

На правах рукописи

Галанова Анна Игоревна

**АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМЫ СОБСТВЕННЫХ НУЖД
ЭНЕРГОБЛОКОВ С БАРАБАННЫМИ ПЫЛЕУГОЛЬНЫМИ
КОТЛОАГРЕГАТАМИ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

Специальность 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические
системы и агрегаты

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Новосибирск – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Щинников Павел Александрович

Официальные оппоненты: **Фишов Александр Георгиевич**,
доктор технических наук, профессор,
Новосибирский государственный технический университет, кафедра автоматизированных электроэнергетических систем, заведующий кафедрой

Степанова Елена Леонидовна,
кандидат технических наук, доцент,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, отдел теплосиловых систем, лаборатория исследования энергетических установок, старший научный сотрудник

Ведущая организация: **ЗАО «ЗиО-КОТЭС», г. Новосибирск**

Защита диссертации состоится «21» декабря 2012 года в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.173.02 при Новосибирском государственном техническом университете по адресу: 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Новосибирского государственного технического университета

Автореферат разослан «_21_» ноября 2012 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета

Чичиндаев Александр Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Сегодня в условиях больших перетоков мощности, постоянной перегруженности сетей, старения оборудования электрических станций, неудовлетворительного состояния системы противоаварийного управления вероятность возникновения масштабной системной аварии возрастает. Это требует от электростанций наличия систем, которые позволяют при отключении генератора от энергосистемы перевести энергоблок на нагрузку собственных нужд (СН), для быстрого последующего восстановления на нормальный режим работы, а также минимизации потерь в этом режиме.

Исторически сложившаяся ситуация в российской энергетике показывает, что сегодня значительная доля мощностей тепловых электрических станций (ТЭС) приходится на докритические параметры пара. Около 17% установленной мощности ТЭС составляют энергоблоки с барабанными котлоагрегатами. С точки зрения управления в аварийных ситуациях наиболее сложным является энергоблок с барабанным пылеугольным котлоагрегатом, количество которых оценивается в 7% от установленной мощности ТЭС.

В 80-90^х г. прошлого столетия было выполнено большое число исследовательских работ по разработке систем автоматического выделения на нагрузку СН (АВСН) при системных авариях. Результатом этих работ было появление руководящих материалов по созданию АВСН. Несмотря на это сегодня перед внедрением таких систем требуется проведение 3-5 предварительных опытов по полному и частичному сбросу нагрузки, что значительно ограничивает внедрение АВСН. С другой стороны, частота аварийных ситуаций в энергосистемах, а также возможные их последствия, как для потребителей, так и для энергоагрегатов, позволяет говорить об актуальности и необходимости внедрения систем перевода энергоблоков на нагрузку СН в аварийной ситуации, что сокращает время восстановления нормального режима работы энергосистемы. Однако несовершенство алгоритмов этих систем, устройств обнаружения аварийных ситуаций, а также сложность и высокая стоимость предварительных опытов по сбросу нагрузки перед внедрением этих защит снижают интерес к

ним. Поэтому анализ работы системы СН энергоблоков с барабанными пылеугольными котлами в аварийных ситуациях актуален.

Цель работы: разработка научно обоснованных методов анализа работы систем собственных нужд энергоблоков с барабанными пылеугольными котлами при отключении генератора от энергосистемы; изучение поведения систем СН в указанных ситуациях; выработка научно обоснованных принципов создания технологических защит энергоблоков при переводе на нагрузку СН в аварийной ситуации.

Задачи исследования:

1. Разработка методики определения изменения уровня в барабане котла при аварийной ситуации как ключевого фактора при работе систем перевода энергоблока на нагрузку СН.

2. Разработка методики определения времени работы на аккумулированной энергии для энергоблоков с барабанными пылеугольными котлоагрегатами при погашенной топке.

3. Разработка метода определения нагрузки СН в аварийных ситуациях.

4. Разработка алгоритма обнаружения аварийной ситуации в энергосистеме.

5. Анализ эффективности внедрения системы перевода энергоблока на нагрузку СН.

6. Разработка рекомендаций по совершенствованию управления энергоблоком с барабанным пылеугольным котлоагрегатом при аварии во внешней сети генератора.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней впервые получены и выносятся на защиту следующие наиболее важные результаты:

1. Разработаны методы исследования, направленные на установление факта снижения уровня в барабане до предела технологической защиты, определение времени работы на нагрузке СН за счёт аккумулированной энергии, определение изменения нагрузки СН в аварийной ситуации;

2. Разработан алгоритм обнаружения аварийной ситуации в энергосистеме;
3. Проведён анализ эффективности внедрения технологической защиты по переводу энергоблока на нагрузку СН;
4. Даны рекомендации по совершенствованию управления энергоблоком с барабанным пылеугольным котлом в аварийных ситуациях.

Методы исследования: фундаментальные положения термодинамики и теплопередачи; метод энергобалансов; сопоставление результатов расчётов с экспериментальными данными, компьютерное и математическое моделирование ТЭС.

Практическая значимость работы. Разработанные методики и модели позволяют определять основные характеристики работы энергоблока с барабанным пылеугольным котлоагрегатом на нагрузке собственных нужд. Результаты исследования могут служить информационной базой для обоснования алгоритма перевода энергоблока на нагрузку собственных нужд, а так же использоваться для обоснования технико-экономической эффективности внедрения технологических защит по переводу энергоблока на нагрузку собственных нужд.

Личный вклад автора. Все разработки и результаты исследований, изложенные в основном тексте диссертации без ссылок на другие источники, получены автором.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались на международной научно-технической конференции «Современные научно-технические проблемы теплоэнергетики. Пути решения» (Саратов, 2012), всероссийской научной конференции молодых учёных «Наука, Технологии, Инновации» (Новосибирск, 2009, 2010, 2011), шестнадцатой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиотехника, электроника и энергетика» (Москва, 2010), II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационная энергетика» (Новосибирск, 2010), Всероссийской научно-технической конференции «Электроэнер-

гия: от получения и распределения до эффективного использования» (Томск, 2010), Международном научно-техническом конгрессе «Энергетика в глобальном мире» (Красноярск, 2010), Международной научно-технической конференции «Состояния и перспективы развития электротехнологии (XVI Бенардосовские чтения), (Иваново, 2011), открытом межрегиональном конкурсе инновационных проектов по энергоресурсосбережению, проводимом Ассоциацией Сибирских и Дальневосточных городов (1 место, Новосибирск, 2010); научных семинарах НГТУ (Новосибирск, 2009-2012).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 13 печатных работ, из них 1 статья в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, 4 – в сборниках научных трудов, 1 – в сборнике научных трудов (Канада), 7 – в сборниках трудов конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников. Содержит 130 страниц основного текста, 38 рисунков, 13 таблиц.

