

Мониторинг технического состояния технических устройств на опасных производственных объектах

О.А. Бардышев, д-р техн. наук, проф., oab15@mail.ru, **В.А. Попов**, канд. техн. наук, доцент, **С.К. Коровин**, канд. техн. наук, доцент, **А.Н. Филин**, канд. техн. наук, доцент (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия)

Рассмотрены варианты применения встроенных диагностических устройств, а также различных методов неразрушающего контроля при периодическом мониторинге, включая примеры методик для мониторинга тоннельных эскалаторов.

Ключевые слова: мониторинг, технические устройства, диагностика, техническое состояние, ресурс.

DOI: 10.24000/0409-2961-2020-1-52-56

Введение

Одно из основных требований к эксплуатации современной техники — гарантирование надежности и безопасности, от которых в свою очередь зависят показатели ее работы, что особенно важно для технических устройств, используемых на опасных производственных объектах (ОПО).

Для обеспечения заданных параметров безотказности рассматриваемых технических систем требуется знание причин нарушения работоспособного состояния, что достигается постоянным контролем оборудования. Решение этой актуальной задачи особенно важно для технических систем, включающих большое число элементов с различными условиями работы, таких как газовые и паровые турбины, химические реакторы, буровые установки, краны большой грузоподъемности, тоннельные эскалаторы и другое оборудование повышенной сложности, применяемое на ОПО. От их исправности во многом зависит безопасность обслуживающего персонала и других людей, поэтому своевременное предупреждение возможных отказов или аварий этих технических устройств — основное требование к их эксплуатации.

Современная тенденция в этой области — снижение уровня государственного контроля за эксплуатацией оборудования и усиление роли и ответственности владельца предприятия за его техническое состояние и безопасность работы. Для этого предусматривается, в частности, замена экспертизы этих устройств при отработке нормативного ресурса техническим диагностированием, а также проведение мониторинга технического состояния в период эксплуатации, в том числе и в случае продления срока эксплуатации за пределами нормативного [1, 2].

Методы мониторинга технических устройств

Одно из решений задачи обеспечения работоспособности и безопасности технических устройств —

постоянный контроль их технического состояния (мониторинг).

Энциклопедическое определение мониторинга — наблюдение, оценка и прогноз состояния системы или объекта. Мониторинг технического состояния выступает составной частью такой области знаний, как техническая диагностика, и определяется как техническое диагностирование рассматриваемого объекта контроля без выведения его из работы. Данный процесс позволяет отслеживать состояние узлов и агрегатов, входящих в состав объекта контроля, своевременно предупреждать возможные аварийные отказы и внеплановые остановки. По данным ряда источников, применение мониторинга технического состояния на промышленных предприятиях позволяет добиться повышения эффективности производства от 2 до 10 % и сокращения эксплуатационных затрат на поддержание работоспособного состояния оборудования до 50 %, что достигается вследствие предотвращения снижения производительности из-за простоев оборудования и экономии затрат на его ремонт и обслуживание [3, 4].

В ряде отраслей существуют системы мониторинга технического состояния оборудования, например, в гидроэнергетике действует система мониторинга технического состояния гидротурбин, генераторов и трансформаторов на гидроэлектростанциях. Аналогичная система предусмотрена для энергетических котлов на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ), где постоянный контроль за их техническим состоянием дополняется периодическими нормированными проверками лабораторией неразрушающего контроля ТЭЦ.

Исходя из частоты повторяемости проведения контроля технического состояния выбранного объекта, выделяют постоянный и периодический мониторинг. Постоянный применяют для наиболее ответственных технических систем, отказ которых опасен для окружающей среды и жизненно важных

интересов личности и общества, он ведется на основе встроенных диагностических устройств. Периодический характерен для объектов контроля, не имеющих встроенных диагностических систем, выполняется исходя из требований нормативно-технической документации. Данный мониторинг позволяет не только предотвратить отказы оборудования, но и спрогнозировать его ресурс.

Классическим примером постоянного мониторинга технического состояния является автомобиль, где постоянно контролируются температура охлаждающей жидкости, давление масла в двигателе и зарядка аккумулятора с выводом информации на щиток управления или на компьютер, а в современных моделях — и исправность других элементов, обеспечивающих безопасность работы автомобиля.

Для таких технических устройств с автоматизированными системами управления, как паровые и газовые турбины, мощные газовые компрессоры, основной контроль направлен на обеспечение параметров технологического процесса, а контроль технического состояния выполняется только на ряде элементов. Например, на газовых турбинах SGT5-4000F фирмы Siemens Turbomachinery, установленных на ряде ТЭЦ в России, система управления контролирует все параметры рабочего процесса, а также вибрацию вала и корпуса с помощью датчиков вибрации и температуры в зоне подшипниковых узлов. Параметры температуры и вибрации выводятся на блок-системы защиты турбины, при превышении нормативных значений система автоматики отключает турбину. Кроме того, постоянно контролируется зазор между лопатками турбины и корпусом камеры сгорания с помощью датчиков положения вала турбины и компрессора. Зазор регулируется гидравлическим оптимизатором зазора.

Подобные системы устанавливаются на паровых турбинах ПАО «Силовые машины» мощностью до 1200 МВт, где также автоматически контролируется исправность управляющих клапанов (герметичность, время срабатывания и др.).

Тяжелые грузоподъемные краны (металлургические, порталные, башенные, большой грузоподъемности на гусеничном или специальном шасси) снабжаются автоматизированной системой управления, что позволяет включать в нее и систему постоянного контроля технического состояния основных узлов. В России разработано несколько вариантов систем самодиагностики для мостовых и козловых кранов большой грузоподъемности, например система «СКЭП» (НТЦ «Приводная техника», г. Челябинск). Показания датчиков температуры и вибрации архивируются и выводятся на дисплей по требованию оператора, а в случае отклонения параметров или выявления неправильного алгоритма работы система самодиагностики выдает сообщение об ошибке с указанием ее кода, что существенно снижает время поиска неисправности. Metallurgi-

ческие краны дополнительно оснащаются системой датчиков, контролирующей температурные параметры агрегатов.

В основе любой системы периодического мониторинга технического состояния лежит применение методов неразрушающего контроля, которые в определенных сочетаниях позволяют решать задачи оценки соответствия объекта нормативам контроля без его остановки в процессе эксплуатации. Компоновка методов неразрушающего контроля в большей степени зависит от конструктивных особенностей и функционального назначения рассматриваемых объектов контроля, возможностей испытательной лаборатории и требований к периодичности контроля.

Для таких сложных технических устройств, как тоннельные эскалаторы метрополитенов, стандартом ГОСТ Р 54765—2011 (ЕН 115-1:2010) предусмотрено 15 обязательных приборов безопасности, блокирующих эскалатор при появлении неисправности — отрыва одного из элементов эскалатора (обрывы цепи или поручня, попадание посторонних предметов и т.п.). Но из них только две блокировки контролируют предельную величину параметра — при нагреве двигателя и вытяжении приводной цепи. Учитывая особую важность обеспечения безопасности пассажиров при работе эскалатора, его техническое состояние проверяется визуально ежедневно, но существуют износ и дефекты, которые можно обнаружить только инструментальным контролем. Этот контроль может выполняться в виде периодического мониторинга [5].

Эскалаторы в метрополитене Санкт-Петербурга работают в сложных условиях, что связано с глубоким заложением станций, нестабильными грунтовыми условиями, повышенной влажностью и т.п. Поэтому начиная с 2005 г., в связи с окончанием нормативных сроков эксплуатации ряда действующих эскалаторов, внедрением новых и модернизированных конструкций эскалаторной службой метрополитена с участием разработчиков и специалистов проводилась работа по диагностированию отработавших нормативный срок эскалаторов для оценки остаточного ресурса и мониторингу технического состояния эскалаторов новых типов в целях выявления возможных дефектов и износов. Для этого потребовалась разработка специальных методик диагностирования, которые позволили проводить мониторинг основных составляющих эскалаторов — металлоконструкций и приводных устройств.

Для металлоконструкций эскалаторов, подвергающихся динамическим нагрузкам в течение длительного времени, основными показателями износа являются коррозия и изменение напряженно-деформированного состояния металла. Для его оценки при мониторинге применяли магнитный контроль с помощью магнитного структуроскопа КРМ-Ц-К2М с преобразователем на постоянном токе с датчиком Холла. Мониторинг по коэрцитивной силе позволяет

предупреждать переход металла в стадию разупрочнения и предотвращать аварийные ситуации при эксплуатации эскалаторов. Для эскалаторов, отработавших 25–30 лет, получены значения коэрцитивной силы H_c 4,8–5,3 А/см, что находится в пределах «контролируемого» значения H_c 4,6–5,5 А/см для стали марки ВСтЗпс, применяемой для металлоконструкций эскалаторов, что позволяет прогнозировать ресурс эскалаторов еще в пределах 20–25 лет при нормативном ресурсе 50 лет [6].

Для мониторинга в течение ряда лет состояния металлоконструкций и других элементов новых эскалаторов модельной группы ЭТХ на станции «Сенная», конструкция привода которых вызывала повышенные динамические нагрузки, применен магнитоакустический метод контроля. Для этого использовался измерительный комплекс на основе трехкомпонентных вибросондов, построенных на преобразователях Холла и комплекса АСК-3117 с усилителем. Методом мониторинга был пространственный анализ напряженности собственных магнитных полей в зоне развивающихся повреждений металла посредством проведения вейвлет-анализа для идентификации локальных источников собственных магнитных полей рассеяния в отдельных узлах контроля, что позволило выявить места возможного появления дефектов и прогнозировать техническое состояние оборудования [7, 8].

Другой пример перехода к мониторингу технического состояния — разработка и внедрение методики контроля приводных групп тоннельных эскалаторов при рабочих режимах в процессе эксплуатации на основе комплексного применения методов виброакустического диагностирования [9–11]. Методика подразумевает использование виброизмерительного оборудования, предназначенного для проведения замеров общего уровня вибрации и временных зависимостей виброакустических колебаний с последующим их разложением на составляющие. Методика позволяет решить все основные задачи мониторинга технического состояния приводной группы.

Текущее техническое состояние приводной группы определяется за счет эмпирически полученных среднеквадратичных значений виброскорости (общего уровня вибрации), устанавливающих границы зон состояний. Для прогнозирования возможности дальнейшей эксплуатации, изменения видов технического состояния использованы средства математической статистики, позволившие получить ряд регрессионных зависимостей параметров виброакустических сигналов, возбуждаемых элементами приводной группы, от наработки тоннельного эскалатора.

Дефектовка элементов приводной группы проводится с применением сформированной системы информативных диагностических признаков. Данные признаки получены путем контроля изменений спектров виброакустических колебаний с приме-

нением метода опорных масок (сравнение спектров колебаний, полученных на бездефектных устройствах (опорные эталонные изображения), со спектрами устройств с заданными дефектами (диагностические изображения)). Для получения значений вибросигналов использованы быстросъемные датчики, устанавливаемые на корпус редуктора или в подшипниковой зоне электродвигателя. Обработка материалов позволяет идентифицировать дефекты, а при последовательных замерах — прогнозировать остаточный ресурс. Этот метод применялся также при диагностировании компрессоров и насосов в Кольской горно-металлургической компании (г. Мончегорск), приводов каландров на шинном заводе и др.

Вместе с методами диагностирования, обеспечивающими мониторинг состояния всего технического устройства, существуют методы, позволяющие проводить мониторинг отдельных элементов, определяющих его работоспособность [12].

Например, метод магнитной памяти металла дает возможность контролировать напряжения в паропроводах, газопроводах среднего и низкого давления, котлах и ресиверах, нефтяных резервуарах, а также в сварных соединениях. Этот метод позволяет по характеру распределения поля остаточной намагниченности на поверхности изделия выявить потенциально опасные участки на стадии, предшествующей разрушению, в виде зон концентрации напряжений, деформаций, поверхностных трещин и микротрещин. По трудоемкости этот вид контроля относится к экспресс-методам, что дает возможность применять его при периодическом мониторинге.

Для мониторинга стальных канатов широко используется метод магнитной дефектоскопии. Мониторинг необходим в тех случаях, когда канаты длительное время находятся под нагрузкой: оттяжки на монтажных и порталных кранах, грузовые канаты на мостовых кранах судостроительных и металлургических заводов, талевые канаты буровых установок, или на редко используемых кранах, например, мостовых кранах в машинных залах электростанций. В первом случае — это уменьшение сечения проволок при вытягивании канатов или обрывы проволок, во втором — коррозия проволок внутри канатов. Метод основан на оценке магнитного потока вдоль участка каната и регистрации изменений в его распределении. В существующих приборах, например, в приборах серии «Интрос» преимущественно используется метод постоянного магнитного поля, который позволяет как измерять потерю сечения каната, так и обнаруживать локальные дефекты.

Заключение

В рамках статьи не представляется возможным рассмотреть применение при мониторинге всех видов неразрушающего контроля. Это определяется как объектом мониторинга, так и эксплуатационными, а также экономическими параметрами, поскольку отдельные виды приборов достаточно дорогие, и

их применение должно быть экономически оправдано. В ряде стран Европы существуют региональные лаборатории неразрушающего и разрушающего контроля, оборудование и специалисты которых используются промышленными предприятиями по мере необходимости, в России предприятия предпочитают иметь собственное контрольное оборудование или пользоваться услугами экспертных организаций с аттестованными лабораториями.

Правильно организованный мониторинг технического состояния оборудования позволяет существенно снизить потери при его эксплуатации и повысить его техническую готовность. При планировании в России переходе от экспертизы технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах, к их диагностированию значение периодического мониторинга этих устройств может существенно возрасти для обеспечения безопасности их работы.

Список литературы

1. О промышленной безопасности: федер. закон. URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/787/novyy-FZ-O-promyshlennoy-bezopasnosti-_proekt-2019_.pdf (дата обращения: 24.10.2019).
2. Бардышев О.А. О диагностировании технических устройств// Безопасность труда в промышленности. — 2019. — № 7. — С. 44–48. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-7-44-48
3. Ширман А.Р., Соловьев А.В. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. — М.: Наука, 1966. — 276 с.
4. Fundamentals of rotating machinery diagnostics/ E.D. Bently, T.C. Hatch. — New York: ASME Press, 2003. — 725 p.
5. Bardyshev O., Gordienko V. Some Aspects of Maintaining Inclined Tunnel Escalators in St. Petersburg// Applied Mechanics and Materials. — 2015. — Vol. 725–726. — P. 202–207. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.202
6. Методика контроля безопасности транспортно-технологических машин в начальный период эксплуатации (на примере тоннельных эскалаторов)/ О.А. Бардышев, П.В. Дружинин, С.В. Репин и др.// Вестник гражданских инженеров. — 2018. — № 6 (71). — С. 129–134.
7. Магнитоакустический мониторинг подъемных сооружений: моногр./ А.В. Берман, Я.С. Ватулин, С.К. Коровин. — СПб: ОМ-пресс, 2010. — 340 с.
8. Мониторинг эскалаторов метрополитена при оценке их остаточного ресурса на основе магнитных методов контроля/ Я.С. Ватулин, М.С. Коровина, С.К. Коровин, В.А. Попов// Транспорт Российской Федерации. — 2013. — № 1 (44). — С. 56–59.
9. Филин А.Н. Спектральный анализ вибросигнала для определения технического состояния эскалаторных редукторов// Механизация строительства. — 2016. — Т. 33. — № 1. — С. 21–24.
10. Sensivity of general compound planetary gear natural frequencies and vibration models to model parameters/ Ed. by

G. Eichao, G.R. Parker. — New York: ASME Press, 2010. — Vol. 132. — Iss. 1. — P. 87–100.

11. Detection of Gear fault using vibration analysis/ G. Diwakar, Satyanarayana, P. Ravi Kumar// International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. — 2012. — Vol. 2. — Iss. 9. — P. 123–137.

12. Диагностика технических устройств/ Г.А. Бигус, Ю.Ф. Даниев, Н.А. Быстрова, Д.И. Галкин. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. — 615 с.

oab15@mail.ru

Материал поступил в редакцию 30 октября 2019 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2020, № 1, pp. 52–56.
DOI: 10.24000/0409-2961-2020-1-52-56

Monitoring of Technical Condition of Technical Devices at Hazardous Production Facilities

O.A. Bardyshev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., oab15@mail.ru

V.A. Popov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.

S.K. Korovin, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.

A.N. Filin, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof.

St. Petersburg State University of Railway Transport of Emperor Alexander I, Saint Petersburg, Russia

Abstract

The main requirement for technical devices operation is to ensure their reliability and safety, and this is especially true for technical devices used at hazardous production facilities. One of the forms of monitoring of technical condition of such equipment is monitoring, which allows to increase production efficiency by reducing downtime to 10 %, and significantly reduce the operating costs.

In Russia, there are several options for monitoring systems in various branches of industry. For example, monitoring system for hydroturbines, generators and transformers were installed in hydropower, and the boilers monitoring system was installed at the thermal power plants. Monitoring can be continuous based on the use of built-in diagnostic devices, and periodic, where the diagnosis is carried out by laboratory equipment in set time intervals.

Continuous monitoring is carried out on such equipment as steam and gas turbines, gas compressors, heavy-duty cranes, and, in this case, the degree of control coverage of equipment elements varies. The latter is shown by the example of tunnel escalators in St. Petersburg. Monitoring was performed for escalators, which service life was expired, and for escalators of new design, for which the number of new methods was developed.

Monitoring of old escalators metal structures was performed using magnetic control with an estimate of the coercitive force value, and monitoring for new escalators was carried out by magnetoacoustic control. Monitoring of drives was made using vibroacoustic diagnostics. Gained experience made it possible to use these methods also for monitoring steel structures and drives of other equipment.

Key words: monitoring, technical devices, diagnostics, technical condition, service life.