

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОАГРЕГАТАМИ Саяно-Шушенской ГЭС на основе SIMATIC PCS7

Р.В. Папировский (Группа компаний «СМС-Автоматизация»)

*Описываются системы управления новыми гидроагрегатами №1 и 7 Саяно-Шушенской ГЭС, реализованные на основе программно-аппаратных решений фирмы Siemens.*

*Ключевые слова: ГЭС, гидроагрегат, программно-технический комплекс, резервирование, система автоматического управления, троированные датчики, мажорирование, надежность.*

Саяно-Шушенская гидроэлектростанция им. С. Непорóжного — крупнейшая по установленной мощности электростанция России и шестая среди ныне действующих ГЭС в мире. Она расположена на реке Енисей, на границе между Красноярским краем и Хакасией. Саяно-Шушенская ГЭС входит в состав холдинга РусГидро и является верхней ступенью Енисейского каскада ГЭС.

В августе 2009 г. на Саяно-Шушенской ГЭС произошла крупнейшая в истории отечественной гидроэнергетики авария, в результате которой был полностью разрушен и выброшен из шахты гидроагрегат №2, разрушены генераторы гидроагрегатов №7 и №9, существенные повреждения получили другие гидроагрегаты, разрушены стены и крыша машинного зала, различные повреждения получило другое оборудование станции.

Сразу после аварии, была создана дирекция по ликвидации последствий аварии и начаты работы по восстановлению ГЭС. План восстановления станции включает постепенную замену всех 10 гидроагрегатов на новые той же мощности, но с улучшенными эксплуатационными характеристиками (рис. 1).

Новые гидроагрегаты изготавливаются холдингом «Силовые машины». Проектные работы было поручено выполнять ОАО «Ленгидропроект». В результате этих работ была создана новая концепция организации систем управления гидроагрегатом и вспомогательным оборудованием. Алгоритмы управления были доработаны в соответствии с новыми требованиями Ростехнадзора. Комплектация и сборка шкафов осуществлялась «Заводом автоматизированных систем», входящим в группу компаний «СМС-Автоматизация».

**Общая структура системы управления гидроагрегатом**

Система управления гидроагрегатом в ее нынешнем виде состоит из ряда взаимосвязанных ПТК, выполненных в основном на основе решений компании Siemens AG:

- ПТК автоматического регулирования частоты и активной мощности (ПТК АРЧМ);
- ПТК технологической автоматики и управления вспомогательным оборудованием (ПТК ТАиУВО);
- ПТК маслonaпорной установки (ПТК МНУ);
- ПТК измерений и сигнализации (ПТК ИС);
- ПТК теплового контроля (ПТК ТК);
- ПТК вибрационного контроля (ПТК ВК);

Совместно с системой управления гидроагрегатом работают ПТК аварийно ремонтного затвора (ПТК

АРЗ) и ПТК измерений сигнализации и управления трансформатором (ПТК Т).

Для централизованного хранения архивной информации, сообщений и связи с верхним уровнем вышеперечисленных ПТК для каждой системы автоматизированного управления гидроагрегатом (САУ ГА) и для каждой системы управления трансформатором устанавливается резервированная пара серверов PCS7 и инженерная станция.

Впервые на ГЭС был введен в работу защищенный регистратор технологической информации для контроля и гарантированного хранения архивов технологической информации в экстремальных условиях.

Производителем турбины применена новая концепция установки троированных датчиков для критически важных параметров, таких как давление и уровень масла в маслonaпорных установках (МНУ), обороты гидроагрегата. Информация с троированных датчиков поступает в контроллер и обрабатывается специальным алгоритмом мажорирования. Результатом работы алгоритма являются значения и статусы параметров, на основании которого технологические алгоритмы формируют управляющие воздействия.

Оборудование, применяемое в ПТК, полностью однотипно, что позволяет уменьшить число и номенклатуру ЗИП, а также упростить процесс обслуживания систем управления.

**Требования к системе управления гидроагрегатом**

В связи с тем, что контракт на поставку новых гидроагрегатов предусматривает их улучшенные характеристики в области надежности и безопасности, к САУ ГА на этапах проектирования и реализации предъявлялись особые требования.

- Система управления должна быть создана исключительно на основе стандартных, серийно выпускаемых промышленных компонентов.



Рис. 1

- Производитель оборудования должен обеспечить выпуск и ремонт применяемых компонентов  $\geq 10$  лет с момента поставки.
- Производитель оборудования должен иметь положительный опыт внедрения на объектах РусГидро.
- Учитывая большую электрическую мощность гидроагрегатов (640 МВт), контроллеры, устанавливаемые во всех ПТК, должны поддерживать функцию горячего резервирования центральных процессоров с минимальным временем переключения (до 10 мс).
- Применяемое оборудование должно обладать необходимой производительностью и надежностью.

В результате анализа ряда ПТК выбор был сделан в пользу оборудования и ПО фирмы Siemens AG. В качестве платформы автоматизации была выбрана система Simatic PCS7 — однородная, функционально полная интегрированная среда для решения задач комплексной автоматизации предприятий различных отраслей производства.

#### ПТК аварийно ремонтного затвора

ПТК АРЗ служит для контроля за состоянием и управления аварийно-ремонтным затвором, установленным со стороны верхнего бьефа на гребне платины и предназначенным для быстрого аварийного закрытия водовода при разрыве трубопровода, аварии в системе регулирования или ремонте гидроагрегата. Аварийно-ремонтный затвор — это последняя линия обороны технологической автоматики, в связи с чем надежность работы ПТК АРЗ имеет исключительную важность. Несмотря на малое число контролируемых параметров, было принято решение использовать резервированный контроллер S7-400H.

Команда на аварийный сброс щита в систему управления поступает от кнопки местного щита управления или от кнопки аварийного сброса с центрального пункта управления (ЦПУ) станцией, если ее нажмет дежурный ЦПУ — это ручной механизм управления. От системы управления технологической автоматики и вспомогательным оборудованием сигнал сброса щита поступает при обнаружении недопустимого разгона гидроагрегата или повышенного уровня воды на крышке турбины. Кроме того, команда на сброс щита может дать система виброконтроля при повышенной вибрации в установившемся режиме работы гидроагрегата.

#### ПТК автоматического регулирования частоты и активной мощности

ПТК АРЧМ — это основной регулятор, отвечающий за безопасную и качественную эксплуатацию гидроагрегата. ПТК АРЧМ обеспечивает:

- автоматическое и ручное управление гидроагрегатом и регулирование его мощности при работе в энергосистеме;
- требуемое качество регулирования частоты при выделении гидроагрегата или ГЭС на отдельный энергорайон;

- автоматический и ручной пуск и останов гидроагрегата;
- автоматическое и ручное управление гидроагрегатом в режиме холостого хода и синхронизацию при включении в сеть;
- регулирование по частоте вращения, давлению в подводящих водоводах, разрежению под крышкой турбины и под рабочим колесом при сбросах нагрузки с генератора;
- закрытие направляющего аппарата при действиях гидромеханических и электрических защит гидроагрегата.

Одним из основных требований качества электроэнергии является постоянство частоты тока, которая должна поддерживаться на уровне  $50 \pm 0,1$  Гц. Частота тока, вырабатываемая генератором, зависит от частоты вращения его ротора. Если частота вращения гидроагрегата неизменна, то мощность, развиваемая гидротурбиной, расходуется на выдачу полезной нагрузки генератора и преодоление механического сопротивления в виде различных механических, электрических, магнитных и вентиляционных потерь. Однако при работе гидроагрегата под нагрузкой происходит нарушение этого равенства из-за постоянного изменения потребляемой электроэнергии. При уменьшении потребления электроэнергии избыток мощности пойдет на увеличение частоты вращения агрегата.

Для изменения мощности турбины с помощью направляющего аппарата регулируют расход воды, проходящий через турбину. Для перемещения направляющих аппаратов гидротурбин средней и большой мощности требуются значительные усилия, для этого применяют специальные гидравлические сервомоторы, выполненные в виде цилиндра с поршнем. Для управления сервомоторами направляющего аппарата были применены специальные гидрораспределители производства Bosch Rexroth AG, которые регулируют подачу масла через контур гидравлического усиления главного золотника в зависимости от токового сигнала 4...20 мА, подающегося на его вход. Для контроля частоты вращения гидроагрегата используется зубчатое колесо, установленное на валу генератора. Импульсы с зубчатого колеса контролируются троированными датчиками и поступают на модули счета, а затем в контроллере преобразуются в частоту вращения гидроагрегата.

Самой критичной к скорости выполнения задач является так называемая «следающая система», которая контролирует заданное открытие направляющего аппарата (рис. 2). Ранее в качестве следящих систем применялись штучно или мелкосерийно выпускаемые специализированные микропроцессорные устройства. Все специализированные устройства не рассчитаны на работу с троированными датчиками обратной связи и не реализуют заданный алгоритм мажорирования.

Применение контроллеров и модулей быстрого аналогового ввода/вывода производства Siemens позволило отказаться от несерийных изделий в системе регулирования частоты и мощности гидроагрегата и создать резер-

вированную систему с минимальным временем переключения. На данный момент следящая система позволяет на ходу заменить любой датчик или модуль ввода обратной связи без остановки гидроагрегата.

Дополнительной функцией ПТК АРЧМ является возможность контроля оборотов турбины как по зубчатому колесу, так и в случае необходимости по специальному регулирующему генератору (тахогенератору), установленному на гидроагрегате. Выбор датчика оборотов осуществляется с панельного компьютера и возможен даже на работающем генераторе, находящемся в режиме холостого хода.

**ПТК маслонапорной установки**

Для перемещения направляющего аппарата применяется масло под давлением. Для аккумулирования необходимого объема масла под давлением, которое в любой момент может быть использовано, устанавливаются МНУ, состоящая из масловоздушного котла (пневмогидроаккумулятора) с контрольно-измерительными приборами и запорной арматурой, сливного бака, масляных насосов с электродвигателями и системы управления. Котел МНУ заполнен на 40% маслом и на 60 % воздухом под давлением. При расходе масла из котла МНУ на приведение в действие механизмов системы регулирования уровень масла в котле понижается. Пополнение масла происходит из сливного бака с помощью двух насосов МНУ.

Маслонапорные установки гидроагрегатов имеют достаточный запас энергии, чтобы закрыть направляющий аппарат и затормозить агрегат даже при аварийной потере напряжения в системе и при отказе обоих насосов МНУ. Тем не менее, надежность системы управления должна соответствовать общим показателям надежности САУ ГА. Учитывая критичность функционирования МНУ, авария которой автоматически вызывает аварийный останов всего гидроагрегата, ПТК МНУ также был реализован на основе резервированного контроллера S7-400H.

**ПТК технологической автоматики и управления вспомогательным оборудованием**

ПТК ТАиУВО осуществляет непрерывный контроль оборудования гидроагрегата и обеспечивает своевременное обнаружение отклонений от заданных режимов работы. Автоматическое управление гидроагрегатом позволяет быстро вводить в работу резервные гидроагрегаты и позволяет избегать работы вспомогательного оборудования вхолостую.

К основным функциям ТАиУВО относятся:

- пуск, включение в сеть и останов гидроагрегата, реализуемые в виде заданной последовательности технологических действий;

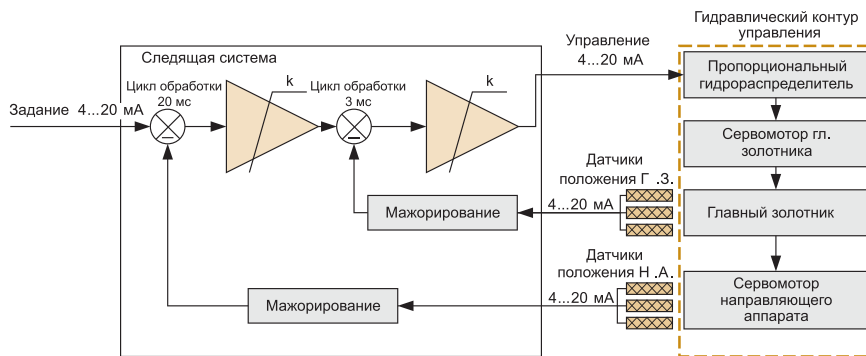


Рис. 2

- автоматическое управление технологическим водоснабжением для смазки всех вращающихся и подвижных частей агрегата, таких как подшипники и подпятник;
- автоматическое управление и контроль системы охлаждения, включая подачу воды на охлаждение уплотнений подшипников и подпятника, а также подачу дистиллята на охлаждение генератора;
- сигнализация и срабатывание гидромеханических защит при неисправности узлов гидроагрегата.

Технологическая автоматика действует на остановку гидроагрегата при:

- повышении температуры сегментов подшипников и подпятника;
- уменьшении расхода воды на смазку подшипников и подпятника;
- понижении давления масла в котле МНУ;
- повышении частоты вращения гидроагрегата.

Часть критических для работы гидроагрегата параметров поступает только в подсистему технологической автоматики и необходимы для оперативного контроля функционирования системы. Кроме того, работа гидроагрегата без гидромеханических защит недопустима, поэтому в ПТК ТАиУВО также используется резервированный контроллер.

**ПТК измерений и сигнализации**

Данная подсистема собирает информацию с неавтоматизированных шкафов и подсистем или от подсистем, имеющих локальную систему управления, например релейную. Также в эту подсистему интегрируются для отображения и сигнализации на верхнем уровне такие системы, как:

- микропроцессорная система электрических защит Экра по протоколу Modbus RTU;
- система возбуждения генератора ЭлектроСила по протоколу Modbus TCP;
- система виброконтроля Бентли-Невада производства GE по протоколу Modbus TCP;
- система силоизмерительных шайб на шпильках крышки турбины по протоколу UDP;

Из подсистемы измерений и сигнализации по протоколу Modbus TCP в защищенный регистратор технологической информации передаются все необходимые параметры о ходе ТП.



Рис. 3

#### ПТК теплового контроля

Данная подсистема решает задачи контроля температуры подшипников, подпятников, холодного и горячего воздуха, сердечников и обмоток статора основного и вспомогательного генератора, дистиллята, масла. Эта система не заслуживала бы внимания, если бы не число параметров, обрабатываемых в ней. В ПТК ТК обрабатываются сигналы 730 термометров сопротивления, не считая сигнализаторов температуры. Такое число точек измерения температуры насчитывают в сумме все генераторы Камской ГЭС.

Стоит также отметить нетривиальные алгоритмы проверки каждого сигнала на достоверность. Для каждого сигнала контролируются максимально допустимая скорость изменения, максимально допустимое рассогласование с сигналами его группы,

вычисляются минимальные, максимальные и средние температуры по каждой группе параметров. При необходимости формируется сигнал на аварийный останов гидроагрегата. В результате цикл обработки всей программы на контроллере Simatic S7-417N составляет около 200 мс. Такой цикл является вполне допустимым для температурных параметров, но применение менее производительных контроллеров совместно с системой Simatic PCS7 для такого числа параметров было бы нежелательно.

#### Конструирование и изготовление ПТК

ПТК АРЗ, АРЧМ, МНУ, ТАТУВО, ИС, ТК выполнены в виде типовых напольных шкафов, в которых размещены подсистемы питания, контроллеры Simatic S7-414N/417N, распределенная периферия ET-200 и панельные компьютеры IPC677C (рис. 3).

Разработку конструкторской документации на ПТК САУ ГА №1 и №7, их комплектацию и изготовление, а также создание и отладку необходимого ПО выполнила группа компаний «СМС-Автоматизация».

На весь комплекс работ по двум САУ ГА ушло чуть более 6 мес. Пусконаладка ПТК на площадке заказчика выполнялась под руководством специалистов «Силовых Машин» и заняла около 6 недель. Гидроагрегат №1 был торжественно включен под нагрузку 19 декабря 2011 г. Пуск ГА №7 в соответствии с планом графиком восстановления Саяно-Шушенской ГЭС запланирован на март 2012 г.

За 2011 г. Саяно-Шушенская ГЭС выработала более 18 млрд кВт·ч электроэнергии. Это свидетельствует о том, что гидроэлектростанция достигла дова-рийного уровня использования мощностей.

*Папировский Роман Владимирович — заместитель технического директора ООО НВФ «СМС» (Группа компаний «СМС-Автоматизация»).*

*Контактный телефон: (846) 269-15-20.*

*E-mail: roman@sms-samara.ru*

*http://sms-a.ru*

#### Промышленный компьютер MICROSPACE MPC-rONE от Kontron: готовая платформа для бюджетных приложений с высокой степенью готовности

ЗАО «РТСофт» и холдинг Kontron представляют новый встраиваемый промышленный компьютер MICROSPACE MPC-rONE — готовую к эксплуатации платформу для бюджетных приложений, требующих надежной конструкции и высокой степени готовности. Компактный компьютер базируется на долговечных процессорах Intel Atom Z5xx и контроллере-концентраторе Intel USW15W. Полностью герметичный алюминиевый корпус позволяет непрерывно эксплуатировать MICROSPACE MPC-rONE на протяжении 11 лет без техобслуживания (MTBF составляет более 100 тыс. ч). Новый продукт холдинга Kontron является готовым решением для приложений, где необходимы малые габариты и низкое энергопотребление.

Безвентиляторный компьютер MICROSPACE MPC-rONE оснащается процессорами различной производительности: от Intel Atom Z510 с частотой 1,1 ГГц до Intel Atom Z530 с 1,6 ГГц и поддерживает до 2 Гбайт системной памяти. Малые габариты (122 x 99 мм, что меньше обложки компакт-диска) позволяют применять компьютер для приложений с ограниченным пространством. С помощью опционального монтажного комплекта компьютер

можно установить на DIN-рейку. Несмотря на низкий профиль (всего 53 мм), MICROSPACE MPC-rONE обладает всеми стандартными компьютерными интерфейсами: видеосигналы с разрешением до 1920 x 1080 передаются через встроенный DVI-порт, сетевое соединение обеспечивается Gigabit Ethernet (RJ45), периферийные устройства подключаются через два порта USB 2.0 на передней и тыльной панелях. О безопасности данных позаботится модуль TPM. Надежный алюминиевый корпус без вентилятора имеет достаточно места для добавления 2,5" HDD объемом 500 Гбайт или SSD на 40 Гбайт для не требующих техобслуживания модификаций. Кроме того, система может загружаться через встроенный слот MicroSD.

Новый промышленный компьютер поставляется в виде готовой к работе COTS-платформы либо предварительно сконфигурированного в соответствии с требованиями пользователя решения с лицензией на ОС. Области применения продуктовой новинки от Kontron включают промышленную автоматизацию, POS/POI-системы, информационные и другие терминальные приложения.

*Http://www.rtssoft.ru*