Достоверность полученных результатов и выводов диссертационной работы обосновывается использованием апробированных методов расчёта, фундаментальных законов термодинамики и теплопередачи, согласованием результатов с экспериментальными данными.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели исследования, определена научная новизна и практическая ценность работы, аннотируются основные положения работы.

В первой главе проведён анализ существующих способов управления энергоблоками в аварийных ситуациях с различным составом оборудования, анализ существующих устройств обнаружения аварийных ситуаций.

На сегодня наиболее перспективным алгоритмом АВСН для энергоблоков с барабанными пылеугольными котлоагрегатами является разработка ОАО «Сибтехэнерго» (рис. 1).

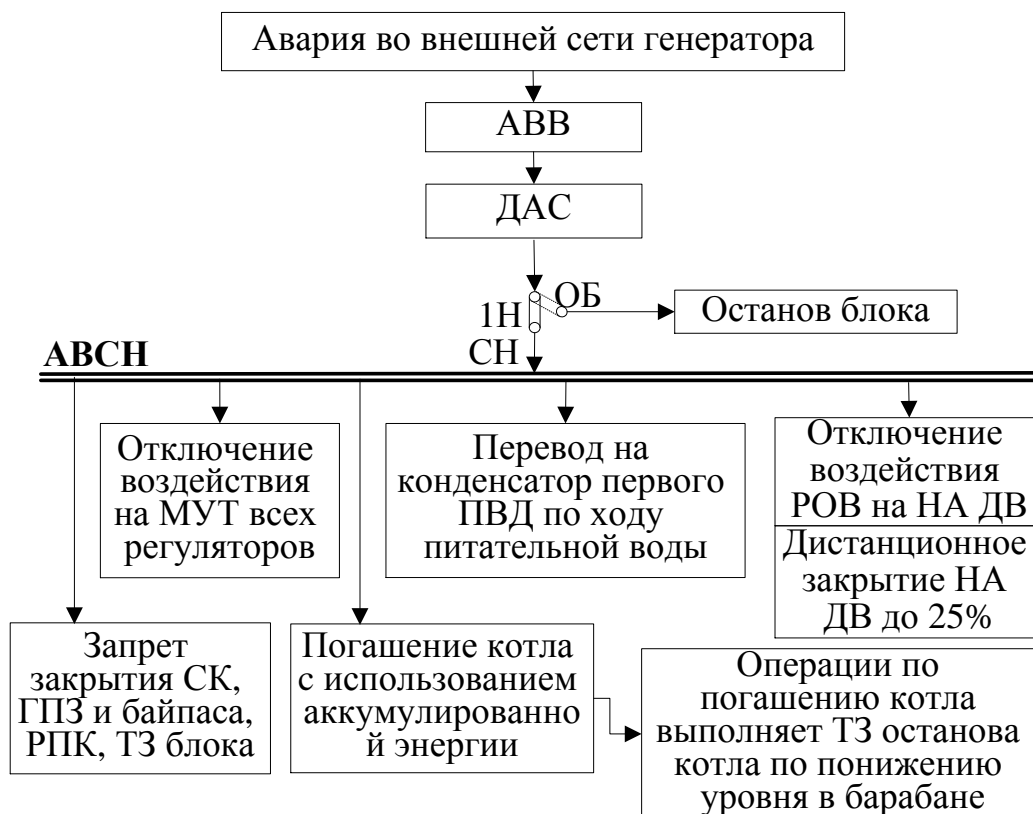


Рис. 1. Способ управления энергоблоком с барабанным пылеугольным котлоагрегатом ОАО «Сибтехэнерго»

Минимальная нагрузка пылеугольного котлоагрегата составляет 60 % при твёрдом шлакоудалении и 70 % при жидком шлакоудалении. Поэтому при отсутствии выдачи мощности в сеть возникает значительный небаланс между генерируемым и потребляемым паром. В результате появившегося небаланса котлоагрегат останавливается предельными технологическими защитами по понижению уровня воды в барабане, а турбина останавливается по факту останова котла. Генератор, отключенный от сети, спустя некоторое время, необходимое для восстановления нормального режима работы теплоэнергетического оборудования, может быть синхронизирован и включен в сеть. Однако остановленное теплотехническое оборудование не может осуществить настолько быстрый пуск и набор нагрузки, как это может сделать оборудование, оставшееся в работе на нагрузке СН. Поэтому в режимах глубоких разгрузок с пылеугольный факел в топке котла гасится и используется энергия, аккумулированная в элементах котла для обеспечения СН энергоблока.

Приведён обзор публикаций, посвящённых исследованию АВСН. Проведён анализ крупнейших аварий в энергосистемах мира за последние годы, из которого видно, что подобные аварии возможны для любых энергосистем, а ущерб от этих аварий значителен. Описаны известные методы оценки аккумулированной энергии в элементах котлоагрегата. Сформулированы задачи исследования.

Во второй главе разработаны расчётные методики анализа работы системы СН, которые позволяют сократить число предварительных экспериментов по сбросам нагрузки и упростить внедрение АВСН.

Ключевым фактором правильной работы алгоритма (рис. 1) является условие достижения уровня воды в барабане котла предела технологической защиты по понижению уровня в результате повышения давления в пароводяном тракте. Традиционно это условие проверяется при экспериментальном сбросе нагрузки на энергоблоке.

В диссертации разработана методика определения изменения уровня в барабане котлоагрегата при отключении генератора от сети. Расчёт паросодержания в экранных трубах предлагается вести по упрощённому методу расчёта циркуляции, предложенного Р. Долежалом.

Объем под зеркалом испарения находится из геометрических характеристик барабана, м³:

$$V_6 = l_{\text{ц}} \left(\frac{\pi R^2 \arccos \frac{h}{R}}{180} - h \sqrt{R^2 - h^2} \right) + \frac{\pi (R - h)^2}{3} (2R + h), \quad (1)$$

где $l_{\text{ц}}$ и R – длина и диаметр цилиндрической части барабана, м; h – уровень в барабане относительно геометрической оси барабана, м.

При аварийном отключении генератора от энергосистемы на турбине происходит резкий сброс нагрузки. Процесс развития аварии в электрической части длится доли секунды. В результате этого регулирующие клапаны турбины прикрываются почти полностью (время закрытия регулирующих клапанов 300мс). Следствием этого становится резкое увеличение давления в пароводя-

ном тракте, а в результате изменения удельного объёма пара под зеркалом испарения уровень в барабане значительно опускается. Переходные процессы в этой части блока длятся единицы секунд. Опыты показывают, что в таких условиях уровень достигает предела технологической защиты, действующей на аварийный останов котлоагрегата. Поэтому для погашения факела в котле при работе АВСН используется именно эта технологическая защита.

Изменение объёма пара под зеркалом испарения:

$$\Delta V^{\text{п}} = xV \left(\frac{\vartheta_1}{\vartheta_0} - 1 \right), \quad (2)$$

где x – объемное паросодержание в экранных трубах, V – объем циркуляционной системы, ϑ_0 и ϑ_1 – удельный объем насыщенного пара при начальном и конечном давлении.

