипников в собранных спектрах, но и другие частоты дефектов, включая дисбаланс, несоосность. Для обнаружения дефектов подшипников и зубчатых зацеплений система содержит демодулятор с четырьмя полосовыми фильтрами.

Инструмент Vibration Pen plus (SKF) размером с ручку предназначен для измерения вибрации по стандартам ISO и идентификации проблем подшипников, зубчатых передач и других механизмов [1].

Американская фирма Predict предлагает собственную систему вибромониторинга. Система включает в себя сборщик данных Watchman 8603 с трехкомпонентным датчиком вибраций и зарядным устройством, программное обеспечение AdvancedALERT или ExpertALERT, которое может работать на любом компьютере, совместимом с IBM PC.

Из российских приборов подобного типа стоит назвать универсальный портативный микропроцессорный виброанализатор модели «Кварц» [1], выпускаемый фирмой «Диамех», предназначенный для сбора данных и выявления причин повышенных вибраций роторов турбин, с программным обеспечением для ЭВМ. Также стоит упомянуть приборно-диагностический комплекс «Антее», разработанный во ВНИИГАЗ и вибрационные экспертные системы «Паллада» и «Аврора», выпускаемые фирмой «Вибро-Центр», предназначенные для контроля и диагностики компрессоров и турбин.

Следует отметить средства измерения и анализа сигналов российского АО ВАСТ выполняемые в двух видах: в виде отдельных приборов, сборщиков данных - анализаторов (рис. 1); в виде плат для персонального компьютера, которые позволяют создавать портативные комплексы (рис. 2). Их общая особенность - расширенные возможности анализа высокочастотных составляющих вибрации, так как, по мнению разработчиков этих комплексов, именно свойства высокочастотной вибрации дают максимальную диагностическую информацию о состоянии контролируемого узла [2].

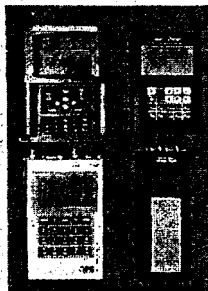


Рис. 1. Некоторые из приборов, с которыми работают программы, разработанные ВАСТом совместно с VibroTek, Inc. [3] (слева-направо и сверху-вниз): DI-1100 Сборщик данных - Diagnostic Instruments, Inc., Великобритания, СД-11 Сборщик данных - АО ВАСТ, Россия, DC-11 Сборщик данных - DPL Group, Канада, 2526 Сборщик данных - Bruel and Kjaer, Дания

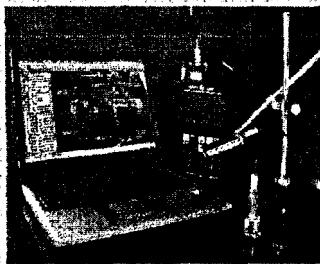


Рис. 2. Портативный комплекс для контроля и прогноза технического состояния вращающегося оборудования по вибрации ВЕКТОР-2000, созданный на основе виброанализатора СД-12М [4]

Особенностью сборщиков данных СД-11 и СД-12М является также их модульное построение с выносным устройством согласования с датчиками, что позволяет подсоединять к ним одновременно до 10 датчиков разных физических величин, переводя сборщики данных, при необходимости, в режим стационарной системы мониторинга (рис. 3).

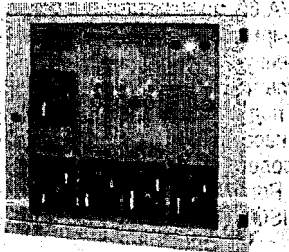


Рис. 3. Стационарный комплекс виброконтроля KBK-21 [4]

К этому же классу приборов относится и анализатор диагностический портативный АДП-3101 производства фирмы «Инкотес» (г. Нижний Новгород), имеющий 4 виброизмерительных канала, 2 канала ввода параметрических данных, вход для оптических и индукционных датчиков частоты вращения, а также USB шину для работы в компьютерной сети.

Следует отметить, что российские приборы и программное обеспечение, как правило, имеют достаточно узкую специализацию (диагностика подшипниковых узлов компрессоров, турбин, механических приводов) и ориентированы на промышленную диагностику. В исследовательских целях их применение затруднено наличием жестких алгоритмов которые исключают возможность изменения программной конфигурации вычислительных средств для решения новых задач анализа и управления экспериментом [1].

В ходе анализа установлено, что практически все аппаратно-программные средства позволяют производить качественное измерение виброакустического сигнала по нескольким каналам, обеспечивая при этом значения динамического диапазона от 65 до 100 дБ, частотного – до 65000Гц. Функции анализатора сигнала рассмотренных образцов способны охватить такие возможности, как спектральный и кепстральный анализ, синхронный анализ сигналов, анализ амплитудных и фазовых модуляций, статистический анализ сигналов. При этом полный набор данных функций не реализован ни на одном из перечисленных аппаратно-программных комплексов. Кроме того, обоснованная необходимость использования для диагностики механических приводов такого информативного метода, как время-частотный анализ (ВЧА), не нашла применения ни на одном из образцов. Проведение ВЧА является чаще всего некоторой опциональной возможностью некоторых программных средств [5].

