

УДК 621.55.01.81,658.58

10.18698/0536-1044-2016-10-64-72

Диагностические признаки в оценке технического состояния машин и механизмов^{*}

В.И. Пронякин

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Diagnostic Features in the Assessment of the Technical Condition of Machines and Mechanisms

V.I. PronyakinBMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

e-mail: vip-u@yandex.ru



Для оценки текущего технического состояния механических и электромеханических систем в настоящее время широко применяются методы, реализуемые на базе статистической информации (статистические, метод Байеса и др.), которые различаются правилами поиска оптимальных решений и привязаны к статистической структуре диагностических данных. На этой базе проводят расширение классификации дефектов и разработку требований к диагностической системе. В диагностике сложных технических объектов преобладает экспертная оценка, которая определяется техническим уровнем специалистов. В статье рассмотрены вопросы получения устойчивых диагностических признаков, необходимых для регистрации деградации механизма и выявления зарождающихся дефектов при функциональной диагностике. Представлены требования к диагностическому признаку с позиции выбора измеряемых физических величин, точности измерения, инвариантности, устойчивости к различным воздействиям и необходимости сохранения характеристик механизма на протяжении жизненного цикла с возможностью сравнения и количественной оценки изменений в нём. Показана возможность использования в фазохронометрическом методе классической теории описания машин и механизмов, разработанной специалистами в конкретной области техники для анализа работы и определения диагностических признаков различных циклических механизмов. Представлены результаты выявления диагностических признаков для оценки работы турбоагрегатов ТЭЦ и металлорежущего оборудования.

Ключевые слова: техническая диагностика, механические и электромеханические системы, диагностический признак, дефект, фазохронометрический метод, циклические механизмы.



At present, to assess the current condition of mechanical and electromechanical systems, it is common to use methods based on statistical information (statistics, Bayesian method, etc.). These methods differ in search rules for optimal solutions and are linked to the statistical structure of the diagnostic data. On this basis, the classification of defects is expanded and design requirements for a diagnostic system are defined. The diagnostics of complex technical objects is dominated by expert assessment, which is determined by the

^{*} Работа поддержана в рамках задания № 2014/104 (Проект № 2088) на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России, а также в рамках НИР по выполнению проектной части государственного задания № 9.1265.2014/К в сфере научной деятельности.

level of technical expertise. The paper deals with the issues of obtaining reliable diagnostic features for registering the degradation of the mechanism and identifying emerging defects through functional diagnostics. The author presents the requirements for diagnostic features from the point of view of selecting measured physical quantities, measurement accuracy, invariance, resistance to various influences, and the need to preserve the mechanism performance throughout the life cycle with the ability to compare and quantify changes in it. The paper shows the possibility of using the classical theory of machines and mechanisms in the phase-chronometric method, developed by specialists in a specific engineering field for the analysis of operation and the determination of diagnostic features of various cyclic mechanisms. The results of determining diagnostic features for the assessment of operation of turbo generators for heat and power plants and metal-cutting machinery are presented.

Keywords: technical diagnostics, mechanical and electromechanical systems, diagnostic feature, defect, phase-chronometric method, cyclic mechanisms.

В настоящее время задачу оценки текущего технического состояния механических и электромеханических систем и прогнозирования их безаварийной работы решают, как правило, на основе большого массива статистической информации и анализа отказов. В диагностике сложных технических объектов (турбоагрегаты (ТА), гидроагрегаты, газотурбинные двигатели (ГТД) и др.) преобладает экспертная оценка, которая определяется техническим уровнем специалистов.

Цель работы — рассмотрение проблем оценки текущего технического состояния механических и электромеханических систем. В статье исследованы вопросы получения устойчивых диагностических признаков (ДП), которые необходимы для регистрации деградации механизма и выявления зарождающихся дефектов при функциональной диагностике.

Для оценки технического состояния механизма используют штатные параметры рабочего цикла и физические эффекты, возникающие в процессе его работы (вибрация, удар, тепловое излучение, электродинамические процессы и др.). При этом кинематические параметры движения элементов устройства, являющиеся результатом рабочих процессов, как правило, в целях диагностики не контролируются. Возможности широко применяемой параметрической диагностики растут за счет увеличения числа контролируемых параметров и потенциала вычислительной техники. Однако проблема оценки медленнопротекающих процессов деградации механизма остается нерешенной. Штатная параметрическая диагностика регистрирует лишь заметные отклонения от нормативных значений в работе машины, свидетельствующие о необходимости профилактики или ремонта.

В настоящее время в технической диагностике широко применяют статистические методы, анализ видов отказов и их последствий с оценкой рисков [1]. На этой базе расширяют классификацию дефектов и разрабатывают требования к диагностической системе. Применяют также техническое обслуживание на основе теории надежности, однако статистическое определение вероятности отказа не гарантирует полной безопасности (например, ГТД в авиации). Сложные и дорогостоящие технические объекты требуют постоянного мониторинга текущего технического состояния и надежной аварийной защиты.

Выбранный способ диагностики определяет контролируемые физические величины, средства измерений и методы математической обработки результатов измерений для их взаимосвязи с конструкцией контролируемых узлов и выявления диагностических признаков. В настоящее время проводят анализ видов отказов и выявление их связи с дефектами устройства. Это длительный процесс, что недопустимо для обеспечения безотказной эксплуатации сложных и дорогостоящих технических объектов. Например, анализ последствий отказов, поломок, техногенных аварий и катастроф мощных ТА, гидравлических, перекачивающих и других агрегатов проводят уже не одно десятилетие, однако решить задачу оценки их текущего технического состояния эффективно не удастся.

В системах технической диагностики принято применять принцип отклонений (принцип Солсбери), а следовательно, использовать характеристики «эталонного изделия». При этом неизбежен разброс параметров вследствие погрешностей изготовления, сборки, регулировки

и влияния внешних воздействий. При высокой точности измерения, необходимой для получения детальной информации, регистрируются вариации параметров, поэтому «эталонные параметры» не могут иметь номинальные значения. В связи с этим появляются диапазоны и алгоритмы, содержащие ряд последовательных характеристик для оценки работы механизма.

В настоящее время интенсивно развиваются различные методы диагностики (нейронные сети, статистический анализ, теория информации, теория распознавания образов, метод Байеса и др.), но они не обеспечивают решения проблемы оценки текущего технического состояния функционирующих машин и механизмов (МиМ). Статистические методы диагностики и метод Байеса, базирующиеся на статистической информации, различаются правилами поиска оптимальных решений и привязаны к статистической структуре диагностических данных [2]. Однако использование этих методов для выявления дефектов не обеспечивает получения индивидуальных количественных характеристик серийного образца изделия для оценки деградации, развития дефектов и прогноза.

Для получения информации о функционировании МиМ необходимо выявить устойчивые ДП, обладающие инвариантностью и помехоустойчивостью к внешним воздействиям, а также определить ДП, сопровождающие функционирование механизма на протяжении жизненного цикла и обеспечивающие получение информации о работе конкретных его узлов. Эффективность ДП связана с контролируемым параметром, его чувствительностью, точностью измерения и инвариантностью, а также с возможностью реализации количественного анализа, использования классических методов математического моделирования механических и электромеханических систем и прогноза.

В диагностике МиМ для получения измерительной информации применяют в основном амплитудный метод. В соответствии с этим определяют контролируемые физические величины, требования к точности измерений и математической обработке. В вибродиагностике МиМ (амплитудный метод) это виброскорость, виброускорение и амплитуда колебаний. Данные параметры содержат информацию о всех взаимодействующих элементах устройства, но чувствительны к внешним воздействиям и изменениям режимов работы. Проблемой являет-

ся получение количественной информации о деградации конкретных частей механизма, а также наличие фона вибрации, свойственного бездефектному изделию, что значительно усложняет выявление зарождающихся дефектов. Применяют также фазовый метод, при котором контролируют характеристики, связанные с рабочим циклом устройства.

Требования к ДП не зависят от метода получения информации, выбора измеряемых параметров и формируются при следующих основных условиях.

Измеряемые физические величины должны зависеть: в максимальной степени от взаимодействия конструктивных элементов и процессов в устройстве; в минимальной степени от внешних воздействий и режимов работы.

Оптимальным является случай, когда ДП обладает инвариантностью и устойчивостью к различным воздействиям в процессе эксплуатации и к изменениям режимов работы. Основные качественные характеристики должны сохраняться на протяжении жизненного цикла механизма, обеспечивая возможность сравнения и количественной оценки изменений в нем. Примером инвариантности является спектр основных частот крутильных колебаний валопровода ТА ТЭЦ [3, 4].

Выбор измеряемой физической величины и точность первичных преобразователей определяют возможность количественной оценки медленнопротекающих процессов, характеризующих деградацию механизма, износ и выявление зарождающихся дефектов. Относительная погрешность виброакустических параметров 0,1...10 % соответствует уровню грубых погрешностей. Измеряемые физические величины должны в максимальной степени не зависеть от внешних воздействий и изменений режимов работы, что необходимо для максимальной повторяемости ДП. Например, измерение интервалов времени, соответствующих продолжительности оборота валопровода ТА ТЭЦ, при регистрации трех выключений генератора ТА из внешней сети, показала повторяемость хронограмм, обеспечивающих анализ данного режима работы (рис. 1) [4].

Между характеристиками ДП, деградацией конструкции изделия и процессами в функционирующем устройстве должна быть обеспечена количественная взаимосвязь. Вследствие проблемы привязки результатов измерений к конструкции механизмов в технической диагности-

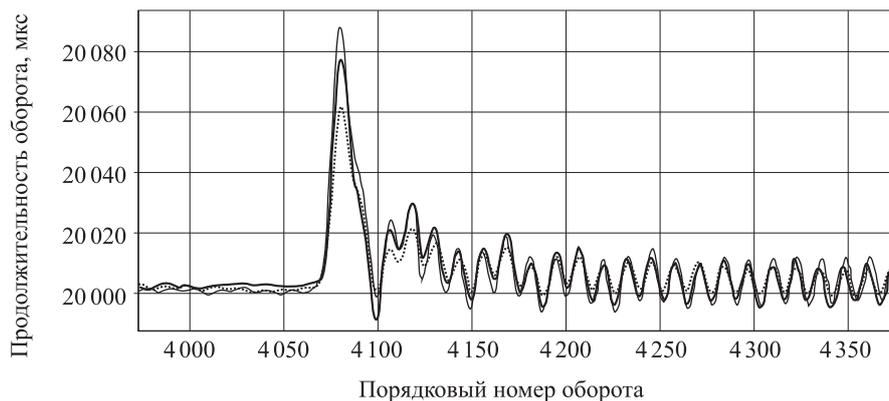


Рис. 1. Хронограммы отключения генератора ТА ТЭЦ от внешней сети

ке преобладает экспертная оценка. При использовании виброакустических параметров основной проблемой является их взаимосвязь (виброскорость и виброускорение) с решением конкретной задачи, например, определением износа зубьев зубчатого колеса в редукторе, количественным износом подшипника и др. Нерешенной задачей для крупногабаритных изделий остается определение источников вибрации.

Выявляемые ДП должны распространяться на серийные изделия без необходимости адаптации к конкретному серийному образцу.

В настоящее время разработаны подходы к определению требований к системам диагностики, но остается нерешенным вопрос определения алгоритма оценки работы устройства, выявления дефектов и прогноза их развития. Для оценки доверительного уровня диагностики предлагается использование статистической информации о работе диагностируемого механизма.

Метрологический уровень результатов измерений должен обеспечивать возможность количественной оценки изменений в механизме в процессе эксплуатации. Измеряемая физическая величина и точность первичных преобразователей должны быть достаточными, чтобы регистрировать малые изменения контролируемого параметра, характеризующие износ, деградацию механизма и зарождающиеся дефекты.

Для расширения возможностей решения изложенных проблем механических и электро-механических систем предлагается фазохронометрический метод диагностики циклических МиМ [5–7], в котором выполняется анализ кинематических параметров движения элементов устройств в сочетании с математическим моделированием на базе классической теории МиМ для выявления ДП дефектов.

При использовании фазохронометрического метода контролируются кинематические параметры рабочего цикла частей устройства, характер взаимодействия которых сохраняется на протяжении его жизненного цикла. Измеряемой физической величиной являются интервалы времени, соответствующие фазам рабочего цикла элементов устройства. Поскольку рабочий цикл остается относительно стабильным при функционировании изделия, имеются условия для получения устойчивых ДП, сохраняющихся на протяжении его жизненного цикла. Для детальности информации и получения количественной оценки изменений в механизме обеспечивается необходимый метрологический уровень (относительная погрешность $5 \cdot 10^{-4} \%$ на промышленной частоте 50 Гц).

Основной особенностью фазохронометрического метода является использование классической теории описания МиМ, разработанной специалистами в конкретной области техники для анализа их работы и определения ДП. Фазохронометрическая информация имеет значительно меньший уровень шумов по сравнению с естественным фоном вибрации МиМ, что позволяет перейти на уровень зарождающихся дефектов. Возможности вычислительной техники позволяют разрабатывать более детальные математические модели для диагностики и проведения вычислительного эксперимента по выявлению ДП. Результатом математического моделирования являются ряды интервалов времени, соответствующие экспериментальным данным, а также возможность моделирования дефектов и разработки их классификации на стадии создания, испытаний и производства МиМ. Высокая точность измерения интервалов времени позволяет разработать методики оценки изменения

свойств материалов и накопления усталости в металле, являющейся следствием трещинообразования, например, используя регистрацию изменения крутильной жесткости вала.

В процессе реализации фазохронометрического метода выполнены работы по созданию измерительно-вычислительного мониторинга ТА ТЭЦ и разработаны фазохронометрические системы диагностики и математические модели в фазохронометрическом представлении для ТА ТВВ-320-2УЗ-Т-250/300-240-2 (далее Т-250). Фазохронометрические системы обеспечили абсолютную погрешность измерения интервалов времени в условиях эксплуатации не более $\pm 1 \cdot 10^{-7}$ с, что соответствует для ТА относительной погрешности $5 \cdot 10^{-4}$ % от номинального периода на промышленной частоте [3, 5, 8].

Для выявления ДП широко используют спектральный анализ. Способы восстановления и интерполяции сигналов спектров Фурье рассмотрены в работе [9]. Параметры спектра кру-

тильных колебаний, полученные обработкой последовательно зарегистрированных интервалов времени, устойчивы, качественно и количественно изменяются в процессе эксплуатации и поэтому пригодны для выявления ДП.

В 1995 г. по результатам последовательных измерений интервалов времени, соответствующих продолжительности оборота валопровода, был построен спектр основных собственных частот крутильных колебаний валопровода ТА Т-250 (рис. 2, а) [3], который сохранил основные характеристики до настоящего времени.

Для связи результатов измерений интервалов времени, соответствующих продолжительности оборота валопровода, с конструктивными элементами ТА разработана математическая модель. По результатам моделирования получен спектр основных собственных частот крутильных колебаний валопровода (длина 46 м, масса 130 т, частота вращения $3\ 000 \text{ мин}^{-1}$), приведенный на рис. 2, б.

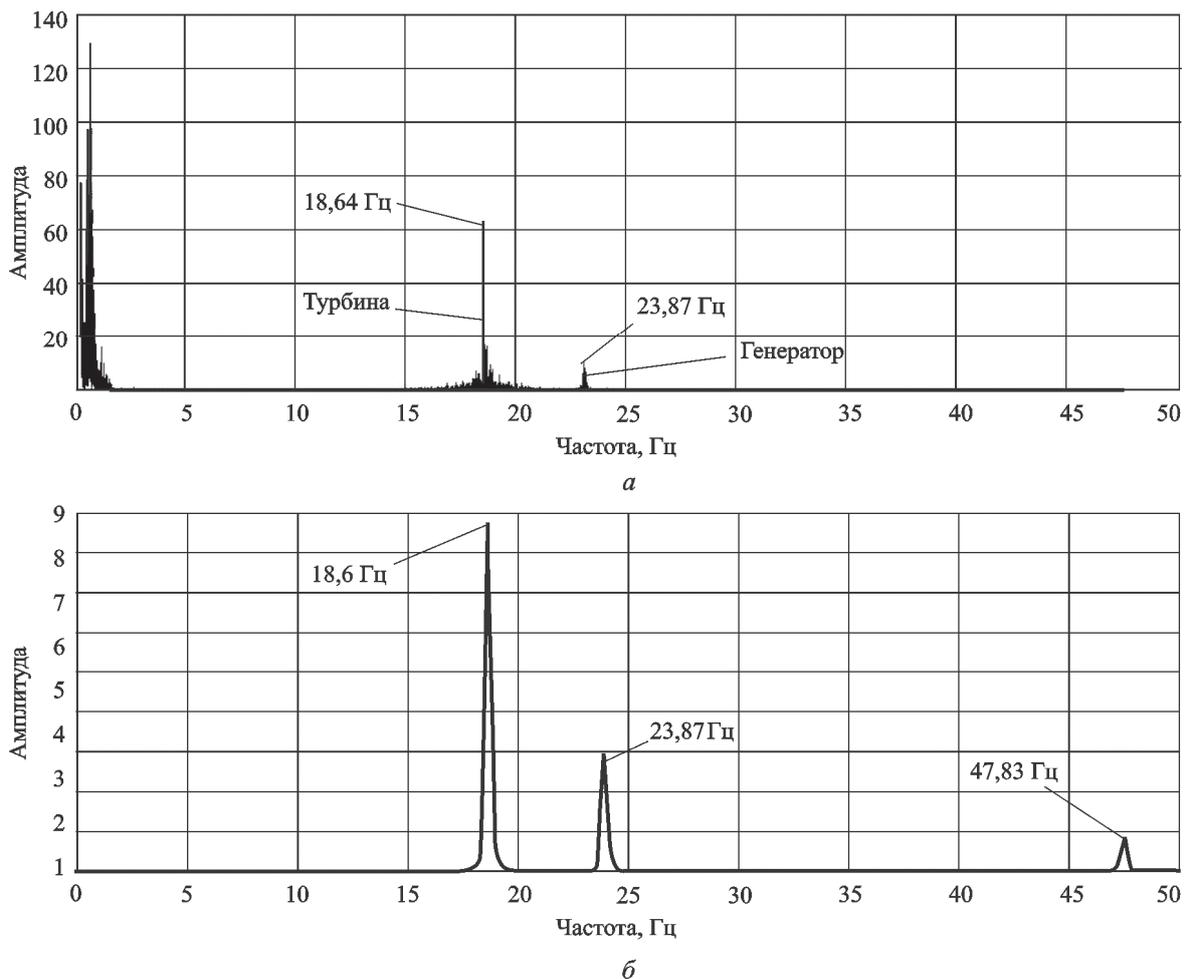


Рис. 2. Спектры основных собственных частот крутильных колебаний валопровода ТА Т-250, полученные по результатам обработки экспериментальных данных (а) и математического моделирования (б)

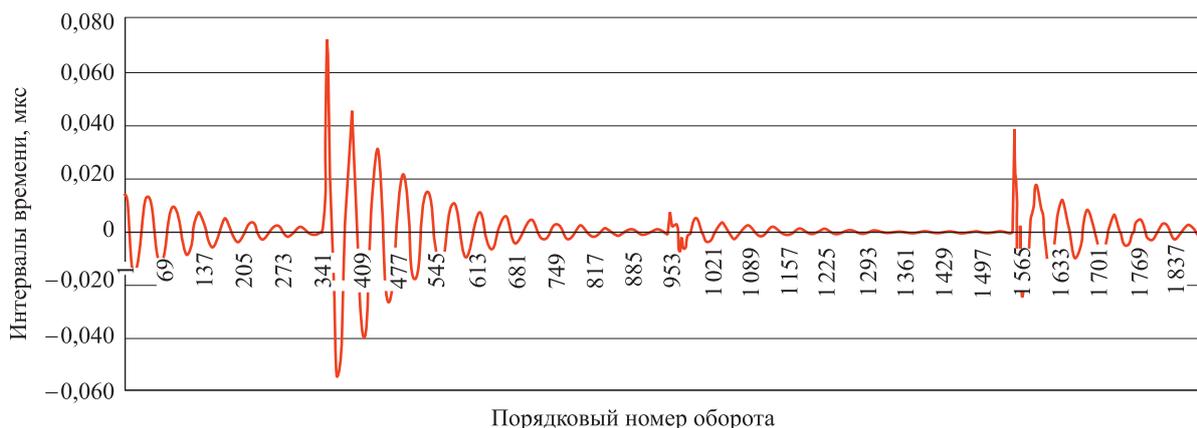
Значения основных собственных частот крутильных колебаний валопровода ТА Т-250, полученные по результатам обработки экспериментальных данных и математического моделирования, представлены ниже:

| | |
|---------------------------------------|-------------|
| Номер собственной частоты 1 | 2 |
| Частота, Гц 18,64/18,60 | 23,20/23,87 |

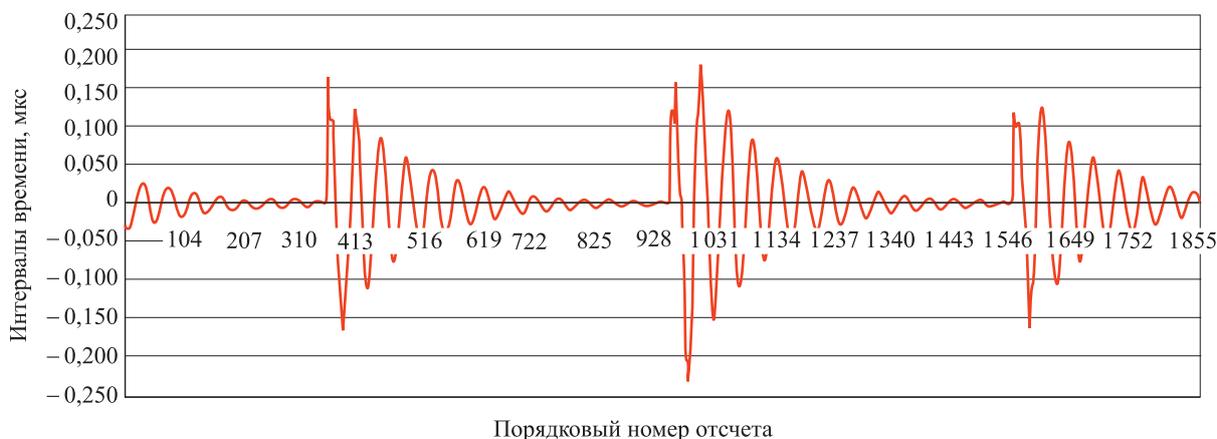
Сравнение расчетных и экспериментальных значений первой и второй собственных частот показывает, что они различаются соответственно на 0,2 и 2,8 %. Это позволяет моделировать дефекты и формировать их классификацию с использованием математических моделей в фазохронометрическом представлении.

Математическая модель ТА Т-250 [10] учитывает связь между электрическими параметрами генератора, геометрическими и физико-механическими характеристиками частей турбины, включая моменты инерции и жесткости соединяемых секций валопровода.

С одной стороны, математическая модель обеспечивает интерпретацию экспериментальных данных и классификацию дефектов на стадиях разработки, испытаний и производства, а с другой — позволяет учесть индивидуальные характеристики системы *турбина — генератор* (массогабаритные, моменты инерции, жесткости, электрические параметры генератора). Это обеспечивает возможность измерительно-вычислительного сопровождения электромеханической системы на протяжении жизненного цикла и определения девиации параметров системы на основе выявленных ДП. В состав математической модели ТА входит описание турбины и генератора, необходимое для описания крутильных колебаний ТА, изгибных колебаний валопровода турбины, параметров электромеханических процессов, которые протекают в генераторе в продольных и поперечных осях, жестко связанных с ротором.



а



б

Рис. 3. Хронограммы, отражающие параметры вращения шпинделя при возникновении трещины, приводящей к уменьшению жесткости пары зубьев на 50 %:
 а — на холостом ходу; б — в процессе обработки детали

Для выполнения работ на ТА ТВВ-220-2-К-200-130 (далее Т-200) (ТА № 9 ГРЭС 1, г. Сургут) в разработанную математическую модель ТА Т-250 (ТА № 5 ТЭЦ-23, г. Москва) были введены исходные данные Т-200 и предварительно определены частоты крутильных колебаний валопровода. В отличие от Т-250 ТА Т-200 имеет один цилиндр среднего давления, при этом они являются изделиями одного типа.

Значения основных собственных частот крутильных колебаний валопровода ТА Т-200, полученные по результатам обработки экспериментальных данных /математического моделирования, представлены ниже:

| | | | |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Номер собственной частоты | 1 | 2 | 3 |
| Частота, Гц | 28,90/26,10 | 38,78/38,93 | 45,98/46,53 |

Сравнение теоретических и экспериментальных результатов показывает, что спектр, рассчитанный предварительно с помощью математической модели ТА Т-250 в фазохронометрическом представлении с исходными данными ТА Т-200, отличается от полученных экспериментальных результатов для основных частот 38,78 и 45,98 Гц соответственно на 0,39 и 1,2 %, что свидетельствует об эффективности фазохронометрического подхода для анализа работы механических и электромеханических систем и выявления ДП.

В процессе внедрения фазохронометрического метода также выполнены работы по диагностике металлорежущего оборудования, в частности, коробки передач токарного станка [11]. Результаты предварительного определения ДП трещины в зубе зубчатого колеса коробки передач токарного станка с помощью математического моделирования приведены на рис. 3. Показаны рассчитанные хронограммы, отра-

жающие параметры вращения шпинделя при проявлении трещины на холостом ходу и в процессе обработки детали. В данном случае моделируется трещина, приводящая к уменьшению жесткости пары зубьев на 50 %.

При развитии трещины проявляются периодические «всплески», которые происходят через равные промежутки времени. Непостоянство их амплитуды объясняется переменным моментом, действующим на привод. Вместе с тем по мере роста трещины амплитуда «всплесков» в среднем увеличивается.

Поскольку данные вариации интервалов времени, соответствующих кинематике движения зубчатого колеса, повторяются и устойчивы в процессе эксплуатации токарного станка, определение ДП данного дефекта в виде расчетного алгоритма не представляет сложности. Моделирование показало, что при наличии нескольких таких дефектов количество характерных изменений хронограммы пропорционально увеличивается.

Выводы

Установлено, что информационно-метрологическое сопровождение жизненного цикла механических и электромеханических систем на базе фазохронометрического метода создает условия для получения устойчивых ДП.

Использование математического моделирования на базе классической теории МиМ в сочетании с достигнутым уровнем метрологического обеспечения позволило реализовать взаимосвязь результатов измерений с конструкцией контролируемых механизмов для решения конкретных задач и перехода на уровень зарождающихся дефектов.

Литература

- [1] ГОСТ Р ИСО 13379–2009. *Контроль состояния и диагностика машин. Руководство по интерпретации данных и методам диагностирования*. Введен 2011–01–01. Москва, Стандартинформ, 2010. 24 с.
- [2] Машошин О.Ф. *Диагностика авиационной техники (информационные основы)*. Москва, Изд-во МГТУГА, 2007. 141 с.
- [3] Киселев М.И., Козлов А.П., Морозов А.Н., Назолин А.Л., Пронякин В.И., Соловьев А.В. Измерение периода вращения валопровода турбоагрегата фотоэлектрическим методом. *Измерительная техника*, 1996, № 12, с. 28–29.
- [4] Киселев М.И., Пронякин В.И. Быстропротекающие переходные режимы функционирования валопровода мощного турбоагрегата. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2011, № 5. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/192225.html> (дата обращения 15 мая 2011).

- [5] Пронякин В.И. Проблемы диагностики циклических машин и механизмов. *Измерительная техника*, 2008, № 10, с. 9–13.
- [6] Пронякин В.И. Фазохронометрия в обеспечении информационно-метрологического сопровождения жизненного цикла машин и механизмов. *Мир измерений*, 2011, № 9, с. 57–61.
- [7] Байков А.И., Киселев М.И., Комшин А.С., Пронякин В.И., Руденко А.Л. Многофакторное информационно-метрологическое сопровождение эксплуатации гидроагрегатов на базе фазохронометрического метода. *Гидротехническое строительство*, 2015, № 2, с. 2–8.
- [8] Киселев М.И., Зройчиков Н.А., Пронякин В.И., Чивилев Я.В. Прецизионное исследование работы турбоагрегата оптико-электронными средствами. *Теплоэнергетика*, 2006, № 11, с. 10–13.
- [9] Айзенберг Л.А., Кравцов Б.А. Вычислительный эксперимент по аналитическому продолжению спектра Фурье одномерных финитных сигналов. Сверхразрешение. *Автоматика*, 1989, № 1, с. 60–64.
- [10] Комшин А.С. Математическое моделирование измерительно-вычислительного контроля электромеханических параметров турбоагрегатов фазохронометрическим методом. *Измерительная техника*, 2013, № 8, с. 12–15.
- [11] Потапов К.Г. *Исследование и разработка метода и средств оценки текущего технического состояния главных приводов токарного оборудования на базе фазохронометрического подхода*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2015. 189 с.

