

## Литература

1. Ковалев Р.А.; Демин В.К.; Маркова Т.А. Автоматизация процесса производства тепловой энергии: Монография. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – 111 с.
2. Демин В.К., Маркова Т.А. Математическая модель регулирования уровня воды в барабане парового котла // Материалы конференции «Социально – экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» - 6-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики.- ТулГУ, Тула, 2011 – Т.1.- с. 519-524.
3. Демин В.К., Маркова Т.А. Законы управления системой регулирования уровня в барабане парового котла // Материалы конференции «Социально – экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» - 6-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики.- ТулГУ, Тула, 2011- Т.1.- с. 504-508.
4. Демин В.К. Управление паровыми котлами при работе на общую магистраль // Материалы конференции «Социально – экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» - 6-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики.- ТулГУ, Тула, 2011- Т.1.- с. 501-504.
5. Маркова Т.А., Демин В.К., Гречишкин В.Н. Регулируемый асинхронный электропривод котельного оборудования // Материалы конференции «Социально – экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» - 8-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики.- ТулГУ, Тула, 2012- Т.2.- с. 552-558.

УДК 621.3.052.

## **СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ МНОГОУРОВНЕВОЙ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ НА СОВРЕМЕННОМ УРОВНЕ**

**Касобов Л.С., Таштабанов Д.Ф., Иноятов М.Б., Давлатшоев Д.Д., Ахъёев Дж.С.**  
*Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими*

*Предложен алгоритм управления для предотвращения нарушений устойчивости путем применения многоуровневой противоаварийной автоматики в энергосистеме Таджикистана в режиме реального времени.*

Основное направление совершенствования управления энергосистемой - переход к автоматизированной системе, т.е. управление нормальными и аварийными режимами.

Управление энергосистемой в аварийном режиме наиболее эффективно при наличии централизованной энергосистемы противоаварийной автоматики, позволяющей локализовать и не дать развиваться аварии или вовсе предотвратить её. При отсутствии же такой системы управления может привести к возникновению и развитию сложных системных аварий.

Задача построения современной системы противоаварийной автоматики особенно актуальна в нашей стране в связи с внедрением проекта CASA-1000 и включением Рогунской ГЭС. С введением этих проектов

энергосистема будет трансформирована и транзит электроэнергии, в больших объёмах будет поставлять в страны: Афганистан, Иран, Пакистан, Китай, Киргизия, Казахстан и юг России. Рост генерирующей мощности и протяжённости сетей приведёт к сложности и многомерности системы. Что потребует от противоаварийного управления сохранять устойчивость энергосистемы при авариях в сетях 220 ÷ 500 кВ. На рис. 1 представлена схема энергосистемы Таджикистана сетей 220÷500 кВ (штрихпунктирными линиями показаны сооружаемые линии по проекту CASA-1000).

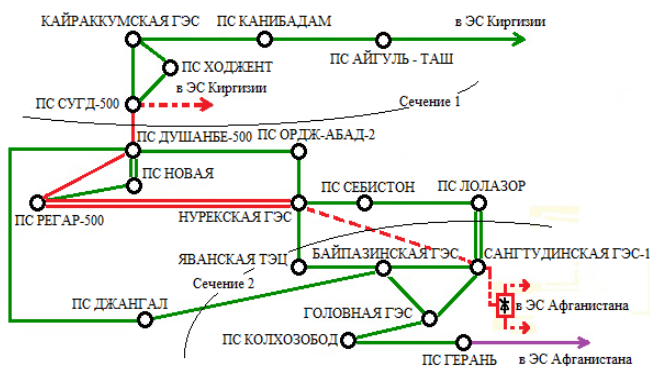


Рис.1. Схема энергосистемы Таджикистана и контролируемые сечения

Особенностью электроснабжения энергосистемы Таджикистана заключается в слабых связях с энергосистемами соседних стран (с 09.11.2009 г.), дефиците генерации в осенне–зимний период, большая часть генерации производится одной станцией (Нурекской ГЭС установленная мощность 3000 МВт).

В таких условиях, существующие системы противоаварийной автоматики, построенные из отдельных (разрозненных) устройств могут оказаться не эффективными. Повышение эффективности противоаварийного управления может быть достигнуто путём построения многоуровневой иерархической системы противоаварийной автоматики. Устройства управления нижнего уровня в такой системе подчиняются устройству следующего более высокого уровня, которое вместе с другими устройствами того же уровня, подчиняются еще более высокому уровню и т.д.

При всем многообразии различных устройств системы противоаварийной автоматики все их можно разделить на пять основных типов:

1. Противоаварийная автоматика для предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ);

2. Противоаварийная автоматика для ликвидации асинхронного режима (АЛАР) или автоматика предотвращения асинхронного хода (АПАХ);

3. Противоаварийная автоматика для ограничения повышения частоты (АОПЧ) и ограничение снижения частоты (АОСЧ);

4. Противоаварийная автоматика для ограничения повышения напряжения (АОПН) и ограничение снижения напряжения (АОСН);

5. Противоаварийная автоматика для разгрузки (предотвращение недопустимой перегрузки) оборудования (АРО).

Противоаварийное управление строится по принципу эшелонированной системы обороны, на каждом рубеже которой используются определенные средства управления для прекращения или ослабления неблагоприятного развития аварийного процесса и обеспечения перехода к установившемуся (квазиустановившемуся) режиму.

1. На первом рубеже используется наиболее быстродействующие средства (релейная защита, регулирование возбуждения и др.) для максимального ослабления аварийного возмущения путем сокращения длительности к.з., форсировки возбуждения генераторов и т.п.

2. На втором рубеже используется комплекс средств, направленных, прежде всего, на сохранение устойчивости параллельной работы (предотвращение асинхронного хода).

3. На третьем рубеже решается задача прекращения асинхронного хода разделением энергосистемы, либо осуществлением ресинхронизации. Тем самым обеспечивается локализация развития аварийного процесса в случае нарушения устойчивости.

4. На четвертом рубеже решается задача предотвращения лавины частоты в отделившихся дефицитных частях энергосистемы, главным образом за счет АЧР, с привлечением некоторых других средств (АВР, ФМТ).

Наконец, на последнем рубеже в случае дальнейшего развития аварийного процесса применяется частотное деление энергосистемы для сохранения в работе, хотя бы отдельных энергоблоков с выделенной нагрузкой. Катастрофические аварии, которые, происходили в США, России, а также в республике Таджикистан и в ряде других стран показала, что основными причинами возникновения этих аварий можно считать:

- неправильная работа локальных устройств системы противоаварийного управления или отсутствие таковых, предотвращающих развитие аварии и отключение не поврежденных элементов энергосистемы.
- отсутствие или неэффективная работа автоматики, обеспечивающей устойчивость станций и их «живучесть».
- неправильные действия диспетчерских служб.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что для предотвращения крупных аварий в энергосистеме необходима многоуровневая современная и эффективная система противоаварийной автоматики.

На рис. 2 приведена предлагаемая структурная схема четырехуровневой иерархической системы противоаварийного управления для энергосистемы Таджикистана со следующими обозначениями:

- КСПУ – координирующая система противоаварийного управления всей энергосистемы страны;
- ЦСПА – централизованная система противоаварийной автоматики;
- МСС – межсистемная связь;
- ЦУ – централизованное устройство с ограниченным районом управления, Л – локальное устройство.

Стрелками указаны направления информационных потоков мощности и управляющих команд.

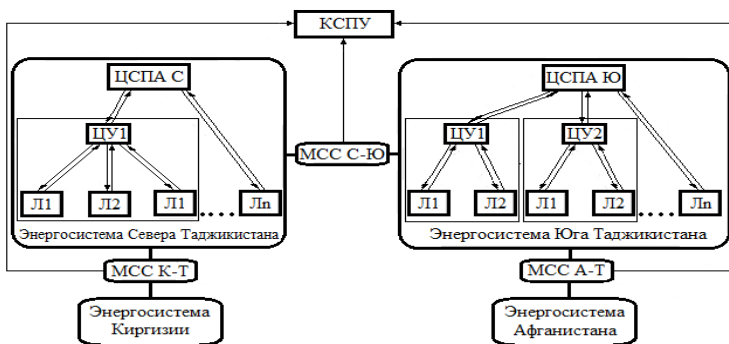


Рис.2 Структурная схема четырехуровневой иерархической системы противоаварийного управления для энергосистемы Таджикистана

На высшем (первом) уровне иерархии осуществляется координация устройств ПА второго уровня, а также могут непосредственно формироваться сигналы управления некоторыми объектами общесистемного значения с целью обеспечения устойчивости межсистемных связей между энергосистемами.

На втором уровне находятся ЦСПА, осуществляющие управление с целью обеспечения устойчивости основных связей в своем районе управления. Например, в ЭС, а иногда и межсистемных связей с соседними ЭС и использующие как собственные средства управления, так и те, которыми располагают два низших уровня. Система противоаварийной автоматики, предназначенная для обеспечения устойчивой работы энергосистем и предотвраще-

ния переходных режимов, режимов перегрузки и колебания напряжения. Также это система предназначена для управления устойчивостью работы энергосистем. Включает возможность отключения генераторов, отключение нагрузки, деление энергосистемы и регулирование энергосистемы.

На рис.1 показаны сечения, по которым происходит деление энергосистемы на три части. В случае выделения энергосистемы на изолированную работу или со значительным дефицитом мощности, диспетчер получает недостоверную информацию. Для предотвращения нарушения устойчивости послеаварийного режима на: Кайраккумской ГЭС, ПС Сугд –500, ПС Душанбе–500, ПС Регар, ПС Новая, Нурекской ГЭС, Сангтудинской ГЭС–1, ПС Джангал, Байпазинской ГЭС, Головной ГЭС, Яванской ТЭЦ и в ряде узловых подстанциях. Устанавливается управляющий программно – технический комплекс (ПТК) противоаварийной автоматики и цифровые регистрограммы.

Автоматическая дозировка управляющих воздействий выполняется для всех заданных аварийных возмущений на основе измеренных параметров режима, ввода информации о состоянии элементов сети, устройств телемеханики и другой информации до аварийного режима.

Результаты расчетов выполненных в виде алгоритма, управляющих воздействий (УВ) которые запоминаются в ПТК в виде многомерных таблиц (табл. 1). В таблицах задается соответствие величины и характера УВ по конкретному аварийному возмущению (приход пускового органа (ПО) - N) и расчетные перетоки мощности по выделенным сечениям (P<sub>1</sub>). Расчетные перетоки мощности по каждому аварийному сечению определяются по выражению:

$$P_1 = k_0 + k_{11}P_1 + k_{12}P_2 + \dots + k_{1m}P_m$$

Весь диапазон измерений P<sub>1</sub> разбивается на число ступеней ( L ) по которым определяют величину уставок расчетных перетоков мощности (контроль предшествующего режима – КПП) из табл. 1.

В общем виде таблица решений для выбора УВ выглядит:

Таблица 1 - Решение выбора управляющие воздействие

№	Нормальный режим			Одиночный ремонт 1			...	Одиночный ремонт M			Двойной ремонт 1			Двойной ремонт K		
	1	..	L	1	...	L	...	1	...	L	1	...	L	1	...	L
1	УВ1	..	УВ9	0	...	0	...	УВ1	...	УВ5	УВ6	...	УВ7	0	...	УВ8
N	УВ9	..	0	УВ4	..	УВ5	..	0	..	УВ1	УВ2	..	УВ9	0	..	УВ6

1,2,... ,N - номера одиночных и двойных ПО для данного направления;  
1,2,... ,L- номера ступеней КПП направления;  
M - число одиночных ремонтов; K - число двойных ремонтов.

Реализация УВ выполняется на отключение нагрузки (ОН), отключение генерации (ОГ), изменение схемы сети (ДС).

На рис. 3 приведены примеры, расчетные осциллограммы переходных процессов при возмущении на ЛЭП 500 кВ «Юг-Север», которые проводились по программе «Mustang».

При действии на ОН эффективность УВ может составлять всего 40 – 80 %. Это обусловлено тем, что величина фактической нагрузки в узлах реализации ОН ( $P_{\text{фак}}$ ) отличается от расчетной мощности ( $P_{\text{рас}}$ ).

Для корректировки величины УВ вводится коэффициент, учитывающий фактический объем нагрузки потребителей, заведенных под ОН.

$$K_{\text{корр}} = P_{\text{фак}} / P_{\text{рас}}$$

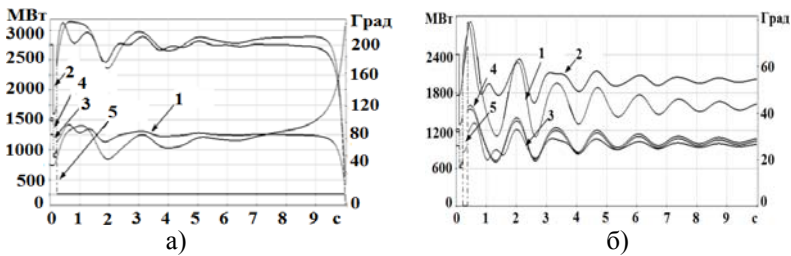


Рис. 3. Расчетные осциллограммы переходных процессов (в отсутствие регулирования турбин) (а); с ОГ для предотвращения нарушения динамической устойчивости (б): 1-относительный угол роторов РГЭС и ЭЭС Киргизии; 2, 3-генерация РГЭС; 4, 5- перетоки по ЛЭП 500 кВ.

Данный способ корректировки величины УВ весьма грубый. Поэтому может быть использован метод, позволяющий учитывать реальную нагрузку, заведенную под УВ (ОН) в каждом узле потребления в до аварийном режиме:

$$K_{\text{корр}} = P_{\text{фак}} / P_{\text{рас}}$$

С учетом этого формируется новая таблица УВ. Формирование всех указанных таблиц решений выполняется по результатам предварительных расчетов устойчивости на моделях энергорайонов на этапе подготовки данных настройки комплекса.

На следующем (третьем) уровне находятся централизованные устройства, каждое из которых охватывает сравнительно небольшой район управления. При выделении энергорайонов важной задачей является сохранение работоспособности станции, путем выделения мощности электростанций на сбалансированную нагрузку, прилегающего района или на собственные нужды. На рис.1 и 2 показано деление энергосистемы Таджи-

кистана на три части, конфигурация внутренней сети каждой из выделенных ЭС позволяет осуществить оптимальное выделение станций с точки зрения текущего баланса мощности в выделяемом районе. Задача реализуется на базе ПТК, устанавливаемых на каждой ГЭС.

Основными функциями комплекса являются:

- контроль над внутренней схемой сети ГЭС, числом работающих генераторов, сетью прилегающего района;
- контроль величины мощности генерирующих источников, собственных нужд, тупиковых и транзитных линий и расчет перетоков и баланса мощностей по аварийным сечениям – сечения 1, 2 (рис. 1). - расчет и выдача УВ на оптимальное выделение ГЭС при снижении частоты. - расчет и выдача УВ (ОН, ОГ) на балансировку в аварийном сечении, образовавшимся при выделении ГЭС на изолированную работу; групповое регулирование активной мощности.

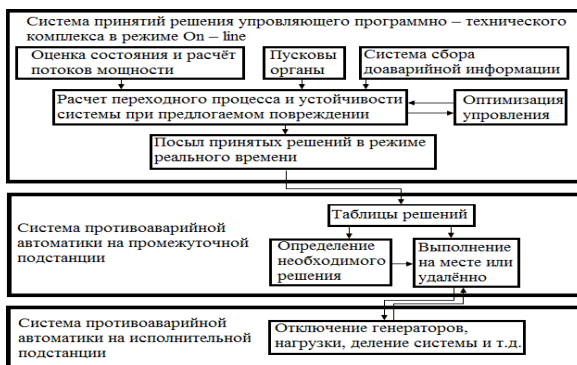


Рис.4. Структурная схема противоаварийного управления.

Для эффективной ликвидации аварий, связанных со снижением частоты (напряжения) при выделении энергосистемы на изолированную работу. Реконструируются системы АЧР (АСН), которая позволит эффективно предотвращать аварийный процесс с учетом тяжести режимов (величины возникшего дефицита мощности, скорости снижения частоты). Реконструкция выполняется на всех подстанциях 35-500 кВ и станциях. В качестве устройств АЧР применяются микропроцессорные устройства с широкими функциональными возможностями. На нижнем четвертом уровне иерархии многоуровневой системы противоаварийной автоматики находятся локальные устройства управления, действие которых направлено на обеспечение устойчивости отдельных энергоблоков (электростанций, электропередач, узлов нагрузки). Предотвращающие термическую перегрузку ли-

ний и оборудования, асинхронный режим по воздушным линиям, позволяющие ликвидировать основные причины начала и развития системных аварий – выделение крупных энергорайонов на изолированную работу. Задача – предотвратить аварийные режимы, предотвращая недопустимые отклонения частоты, вызываемые аварийными возмущениями путем ступенчатого воздействия на отключение нагрузки на объектах или изменение схемы сети энергорайона. Для этого необходима установка автоматики на современных микропроцессорных устройствах, установленных на линиях 110 – 500 кВ, входящие в так называемые аварийные сечения.

Эффективность противоаварийного управления во многом зависит от уровня развития и надёжности систем сбора и передачи до аварийной и аварийной информации. Реконструкция системы сбора и передачи в сети 110 – 500 кВ ведется путём замены старых устройств (ВЧТО, АВПА – АНКА) на новую современную аппаратуру, применение волоконно – оптических линий (ВОЛС), использование беспроводной связи. Предложенная системы ПА основана на базе современной микропроцессорной аппаратуры, позволяет интегрировать её в любые информационные системы, (АСУ, СКАДА и т.п.). Обеспечив быстрый доступ к текущей и аварийной информации устройств со всех уровней диспетчерского управления и информационный обмен между отдельными уровнями и устройствами ПА.

Для обеспечения устойчивости режимов ЭЭС и управления энергосистемой в аварийном режиме необходимо наличие централизованной системы противоаварийной автоматики. Управляющие воздействия должны быть достаточны для сохранения устойчивости ЭС при любых аварийных возмущениях. Современная многоуровневая противоаварийная система управления не возможна без современной системы сбора и передачи информации.

#### Литература

1. Аюев Б. И. Система мониторинга переходных режимов ЕЭС / ОЭС / Б. И. Аюев, П. М. Ерохин, Ю. А. Куликов // Сб. докладов Всероссийской научно-практической конференции “Технологии управления режимами энергосистем XXI века” под ред. А. Г. Фишова.– Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – С. 83-92.
2. В.М. Лопухов Система противоаварийной автоматики крупного промышленного энергорайона на базе современных цифровых технологий / В.М. Лопухов, В.В. Кандалинцев, И.Ш. Фардиев, Ю.В. Щелоков. Сигре, Чебоксария, сентябрь - 2007.