

УДК 621.313.322

ПАСЬКО В.Е., инж., ГП завод "Электротяжмаш",
ЖУК И.А., зам. начальника электроцеха Днестровской ГАЭС

НОВАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОГЕНЕРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДНЕСТРОВСКОЙ ГАЭС

**ПАСЬКО В.Е.****ЖУК И.А.**

Представлена система вибромониторинга гидрогенератора № 1 Днестровской ГАЭС, описаны преимущества данной системы и "плюсы" внедрения подобных систем на других гидростанциях Украины.

Гидроэнергетика Украины переживает не легкое время. За прошедшие с момента провозглашения независимости Украины два десятилетия практически не вводились в эксплуатацию новые объекты энергетической инфраструктуры. Продолжалось использование оборудования, созданного 25–40 лет назад и которое уже имеет 70–80 % износа. Особенно остро для Объединённой энергосистемы Украины чувствуется нехватка гидроаккумулирующих мощностей, которые позволяют регулировать пики мощностей и тем самым разгружать атомные и тепловые станции, которые работают в базовом графике нагрузки.

Несмотря на все трудности в 2009 году в области гидрогенераторостроения Украины произошло значительное событие — выполнены монтаж и пробные пуски первого гидрогенератора-двигателя (диспетчерское наименование ГД-1) Днестровской ГАЭС.

ГД-1 типа СВО 1255/255-40 УХЛ4, производства ГП завод "Электротяжмаш", по своим техническим параметрам превосходит все аналогичные генераторы в Европе и является второй по мощности в мире обратимой машиной. Он предназначен для регулирования пиков мощности в Объединённой Энергосистеме Украины. Номинальная мощность высоконагруженного ГД-1 в режиме двигателя составляет 421 МВт, величина номинального напряжения — 15700 В, номинальная частота вращения — 150 об/мин, масса — 1700 тонн.

Двухрядный подпятник гидрогенератора-двигателя выполнен на гидравлических опорах.

Уникальные геометрические размеры, а также высокие механические и электромагнитные нагрузки подобных электрических машин требуют особого подхода в вопросах диагностики и мониторинга их технического состояния.

Одной из основных задач эксплуатации гидрогенераторов, особенно таких мощных как на Днестровской ГАЭС, на электростанциях является обеспечение надежности их работы. Эта задача в определенной степени решается путем профилактических мер контроля и испытаний генераторов для раннего выявления и устранения дефектов, развитие которых может привести к аварийным отключениям гидроагрегатов.

На гидрогенераторах ранних выпусков такой контроль, как правило, осуществлялся визуально и с помощью контрольно-измерительных приборов, которые не являлись законченной анализирующей системой. Датчики виброконтроля устанавливались только для временных измерений и затем демонтировались. Обычно стационарно встраивались только приборы теплового контроля, при этом непрерывные замеры не выполнялись, а их статистику и архивирование данных проводить не представлялось возможным. Особенно это касалось системы вибромониторинга силовых элементов генератора, контроля воздушного зазора между сердечником статора и ротором, биения вала, а вибросостояние лобовых частей обмотки статора вообще не определялось.

Существенным недостатком такой несовершенной системы наблюдений являлось отсутствие четкой взаимосвязи и координации между отдельными видами измерений, что затрудняло поставить правильный "диагноз".

В последнее время активизируются исследования и технические разработки по совершенствованию существующих и созданию новых методов и средств обнаружения дефектов генераторов для построения на их основе комплексных систем технической диагностики и прогнозирования состояния генераторов в условиях эксплуатации. Они позволяют своевременно выявлять и устранять дефекты на ранней стадии их развития, в результате чего сокращается количество и длительность вынужденных аварийных простоев машин. На базе современной системотехники и достижений в области контрольно-измерительной, информационной и вычислительной техники уже



созданы приборы, стационарно встраиваемые в наиболее ответственные узлы механизмов. Эти приборы участвуют в процессе аварийного отключения гидроагрегата при превышении допустимых значений (уставок) контролируемых параметров, а возможность длительного накопления и хранения данных позволяет осуществить построение стройной системы оценки технического состояния машины и прогнозировать ресурс работоспособности агрегата. Также, для повышения экономичности обслуживания оборудования сегодня переходят от методики плановых ремонтов по графикам к ремонтам по необходимости с помощью современных систем контроля и диагностики.

Создание систем технической диагностики актуально, в первую очередь, для современных мощных высоконагруженных генераторов, конструктивно более сложных, чем старые машины и имеющих, как правило, сравнительно малые запасы по отношению к предельно допустимым механическим, электромагнитным и тепловым воздействиям. Ярким примером являются гидрогенераторы типа АТ-1 производства американской компании "Дженерал Электрик", эксплуатирующиеся с 1947 года на Днепровской ГЭС-1. Многие узлы уже давно морально устарели, заменены подшипники, тормоза, обмотки статора, ряд других узлов на современные. Вместе с тем, эти машины практически остаются "холодными" и поэтому условно недогруженными и не приносящими особых забот обслуживающему персоналу.

Современная система мониторинга построена на базе программируемого логического контроллера (все чаще встречаются системы на базе нейролингвистического программирования с возможностью принятия решений) с использованием специализированных модулей измерения сигналов от термопреобразователей сопротивления (ТС) и сигналов от вибродатчиков, панели оператора, вторичных источников питания, принтера и станции оперативного контроля, устанавливаемой, как правило, в помещении операторов.

Унифицированные сигналы от датчиков вибрации, биений, контроля величины воздушного зазора, сигналы ТС поступают на входные модули контроллера и специализированные модули, где преобразуются в цифровой код. Контроллер сравнивает измеренные сигналы с вышеупомянутыми уставками и вырабатывает выходные дискретные сигналы управления и предупреждения при превышении уставок.

Информация о текущих параметрах

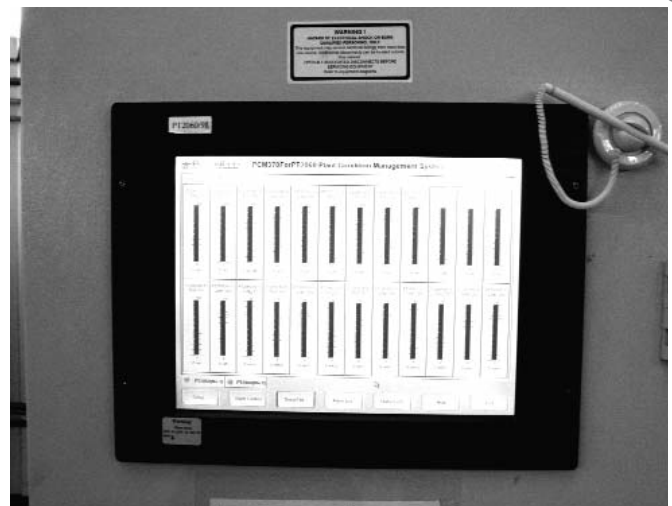


Рис. 1. Панель оператора системы вибромониторинга

отображается на панели оператора и мониторе станции оперативного контроля (Рис. 1), на которую выводятся данные из датчиков вибрации, размещённых на генераторе и турбине, в виде гистограмм величин виброперемещения и виброскорости с указанием граничных их значений. Информация о выявленных отклонениях от нормальной работы и сменные отчеты автоматически или по запросу оператора распечатываются на принтере. Ввод настроечных параметров: выбор канала, тип нормальной статической характеристики (НСХ) подключаемого параметра, диапазон измерения, значения уставок и т.д. осуществляются с панели оператора или со станции оперативного контроля и защищены паролем.

Система легко интегрируется, как с автоматизированными системами управления (АСУ) станции, так и с другими локальными системами за счет установки соответствующих интерфейсных модулей. Расширенные модификации системы позволяют выполнять архивирование результатов контроля, осуществлять диагностирование неисправностей контролируемого оборудования и реализовывать функции управления, включая

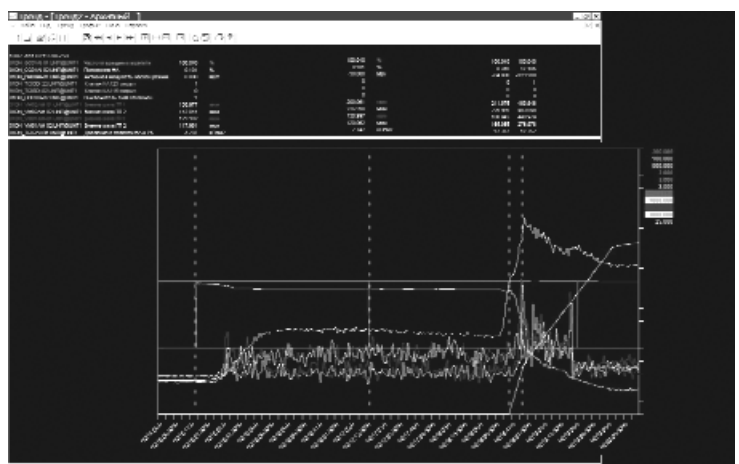


Рис. 2. Архивная вибродиаграмма во время пуска ГД-1 Днепровской ГЭС в насосном режиме