References

- [1] GOST R ISO 13379-1-2015 *Kontrol' sostoianiia i diagnostika mashin. Metody interpretatsii dannykh i diagnostirovaniia. Chast' 1. Obshchee rukovodstvo* [State Standard R ISO 13379-1-2015 Condition monitoring and diagnostics of machines. Data interpretation and diagnostics techniques. Part 1. General guidelines]. Moscow, Standartinform publ., 2015. 34 p.
- [2] Mashoshin O.F. *Diagnostika aviatsionnoi tekhniki (informatsionnye osnovy)* [Diagnosis of aviation technology (information framework)]. Moscow, MGTUGA publ., 2007. 141 p.
- [3] Kiselev M.I., Kozlov A.P., Morozov A.N., Nazolin A.L., Proniakin V.I., Solov'ev A.V. Izmerenie perioda vrashcheniia valoprovoda turboagregata fotoelektricheskim metodom [Measuring the rotation period shafting turbine unit photoelectrically]. *Izmeritel'naia tekhnika* [Measurement Techniques]. 1996, no. 12, pp. 28–29.
- [4] Kiselev M.I., Proniakin V.I. Bystroprotekaiushchie perekhodnye rezhimy funktsionirovaniia valoprovoda moshchnogo turboagregata [Quickly proceeding transitive modes of functioning turbine drive shaft of the powerful turbine unit]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education. Bauman MSTU]. 2011, no. 5. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/192225.html> (accessed 15 May 2011).
- [5] Pronyakin V.I. Problems in diagnosing cyclic machines and mechanisms. *Measurement Techniques*, 2008, vol. 51, no. 10, pp. 1058–1064.
- [6] Proniakin V.I. Fazokhronometriia v obespechenii informatsionno-metrologicheskogo soprovozhdeniia zhiznennogo tsikla mashin i mekhanizmov [Fazokhronometriya in providing information and metrological support lifecycle machines and mechanisms]. *Mir izmerenii* [Measurement World]. 2011, no. 9, pp. 57–61.
- [7] Baikov A.I., Kiselev M.I., Komshin A.S., Proniakin V.I., Rudenko A.L. Mnogofaktornoe informatsionno-metrologicheskoe soprovozhdenie ekspluatatsii gidroagregatov na baze fazokhronometrskogo metoda [Multivariate information-metrological maintenance of operation of the hydraulic units on the basis of a phase-chronometric method]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic engineering]. 2015, no. 2, pp. 2–8.
- [8] Kiselev M.I., Pronyakin V.I., Chivilev Ya.V., Zroichikov N.A. A precision investigation of turbine unit operation using optic-electronic instruments. *Thermal Engineering*, 2006, vol. 53, no. 11, pp. 868–872.
- [9] Aizenberg L.A., Kravtsov B.A. Vychislitel'nyi eksperiment po analiticheskomu prodolzheniiu spektra Fur'e odnomernykh finitnykh signalov. Sverkhrazreshenie [Computing experiment on analytic continuation of the Fourier spectrum of one-dimensional finite signals. Super-

- resolution]. *Avtometriia* [Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing]. 1989, no. 1, pp. 60–64.
- [10] Komshin A.S. Mathematical modelling of measurement-computational monitoring of the electromechanical parameters of turbine units by a phase-chronometric method. *Measurement Techniques*, 2013, vol. 56, no. 8, pp. 850–855.
- [11] Potapov K.G. *Issledovanie i razrabotka metoda i sredstv otsenki tekushchego tekhnicheskogo sostoianiia glavnykh privodov tokarnogo oborudovaniia na baze fazokhronometricheskogo podkhoda*. Diss. kand. tekhn. nauk [Research and development of methods and tools to assess the current condition of the main drives of the turning equipment on the basis of the phase chronometric approach. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2015. 189 p.

Статья поступила в редакцию 23.06.2016

Информация об авторе

ПРОНЯКИН Владимир Ильич (Москва) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Метрология и взаимозаменяемость». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: vip-u@yandex.ru).

Information about the author

PRONYAKIN Vladimir Ilyich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of Department of Metrology and Interchangeability. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: vip-u@yandex.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышла в свет монография
М.М. Жилейкина

«Теоретические основы повышения показателей устойчивости и управляемости колесных машин на базе методов нечеткой логики»

Управляемость и устойчивость автомобиля являются важнейшими эксплуатационными свойствами и составляющими активной безопасности движения, оценке которых придается большое значение. Представлены результаты теоретических исследований, выполненных на кафедре «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Разработаны принципы повышения показателей устойчивости и управляемости как двухосных, так и многоосных колесных машин, оснащенных различными типами трансмиссий. Обоснованы принципиальные решения по способам управления движением машин, обеспечивающих повышение их курсовой и траекторной устойчивости. Предложены критерии оценки эффективности работы комплексной системы динамической стабилизации движения колесных машин. Разработаны алгоритмы работы системы динамической стабилизации с применением методов нечеткой логики для двухосных и многоосных колесных машин.

Для аспирантов и докторантов, обучающихся по научной специальности 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины», а также для научных работников, занимающихся научными исследованиями в области теории движения колесных машин.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru