

**МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ
ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС РЕДУКТОРНЫХ СИСТЕМ**

© 2016 А.И. Данилин, В.В. Неверов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Статья поступила в редакцию 15.11.2016

Рассмотрены применяемые в настоящее время способы оценки рабочего состояния зубчатых колес, приведены их недостатки. Предложен бесконтактный эксплуатационный способ контроля, основанный на обработке СВЧ сигнала, отраженного от контролируемых зубцов колеса. Объяснена актуальность разрабатываемого бесконтактного метода контроля. Описано влияние видов износа зубцов на характерные информационные параметры способа. Приведена структурная схема устройства для контроля информационных параметров, описаны ее основные узлы. *Ключевые слова:* бесконтактный контроль, энергонагруженные редукторные системы, зубчатые колеса, СВЧ сигнал, диагностика рабочего состояния, волноводный преобразователь.

В настоящее время диагностика дефектов, износа и целостности зубчатых колес происходит, в основном, в статическом состоянии. Поэтому проблема контроля и мониторинга технического состояния зубчатых колес во время их эксплуатации, в динамическом режиме, сейчас весьма актуальна. Своевременное оперативное определение рабочего состояния редуктора без его глубокого препарирования позволит исключить критический износ механизма в целом и сократит количество необходимых остановок механизма для проведения диагностики.

В настоящее время применяются следующие методы контроля состояния зубчатого колеса: вихретоковая диагностика, штангензубомеры, эвольвентомеры, биениемеры, вибродиагностика. Известные методы не отвечают современным требованиям бесконтактной эксплуатационной диагностики энергонагруженных редукторных систем. Основными недостатками диагностики в статическом состоянии контактными и бесконтактными методами является невозможность постоянного мониторинга рабочего состояния зубчатого колеса в реальном времени и трудоемкость процесса диагностики, т.е. необходимость препарирования механизма. Существующие же методы диагностики зубчатых передач в динамическом эксплуатационном режиме (например, вибродиагностика) позволяют судить о его рабочем состоянии по косвенным признакам, что не дает удовлетворительных метрологических характеристик и позволяет давать интегральную оценку состояния редуктора в целом, т.е. не позволяет идентифицировать область износа конкретного зубца и дать его количественную оценку.

Данилин Александр Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры радиотехники. E-mail: aidan@ssau.ru
Неверов Владислав Викторович, аспирант.
E-mail: vlad.uralsk@gmail.com

В статье предлагается бесконтактный способ контроля, основанный на обработке, отраженного от зубцов колеса зондирующего электрического СВЧ сигнала, в реальном времени путем его сравнения с параметрами эталонных сигналов, полученных аналогичным образом в начале эксплуатации колеса. Параметры зондирующего сигнала определяются геометрическими размерами зубцов и технологической конфигурацией зоны контроля. Основным критерием при этом служит получение необходимой точности диагностики состояния зубца.

Выделяются следующие варианты разрушения зубьев: поломка зубьев, выкрашивание зубьев, повреждения торцов зубьев, абразивный износ, появление дефектов в виде трещин, отслаивание или глубинное контактное разрушение материала [1, 2]. В процессе диагностики из преобразованного в электрический сигнал отраженного зондирующего потока выделяется несколько информационных параметров. Из всех вышеуказанных видов разрушений с помощью предлагаемого способа нельзя диагностировать только появление трещин зубцов, если они расположены не на исследуемой поверхности, т.е. глубинное контактное разрушение материала.

Результаты экспериментальных исследований показали, что принятый отраженный сигнал после детектирования имеет форму колоколообразного импульса. Информационные параметры, выделяемые из сигнала, на основании которых происходит оценка степени износа зубчатого колеса следующие: амплитуда сигнала, коэффициент корреляции сигнала, нормированная длительность фронтов сигнала, скорости нарастания фронтов, нормированная длительность сигнала, отсутствие сигнала.

Каждый из видов износа оказывает влияние на определенный информационный параметр, выделяемый из отраженного потока. Так от-

сутствие сигнала указывает на поломку зуба. Выкрашивание зубьев влияет на следующие информационные параметры:

- амплитуда сигнала;
- скорости нарастания фронтов;
- коэффициент корреляции;
- нормированная длительность сигнала.

Абразивный износ зубьев предопределяет такие информационные параметры как:

- коэффициент корреляции;
- нормированная длительность сигнала;
- амплитуда сигнала;
- нормированная длительность фронтов сигнала;
- скорости нарастания фронтов сигнала.

Таким образом, каждый из видов износа зубцов контролируемого колеса влияет на несколько измеряемых информационных параметров.

Суть метода измерения заключается в том, что износ зубца изменяет его геометрические параметры, которые в свою очередь влияют на ту часть, отраженного от исследуемого объекта зондирующего СВЧ сигнала, который попадет на приемно-передающий торец волновода. Изменяющиеся в процессе износа геометрические параметры исследуемого объекта влияют также и на форму информационного сигнала, выделяемого из отраженного зондирующего потока, принятого волноводным датчиком.

Структурная схема устройства для измерения информационных параметров изображена на рис. 1.

СВЧ сигнал формируется в генераторе. Затем поступает в циркулятор по коаксиальной линии передачи. После циркулятора сигнал попадает в конструктивный элемент первичного преобразователя, выполненный в виде круглого волновода. Поток излучения с приемно-передающего торца

волноводного преобразователя направляется на рабочую поверхность контролируемого зубчатого колеса. Отраженная волна частично попадает на приемно-передающий торец волноводного преобразователя и через циркулятор по коаксиальной линии передачи направляется в амплитудный детектор. С помощью детектора выделяется огибающая информационного полезного сигнала, которая затем усиливается и подается на АЦП. Оцифрованный сигнал в микроконтроллере сравнивается с эталонным сигналом, записанным в начале эксплуатации зубчатого колеса.

Волноводный преобразователь представляет собой круглый волновод, в котором возбуждается волна типа E_{01} . Структура поля волны данного типа, внутри круглого волновода, позволяет избежать точной настройки положения излучателя. Внутри круглый волновод заполняется кварцевым стеклом, что позволяет уменьшить габариты волновода, а так же предотвратить засорение внутреннего объема волновода. Использование электромагнитного излучения СВЧ диапазона позволяет избежать от проблемы загрязнения оптически активного окна оптоэлектронных датчиков и увеличивает температурный диапазон работы первичного преобразователя [3].

Генератор СВЧ диапазона выполняется на СВЧ транзисторах или на диодах Ганна. В случае использования диодов Ганна необходимость в амплитудном детекторе отпадает, т.к. в этом случае диод работает в автодином режиме и выполняет функции генератора, приемника и детектора.

Пиковый детектор обеспечивает измерение амплитуды сигнала и участвует в генерации сообщения об отсутствии конкретного зубца. Зафиксированная амплитуда оцифровывается с помощью АЦП и сравнивается с эталонной, записанной в памяти микроконтроллера. Компа-

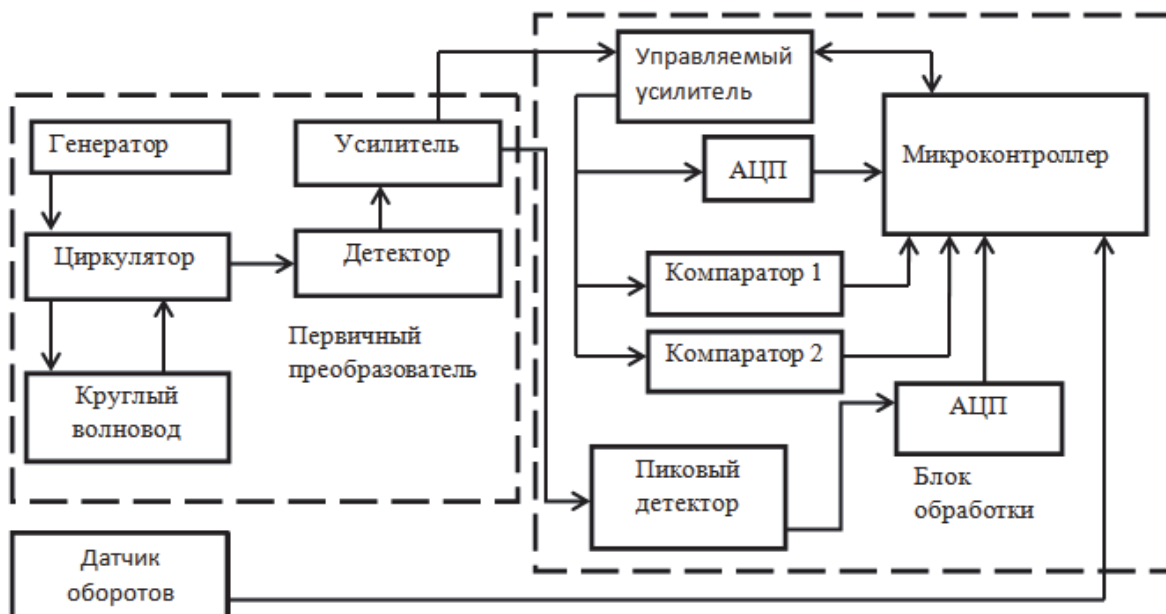


Рис. 1. Структурная схема устройства

раторы выполняют функцию информирования о достижении сигналом определенных пороговых уровней, заданных на основе априорных экспериментальных данных. Далее, полученная информация используется в сравнительном анализе длительности фронтов информационного импульса, его длительности и скорости нарастания фронтов сигнала. Отсутствие информационного сигнала свидетельствует об отсутствии зубца.

Датчик оборотов, установленный в устройстве, позволяет реализовать функцию идентификации номера зубца, измерить период вращения исследуемой шестерни, на основании которого произвести нормировку к периоду длительности сигнала и длительности его фронтов.

Предлагаемый способ оценки рабочего состояния зубчатых колес энергонагруженных редукторных систем позволяет проводить анализ состояния зубчатых колес в эксплуатации в любых динамических режимах. В конечном

итоге, он позволяет более точно оценить их текущее рабочее состояние, уменьшить количество препарирований механизма, сгенерировать сигнал предаварийного состояния редукторной системы и тем самым значительно уменьшить вероятность отказа сложной и ответственной механической системы и обеспечить эксплуатацию зубчатых колес по их реальному техническому состоянию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.И., Ананьев В.М.* Авиационные зубчатые передачи и редукторы. М. Машиностроение, 1981. С. 238.
2. *Андрюенко Л.А., Байков Б.А.* Детали машин. М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2002. С. 259.
3. *Данилин А.И.* Бесконтактные измерения деформационных параметров лопаток в системах контроля и управления турбоагрегатами. Самара: Самарский научный центр РАН, 2008. С. 62.

METHODS OF EVALUATION OF THE WORKING CONDITION OF COGWHEELS OF POWERFUL GEAR SYSTEMS

© 2016 A.I. Danilin, V.V. Neverov

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

Considered the currently applied methods of assessment of operational status of gear wheels, given their shortcomings. Proposed contactless operational control method, based on the processing of microwave signals reflected from controlled teeth of the wheel. Describes the effect of wear of teeth information on the characteristic parameters of the method. The block diagram of the device to control the information parameters, described its main blocks.

Keywords: contactless control, powerful gear systems, cogwheels, microwave signal, diagnostics operating state, waveguide Converter.