В ходе экспериментов также устанавливается время работы энергоблока на нагрузке СН за счёт аккумулированной энергии.

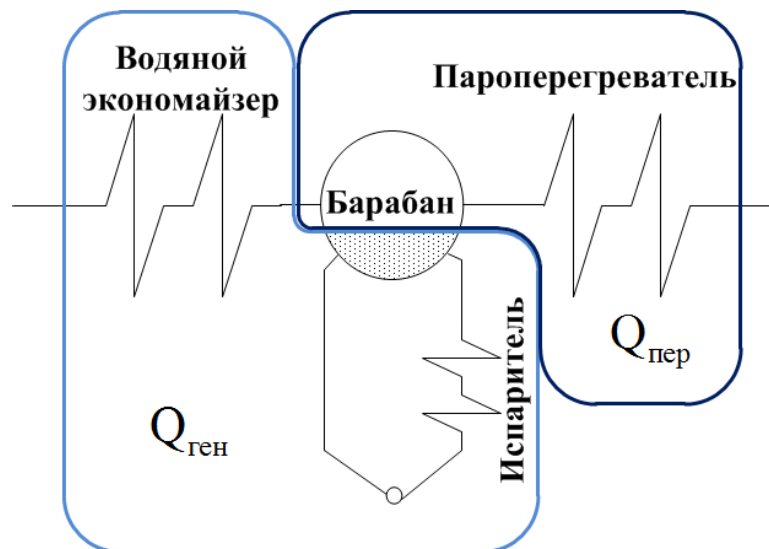


Рис. 2. Подсистемы аккумулирования энергии котлоагрегата

В диссертации разработана методика определения времени возможного использования аккумулированной энергии для обеспечения нагрузки СН энергоблока при погашенной топке.

Котлоагрегат разделяется на две подсистемы – подсистема генерирования пара и подсистема перегрева пара (рис. 2). В генерации пара участвует энергия

следующих элементов: водоподводящие трубы и экономайзер, циркуляционный контур, барабан. В перегреве пара участвует энергия пароперегревателя.

Отдельно оценивается время, в течение которого можно генерировать пар и отдельно время перегрева пара за счёт аккумулированной энергии.

Время генерации пара, мин:

$$\tau_{\text{ген}} = \frac{Q_{\text{мвэ}}^{\text{расп}} + Q_{\text{мб}}^{\text{расп}} + Q_{\text{мисп}}^{\text{расп}} + Q_{\text{в}}^{\text{расп}} - D_{\text{БРОУ}} \tau_{\text{БРОУ}} (h_{\text{п}}^{1\text{cp}} - h_{\text{пв}}^{\text{cp}})}{60 \cdot D_2^{\text{сн}} (h_{\text{п}}^{1\text{cp}} - h_{\text{пв}}^{\text{cp}})} - \frac{D_1^{\text{сн}} \tau_1 (h_{\text{п}}^{1\text{cp}} - h_{\text{пв}}^{\text{cp}})}{60 \cdot D_2^{\text{сн}} (h_{\text{п}}^{1\text{cp}} - h_{\text{пв}}^{\text{cp}})} + \tau_1, \quad (3)$$

где $Q_{\text{мвэ}}^{\text{расп}}$, $Q_{\text{мб}}^{\text{расп}}$, $Q_{\text{мисп}}^{\text{расп}}$ – располагаемое количество теплоты в металле водяного экономайзера, барабана и испарительного контура соответственно; $D_{\text{БРОУ}}$ – расход пара через БРОУ, кг/с; $\tau_{\text{БРОУ}}$ – время, на которое открывалось БРОУ при работе на аккумулированной энергии, с; $D_1^{\text{сн}}$ – расход пара на СН сразу после аварии при включённых тягодутьевых установках, кг/с; $D_2^{\text{сн}}$ – расход пара на СН после отключения тягодутьевых установок, кг/с; τ_1 – время работы на нагрузке $D_1^{\text{сн}}$, с; $h_{\text{п}}^{1\text{cp}}$ – средняя энтальпия пара в барабане котла, кДж/кг; $h_{\text{пв}}^{\text{cp}}$ – средняя энтальпия питательной воды на входе в котел, кДж/кг.

Время перегрева пара, мин:

$$\tau_{\text{пер}} = \frac{Q_{\text{мп}}^{\text{расп}} + Q_{\text{п}}^{\text{расп}} - D_{\text{БРОУ}} \tau_{\text{БРОУ}} (h_{\text{пе}}^{\text{cp}} - h_{\text{п}}^{1\text{cp}}) - D_1^{\text{сн}} \tau_1 (h_{\text{пе}}^{\text{cp}} - h_{\text{п}}^{1\text{cp}})}{60 \cdot D_2^{\text{сн}} (h_{\text{пе}}^{\text{cp}} - h_{\text{п}}^{1\text{cp}})} + \tau_1, \quad (4)$$

где $Q_{\text{мп}}^{\text{расп}}$ – располагаемое количество теплоты в металле пароперегревателя, $h_{\text{пе}}^{\text{cp}}$ – средняя энтальпия перегретого пара на выходе из котла, кДж/кг.

Располагаемое количество теплоты для производства пара при работе на аккумулированной энергии определяется через разность аккумулированных энергий в предаварийном состоянии и перед началом растопки. Располагаемое количество теплоты, кДж/кг:

$$Q^{\text{расп}} = (Q)_{0} - (Q)_{\text{min}}, \quad (5)$$

где индекс «0» – характеризует состояние при номинальной нагрузке котла, индекс «min» – характеризует состояние при нагрузке СН перед

растопкой после работы на аккумулированной энергии.

В диссертации разработан метод определения нагрузки СН в аварийных ситуациях. Значение нагрузки СН оказывает значительное влияние на время работы на аккумулированной энергии. В аварийных ситуациях и последующем восстановлении нагрузки энергоблока на различных этапах в работе находится различный состав механизмов СН. Кроме того изменяются производительность и КПД механизмов и в связи с этим удельные расходы электроэнергии.

Изменение нагрузки СН:

$$\Delta N_{\text{СН}} = \sum_{i=1}^k \Delta N_i, \quad (6)$$

где ΔN_i - изменение мощности, потребляемой механизмами СН:

$$\begin{aligned} \Delta N_{\text{ТД}} &= \frac{z_{\text{ТД1}} \beta_3 Q_{\text{р1}} P_{\text{р}} 10^{-3}}{\eta_{\text{ТД1}}} - \frac{z_{\text{ТД2}} \beta_3 Q_{\text{р2}} P_{\text{р}} 10^{-3}}{\eta_{\text{ТД2}}}, \\ \Delta N_{\text{ПН}} &= \frac{D_{\text{ПВ1}} v_1 P_{\text{ПН}} 1000}{3,6 \eta_{\text{эд}} \eta_{\text{ГМ}} \eta_{\text{ред}} \eta_{\text{ПН1}}} - \frac{D_{\text{ПВ2}} v_{12} P_{\text{ПН}} 1000}{3,6 \eta_{\text{эд}} \eta_{\text{ГМ}} \eta_{\text{ред}} \eta_{\text{ПН2}}}, \\ \Delta N_{\text{ЦН}} &= D_{\text{к1}} (\gamma_{\text{ЦН1}} m_{\text{охл}} + \gamma_{\text{кд1}}) - D_{\text{к2}} (\gamma_{\text{ЦН2}} m_{\text{охл}} + \gamma_{\text{кд2}}), \\ \Delta N_{\text{ВН}} &= 3,6 D_{\text{к1}} \gamma_{\text{ВН1}} m_{\text{охл}} m_{\text{вз}} - 3,6 D_{\text{к2}} \gamma_{\text{ВН2}} m_{\text{охл}} m_{\text{вз}}, \\ \Delta N_{\text{ТП}} &= \psi_{\text{ТП1}} B_{\text{у1}} - \psi_{\text{ТП2}} B_{\text{у2}}, \\ \Delta N_{\text{СУ}} &= \Delta z_{\text{СН}} 0,357 Q_{\text{М}}^{\text{T}} \left(\frac{0,633 + \frac{0,0734}{\alpha_{\text{T}}}}{17,8 + 40,7 \alpha_{\text{T}}} \right) / z_{\text{СН}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Важно отметить, что все методы разработаны в инженерной постановке и пригодны к использованию, как в наладочных фирмах, так и непосредственно на ТЭС. Применение данных методик позволяет сократить число предварительных сложных и дорогостоящих опытов по сбросу нагрузки перед внедрением систем перевода энергоблока на нагрузку СН.

В третьей главе производится анализ функционирования энергоблоков с барабанными пылеугольными котлоагрегатами в аварийной ситуации.

Для исследования приняты энергоблоки с барабанными пылеугольными котлоагрегатами разной мощности (№ 1 – 180 МВт, № 2 – 110 МВт и № 3 –

55 МВт), для которых имеются опыты по сбросу нагрузки. Все блоки имеют существенно отличающиеся термодинамические, технические, конструктивные и другие характеристики.

Зависимость уровня в барабане котла от объема среды под зеркалом испарения для котлоагрегатов разной паропроизводительности показана на рис. 3.

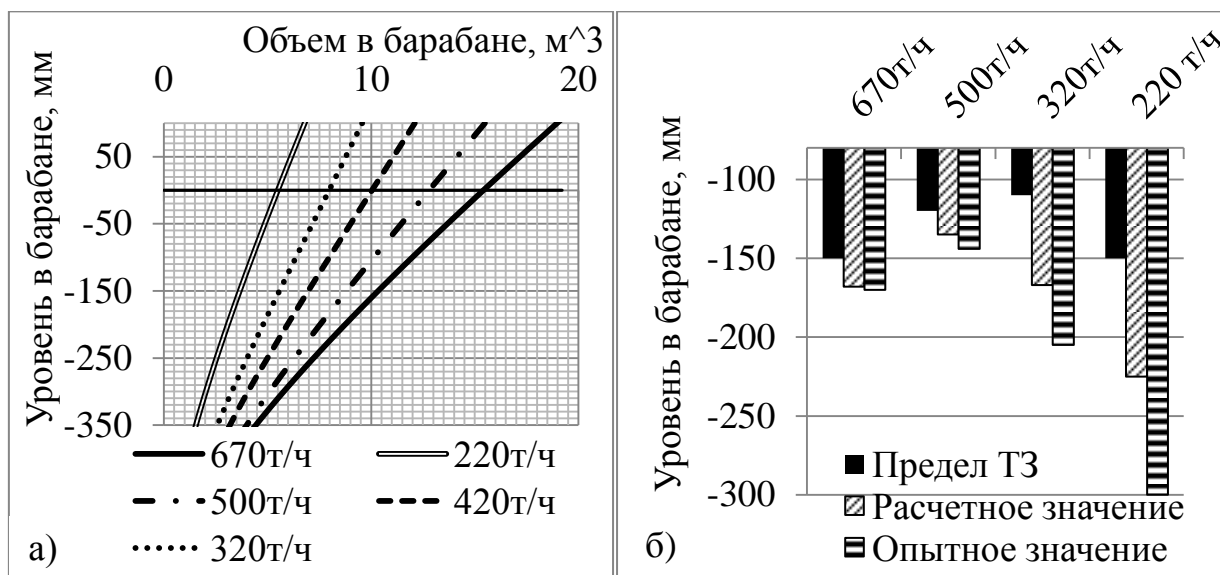


Рис.3. Изменение уровня в барабане для котлов разной паропроизводительности: а) зависимость от объема под зеркалом испарения в барабане; б) изменение уровня при сбросе нагрузки

Для принятых к исследованию энергоблоков № 1, № 2, № 3 имеем снижение уровня в барабане при отключении генератора от сети и сохранении СН на -168 мм, -225 мм и -236 мм соответственно. Предел ТЗ по понижению уровня в барабане для рассматриваемых котлоагрегатов составляет -150 мм, следовательно, для всех энергоблоков сработает ТЗ по понижению уровня в барабане котлоагрегата, что обеспечит погашение факела в топке котлоагрегата.

Изменение нагрузки СН в аварийной ситуации представлено графически на рис. 4. для энергоблоков 180 МВт. Аналогичные графики получены для двух остальных энергоблоков.

Время использования аккумулированной энергии для энергоблоков № 1, № 2, № 3 составляет 25 мин, 38 мин и 22 мин соответственно и для всех ограничено временем генерации пара. Для энергоблока № 2 оно несколько больше,

чем для остальных, так как энергоблок № 2 является дубли-блоком, и запасы аккумулированной энергии в металле у него относительно больше, чем у двух других блоков.

Распределение располагаемого аккумулированного количества теплоты по аккумулирующим ёмкостям для энергоблока мощностью 180 МВт показано на рис. 5.

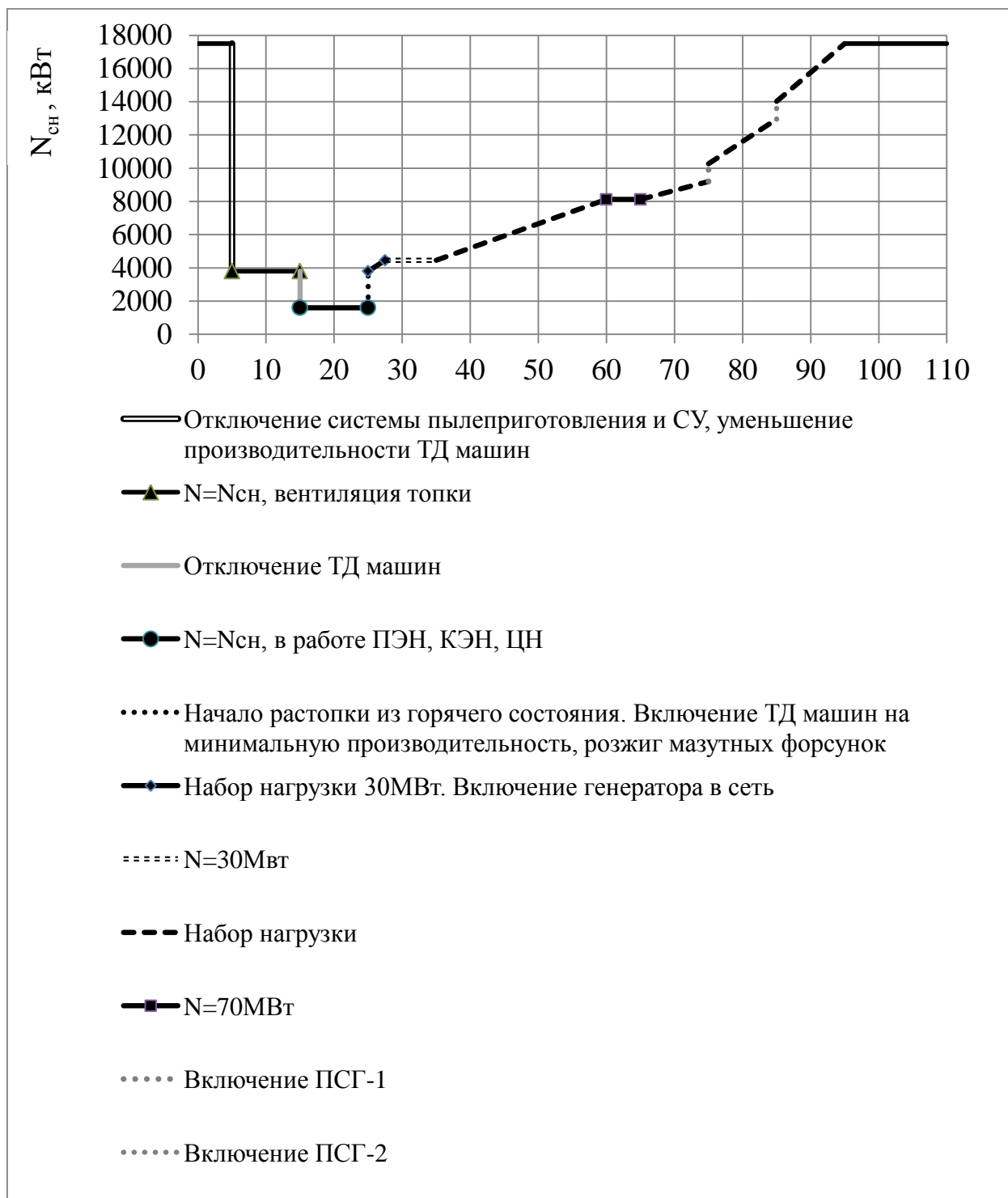


Рис. 4. Теплофикационный энергоблок 180 МВт

Для блока 180 МВт установлено, что вода, находящаяся в циркуляционном контуре котла не отдаёт энергию, а потребляет в процессе работы на аккумулированной энергии (знак «-» у этой составляющей), а для двух других энергоблоков располагаемое аккумулированное количество теплоты в воде незначительно.

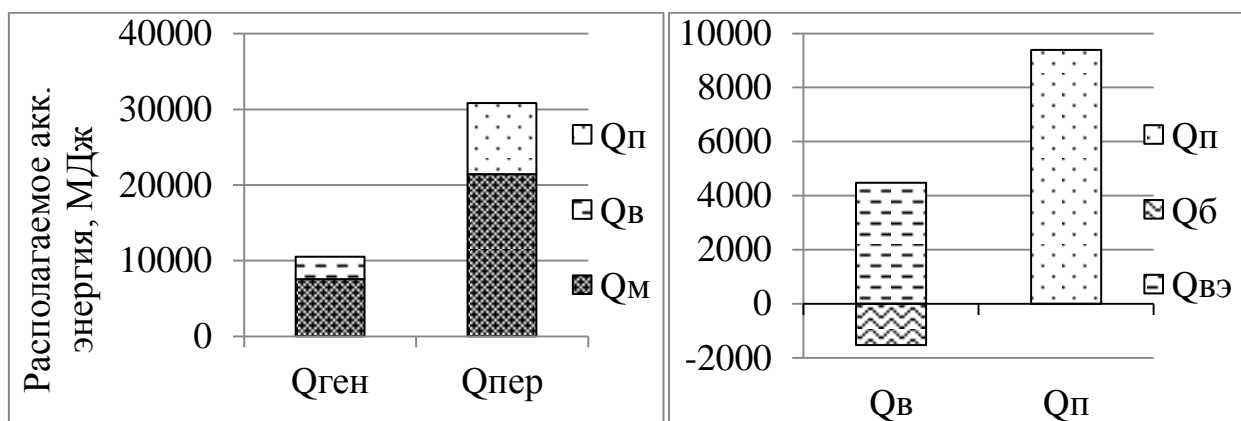


Рис. 5. Располагаемая аккумулированная энергия в котлоагрегате ТПЕ-214

При поддержании уровня в барабане на отметке -55 мм для энергоблока 180 МВт потребление аккумулированной энергии водой станет равно 0. Это увеличит время работы энергоблока на нагрузке СН за счёт аккумулированной энергии с 26 мин до 31 мин (рис. 6).

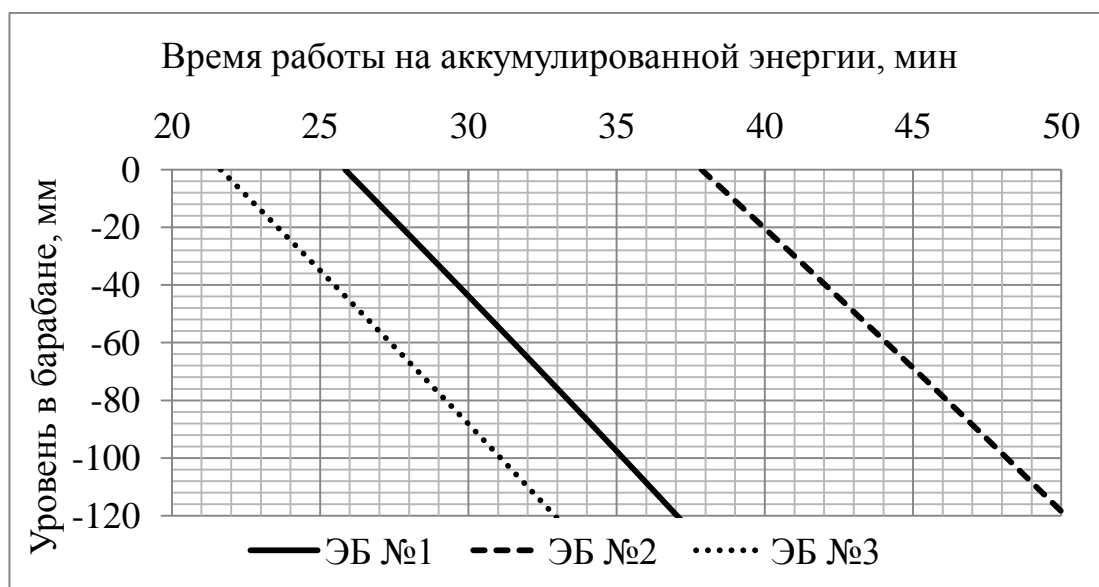


Рис. 6. Зависимость времени работы на аккумулированной энергии от поддерживаемого уровня в барабане котла

При снижении уровня в барабане до -50 мм для энергоблоков № 1, № 2, № 3 время работы на аккумулированной энергии увеличится на 14-17 %.

В четвертой главе проводится анализ экспериментальных данных с целью усовершенствования алгоритма АВСН.

Для этого предлагается улучшенный способ обнаружения аварийной ситуации, где в качестве инициативного сигнала используются совокупность сигналов изменения отдаваемой активной мощности и изменения реактивной мощности и скорости их изменения.

При появлении аварийной ситуации в энергосистеме, вызывающей резкое снижение нагрузки (сброс нагрузки вследствие отключения линии (линий) выдачи мощности генератора) или системой аварии (развал системы на несинхронно работающие части) активная нагрузка быстро падает, а реактивная – возрастает (на основе экспериментальных данных). Если амплитуда и скорость изменения составляющих нагрузки окажется выше уставки, появится выходной сигнал (в канале реализована схема "два из двух"). Выходные сигналы обоих каналов вызывают появление выходного сигнала (по схеме совпадения сигналов "И") об аварийной ситуации (рис. 7).

Высокое быстродействие используемых инициативных сигналов, по активной и реактивной составляющим нагрузки, предопределяет скорость реализации перевода блока на нагрузку СН, а использование трех схем "два из двух" гарантирует высокую надёжность работы схемы перевода блока на нагрузку СН.

Предложенный способ обнаружения аварийной ситуации может быть использован для энергоблоков с котлами, сжигающими любой вид топлива.

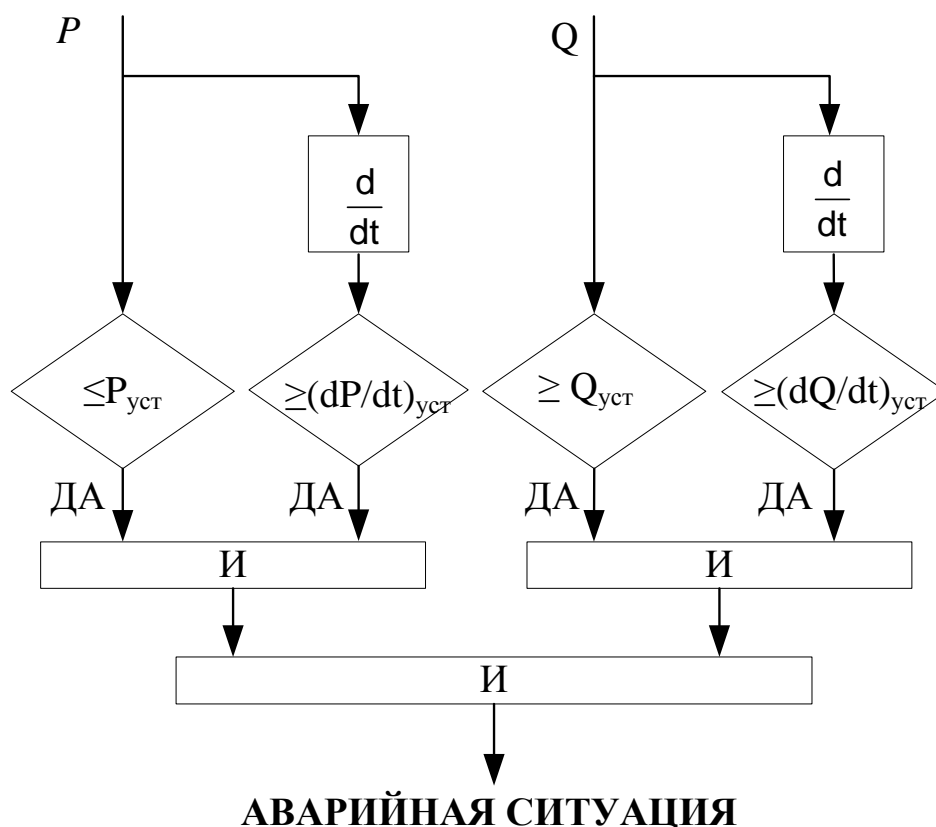


Рис.7. Способ обнаружения аварийной ситуации во внешней сети генератора

Аварийная ситуация обнаружится в случае выполнения четырёх условий:

$$\begin{aligned}
 - P \leq P_{уст}; & & - Q \geq Q_{уст}; \\
 - \frac{dP}{dt} \geq \frac{dP_{уст}}{dt}; & & - \frac{dQ}{dt} \geq \frac{dQ_{уст}}{dt}.
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

При работе на аккумулированной энергии происходит постепенное снижение параметров перегретого пара. Практическая идентификация объектов управления широко применяется для моделирования тепловых процессов, что объясняется сложностью протекающих процессов. Динамическая модель котлоагрегата при сбросе нагрузки позволяет оценить изменение основных параметров перегретого пара в режиме сброса нагрузки.

Для того чтобы получить передаточную функцию по результатам экспериментов, необходимо предварительно аппроксимировать экспериментальную зависимость многочленом. Аппроксимация производится методом наименьших

квадратов по нескольким экспериментальным точкам. Затем, по полученной кривой определяется передаточная функция известными способами.

Полученные передаточные функции для энергоблока 180МВт:

$$W_p(p) = \frac{-0,9}{p} + \frac{-23,8}{6p + 1}; \quad W_t(p) = \frac{-2,7}{p} + \frac{-18,6}{14p + 1}. \quad (9)$$

Передаточные функции для энергоблока 55МВт:

$$W_p(p) = \frac{-0,2}{p} + \frac{1,26}{7,5p + 1}; \quad W_t(p) = \frac{-5,08}{p} + \frac{16,4}{4p + 1}. \quad (10)$$

Полученные модели реализованы в программе Matlab 7.11.0 (Simulink). На рис. 8. представлены полученные переходные процессы в модели для энергоблока 180 МВт.

На основании проведённых в данной работе исследований предлагается улучшить существующий алгоритм новым способом обнаружения аварийной ситуации (рис. 7), а так же добавить возможность увеличения времени использования аккумулированной энергии (рис. 6). Таким образом, новый способ управления показан на рис. 9.

В пятой главе проведён анализ эффективности перевода энергоблоков с барабанными пылеугольными котлоагрегатами на нагрузку СН в аварийной ситуации.

На стадии создания систем перевода энергоблока на нагрузку СН для предварительной оценки экономической и технической эффективности реализации системы, когда затруднительна оценка рода потребителей, длительности аварии, предлагается оценивать ущерб по недоотпуску электроэнергии от рассматриваемого энергоблока. При внедрении АВСН ущерб от недоотпуска энергии сокращается за счет более быстрого восстановления нормального режима работы оборудования.

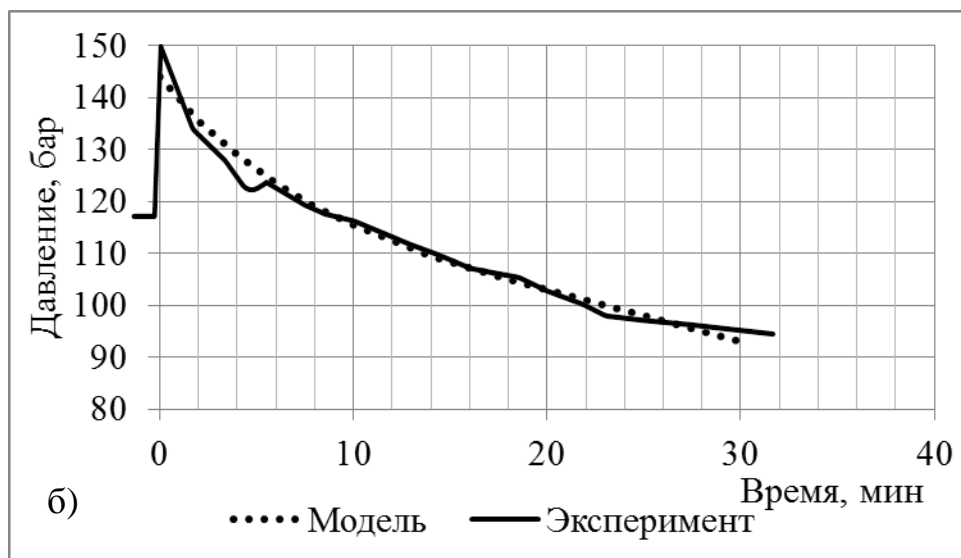
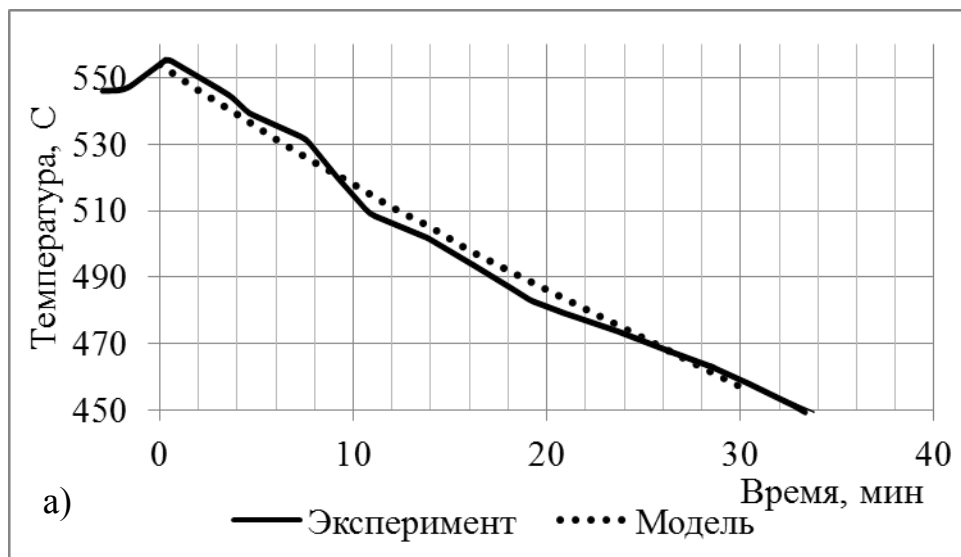


Рис. 8. Экспериментальные переходные процессы на энергоблоке мощностью 180 МВт и на модели: а) изменение температуры перегретого пара, б) изменение давления перегретого пара

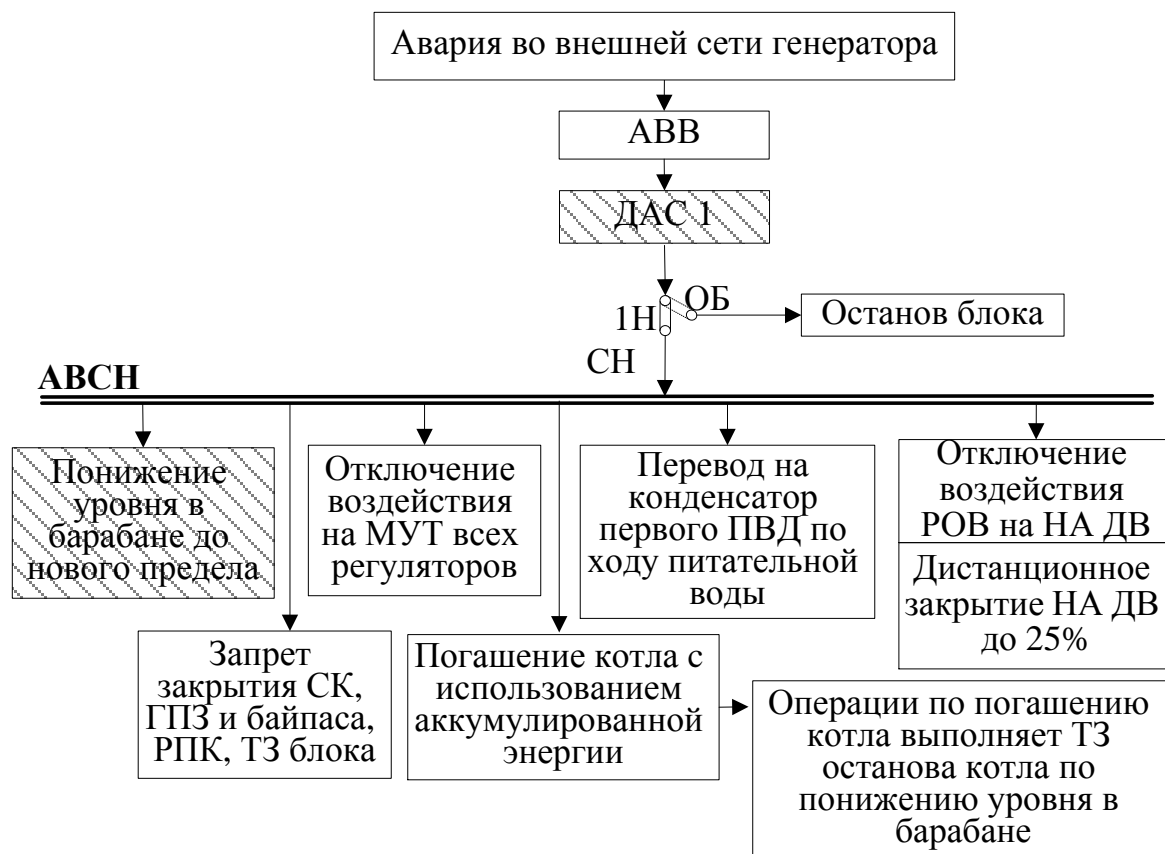


Рис. 9. Новый способ управления энергоблоками с барабанными пылеугольными котлоагрегатами в аварийной ситуации

Кроме того отличаются затраты топлива на восстановление доаварийного режима работы блока. Для случая потери СН характерно остановленное состояние котла и турбины с закрытием стопорных клапанов турбины и главной паровой задвижки котла. Паровой тракт блока разорван, и остывание котла происходит в более быстром темпе, чем турбины. Для варианта с использованием аккумулированной энергии разделения парового тракта блока не происходит, а остывание котла и турбины происходит в одном темпе. В этом случае процесс растопки и нагружения происходит с более высокой скоростью.

Дисконтированный срок окупаемости при разном количестве предварительных опытов на сброс нагрузки для всех рассматриваемых энергоблоков составляет от 1,5 до 6 лет.

Выполнено сравнение экономической эффективности внедрения АВСН в случае проведения нескольких опытов на сброс нагрузки и в случае примене-

ния расчётных методик, описанных в главе 2, когда требуется проведение только одного опыта. Во втором варианте дисконтированный срок окупаемости для всех энергоблоков меньше в 1,3...1,9 раз, чем в первом варианте, для рассматриваемых энергоблоков в зависимости от нормы дисконтирования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертации, являющейся научно-квалификационной работой, содержатся следующие положения:

1. Разработана методика определения изменения уровня в барабане котлоагрегата, методика определения времени использования аккумулированной энергии для обеспечения нагрузки собственных нужд энергоблока при погашенной топке барабанного пылеугольного котлоагрегата, метод определения нагрузки СН в аварийных ситуациях.

2. Показано, что для энергоблоков мощностью 180 МВт, 110 МВт, 55 МВт с барабанными пылеугольными котлоагрегатами в алгоритме работы ТЗ по переводу энергоблока на нагрузку СН возможно использовать защиту по снижению уровня в барабане котлоагрегата для погашения факела в топке котла. Снижение уровня в барабане для этих энергоблоков составило -168 мм, -225 мм и -236 мм соответственно, что значительно ниже предела ТЗ. Время работы на аккумулированной энергии составило 26 мин, 38 мин и 22 мин соответственно. Показано, что при необходимости увеличения времени работы на аккумулированной энергии возможно снижать уровень в барабане ниже нулевого при работе на нагрузке СН.

3. Предложен способ управления энергоблоком с барабанным пылеугольным котлоагрегатом в аварийной ситуации. Предложено обнаружение аварийной ситуации производить с помощью контроля амплитуды и скорости изменения активной и реактивной мощности генератора.

4. В результате анализа эффективности внедрения рассматриваемой системы по переводу энергоблоков на нагрузку СН в аварийной ситуации пока-

зано, что при использовании расчётных методик можно уменьшить дисконтированный срок окупаемости в 1,3..1,9 раз.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

Статьи в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК

1. Галанова А.И., Новиков С.И. Алгоритмическое обеспечение систем автоматического выделения собственных нужд для энергоблока 210 МВт с котлом ТПЕ-214 // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2011. №1. С. 93-97.

Публикации в журналах и сборниках трудов

2. Галанова А.И., Щинников П.А., Сафронов А.В. О повышении эффективности топливоиспользования на ТЭС с применением современных средств автоматизации и управления // Энергетика и теплотехника: сб. науч. трудов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. Вып. 17. С. 117-125.

3. Галанова А. И., Новиков С.И. Автоматика выделения собственных нужд и её роль в ликвидации системных аварий // Энергетика и теплотехника: сб. науч. трудов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. Вып. 16. С. 151-155.

4. Галанова А. И., Новиков С.И. Расчёт аккумулированного тепла котлоагрегата ТПЕ-214 // Энергетика и теплотехника: сб. науч. трудов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. Вып. 14. С. 72-83.

5. Галанова А. И., Новиков С.И. Методика расчёта изменения уровня воды в барабане котла при резком изменении давления в его пароводяном тракте // Энергетика и теплотехника: сб. науч. трудов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. Вып. 12. С. 89-113.

6. Improving the efficiency of fuel usage in new coal technologies / A. I. Galanova, P. A. Shchinnikov [and oth.] // Mechanical engineering research. Canada: Canadian center of science and education, 2011. Vol. 1. P. 79-91. [Повышение эффективности топливоиспользования в новых угольных технологиях].

Материалы международных и всероссийских научных конференций

7. Галанова А.И., Щинников П.А. Способ управления пылеугольным энергоблоком в аварийной ситуации // Проблемы теплоэнергетики: сб. науч.

трудов. Саратов: Изд-во Саратовского гос. техн. ун-та, 2012. Вып. 2. С. 71-77.

8. Галанова А.И., Новиков С.И. Автоматика выделения собственных нужд ПГУ // Состояние и перспективы развития электротехнологии: сб. науч. трудов междунар. науч-технич. конф. Иваново, 2011. С. 253-255.

9. Галанова А.И., Новиков С.И. Противоаварийное управление энергоагрегатов // Инновационная энергетика 2010: материалы второй научно-практической конференции с международным участием. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. С.150-152.

10. Галанова А.И., Новиков С.И. Проблема удержания собственных нужд энергоблоков // Наука. Технологии. Инновации: материалы всероссийской научной конференции молодых учёных в семи частях. Часть 3. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. С. 59-61.

11. Галанова А.И., Новиков С.И. Разработка систем автоматического выделения собственных нужд // Наука. Технологии. Инновации: материалы всероссийской научной конференции молодых ученых в 4-х частях. Часть 2. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. С. 8-10.

12. Галанова А.И., Новиков С.И. Использование аккумулированной энергии для обеспечения собственных нужд энергоблока // Наука. Технологии. Инновации: материалы всероссийской научной конференции молодых учёных в 6-ти частях. Часть 2. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. С. 152-154.

13. Галанова А.И., Новиков С.И. Управление энергоблоком при системной аварии // Электроэнергия от получения и распределения до эффективного использования: материалы Всероссийской научно-технической конференции. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. С. 96-97.