

**ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О РАБОТЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ****В.И. Пронякин (МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

Рассмотрены вопросы получения информации о функционировании механических и электромеханических систем на базе измерительной информации и способах ее обработки. Указаны проблемы традиционных амплитудных методов оценки текущего технического состояния циклических машин и механизмов. Представлены возможности фазового подхода к технической диагностике.

Ключевые слова: циклические машины и механизмы, автоматизация, первичная измерительная информация, оценка технического состояния фазовый метод, прецизионная хронометрия.

В условиях автоматизации производственных процессов первостепенны безотказная работа оборудования и снижение затрат на его обслуживание. Важную роль при этом играет достоверная первичная информация о работе машин и механизмов и оценка текущего технического состояния оборудования и изделий в эксплуатации. К данной информации, прежде всего, относятся результаты измерений функциональных параметров оборудования и их обработка математическими методами. Одним из направлений, где важна достоверная первичная информация, является оценка текущего технического состояния различных устройств циклического действия [1].

Проблемы получения достоверной первичной информации о работе машин и механизмов

В настоящее время, не смотря на все успехи в области предиктивной аналитики, функционирующие машины и механизмы отказывают, ломаются и взрываются. Это связано с недостаточными знаниями, отсутствием методов и средств для оценки медленно протекающих процессов (деградации), связанных с износом и накоплением усталости в металле устройств, а также регистрации быстропротекающих процессов для обеспечения аварийной защиты. При этом традиционные подходы и применяемые в основном амплитудные методы измерения не обеспечивают в полной мере получение необходимой информации при испытаниях, производстве и эксплуатации машин и механизмов.

Основные недостатки сбора информации о функционировании циклических устройств (механические и электромеханические системы) с помощью традиционных, как правило, амплитудных методов связаны с получением устойчивых характеристик (диагностических признаков) при эксплуатации из-

делия с возможностью регистрации медленно протекающей деградации и выявления зарождающихся дефектов. Для этого необходимо выявление устойчивых во времени характеристик, сопровождающих устройство в процессе жизненного цикла (испытания и эксплуатация), обеспечивающих количественный анализ и сравнение изменений в механизме.

Наиболее сложной задачей в настоящее время является интерпретация результатов измерений и их обработки, которые должны обеспечить:

- сопровождение изменений в процессе эксплуатации устройства для оценки текущего технического состояния и выявления зарождающихся дефектов;
- анализ работы элементов конструкции;
- сравнение вариантов конструкции;
- оценку остаточного ресурса;
- прогноз безаварийной работы и др.

То есть нерешенной проблемой является надежная взаимосвязь результатов измерений и их обработки с конструкцией анализируемого циклического механизма для решения конкретных задач при отработке конструкции и сопровождении его в эксплуатации.

Современное состояние оценки текущего технического состояния машин и механизмов также отражают нормативные международные и отечественные документы. В международных стандартах ISO описаны статистические методы обработки данных, предельные пороги, спектры, экспертная оценка, анализ видов отказов и их последствий с оценкой рисков. В комплексе нормативных международных документов и стандартах¹, применяемых в России, рекомендуется выполнение параметрической диагностики по контролируемым параметрам (например, вибрации, температуре, расходу рабочей среды, мощности, рабочей скорости, содержанию загрязняющих частиц), связанным со взаимодействием элементов конструкции в усло-

² Речь идет о ГОСТ Р ИСО 13379-2009. «Контроль состояния и диагностика машин. Руководство по интерпретации данных и методам диагностирования»; ГОСТ Р ИСО17359-2015. «Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство»; ГОСТ 30848-2003 (ИСО 13380:2002) «Диагностирование машин по рабочим характеристикам. Общие положения».

виях работы машин [2]. Под параметром, как правило, понимается измерение физической величины и установление пороговых значений. Предлагаются два основных подхода к диагностированию, заключающиеся в поиске неисправности по диагностическим признакам и выявлению причинно-следственных связей, приведших к появлению неисправности. Основными критериями для получения информации являются опыт эксплуатации аналогичных машин или статистический анализ, анализ степени допустимости отклонений от номинальных значений, установленных стандартами или техническими условиями на машины данного вида и результаты анализа технических характеристик машины. То есть основным является предварительный анализ конструкции устройства и отказов в процессе эксплуатации.

В нормативных документах подтверждается, что статистическое определение вероятности отказа не гарантирует полной безопасности, а следовательно, надежной аварийной защиты. В указанных стандартах совершенно правомерно утверждается, что при использовании традиционных подходов нет возможности получить количественную оценку изменений в конструкции машины при эксплуатации. Это подтверждает проблему получения количественной информации о работе машин и механизмов.

Серьезную проблему для применяемых методов представляет определение причин отказов и их последствий. В машинах и механизмах циклического действия повторяемость эффектов в совокупности с трендами образует базу получения информации. Основным является применение принципа Солсбери, то есть определение отклонений от базовых значений изменения параметров и трендов, что свойственно методам, использующим изменение амплитуды измеряемых параметров (амплитудные методы, например, вибродиагностика). Также утверждается, что порядок диагностирования определяется разработчиком оборудования. Однако, как правило, конструкторские бюро и заводы не предоставляют таких методик (примером являются турбоагрегаты, гидроагрегаты, прокатные станы и др.). Как правило, системы диагностики разрабатывают и изготавливают специализированные организации и фирмы. Причиной этого является необходимость специальных знаний.

Недостаточный уровень информации для принятия решения характеризуется для традиционных методов отсутствием количественных оценок и использова-

нием качественных категорий «низкая», «средняя», «высокая» и «достоверная» для ранжирования способности обнаружения дефектов, доверительного уровня диагноза и ожидаемой точности прогноза. В этом случае неизбежно участие эксперта, от квалификации и опыта которого зависит качество оценки, и поэтому исключается возможность автоматизации принятия решений.

Считается, что контролируемые рабочие параметры обладают большей селективностью и уменьшают число гипотез для выводов, но для сложного оборудования число параметров может исчисляться сотнями (например, турбоагрегат). Для оценки правильности функционирования предлагается использовать широкий спектр измеряемых рабочих параметров и выявлять диагностические признаки, контролируя отклонения, позволяющие определить, как правило, грубые дефекты. Однако практика показывает, что отклонения от заданных параметров далеко не всегда говорит о наличии дефектов и приближении отказов. Например, повышение уровня вибрации над естественным для устройства фоном вибрации может быть вызвано изменением режимов работы и условиями эксплуатации.

Сейчас рекомендуется не сохранять первичную измерительную информацию, что свойственно вибродиагностике, но именно первичная измерительная информация хранит историю машины и может быть использована для отработки новых методов оценки текущего технического состояния и вычислительных программ.

Таким образом, применение традиционных подходов не позволяет должным образом решить проблему получения достоверной первичной информации о функционировании циклических машин и механизмов, необходимой для автоматизации и технического обслуживания оборудования.

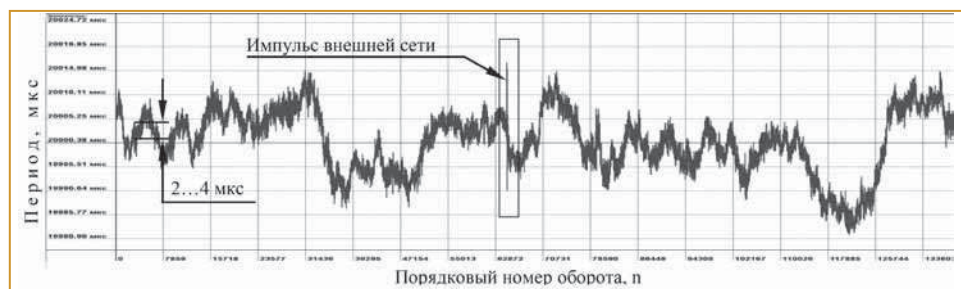


Рис. 1. Экспериментальная периодограмма вращения валопровода ТА Т-250



Рис. 2. Экспериментальная периодограмма крутильных колебаний валопровода ТА Т-250 с исключением тренда

Фазовый подход получения первичной информации

Для устранения всех перечисленных недостатков предлагается использовать фазовый метод получения первичной информации. Фазовый метод наиболее органично связан с природой циклических механизмов, а именно, с рабочим циклом устройства. Весь жизненный цикл машин и механизмов связан с реализацией рабочего цикла и поддерживается мероприятиями технического обслуживания.

Фазовые методы непосредственно связаны с рабочим циклом функционирования устройства, имеющего устойчивую повторяемость. Повторяемость рабочего цикла и эффектов в циклическом механизме, отражающаяся в результатах измерений и их обработки, является базой получения достоверной первичной информации о техническом состоянии оборудования. Это дает возможность получить инвариантные к условиям эксплуатации и режимам работы характеристики, сохраняющиеся во времени и изменяющиеся количественно. В разработанном фазохронометрическом методе [3, 4] измеряемыми параметрами являются интервалы времени, соответствующие длительности фаз рабочего цикла. В связи с тем, что при изготовлении, сборке, регулировке и измерении неизбежны погрешности выполнения данных операций, неизбежно присутствуют вариации интервалов времени. Так как интервалы времени измеряются с наивысшей точностью, то обеспечивается детальность информации, необходимая для обнаружения зарождающихся дефектов, регистрации деградации, внешних воздействий, исследования режимов работы

устройства и регистрации быстропротекающих процессов. Математическая обработка результатов измерений позволяет выявлять характеристики (диагностические признаки), сопровождающие функционирование машины от первых испытаний до утилизации.

Достигнутая точность измерения интервалов рабочего цикла $1 \cdot 10^{-7}$ с (например, время оборота вала), что соответствует $5 \cdot 10^{-4} \%$ на промышленной частоте вращения валопровода турбоагрегата (ТА), позволила значительно повысить детальность информации. На рис. 1 представлена экспериментальная периодограмма вращения валопровода турбоагрегата Т-250. Выделена реакция на импульс внешней сети, резко влияющая на вращение валопровода и значительно увеличивающая скручивающий момент, что влияет на трещинообразование в материале валов. На рис. 2 в увеличенном масштабе показаны последствия импульса в виде крутильных колебаний валопровода.

Важным фактором фазохронометрического метода является использование математического описания машин и механизмов на базе классической теории систем дифференциальных уравнений для реализации детальной взаимосвязи результатов измерений и их обработки с элементами механизма, процессами функционирования, обнаружения зарождающихся дефектов [5–6]. Результатом моделирования являются ряды интервалов времени, соответствующие экспериментальным измерениям. В отличие от традиционных подходов появляется возможность моделирования дефектов и изменений работы, связанных с деградацией механизма.

Также реализуется разработка предварительной классификации дефектов, анализа конструкции и режимов работы. При этом не следует ждать накопления статистики и потерь от дефектов и отказов в период эксплуатации. Математическое моделирование турбоагрегата Т-200 обеспечило построение спектра крутильных колебаний с минимальным отличием от результатов обработки экспериментальных данных. На рис. 3 и 4 представлены экспериментальный и рассчитанный спектры крутильных колебаний валопровода турбоагрегата Т-250. Анализ рисунков показывает возможность моделировать возможные дефекты циклического механизма, определить их отражение в измерительной информации и разрабатывать классификацию дефектов.

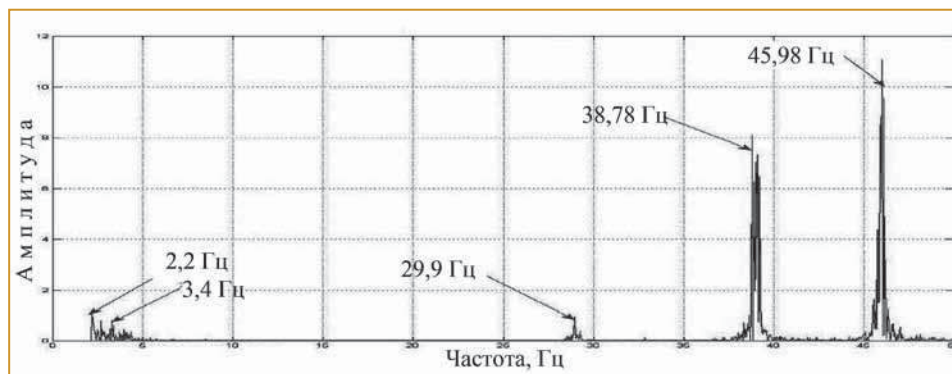


Рис. 3. Спектр, полученный из экспериментальных данных для турбоагрегата ТА Т-200. Основные частоты: 38,78 Гц и 45,98 Гц

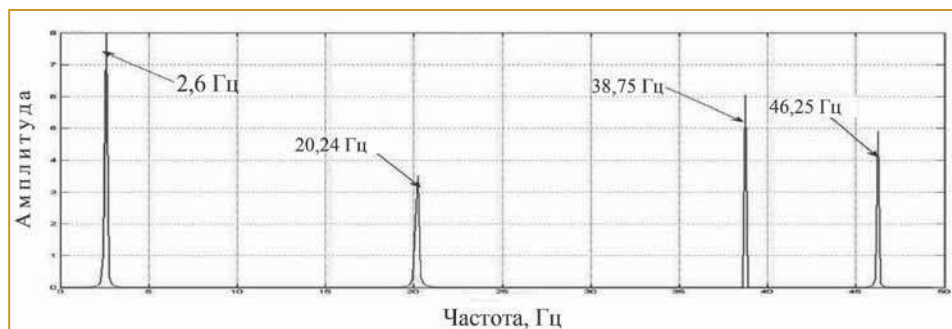


Рис. 4. Спектр турбоагрегата Т-200, полученный математическим моделированием. Основные частоты: 38,73 Гц и 46,25 Гц

Так как рабочий цикл устройства объединяет весь класс циклических механизмов, предлагаемый фазохронометрический метод, позволяет реализовать оценку функционирования устройств от приборов точной механики, где традиционные подходы не работают, до турбоагрегатов, гидроагрегатов, прокатных станов, ДВС, ГТД, электродвигателей, редукторов, подшипников и др.

Выводы

1. Автоматизация промышленности в рамках цифровой экономики требует решения задачи получения достоверной первичной информации, которая не решена традиционными амплитудными методами (например, вибродиагностикой). Также необходима минимизация применения экспертной оценки, не обеспечивающей надежную оценку текущего технического состояния и аварийную защиту.

2. Более высокий метрологический уровень результатов измерений обеспечивает необходимую для анализа работы циклических устройств детальность первичной информации о функционировании циклических машин и механизмов.

3. Перспективными являются фазовые методы анализа работы циклических устройств в сочетании

с традиционными подходами, обеспечивающие взаимосвязь между результатами измерений и их математической обработкой.

Список литературы

1. *Пронякин В.И.* Проблемы диагностики циклических машин и механизмов // Измерительная техника. 2008. №10. С. 9-13.
2. *Пронякин В.И.* К вопросу оценки результатов измерений и их обработки в целях получения информации о функционировании машин и механизмов // Известия вузов. Машиностроение. 2016. №5. С. 74-83.
3. *Бережко И.А., Гостюхин О.С., Кошкин А.С.* Информационные измерительные фазохронометрические системы для диагностики в области электроэнергетики // Приборы. 2014. №5. С. 13-17.
4. *Кошкин А.С., Сырицкий А.Б.* Измерительно-вычислительные технологии эксплуатации металлорежущего оборудования и инструмента // Мир измерений. 2014. №12. С. 3-9.
5. *Потапов К.Г.* Оценка технического состояния главных приводов токарных станков фазохронометрическим методом // Мир измерений. 2014. №12. С.10-18.
6. *Потапов К.Г., Сырицкий А.Б.* Реализация измерительной фазохронометрической системы для диагностики технического состояния токарных станков // Приборы. 2014. №5. С.18-22.

Пронякин Владимир Ильич — д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Метрология и взаимозаменяемость», директор научно-образовательного—инжинирингового центра «Прецизионное метрологическое обеспечение машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Контактный телефон 8 (499) 267-09-94.

E-mail: vip-u@yandex.ru

Аэрофлот внедрил производственную аналитическую платформу Sabre Intelligence Exchange

ПАО «Аэрофлот» завершил проект по внедрению конфигурируемой аналитической платформы Sabre Intelligence Exchange (Sabre IX). В качестве целей были обозначены: оптимизация бизнес-процессов взаимодействия с клиентами и сотрудниками компании, повышение качества анализа и документирования данных бронирования, а также управления коммерческими данными авиакомпании. Реализацией проекта занималась компания Integro Technologies, российский интегратор, входящий в Группу компаний «РАМАКС» и имеющий собственный Центр экспертизы по решениям Sabre.

Sabre Intelligence Exchange (Sabre IX) — это конфигурируемая и масштабируемая платформа, интегрируемая со всеми информационными системами ИТ-ландшафта авиакомпании, которая позволяет эффективно контролировать, систематизировать и передавать коммерческую информацию, а также осуществлять анализ показателей продаж в реальном времени.

В результате запуска проекта в промышленную эксплуатацию Аэрофлот получил доступ к таким автоматизированным функциям, как on-line обновление данных о ближайшем рейсе и карточке участника бонусной программы, получение пассажиром Push-уведомлений после

завершения полета для оценки качества обслуживания. Система также позволяет агрегировать и стандартизировать контактные данные пассажиров, учитывать информацию о совершенных полетах для начисления бонусных баллов участникам программы лояльности.

Кроме того, пассажиры получили возможность получать оповещения посредством e-mail и sms-сообщений о начале on-line регистрации за 24 часа до вылета, о необходимости оплаты бронирования до окончания тайм-лимита, о начале посадки и изменении номера выхода на посадку.

Результатом выполнения проекта стало повышение уровня клиентоориентированности ПАО «Аэрофлот» за счет предоставления персонального подхода к каждому клиенту компании.

Для более глубинного анализа и принятия соответствующих решений ПАО «Аэрофлот» получило ряд важных автоматизированных функциональных возможностей, например, агрегирование данных бронирований и регистраций пассажиров с целью дальнейшей передачи информации о трансферах, несопровождаемых детях, уровню загрузки и т.д. в производственные и коммерческие информационные системы компании.

Http://www.ramaxgrup.ru