

УДК 621.311.22.002

## Разработка автоматизированной системы управления электростанции с поперечными связями при ее выделении из энергосистемы

© 2012 г. Горский Е.Р., Лиманская К.С., Лисенкин С.Д., Слесь В.А.

ОАО «Сибтехэнерго»<sup>1</sup>

**Представлены результаты работ по созданию универсального алгоритма и реализации системы автоматического выделения электростанции с поперечными связями на несбалансированную нагрузку при дефиците мощности в энергосистеме.**

При системных авариях в дефицитных энергосистемах, как правило, возникает снижение частоты, которое стремятся ограничить путем ввода в действие автоматической частотной разгрузки. Но при тяжелых авариях этого оказывается недостаточно. И тогда единственным средством для сохранения работоспособности электростанции является ее выделение из энергосистемы на изолированный энергорайон (в предельном случае на собственные нужды). Этим достигается (кроме предотвращения полного погашения района) еще и ускорение ликвидации аварии. Такая техника сохранения в работе электростанций предусматривается стандартами системного оператора СО-ЦДУ и другими директивными материалами [1–3].

В указанных документах предусматривается выделение электростанций или их частей из энергосистемы на приближенно сбалансированный район нагрузки или отдельных агрегатов на питание собственных нужд. Однако при реализации этих предписаний существуют, по крайней мере, две сложности:

- выделить приближенно сбалансированный район при переменных режимах работы электростанции с глубокими изменениями ее нагрузки — задача чрезвычайно трудная и при теперешнем состоянии техники едва ли надежно реализуемая;
- когда в энергосистеме отсутствуют блочные электростанции или по каким-то причинам энергоблоки не могут переходить на нагрузку собственных нужд, остается маневр электростанциями с поперечными связями. В случае с энергоблоком ясна если не начальная нагрузка перехода, то хотя бы конечная точка — нагрузка его собственных нужд. В случае же электростанции с поперечными связями из-за изменчивости состава работающего оборудования неизвестны как начальная, так и конечная нагрузки перехода.

Ранее были осуществлены переводы энергоблоков на собственные нужды [4, 5]. Перевод же

электростанций с поперечными связями, как уже указывалось, является более сложной задачей. И сложности эти таятся в управлении тепломеханическим оборудованием, так как отключение электростанции от энергосистемы электротехническими средствами практически не зависит от структуры электростанции. Вместе с тем всегда представляется предпочтительным выделение электростанции с некоторым энергорайоном. Этим удастся уменьшить сброс нагрузки на электростанции и одновременно сохранить часть потребителей, что бывает еще более важно, если это потребители высоких категорий.

Преодоление перечисленных сложностей видится в реализации идеи выделения электростанции с поперечными связями на несбалансированную нагрузку. При этом балансировка производится в момент перехода. Тогда электростанция выделяется вместе с ее тупиковыми нагрузками, мощности которых на момент перехода заранее неизвестны.

Специалистами ОАО «Сибтехэнерго» спроектированы Системы автоматического выделения станций из энергосистемы на несбалансированную нагрузку (АВСНН) для нескольких теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) с поперечными связями энергосистем Омска и Кузбасса.

Реализация одного из проектов была произведена в 2009–2010 гг. на Омской ТЭЦ-4 на базе ПТК, поставленного НПО ЭКРА. Для решения указанной задачи в тепловую схему электростанции вводилось дополнительно устройство сброса пара в атмосферу — быстродействующая редуциционно-охлаждающая установка (БРОУ). Мощность этого устройства рассчитывалась при проектировании АВСНН.

Работа тепловой части АВСНН (АВСНН-Т) направлена на минимизацию отклонений давления в главном паропроводе электростанции во время выделения ее из энергосистемы вместе с тупиковыми нагрузками. Большие отклонения давления в главном паропроводе могут привести к несанкционированному отключению парогене-

<sup>1</sup> 630032, г. Новосибирск, Планировочная ул., д. 18/1. ОАО «Сибтехэнерго».

пирующих мощностей и, как следствие, к потере собственных нужд и полному останову электростанции. Допустимыми считаются отклонения давления на значение, равное половине разницы между номинальным давлением и давлением срабатывания предохранительных клапанов.

При действии АВСНН-Т решаются параллельно три задачи управления работой:

- котельного оборудования (выбор котлов, которые должны остаться в эксплуатации с новыми нагрузками в аварийной ситуации, и погашение остальных);
- импульсно-предохранительных клапанов (ИПК) котлов;
- дополнительного быстродействующего сбросного устройства (БРОУ<sub>АВСНН</sub>).

Наибольшую сложность представляет работа АВСНН-Т с котельным оборудованием, которое является наименее маневренной частью тепломеханического оборудования.

Основные принципы работы рассматриваемой системы следующие.

Тепловая часть (АВСНН-Т) начинает действовать только по сигналу окончания работы электротехнической части АВСНН (АВСНН-Э). Все котлы, не имеющие включенных регуляторов питания, при срабатывании АВСНН отключаются. В покрытии паровых нагрузок ТЭЦ во время функционирования АВСНН должны принимать участие котлы, регуляторы питания и горения которых находятся в режиме автоматического управления. В случае потребности в паровой нагрузке, перекрывающей мощности котлов, на которых включено регулирование горения, в покрытии этой нагрузки могут принимать участие котлы, не имеющие включенного регулирования горения. У этих котлов должно быть включено регулирование питания, и эти котлы не будут менять свою нагрузку в процессе функционирования АВСНН.

В составе котлов, покрывающих паровую нагрузку во время действия АВСНН, должен быть котел, поддерживающий давление в главном паропроводе. Если ни один из котлов не поддерживает давление в главном паропроводе, АВСНН будет действовать, однако увеличивается вероятность неуспешной работы системы.

Из котлов, которые могут участвовать в покрытии нагрузок, выбирается такое их сочетание, которое обеспечивает наименьшую сумму минимальных нагрузок котлов в их регулирующих диапазонах.

Быстродействующая редуцирующая установка АВСНН (БРОУ<sub>АВСНН</sub>) для сброса избытков пара в атмосферу должна быть в работоспособном состоянии. Регулятор давления БРОУ, поддерживающий давление в паропроводе свежего пара, должен находиться в положении “Автоматическое

управление”. Быстродействующая редуцирующая установка АВСНН для сброса избытков пара в атмосферу получает разрешение на работу после запуска тепловой части АВСНН. Алгоритм функционирования БРОУ<sub>АВСНН</sub> определяется возникшими небалансами пара после отключения электростанции от системы. Если из-за сбоя в системе какая-либо команда не выполнена автоматически, то формируется запрос оператору на ее ручное выполнение. В зависимости от характера невыполненной команды система либо ожидает ее исполнения оператором, либо продолжает исполнение алгоритма. В последнем случае после выполнения команды оператором система возвращается к исполнению прерванной цепи алгоритма.

Обмен сигналами АВСНН с управляемым оборудованием производится следующим образом:

с котлами, управление которыми осуществляется на базе программируемых контроллеров, — по цифровым каналам связи;

с котлами и турбинами, управление которыми построено без применения цифровых технологий, — унифицированным сигналом или дискретным сигналом в виде сухого контакта.

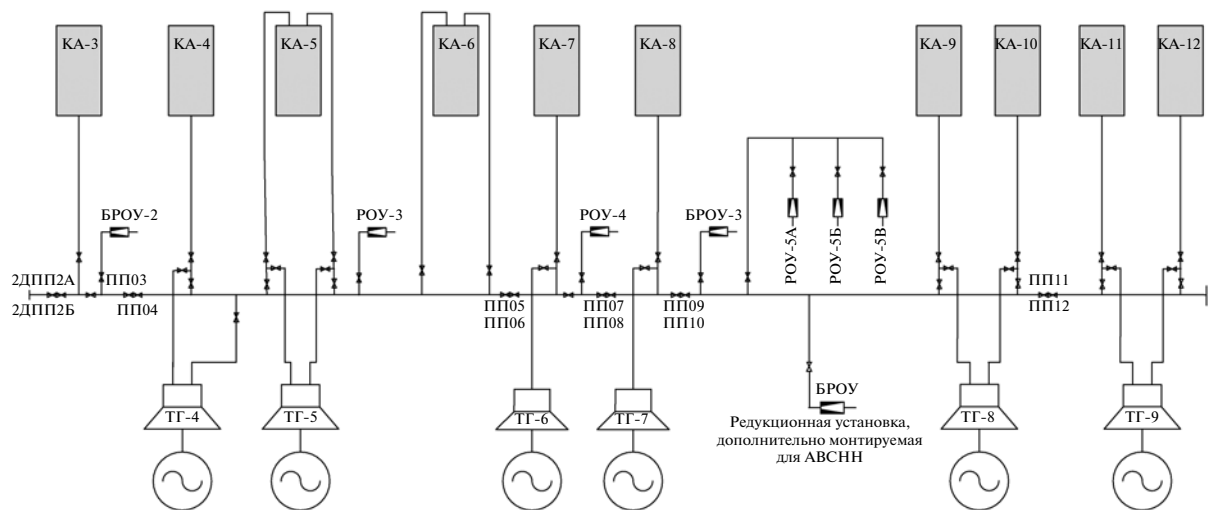
Разрешение на работу БРОУ<sub>АВСНН</sub> дается со стороны АВСНН-Т путем выдачи в схему автоматики БРОУ<sub>АВСНН</sub> сигнала сухого контакта. Тепловая часть АВСНН работает с импульсно-предохранительными клапанами котлов. Система АВСНН не взаимодействует с регуляторами штатных РОУ и БРОУ. Тепловая часть АВСНН прекращает работу и устанавливает первоначальные настройки после полной отработки алгоритма.

Возможные случаи повторной работы АВСНН-Э:

- тупиковый потребитель увеличил свою нагрузку;
- аварийно отключился котел, и поэтому упала мощность генераторов;
- аварийно отключилась турбина и после перераспределения нагрузки по оставшимся турбинам пара не хватает для покрытия мощности потребителей, например если отключилась наиболее экономичная турбина.

После повторного срабатывания АВСНН-Э подается сигнал на повторную работу АВСНН-Т. В этом случае алгоритм действия АВСНН-Т будет зависеть от того, закончила ли она функционирование после предыдущего пуска от АВСНН-Э.

Из-за изношенности электротехнического оборудования на существующих ТЭЦ переключения в системе их собственных нужд весьма часто проходят неудачно, что особенно недопустимо при дефиците времени в аварийных ситуациях. Одним из наиболее важных преимуществ разработанных проектов является то, что в них не предусматривались какие-либо переключения в системах собственных нужд электростанции во время ее отделения от энергосистемы.



**Рис. 1.** Упрощенная схема включения основного оборудования в трубопровод острого пара Омской ТЭЦ-4 (на схеме показаны только секционные электрифицированные задвижки)

Отработка алгоритма работы АВСНН-Т осуществлялась на моделях, которые были получены на основе натурных испытаний на действующем оборудовании тех ТЭЦ, для которых велось проектирование. Поскольку реализация проекта была завершена только на Омской ТЭЦ-4, то в дальнейшем в статье будет рассматриваться эта электростанция.

Тупиковыми потребителями Омской ТЭЦ-4, являются предприятия с непрерывным циклом работы, нарушение которого может вызвать большие финансовые затраты и экологические проблемы.

Система АВСНН-Т постоянно находится в режиме ожидания и по приходу сигнала от электрической части о выделении из энергосистемы включается и выполняет необходимые действия полностью автоматически, сигнализируя об этом персоналу. В случае невыполнения какой-либо команды системы оператор получает исчерпывающее указание для продолжения работы, что повышает надежность функционирования системы.

Схема включения основного оборудования в главный паропровод Омской ТЭЦ-4 приведена на рис. 1. На электростанции установлены следующие паровые котлы:

котлоагрегаты (КА): БКЗ Е-320-140 – 3 шт.; БКЗ Е-420-140 – 6 шт.;

турбоагрегаты (ТА):

ТГ-4 и ТГ-5 типа Р-50-130/15 мощностью 50 МВт с регулируемым противодавлением;

ТГ-6 и ТГ-7 типа Т-100-130, 100 МВт с двумя регулируемыми теплофикационными отборами пара;

ТГ-8 типа Р-100-130/15, 100 МВт с регулируемым противодавлением;

ТГ-9 типа ПТ-135/165-130/15, 135 МВт с двумя регулируемыми производственными отборами пара и двумя регулируемыми теплофикационными отборами пара.

Установленная тепловая мощность ТЭЦ составляет 6300 ГДж/ч (1500 Гкал/ч), рабочая не превышает 5900 ГДж/ч (1404 Гкал/ч), а установленная электрическая мощность равна 535 МВт.

В качестве основного топлива на ТЭЦ используется уголь, в качестве резервного – мазут. В эксплуатационном режиме давление в паропроводе свежего пара поддерживается регулятором, воздействующим на один котел.

При рассмотрении вариантов максимальных и минимальных нагрузок при работе АВСНН в зимних и летних условиях, а также варианта выделения электростанции только на нагрузку собственных нужд выяснилось, что диапазон необходимых нагрузок по пару составляет от 60 до 750 т/ч и для его покрытия при разных вариантах требуется разный состав котлов. Конфигурация котлоагрегатов с паровыми нагрузками при срабатывании АВСНН представлена в табл. 1 и 2.

Таким образом, зимой необходима работа по крайней мере двух котлов с паровой нагрузкой 420 т/ч и одного котла – 320 т/ч, а летом – одного котла 420 т/ч и одного котла 320 т/ч. С учетом возможности нахождения котлов в ремонте устройствами приема сигналов от АВСНН и автоматикой горения должны быть оборудованы не менее трех котлов 420 т/ч и двух котлов 320 т/ч.

Как уже указывалось ранее, при проектировании тепловой части системы выполнялось моделирование процессов, протекающих на тепловом оборудовании (на котлах, турбинах и в главном паропроводе) при отделении электростанции от энергосистемы. Модели строились по результа-

Таблица 1. Летние варианты нагрузок

Нагрузка	Вариант		
Электрическая, МВт	17–50	50–70	70–100
Паровая, т/ч	60–230	230–350	350–560
На котлах и БРОУ <sub>АВСНН</sub>	1 × БКЗ-320 с нагрузкой 230 т/ч (расход пара через БРОУ от 170 до 0 т/ч)	1 × БКЗ-420 с нагрузкой 350 т/ч (расход пара через БРОУ от 120 до 0 т/ч)	1 × БКЗ-320 с нагрузкой 220 т/ч и 1 × БКЗ-420 с нагрузкой 340 т/ч (расход пара через БРОУ от 210 до 0 т/ч)

Таблица 2. Зимние варианты нагрузок

Нагрузка	Вариант				
Электрическая, МВт	25–50	50–70	70–100	100–110	110–120
Паровая, т/ч	115–230	230–350	350–560	560–700	700–750
На котлах и БРОУ <sub>АВСНН</sub>	1 × БКЗ-320 с нагрузкой 230 т/ч (расход пара через БРОУ от 170 до 0 т/ч)	1 × БКЗ-420 с нагрузкой 350 т/ч (расход пара через БРОУ от 120 до 0 т/ч)	1 × БКЗ-320 с нагрузкой 220 т/ч и 1 × БКЗ-420 с нагрузкой 340 т/ч (расход пара через БРОУ от 210 до 0 т/ч)	2 × БКЗ-420 с нагрузкой по 375 т/ч (расход пара через БРОУ от 140 до 0 т/ч)	2 × БКЗ-420 с нагрузкой 340 т/ч и 1 × БКЗ-320 с нагрузкой 220 т/ч (расход пара через БРОУ от 200 до 150 т/ч)

там натуральных динамических испытаний котлов, турбин и главного паропровода, проведенных на электростанции. Моделирование велось для различных начальных небалансов пара. Под небалансом пара понимается разница между количеством пара, вырабатываемым котлами, и потребностью в паре после отделения электростанции от системы. Результаты моделирования приведены на рис. 2. Кривая 1 представляет ситуацию, когда АВСНН не используется. Так как все котлы остаются в работе, а возможности котла, регулирующего давление в паропроводе, быстро исчерпываются, то происходит быстрый рост давления (в течение 3 мин) до уставок срабатывания защит (штриховая линия на рис. 2) и отключение всех котлов. Кривая 2 отражает случай, когда из-за узких регулировочных диапазонов пылеугольных котлов возможны появления нескомпенсированных излишков пара, вызванных ограничениями по снижению нагрузки котлов, в результате чего наблюдается рост давления. Рост давления (кривая 3) имеет те же причины, что и в предыдущем случае, часть производимого пара остается нескомпенсированной. Кривая 4 описывает ситуацию, когда управление БРОУ ведется по двухступенчатой схеме. Сначала работает логическая часть, открывающая клапаны БРОУ до определенного их положения в зависимости от начального небаланса, а затем БРОУ переходит в режим аналогового регулирования по ПИ-закону. Таким образом, на рис. 2 видно, что включение в тепловую схему дополнительной сбросной БРОУ<sub>АВСНН</sub> и операции с импульсно-предохранительными

клапанами котлов являются необходимыми условиями успешной работы системы при любом энергетическом небалансе между электростанцией и потребителями, выделяемыми с ней.

Вместе с тем из-за достаточно высокой цены дополнительной сбросной БРОУ высокого давле-

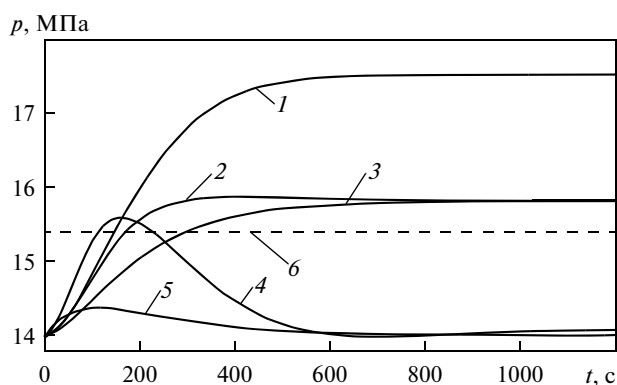
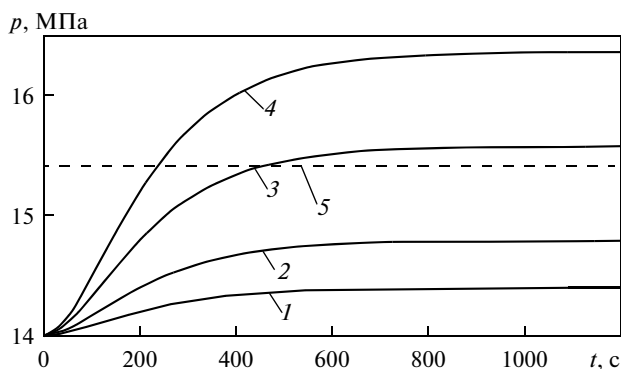


Рис. 2. Изменение давления в главном паропроводе при различных способах управления технологическим оборудованием.

1 – без АВСНН с использованием главного регулятора при начальном небалансе пара 500 т/ч; 2 – с АВСНН без ИПК и БРОУ, начальный небаланс пара 500 т/ч; 3 – с АВСНН без БРОУ и с использованием ИПК отключаемых котлов, начальный небаланс пара 500 т/ч; 4 – с АВСНН и БРОУ, ИПК не используются, начальный небаланс пара 1220 т/ч; 5 – с АВСНН, БРОУ и ИПК отключаемых котлов, начальный небаланс пара 2300 т/ч; 6 – давление срабатывания предохранительных клапанов



**Рис. 3.** Изменение давления в главном паропроводе в зависимости от избытка пара.

Избыток пара, т/ч: 1 – 50; 2 – 100; 3 – 200; 4 – 300; 5 – давление срабатывания предохранительных клапанов

ния возникает вопрос о возможности работы системы без этой установки.

Для решения этого вопроса конкретно для Омской ТЭЦ-4 было проведено моделирование изменения давления в главном паропроводе в зависимости от избытка вырабатываемого пара по сравнению с потребляемым. Результаты моделирования приведены на рис. 3. Из графиков видно, что с учетом ранее названного нами критерия безаварийности – роста давления в главном паропроводе не более чем до половины диапазона срабатывания предохранительных клапанов – возможный избыток вырабатываемого пара при работе без БРОУ составляет не более 100 т/ч. Фактический избыток в зависимости от типа оставшихся в работе котлов может достигать 290 т/ч. Отсюда следует, что при равной вероятности избытков пара в диапазоне 0–290 т/ч работа системы без специальной сбросной БРОУ в 65% случаев будет неудачной.

В настоящее время система АВСНН прошла подробное тестирование по специальным программам и введена в опытную эксплуатацию. Ис-

пытание ее в натуральных условиях – ответственная самостоятельная работа, она проводится в несколько этапов и требует тщательной проработки программы и многочисленных согласований.

Таким образом, опыт разработки и реализации проекта Сибтехэнерго свидетельствует о том, что в случае системной аварии существует реальная возможность сохранения работоспособности электростанции с поперечными связями вместе с ее тупиковыми потребителями (а в пределах и на собственных нуждах) путем выделения этой электростанции из энергосистемы и перевода ее на несбалансированную нагрузку. При этом балансирование выработки и потребления обеспечивается автоматически управляющей системой АВСНН-Т сразу после отделения электростанции от энергосистемы

#### Список литературы

1. **ОАО РАО “ЕЭС России”.** Стандарт организации. Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем. М.: ОАО РАО “ЕЭС России”, 2005.
2. **Стандарт ОАО “СО-ЦДУ ЕЭС”.** Технические правила организации в ЕЭС России автоматического ограничения снижения частоты при аварийном дефиците активной мощности (автоматическая частотная разгрузка). Утв. приказом ОАО “СО-ЦДУ ЕЭС” от 04.11.2004 № 291.
3. **Сборник** распорядительных материалов по эксплуатации энергосистем. Электротехническая часть. 5-е изд., перераб. и доп.
4. **Перевод** блока 200 МВт с барабанным котлом на нагрузку собственных нужд / А.Г. Прокопенко, В.И. Доброхотов, А.А. Финкевич и др. // Теплоэнергетика. 1972. № 4. С. 48–49.
5. **Перевод** энергоблока 220 МВт с барабанными котлами на нагрузку собственных нужд при отключении генератора от сети / В.И. Доброхотов, Е.Е. Говердовский, Н.М. Долгоносков и др. // Электрические станции. 1972. № 1.