Комплексные методы и средства виброакустического контроля. В гамме зубообрабатывающего оборудования ведущих производителей машиностроительной продукции прочное место в последние годы занимают контрольно-измерительные автоматизированные центры, использующие комплексные методы и средства виброакустического контроля, например, в ряде продукции фирмы Klingelberg [5].

Концепция данного типа оборудования (например, Klingelberg Oerlikon T 60) предполагает в конструкции механической части станка электропривод с бесступенчатым регулированием частот вращения в пределах 10-3000 об/мин, регулирование нагрузки на выходном валу от 0 до 200 Нм, регулирование межцентрового расстояния в широком диапазоне, крепление и базирование контролируемых зубчатых колес на специальных

оправках, оснащение современными высокоточными преобразователями параметров угловых вибраций, угловых перемещений валов, шума.

О возможностях Klingelberg Oerlikon T 60 говорит ряд контролируемых на нём параметров: ошибка свободного вращения шестерни и колеса; проверка положения, формы и размеров пятна контакта; проверка кинематических параметров в однопрофильном зацеплении; анализ механического шума путем измерения на шестерне и колесе; определение монтажного расстояния; измерения при разгоне для определения оптимальных параметров и условий тестирования; автоматическое протоколирование; автоматическое нанесение красящего вещества и т.д.

На территории СНГ контрольно-обкатные станки представлены лишь ограниченным числом моделей (СЗ-14, 5А725, 5А726, 5А727). Станки предназначены для контроля обкатки зубчатых пар различного вида. При контроле зубчатых пар определяется величина и расположение пятна контакта, величина бокового зазора в паре и уровень шума, создаваемого контролируемой парой [5].

Однако в гамме продукции отечественных производителей станков данный вид продукции отсутствует.

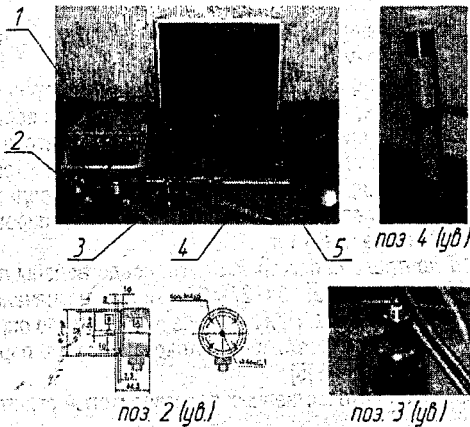
Средства диагностики и направления исследований в Республике Беларусь. Мировые тенденции развития данного научного направления, наличие развитого машиностроения обусловили необходимость подобных исследований и в Республике Беларусь.

Так, в Белорусском университете информатики и радиоэлектроники разработан модуль цифровой обработки сигналов AT-DSP-001, представляющий собой электронную плату для компьютера и предназначенную для обработки данных по алгоритмам цифровой фильтрации и быстрого преобразования Фурье. Там же разработан «Многофункциональный контрольно-диагностический комплекс непрерывного вибрационного контроля турбоагрегатов», который представляет собой трехканальный виброметр, сигнализирующий о превышении некоторого предельного уровня вибраций на подшипниковом узле.

В ИМИНМАШ НАН Беларуси созданы и совершенствуются микропроцессорные диагностические комплексы «Вибротест-2000» и «ВАТСОН», обладающие рядом достоинств по сравнению с рассмотренными выше системами. Разработки подобного типа имеются также в Институте технической кибернетики, Институте электроники НАН Беларуси [1].

Благодаря тесному сотрудничеству специалистов Брестского государственного технического университета (БрГТУ) и Белорусского государственного университета (БГУ) в области получения и обработки измерительной информации создано современное комплексное аппаратно-программное оснащение для исследования и диагностики механических систем (см. рис. 4) [6, 7].

Комплекс представляет собой компактный измерительный модуль - многоканальный регистратор и анализатор сигналов, позволяющий производить качественное измерение, преобразование, хранение, анализ данных о параметрах вибрации, шума, угловых перемещений и упругих деформаций механических систем. Измерительный модуль выполнен на современной элементной базе и работает под управлением компьютера, связь с которым осуществляется посредством интерфейса USB 2.0. Учитывая технический уровень современных компьютеров, система способна осуществлять значительный объем вычислительных действий, что позволяет одновременно производить измерение, обработку и отображение в нужном виде данных одновременно по 8 каналам. Глубина анализа получаемых сигналов при использовании комплекса определяется сложностью потенциальных задач при использовании системы. При этом ее функциональные возможности определяются не только совершенством аппаратной части, но и новыми оригинальными алгоритмами обработки измерительной информации с использованием легко адаптируемого к новым измерительным задачам программного обеспечения [7].



1- аппаратный блок; 2 - преобразователь угловых перемещений ЛИР - 158Б.000ПС1;
 3 - виброакселерометр AP98-100-1; 4 - микрофон с капсулем M101; 5 - ПЭВМ
 Рис.4. Аппаратно-программный комплекс для исследования и диагностики механических приводов

Проведенные в ходе апробации комплекса [5, 6, 7, 8] экспериментальные исследования показали, что помимо качественной реализации стандартных, регламентированных нормами ГОСТ или ISO функций измерения и анализа измерительных данных, делающих систему высокоэффективным метрологическим инструментом, в ней также предусмотрен ряд оригинальных, новых функций для использования ее в целом ряде случаев в качестве уникального средства исследований и диагностики механических систем. К последним относятся: алгоритмы преобразования сигналов, позволяющие осуществлять трехмерное представление процессов в виде время-частотных характеристик, существенно повышающих информативность контроля и диагностики на нестационарных режимах работы передач по сравнению с широко используемым в подобных системах преобразованием Фурье; алгоритмы синхронных измерений и преобразований сигналов, позволяющие извлекать из общего сигнала составляющие колебательного процесса, генерируемые отдельными элементами привода; новые алгоритмы обработки колебательных процессов; фиксируемых с тензометрических датчиков и некоторые другие, обуславливающие широкие области практического применения комплекса.

Заключение. Проведенный краткий анализ подтверждает большую перспективность развития средств и способов контроля зубчатых передач. Можно констатировать следующие основные направления исследовательских и конструкторских работ: построение средств обработки информации на базе микропроцессоров или портативных ПЭВМ; агрегатирование и миниатюризация вибродиагностической аппаратуры; создание требуемого программного обеспечения; разработка методик диагностирования механических систем.

Из перечисленных направлений применительно к исследуемым зубчатым передачам первоочередными являются: создание методического и программного обеспечения для получения новых высокоинформативных представлений данных о виброакустических параметрах и внедрение их в состав функций разрабатываемых комплексов, что позволит достигнуть существенных преимуществ по сравнению с известными диагностическими приборами и повысить достоверность инструментальной оценки механических приводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые методы экспериментального определения критериальных параметров динамических систем приводных механизмов: Монография / Я.О. Берестнев, Н.Н. Ишин. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 117с.
2. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. – СПб.: Изд. Центр СПбГМУ, 2000. – 169 с.
3. Барков А.В., Баркова Н.А. Интеллектуальные системы мониторинга и диагностики машин по вибрации. - <http://www.vibrotek.com/russian/bio/anb.htm>
4. <http://www.vibrotek.ru>
5. Выявление взаимосвязей показателей качества зубчатых колес и возникающих при их работе явлений для установления критериев оценки технического состояния и технических требований к системам сбора и обработки информации при проведении контроля. Отчет о научно-исследовательской работе (Промежуточный) / БрГТУ / Драган А.В. / № ГБ 06/615 / № госрегистрации 20062631. – Брест, 2006. – 43 с.
6. Драган А. В. Диагностика технического состояния прямозубых зубчатых передач с использованием современных средств кинематического контроля: Дис....канд. техн. наук 05.02.02/ИНДМАШ НАН Беларуси. – Минск, 2000. – 145 с.
7. Драган А.В., Стецко И.П., Ромашко Д.А., Левкович Н.В. Новые аппаратно-программные средства для исследования и диагностики механических систем // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2006. - №4. – С. 17-26.
8. Alexander V.Dragan, Andrew S. Scorohodov, Vera S. Alexandrova Kinematic Criteria of Smoothness of Work of Cylindrical Gear Wheels // Proceedings of the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science, Tianjin university, 1-4 april 2004 / Edited by Tian Huang. – Tianjin (China), 2004. – Vol. 2. – P. 773-776.

УДК 519.714.7

Сковородкин С.В.

Научный руководитель: Тузик И.В.

ЗАДАЧА О НАХОЖДЕНИИ МИНИМАЛЬНОЙ БИНАРНОЙ ДИАГРАММЫ РЕШЕНИЙ

В программировании один из этапов разработки программы – это её тестирование. Для составления тестовых вариантов, позволяющих протестировать работу программы, используется потоковый граф. Потоковый граф (см.[2]) представляет собой структуру, аналогичную блок-схеме, однако принципиально отличается от блок-схем представлением условий.

Потоковый граф обладает рядом особенностей:

- С помощью потокового графа можно проверить все варианты работы программы.
- Потоковый граф состоит из операторных и предикатных узлов. Из предикатных узлов выходит две дуги, а из операторных одна дуга. Ряд подряд идущих линейных операторов заключается в один операторный узел, а условия заключаются в предикатные узлы, при этом каждый из таких узлов содержит только одно простое условие.
- Предикатные узлы соответствуют простым условиям в программе. Сложное условие необходимо разбить на ряд простых условий. В случае разбиения сложного условия на простые возникает структура, состоящая из ряда предикатных узлов. Эта структура представляется в виде бинарной диаграммы решений (БДР).

Такая структура будет являться правильной, но не оптимальной, так как в большинстве случаев её можно будет минимизировать.

Пример представления сложного условия в виде предикатных узлов: имеем сложное условие вида «А или В»: