

УДК 681.58

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ С ДАТЧИКОВ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРНЫХ МАШИН

Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.

Калужский филиал ФГОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: patrol8@yandex.ru

Статья посвящена обзору традиционных и современных, наиболее передовых, методов измерения и анализа сигналов датчиков частоты вращения роторов различных промышленных установок. Рассмотрены основы и принципы организации новых систем диагностики, обрабатывающих базы данных по полученным сигналам, их составные части, используемое в них оборудование и математическое обеспечение. Проведённый анализ позволил предложить новый метод технической диагностики с использованием передовых разработок на основе создания моделей (паттернов) предсказательной аналитики. Показана и доказана важность, актуальность и перспективность данного направления разработок, так как новые принципы организации систем измерения частоты вращения и обработки полученных данных позволяют добиться качественного повышения показателей переходных процессов, быстродействия систем регулирования и в конечном итоге существенного повышения надёжности самих роторных машин. Также важным следствием замены традиционных систем измерения и обработки сигналов с датчиков частоты вращения на новые, является повышение надёжности обеспечения промышленных и бытовых потребителей электроэнергией, а также улучшение протекания технологических процессов производства различных видов продукции. Таким образом, возможно решить важные народнохозяйственные задачи, являющиеся одними из наиболее приоритетных в нашей стране. В результате проведённого анализа развития современной науки, в частности предложенных методов предиктивной аналитики, предложен план проведения дальнейших исследований и создания изобретений в отраслях создания и эксплуатации роторных машин.

Ключевые слова: измерение частоты вращения, роторная машина, предсказательная аналитика, система автоматического регулирования, экспертная диагностика

USE OF METHODS OF PREDICTIVE ANALYTICS FOR PROCESSING OF SIGNALS FROM SENSORS OF FREQUENCY OF ROTATION OF ROTOR MACHINES

Ilichev V.Yu., Yurik E.A.

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, e-mail: patrol8@yandex.ru

Article is devoted to the review traditional and modern, most front lines, methods of measurement and the analysis of signals of sensors of frequency of rotation of rotors of various plants. Basics and the principles of the organization of the new systems of diagnostics processing databases on the received signals, their components, the equipment used in them and software are covered. The carried-out analysis allowed to offer a new method of technical diagnostics with use of the advanced developments on the basis of creation of models (patterns) of predictive analytics. Importance, relevance and prospects of this direction of developments as the new principles of the organization of systems of measurement of frequency of rotation and processing of the obtained data allow to achieve high-quality increase in indicators of transition processes, speed of systems of regulation and finally significant increase in reliability of rotor machines is shown and proved. Also important consequence of replacement of traditional systems of measurement and processing of signals from rotation frequency sensors on new, is increase in reliability of providing industrial and household consumers with the electric power and also improvement of course of technological processes of production of different types of products. Thus, it is possible to solve the important economic problems which are some of the most priority in our country. As a result of the carried-out analysis of development of modern science, in particular the offered methods of predictive analytics, the plan of carrying out further researches and creation of inventions in the industries of creation and operation of rotor machines is offered.

Keywords: measurement of frequency of rotation, rotor machine, predictive analytics, system of automatic control, expert diagnostics

В настоящее время в различных отраслях техники применяется огромное множество различных роторных машин. Во многих из этих машин частота вращения ротора является основным регулируемым параметром. Это, например, турбомашин, приводы автомобилей, шпиндели прецизионных станков и т.п. [1].

Основной задачей регулирования частоты является как можно более точное поддержание определённой частоты вращения (например, в энергетических машинах это

связано с необходимостью обеспечения заданного значения частоты электрического тока, вырабатываемого генератором). Также часто не допускается резкое и сильное превышение (заброс) частоты вращения ротора над номинальным значением даже на непродолжительное время, так как это может привести к поломке элементов ротора, на которые в этом случае будут действовать большие центробежные силы, величина которых пропорциональна квадрату частоты вращения.

Во многих непрерывных технологических процессах используются несколько последовательно связанных электродвигателей, где не допускается даже небольшое изменение частоты вращения одного из двигателей. Строгое согласование частот вращения индивидуальных электрических приводов требуется, например, для машин, производящих намотку материалов в рулоны, бухты, барабаны, а также при непрерывной прокатке металлических листов, так как рассогласование скоростей может привести к недопустимым напряжениям, деформациям и даже обрывам материала.

Цель исследования: выбор наиболее совершенного при современном уровне развития науки и техники принципа обработки сигналов от датчиков, обеспечивающих наибольшее быстродействие системы автоматического регулирования роторной машины, а также наивысшее качество регулирования и возможность своевременного предсказания появления недопустимых дефектов роторной системы.

Материалы и методы исследования

Для разработки плана достижения цели данного исследования необходимо вначале произвести краткий обзор существующих на данный момент средств и методов измерения частоты вращения роторов.

Для измерения частоты вращения роторов долгое время использовались центробежные датчики, подающие непрерывно изменяющийся (аналоговый) сигнал – силовое воздействие на систему регулирования, однако в последнее время они применяются всё реже. Сейчас появились более совершенные конструкции датчиков частоты вращения, обеспечивающих большее быстродействие и точность регулирования. К тому же появилась необходимость обработки дискретных сигналов от датчиков с помощью электронно-вычислительных систем с целью выработки управляющих воздействий на регулирующие устройства.

В современном машиностроении датчики частоты вращения, являющиеся первичными измерительными преобразователями в системе регулирования, вырабатывают дискретные сигналы и выполняются следующих типов [2]:

1) тахогенераторы (индукционные датчики), вырабатывающие аналоговое синусоидальное напряжение, из которого затем формируются дискретные прямоугольные импульсы;

2) фотоэлектрические датчики, в которых световой поток направляется от излучателя на фотоприёмник (фотоэлемент, фотосопротивление, фотодиод, фототранзистор)

через прерыватель светового потока, например через диск с отверстиями;

Существует два принципа построения дискретных систем измерения скорости на основе перечисленных датчиков:

1) подсчёт числа импульсов за фиксированный промежуток времени;

2) подсчёт импульсов фиксированной частоты, вырабатываемых кварцевым генератором за промежуток времени между импульсами, выдаваемыми тахогенератором. При этом способе с повышением величины измеряемой скорости точность измерения падает.

По указанным соображениям более распространённым является первый способ.

Для обработки дискретных сигналов наиболее широко используются цифровые измерительные приборы и средства обработки получаемой информации, которые обладают следующими преимуществами по сравнению с аналоговыми:

– удобство отсчёта и регистрации измерений;

– высокая точность измерений при полной автоматизации процесса;

– возможности сочетания с микропроцессорными обрабатывающими устройствами;

– возможности дистанционной передачи и усиления измерительных сигналов.

Из проведённого обзора можно сделать следующий вывод: на данный момент для обработки полученной с датчиков информации наиболее целесообразно использование цифровых измерительных и обрабатывающих устройств. Однако рассмотренные способы измерений обладают одним существенным недостатком – ограниченным быстродействием, что в большинстве случаев не позволяет производить диагностику предполагаемых неполадок в работе роторных машин в режиме реального времени. Данные неполадки лишь констатируются постфактум, что может привести к разрушению деталей роторных машин, либо к существенному нарушению протекания выполняемых ими технологических операций и к появлению брака продукции.

Для исключения рассмотренного недостатка предлагается использовать другой принцип построения дискретной системы измерения скорости на основе аналогового тахогенератора: не выполнять преобразование полученного с датчика сигнала в прямоугольную форму, а обрабатывать сигнал непосредственно в аналоговой форме (естественно, предварительно оцифровав его с помощью АЦП – аналого-цифрового преобразователя). При анализе сигнала предлагается использовать современные средства

компьютерной экспертной диагностики, а в частности предиктивного анализа (предсказательной аналитики), которые позволяют более быстро отслеживать изменение числа оборотов роторных машин, а главное, выполнять диагностику роторного оборудования в режиме реального времени.

Предсказательная аналитика использует методы статистического и интеллектуального анализа данных, анализируя текущие и исторические показания датчиков для составления предсказаний о будущих значениях параметров. Из исторических данных формируются типичные зависимости – паттерны, описывающие поведение системы в тех или иных ситуациях.

В настоящее время экспертные системы используются для решения различных типов задач в самых разнообразных проблемных областях, таких как финансы, нефтяная и газовая промышленность, энергетика, транспорт, фармацевтическое производство, космос, химия, образование, телекоммуникации и связь и др.

Методы предиктивного анализа достаточно давно используются в биржевой и рыночной аналитике, для предсказания дальнейшего движения курсов, цен и т.п.

В промышленности экспертные методы используются для составления планов производственных процессов, например основного производственного плана-графика (детализированного оперативного производственного плана, на основе которого осуществляется планирование и управление заказами на закупку и производство), для принятия оптимальных решений по развитию производства, формирования программы сбыта (уточнённая и утверждённая программа сбыта является основой плана производства, интеграция данных этих планов существенно облегчает процесс производственного планирования и обеспечивает их неразрывную связь), осуществления финансового планирования и бюджетирования.

Предсказательная аналитика развивается вместе с «Наукой о данных» [3] – разделом информатики, изучающим проблемы анализа, обработки и представления данных в цифровой форме. Данный раздел информатики явился развитием таких разделов высшей математики, как статистика, теория вероятностей, теория игр и пр. Наука о данных объединяет методы по обработке данных в условиях больших объёмов и высокого уровня параллелизма, статистические методы, методы интеллектуального анализа данных (например, метод нейросетевого программирования) и приложения искусственного интеллекта для работы

с данными, а также методы проектирования и разработки баз данных.

Для прогнозирования используются различные методы машинного обучения, анализа данных, деревья решений, регрессионный анализ, нейронные сети и глубокое обучение.

Для обработки сигналов с датчиков применение данного метода пока не нашло распространения, однако используются более простые методы экспертных оценок по накопленным данным измерений за время эксплуатации существующих машин. Например, существуют системы технической диагностики состояния роторных машин на основе измеренных значений вибрации на подшипниках, опорах и фундаменте. Эти системы позволяют только констатировать текущее техническое состояние машины и не могут обрабатывать сигналы в реальном времени.

Применение паттернов предсказательной аналитики при измерении частоты вращения представляется возможным не для всех роторных машин, а только для тех, у которых существуют исследованные и доказанные закономерности в изменении данного параметра при возникновении различных отслеживаемых ситуаций.

Средства предиктивного анализа рекомендуется применять, например, к электродвигателям, насосам, компрессорам, нагрузкам которых изменяется в зависимости от протекания достаточно полно исследованных технологических процессов. В случае измерения частоты вращения энергетической турбинной установки этот метод не будет применим, так как нагрузка электрогенератора изменяется хаотично вследствие того, что к нему подключено огромное количество различных потребителей энергии. В соответствии с хаотичным изменением нагрузки, скорость вращения ротора турбогенератора будет изменяться также непредсказуемым образом.

В случаях, где это возможно, предиктивная аналитика показаний датчиков частоты вращения поможет выявить изменения в поведении роторных систем заранее, до срабатывания традиционных механизмов сигнализации, что позволяет получить больше времени на анализ и проведение корректирующих мероприятий. Инструменты предиктивной аналитики изучают историю неполадок и аппаратных сбоев и сравнивают эти случаи с текущими данными, получаемыми с датчиков оборудования для выявления закономерностей до возникновения аварии.

Простейшим хорошо изученным приёмом предсказания изменения какого-либо параметра является выявление неста-

ционарности данного параметра. Данный приём используется в теории статистики и состоит в следующем: при появлении нестационарности изменения параметра статистические характеристики, вычисленные в коротких одинаковых интервалах времени, начинают существенно изменяться [4].

Результаты исследования и их обсуждение

Описанные в данной статье идеи являются подготовительной стадией усовершенствования методов измерения частоты вращения роторов машин, а главное, обработки полученных данных [5].

Для дальнейшего исследования практической применимости предложения, озвученного в данной статье, необходимо выявление характерных паттернов изменения частоты вращения конкретной роторной системы, чего можно добиться при исследовании большого количества статистического материала. В настоящее время существует достаточное количество компьютерных программ, позволяющих осуществить такой анализ.

Предлагаются следующие этапы дальнейшего проведения исследований по данной теме:

1. Выбор программы, наиболее удобной для статистической обработки данных по частоте вращения роторных систем.

2. Сбор статистической информации по изменению частоты вращения конкретной роторной системы при разных характерных для неё событиях: например, изменение нагрузки приводного механизма, появление неисправности подшипника, повреждение элемента ротора и т.п.

3. Обработка собранной информации и исключение помех, имеющих место в любой измерительной системе. При этом можно использовать, например, методику, описанную в статье [6].

4. Выявление паттернов, характерных для каждого события. При этом каждый выявленный паттерн должен являться предметом отдельного исследования, так как может принести пользу при его использовании для исследования подобной роторной системы.

К методам предсказательной аналитики, из которых необходимо подобрать наилучшие для решения указанных задач, относятся:

1. Регрессионные методы: линейная регрессия, логистическая и множественная логистическая регрессия, пробит-регрессия, временные ряды; классификации и регрессионные деревья; многомерные адаптивные регрессионные сплайны;

2. Методы машинного обучения: искусственные нейронные сети, многослойный перцептрон, радиальные базисные функции, метод опорных векторов, наивный байесовский классификатор, метод k ближайших соседей, геопространственное предсказательное моделирование, генетический алгоритм.

Предложенную методику можно использовать также и для анализа других параметров работы роторных систем, а также для выявления следующих их дефектов [7]:

- неуравновешенность роторов;
- дефекты соединения роторов в валопроводе;
- дефекты в центровке проточной части;
- неравножесткость сечений роторов;
- дефекты шеек роторов и дефекты вкладышей;
- неконсервативные силы в подшипниках и уплотнениях;
- внезапные динамические воздействия на роторы.

Попутно можно отметить ещё одну задачу для предиктивных алгоритмов [8] – это техническое обслуживание и ремонт оборудования. В основном предприятия используют базовые механизмы контроля, предоставленные производителями оборудования. Но потенциал этих средств ограничен, поскольку они не позволяют проанализировать дополнительные факторы, влияющие на состояние оборудования, и заранее спрогнозировать критическую ситуацию. Таким образом, сотрудники отдела технического обслуживания получают множество данных, но не знают, как эти данные связаны между собой. В итоге реакция от ремонтных служб следует только после отказа оборудования, что ведет за собой простой и, следовательно, дополнительные расходы. Прогнозная аналитика средствами машинного обучения и искусственного интеллекта проводит непрерывный анализ больших данных, выполняет визуализацию данных о состоянии оборудования на текущий момент и прогнозирует сценарии возникновения отказов оборудования. В результате сокращаются внеплановые простои, оптимизируются работы, уменьшается время техобслуживания, а управляющий персонал получает углубленный анализ причин отказов оборудования.

Современное развитие науки и техники показывает, что в дальнейшем будут развиваться продвинутое системы предиктивного анализа, которые будут самостоятельно обучаться, извлекать знания, предсказывать, адаптироваться и, возможно, работать автономно [3].

Заключение

Таким образом, цель данной работы была выполнена – произведён обзор и анализ наиболее современных и даже, возможно, революционных принципов организации систем измерения частоты вращения роторов машин и обработки полученных данных. Выработан ряд рекомендаций по дальнейшему развитию и отработке данного метода на практике.

Список литературы

1. Ушаков В.Я. Электрические системы и сети: учебное пособие для СПО. М.: Издательство Юрайт, 2018. 446 с.
2. Пена Д.В., Цыпин Б.В., Ляшенко А.В. Способ обработки сигналов в системе аварийной защиты с индукционных датчиков частоты вращения // Надёжность и качество – 2011: труды Международного 120 симпозиума: в 2-х т. Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. Т. 2. С. 432–433.
3. Ржажинский А. База знаний. Предсказательная аналитика от SAP [Электронный ресурс]. URL: <https://sapland.ru/kb/articles/stats/predskazatelinyaya-analitika-ot-sap.html> (дата обращения: 24.01.2019).
4. Ахлюстин С.Б., Нарушев И.Р., Мальцев С.А. Формирование комплексного показателя качества объектов со слабоформализуемыми признаками // Цифровизация агропромышленного комплекса: материалы I Международной научно-практической конференции (г. Тамбов, 10–12 октября 2018 г.). Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2018. С. 185–187.
5. Лебедев С.А. Курс лекций по философии науки: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 318 с.
6. Дмитриенко А.Г., Ляшенко А.В., Цыпин Б.В. Вторичный преобразователь информационно-измерительной системы с повышенной помехоустойчивостью для измерения частоты вращения // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2016. № 1. С. 31–36.
7. Абрамов И.Л. Вибродиагностика энергетического оборудования: учебное пособие по дисциплине «Диагностика в теплоэнергетике». Кемерово: КузГТУ, 2011. 81 с.
8. Эрик Сигель. Просчитать будущее: Кто кликнет, купит, сойдёт или умрёт = Predictive Analytics. М.: Альпина Паблишер, 2014. 374 с.