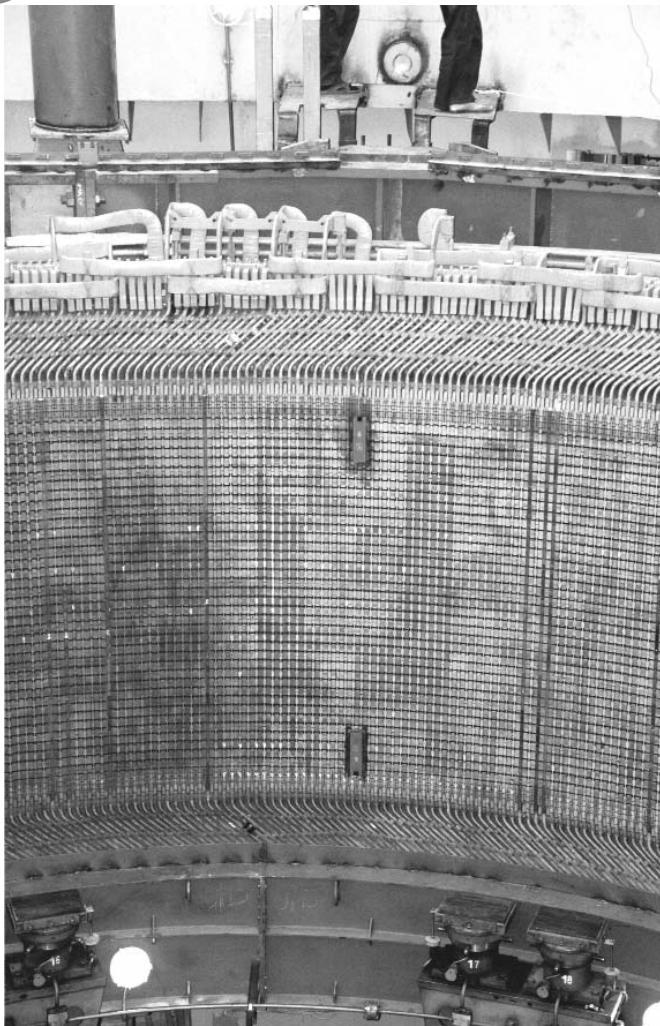


Рис. 3. Датчики воздушного зазора ГД-1 Днестровской ГАЭС

выполнение технологических защит, формирование условий на разрешение или запрет пуска генератора и работу его вспомогательных систем (Рис. 2). Цикл опроса дискретных входных каналов: не более 0,1 с, что позволяет получить достаточно большое количество информации.

В последние годы до 50 % основного оборудования энергетической отрасли постепенно вырабатало свой ресурс, что требует его модернизации или замены уже в ближайшие 5–10 лет. В связи с этим, в конце 20 века по Программе генерирующей компании "Укрэнерго" и при поддержке Мирового Банка Реконструкции и Развития была начата масштабная работа по реабилитации гидросилового оборудования ГАЭС Днепровского Каскада. В модернизацию гидрогенераторов стали включать работы по установке датчиков биения вала, датчиков вибрации крестовин и статора, а также контроля воздушного зазора. Впервые революционным шагом было внедрение системы мониторинга на гидрогенераторах ДнепроГАЭС-1. Данная система успешно выполняет свои функции по обеспечению безаварийной эксплуатации гидроагрегатов.

На Рис. 2 представлена архивная вибродиаграмма во время пуска ГД-1 Днестровской ГАЭС в насосном режиме, на которую выведены: частота вращения агрегата, положение направляющего аппарата, активная мощность, биение вала турбины, биение вала генератора. По горизонтали представлено время измерений, по вертикали — данные в единицах соответствующих величин

С учетом почти десятилетнего опыта внедрения мониторинга на отечественных гидроагрегатах наиболее тщательно была разработана система для гидрогенераторного оборудования Днестровской ГАЭС, которая имеет сложные режимы работы — генераторный, насосный, синхронного компенсатора насосного режима и синхронного компенсатора генераторного режима, а также большие динамические нагрузки. Комплекс системы мониторинга выполнен с использованием передовых технологий и комплектующих ведущих мировых фирм, таких как Bently Nevada (США) и Optoakustiks (Израиль). Количество видов и достаточность контролируемых параметров, которые регистрируются с помощью дорогостоящих датчиков, было строго оптимизировано. Этот объем оборудования можно представить как "мини-стандарт" и рекомендовать для внедрения на других ГАЭС и ГАЭС Украины.

На гидрогенераторе-двигателе СВО 1255/255-40 УХЛ4, ст. № 1, установлены следующие датчики вибромониторинга:

- датчики биения вала — 2 шт.
- датчики горизонтальной вибрации верхней крестовины — 2 шт.
- датчики вертикальной вибрации опор подпятника — 2 шт.
- датчики горизонтальной вибрации спинки сердечника статора—18 шт. Поскольку корпус статора Г-Д выполнен разъемным из шести секторов, то датчики вибрации спинки сердечника статора располагаются попарно возле каждого стыка секторов статора, а также и в середине каждого сектора. Технические параметры датчиков позволяют регистрировать как низкочастотную, так и высокочастотную (100 Гц) вибрацию.
- датчики контроля воздушного зазора—9 шт. Датчики в количестве 8 шт. располагаются в верхней части сердечника под углом 45 градусов, один датчик располагается в нижней части сердечника статора (Рис. 3).

Перечисленные датчики представлены фирмой Bently Nevada.

Интересное конструктивное решение имеют датчики контроля вибрации лобовых частей об-



мотки статора, которые были разработаны и поставлены израильской фирмой Ортоakustiks. Они представляют собой пластмассовый корпус из поликарбоната седловидного (П-образного) вида для посадки на лобовую часть обмотки, внутри корпуса располагается двунаправленный оптоволоконный акселерометр для измерения вибрации в радиальном и тангенциальном направлениях (Рис. 4).

Особым преимуществом этих датчиков по сравнению с электромагнитными является их полная безопасность в случае пробоя обмотки статора из-за отсутствия токоведущих элементов и проводки к вторичным приборам. Величина пробивного напряжения датчика достаточно высока—25 кВ. Кроме того, оптоволоконные датчики более устойчивы к коррозии и высоким температурам, невосприимчивы к электромагнитным помехам и способны передавать сигналы высокой частоты с большим количеством информации и без искажений.

Оптоволоконные датчики устанавливаются на лобовых частях "нулевых" выводов обмотки статора по 6 шт. вверху и внизу статора.

Все датчики ориентированы в одной вертикальной плоскости гидроагрегата, а также увязаны с радиальной линией сборки. Для синхронизации показаний вибродатчиков в различном положении ротора устанавливается еще один датчик — датчик отметки фазы вращения ротора. Этот датчик представляет собой такой же датчик биеения вала, реагирующий на специальный паз или выступ (шпонку) на валу.

Все датчики имеют унифицированный аналоговый выход 4...20 мА и подключаются к своим соответствующим вторичным приборам посредством фирменных кабелей и разъемов. Вторичные приборы располагаются в промежуточных шкафах в удобных с конструкторской точки зрения местах гидроагрегата с последующей кабельной проводкой в общий генераторный клеммный шкаф.

В последнее время следует ожидать появление виброаппаратуры, где в качестве первичных приборов применяются вибродатчики с цифровым выходным сигналом. Это позволит еще больше расширить функциональные возможности мониторинга и повысить надежность и долговечность системы. Также настало время заменить морально устаревшие приборы теплоконтроля в виде манометрических термометров (ТКП) с длинными капиллярными связями на систему, где используются термопреобразователи сопротивления, и позволяющие сигнализировать о недопустимых эксплуатационных параметрах и



Рис. 4. Датчики вибрации лобовых частей фирмы Ортоakustiks обмотки статора ГД-1 Днестровской ГАЭС

отключать агрегаты в случае аварийной обстановки. Кроме того, приборы ТКП требуют более частой поверки, что опять же вызывает дополнительный останов агрегата.

Учитывая рост оснащенности ГЭС и ГАЭС диагностической аппаратурой с использованием процессорной техники желательно рассмотреть вопрос о создании специализированных единых Служб технической диагностики (СТД) и идеологию удаленной диагностики с передачей баз данных в Центры диагностики с использованием передовых средств связи.

Использование стационарной непрерывной системы мониторинга позволяет диагностировать техническое состояние агрегата, сократить время простоя блоков гидроэлектростанций, что особенно важно в условиях рыночной экономики. В настоящее время практически ни один тендер на разработку и поставку гидрооборудования, особенно за рубежом, не рассматривается без предложений по установке системы мониторинга.

Следует внимательно и критически соответствующим организациям-разработчикам и правопреемникам государственных и национальных стандартов откорректировать основной стандарт на гидрогенераторы, а именно ГОСТ 5616, а также другие стандарты, регламентирующие технические требования на исполнения генераторов.

На безопасности электрооборудования электростанций экономить нельзя.

ЛИТЕРАТУРА

1. PT2060 Monitor System. User Manual, 2011. — 31 с.
2. Вертикальный обратимый гидрогенератор-двигатель СВО 1255/255-40 УХЛ4 для Днестровской ГАЭС. Руководство по эксплуатации. БИЛТ.651242.001РЭ, 2009. — 88 с.
3. ГОСТ 5616-89. Генераторы и гидрогенераторы-двигатели электрические гидротурбинные. Общие технические условия.

© Пасько В.Е., Жук И.А., 2011

