

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ НА АЭС, ГЭС И ТЭС

Шумилов Ю.А. д.т.н., проф.

Национальный технический университет Украины, "Киевский политехнический институт",  
кафедра электромеханики, Украина, 03056, Киев, пр. Победы, 37,  
тел. (044) 241-76-38, e-mail: yuriy2007@voliacable.com

Пономаренко В.К.

"Аристок", Украина, Киев, тел. (044) 236-76-70, e-mail: sircobol@voliacable.com

Кузьмин В.В. д.т.н., проф.,

Государственное предприятие завод "Электротяжмаш", Украина, 61055, Харьков, пр. Московский, 299,  
тел.(0572) 95-66-81, e-mail: etm@spetm.com.ua

Демидюк Б.М.,

ЗАО "Укратомэнергострой", Украина, 03035, Киев, ул. Урицкого, 45, оф. 606  
тел. (044) 590-17-63, e-mail: uaeb@ukr.net

*Обґрунтовується необхідність моніторингу і діагностики технічного стану потужних генераторів у реальному часі для попередження аварій. Пропонується відмовитися від планово-попереджувальних ремонтів на користь ремонтів за фактом суттєвого відхилення показників надійності від норми.*

*Обосновывается необходимость мониторинга и диагностики технического состояния мощных генераторов в реальном времени для предупреждения аварий. Предлагается отказаться от планово-предупредительных ремонтов в пользу ремонтных по факту существенного отклонения показателей надёжности от нормы.*

Надёжность любого изделия – главный его показатель. Это настолько очевидно, настолько само собой разумеется, что наступает момент, когда об этом (парадоксально, но факт) начинают забывать и вспоминают только после наступления отказов и аварий.

В настоящее время не только в Украине, но и в мире в целом наступает период исчерпания эксплуатационного ресурса многих промышленных и, что самое главное, энергетических систем. В ближайшие годы планируется обновление и строительство новых энергоустановок, в первую очередь в области "зеленой" энергетики и объектов так называемого "распределенного генерирования" ("dispersed generation"). До ввода в строй нового оборудования необходимо продлить остаточный ресурс находящихся в эксплуатации турбо- и гидрогенераторов. Эта проблема и определила основную тематику докладов рабочей группы А1 "Вращающиеся электрические машины" на прошедшей сессии СИГРЭ-2006 и на запланированной в 2008 г. Для энергетики Украины особо важно решение рассматриваемой проблемы для генераторов АЭС, обеспечивающих более 50 % выработки электроэнергии, а также гидрогенераторов ГЭС и ГАЭС, которые представляют собой основу регулирования частоты в энергосистемах.

В связи с этим нужно пересмотреть не только подход к методам и средствам неразрушающего контроля и диагностики, но и к методике обеспечения надёжности на всех этапах жизненного цикла изделия: технического задания, проектирования, конструирования, изготовления, монтажа, эксплуатации, ремонта и обкатки.

Во вновь создаваемые энергетические установки нужно закладывать максимально возможный эксплуатационный ресурс, начиная с этапа проектирования.

### С чего начинается старение?

Ответ простой: с момента зарождения изделия, т. е. с выбора варианта решения. Самые большие успехи (или промахи) определяются при **проектировании**, при формировании принципов построения систем. Здесь, в буквальном смысле, "кадры решают всё", причём дело не в количестве, а в качестве проектировщиков: талантливых, с развитой интуицией и богатым опытом. Это самый творческий этап, практически не поддающийся формализации.

На следующем шаге проявляется талант **конструкторов**, но некоторые рабочие моменты уже могут быть формализованы. В частности, разработку конкретных вариантов конструкции возможно описать математически и сделать соответствующую компьютерную модель. Первый опыт разработки систем автоматизированного проектирования (САПР) относится ещё к началу 1970-х годов. К настоящему времени разработаны эффективные средства многоаспектного моделирования электромеханических систем.

Фактически **диагностика** электроустановок может и должна начинаться на этапе конструирования и предшествовать созданию устройств в металле. Речь идёт об установлении зависимостей шумов, вибраций, тепловых и электромагнитных полей от геометрических параметров и типа конструкций, и о выборе оптимального решения по заданным критериям.

При **изготовлении** электрогенераторов в обеспечении надёжности роль методов неразрушающего

контроля (НК) и технической диагностики (ТД) существенно возрастает. Измерение и комплексный анализ физических полей, рентгеновский, акустический и многие другие виды контроля элементов конструкции позволят на этапе производства выявлять дефекты в работе машины, устанавливать причины их возникновения и принимать меры по доводке изделия.

**Обкатка** установок после монтажа оборудования должна сопровождаться применением всех методов НК и ТД, т. е. условия работы генератора на электростанции не идентичны испытательным режимам на заводском стенде. Кроме того, могут возникнуть дополнительные дефекты при транспортировке и, особенно, при монтаже.

Для отработанной конструкции мощного генератора на первом этапе жизненного цикла объем контроля и мониторинга нужно сводить к разумному минимуму, чтобы снизить до предела интеллектуальную нагрузку на оперативный персонал, одновременно увеличивая степень автоматизации мониторинга основных параметров.

**Эксплуатация** электрогенераторов выполняется при обязательном мониторинге основных параметров установки, однако полнота и детальность анализа изношенного оборудования должны быть существенно выше, чем при эксплуатации нового. Не исключено, что на определенном этапе потребуется тотальная проверка сварных соединений и других мест в системе. Это потребует дополнительных расходов, но "чем больше возраст, тем дороже лекарства".

Экономия на такого рода профилактике может обернуться огромными потерями. Примером может служить авария на японской АЭС (с человеческими жертвами), вызванная дефектом в одной из труб, которую не проверяли на протяжении 30 лет. Как следствие, были выведены из эксплуатации для полной ревизии 17 из 53 блоков АЭС.

Приближение к исчерпанию ресурса установки характерно тем, что ресурсы подсистем, узлов и отдельных деталей различны; именно это является причиной внезапных, неожиданных отказов системы. Система планово-профилактических ремонтов (ППР) становится неэффективной. У отказов свои "планы".

Поэтому в энергетике передовых стран намечается тенденция к переходу от ППР к техническому обслуживанию "по фактическому состоянию", что дает значительный экономический эффект не только за счет повышения надежности самого оборудования в процессе эксплуатации, но также и вследствие расходов на его ремонтное обслуживание.

При подходе к периоду исчерпания расчетного ресурса объем контроля и диагностики (включая и ремонтную) неизбежно будет увеличиваться, поэтому необходимо:

- переносить центр тяжести мониторинга на выполнение защитных функций в критических ситуациях,
- больше внимания уделять параметрам вибро-механического состояния, в первую очередь – для быстроходных турбогенераторов.

Если по электрическим параметрам последняя задача имеет приемлемое решение (в самых тяжелых

ситуациях повреждения локализируются внутри корпуса машины), то в области мониторинга вращающихся роторов – "непаханое поле". Аварии новосибирских турбогенераторов серии ТВМ, которые произошли вследствие разрушения узлов ротора в 2002 г. на Каширской ТЭС и в 2006 г. на Рефтинской ТЭС привели к полному разрушению турбоагрегатов 300 и 500 МВт соответственно.

Для того, чтобы упреждать отказы и аварии, необходимо внимательно "прислушиваться" и "присматриваться" к работающей системе с тем, чтобы улавливать аномалии в её поведении ещё на стадии зарождения причин отказов. Следовательно, количество точек контроля должно быть больше, а чувствительность измерительного тракта и разрешающая способность анализаторов существенно выше, чем в настоящее время. Кроме того, алгоритмы первичной и, особенно, вторичной обработки данных должны быть адаптированы к характеру физических процессов в электрогенераторе. Фактически нужно непрерывно, в реальном времени сравнивать фактическое состояние агрегата с его параметрами, рассчитанными при математическом моделировании.

Результаты мониторинга (как "сырые" данные, так и результаты обработки) должны непрерывно регистрироваться в специализированной компьютерной базе данных. Они представляют собой большую ценность не только для эксплуатационников, но также для проектировщиков и изготовителей оборудования. Современные технические возможности позволяют с минимальной задержкой во времени предавать информацию непосредственно в базы данных завода-изготовителя с тем, чтобы осуществлять независимый, объективный контроль работы установок.

Кроме того, на основании обобщенных данных можно будет выработать стандартные требования к номинальным значениям параметров, характеризующих нормальную работу установки.

**Для обеспечения мониторинга, упреждающего отказы оборудования, следует:**

- поставить задачу по моделированию физических полей электрогенераторов;
- определить перечень контролируемых параметров;
- разработать структуру базы экспериментальных данных для системы мониторинга;
- сформулировать (в первом приближении) критерии оценки отклонений параметров от номинальных значений;
- разработать техническое задание на многоканальную систему ввода и регистрации данных;
- для предварительной оценки состояния энергоустановок создать мобильные универсальные лаборатории неразрушающего контроля и диагностики;
- после выполнения предварительных исследований сформулировать ТЗ и создать типовые системы постоянного мониторинга на всех электрогенераторах;
- создать аналогичные системы контроля на заводах-изготовителях;
- обязательными требованиями к системе мониторинга должны быть:

- открытость структур данных в базе;
- открытость критериев нормальной работы установки;
- открытость алгоритмов вычисления отклонений от нормы;
- автономность локальной сети мониторинга (отсутствие прямого выхода в Интернет);
- возможность динамического изменения структуры данных с сохранением преемственности баз данных;
- **Особую ценность** представляют результаты всестороннего анализа оборудования, выведенного из эксплуатации в результате отказа или аварии; при этом должны применяться не только методы НК, но и, при необходимости, следует препарировать элементы конструкций и деталей; предпочтительно также применять рентгеновскую диагностику и другие методы, которые обеспечивают выдачу прямых, а не косвенных данных о характере дефектов (микроскопию, капиллярный метод, вихретоковый и т. п.);
- должна быть проведена тотальная (полная) обработка имеющейся базы рентгеновских снимков, а также дополнительных снимков, необходимых для изучения причин отказа или аварии;
- заключения экспертов (дефектоскопистов, материаловедов, конструкторов, эксплуатационников и др.) следует заносить в базу данных, которая должна стать аккумулятором опыта по изучению и устранению ошибок, допускаемых на всех этапах: проектирование, конструирование, изготовление, эксплуатация, ремонт;
- специализированная система управления базой экспертиз должна обеспечивать накопление сводной (отраслевой) базы текстовой и графической информации и эффективный поиск в неструктурированных текстах; **семантический метод поиска, разработанный нами, на порядок уменьшает информационный шум и повышает точность поиска;** в критических ситуациях, например, в предаварийной обстановке, поиск необходимых сведений может оказаться жизненно важным для принятия операторами правильных решений по управлению сложными системами;
- для исследования износа деталей и изучения нарушений микроструктуры малогабаритных ответственных узлов должны быть разработаны системы промышленной рентгеновской томографии как одного из наиболее информативных инструментов контроля качества.

Последние десятилетия характеризуются резким возрастанием роли диагностической аппаратуры для контроля энергетического оборудования. Это связано с тем, что парк оборудования энергетических предприятий катастрофически устаревает. В ряде энергосистем до 60% установленного высоковольтного оборудования полностью исчерпали свой ресурс, что грозит лавинообразным увеличением числа техногенных аварий

и катастроф. Например, если в 1990 году их число составляло в России около 200, то уже к 1997 году оно увеличилось до 1200, и в настоящее время продолжает увеличиваться, а по прогнозам специалистов в ближайшие годы может еще более резко возрасти из-за наметившегося оживления промышленности.

Существуют два пути выхода из создавшегося положения: первый путь - радикальная замена устаревшего оборудования практически одновременно во всех энергосистемах, что в нынешних экономических условиях следует признать нереальным, и второй путь - интенсификация диагностических проверок оборудования с целью выявления аварийноопасных объектов и, как следствие, предупреждения аварий и обоснования сроков ремонтов.

Обзор публикаций в области диагностики энергетического оборудования и, в частности, рентгенографических методов диагностики будет дан в отдельной публикации в этом журнале.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Е.В. Кириевский, канд. техн. наук (ЮРГТУ (НПИ) Техническая диагностика энергетического оборудования: проблемы, тенденции, перспективы, журн. Кабель – Монтаж, Обзор статей девятого номера издания Кабель, 2007.
- [2] Стороженко В. А., Мешков С. Н., Маслова В. А. Тепловизионный контроль и диагностика энергетического оборудования, журнал "Техническая Диагностика и Неразрушающий Контроль" №1, 2006 г., с. 33.
- [3] "Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности". – Труды 3-ей Международной конференции и выставки. Москва. Центр Международной торговли; 17-19 марта 2004 г.
- [4] "Неразрушающий Контроль и Техническая Диагностика в Промышленности". – Труды 5-й Юбилейной международной конференции и выставки. Москва. Центр Международной торговли; 17-19 марта 2006 г.
- [5] "Неразрушающий контроль-2005" Труды 8-й конференции и выставки. ИЭС им. Е.О.Патона г. Киев; 19 - 22 апреля 2005 года.
- [6] Барков А.В., Баркова Н.А. Интеллектуальные системы мониторинга и диагностики машин по вибрации. Ассоциация ВАСТ, Россия, 198207, С-Петербург, пр. Стачек, д. 140 (Статья опубликована в выпуске трудов Петербургского энергетического института повышения квалификации Минтопэнерго Российской Федерации и Института вибрации США (Vibration Institute, USA), Выпуск 9, Санкт-Петербург, 1999 г.)
- [7] Баркова Н.А. Современное состояние виброакустической диагностики машин. – Публикация составлена по материалам курса лекций, читаемых автором в Санкт-Петербургском морском техническом университете, Россия. Ассоциация ВАСТ, Россия, 198207, С-Петербург, пр. Стачек, д. 140.
- [8] Барков А.В. Новое поколение систем мониторинга и диагностики машин. – Ассоциация ВАСТ, Россия, 198207, С-Петербург, пр. Стачек, д. 140.
- [9] Шумилов Ю. А., Пономарево В. К., Кузьмин В. В., Демидюк Б. М. Цветовое "проявление": качественно новый уровень рентгенодиагностики. Электротехника і Електромеханіка. 2007. №2, С. 59-62.

Поступила 20.11.2006