

## РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПА ОЭС СИБИРИ

**А.К. Ландман, ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»**

**А.М. Петров, ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»**

**А.Э. Петров, ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»**

**О.О. Сакаев, ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»**

В настоящее время одним из основных и перспективных направлений развития систем противоаварийного управления в энергетике является интеграция устройств ПАУ различных уровней в единые системы ПА. В связи с этим, перед разработчиками устройств ПА встает задача создания универсального программно-технического комплекса, обеспечивающего, в зависимости от комплектации и настройки:

- возможность выполнения функций ПА любого уровня;
- возможность взаимодействия с другими устройствами ПА в рамках системы ПА;
- возможность построения интегрированной системы ПА на базе набора типовых устройств.

Разработка такого комплекса ПА должна основываться на общих принципах унификации, модульности, масштабируемости, развиваемости, резервирования. При этом, многое зависит от применяемых подходов к решению технологических задач.

В течение многих лет ЗАО «ИАЭС» принимает активное участие в разработке интегрированной системы ПА ОЭС Сибири. Рассмотрим технологические подходы, использованные при разработке данной системы.

### ***История вопроса***

В 1995 году начались работы по реконструкции ЦПА ПС 1150 кВ Итатская, обеспечивающей сохранение статической устойчивости при аварийных возмущениях в западной и центральной части ОЭС Сибири [1]. В связи с моральным и физическим износом оборудования, было принято решение о переходе на современную микропроцессорную элементную базу. С целью обеспечения большей точности выбора УВ, начались разработки математической модели и алгоритмического обеспечения для выбора управляющих воздействий по способу I-ДО. Проектные, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы проводились сотрудниками ОАО «Сибэнергопроект», позднее составившими основу коллектива ЗАО «ИАЭС».

В 1998 году был изготовлен макет ЦПА на базе промышленного компьютера MicroPC производства фирмы Octagon Systems, на макете разрабатывалось программное обеспечение УВК АДВ, функционирующее под управлением операционной системы реального времени QNX 4. Дальнейшие работы по реконструкции ЦПА ПС Итатская велись уже ЗАО «ИАЭС».

В 2000 году была произведена поставка оборудования на ПС Итатская, а также модернизация ССПИ. В 2001 году ЦПА ПС Итатская была введена в опытную эксплуатацию, с выбором УВ по способу I-ДО с использованием полной и упрощенной математических моделей, а также по способу II-ДО. Одновременно с этим, велись работы по разработке АПНУ Таймырской и Норильской энергосистем, в 2001 году был введен в опытную эксплуатацию УВК АДВ Усть-Хантайской ГЭС.

В 2003 году ЦПА ПС Итатская была введена в промышленную эксплуатацию, с выбором УВ по способу II-ДО. Поскольку имеющейся доаварийной информации было недостаточно для выбора УВ по способу I-ДО, были начаты работы по реконструкции ССПИ. В этом же году была разработана концепция развития системы ПА ОЭС Сибири [2, 3], положившая начало ЦКПА ОЭС Сибири. Кроме того, был введен в промышленную эксплуатацию УВК АДВ Усть-Хантайской ГЭС.

В период с 2004 по 2006 год проводились работы по реконструкции ССПИ ЦПА ПС Итатская. В 2005 году был введен в промышленную эксплуатацию УВК АДВ Курейской ГЭС. В 2006 году начались работы по проектированию ЦКПА ОЭС Сибири. Кроме того, с учетом накопленного опыта разработки устройств ПА, в 2007 году был создан и прошел сертификацию МВК унифицированный ПТК КПА-М, все дальнейшие устройства ЗАО «ИАЭС» выпускает на его базе.

В 2007 году, в рамках концепции развития системы ПА ОЭС Сибири, была введена в промышленную эксплуатацию ЦПА ПС 1150 кВ Алтай, в 2008 году — ЦПА ПС 500 кВ Таврическая. В 2008 году в опытную эксплуатацию на двух районах управления (ПС Алтай и ПС Таврическая) была введена ЦКПА ОЭС Сибири. В это же время ЗАО «ИАЭС» был начат массовый выпуск локальных устройств ПА.

### ***Унифицированный ПТК КПА-М***

С 2007 года все устройства ПА, выпускаемые ЗАО «ИАЭС», базируются на ПТК КПА-М, предназначенным для решения задач противоаварийной автоматики и противоаварийного управления различных уровней иерархии и сложности, в зависимости от комплектации. Отличительными особенностями КПА-М являются стандартная структура технических средств, конкретный состав

которых определяется функциональностью устройства, стандартная модульная структура программных средств, высокое быстродействие, а также поддержка стандартных протоколов обмена информацией с внешними устройствами.

Рассмотрим подходы, применяемые в устройствах на базе КПА-М на основных уровнях иерархии ПАУ.

### ***Локальное устройство ПА***

Локальное устройство ПА на базе КПА-М предназначено для выполнения функций локальной автоматики, определяемых при заказе устройства. Так, например, типичной комплектацией является шкаф линейной автоматики, выполняющий функции ФОЛ, АОПН(АОСН), АУЛР с УРОВ, АЛАР.

Ввод аналоговой информации в такой шкаф производится от измерительных цепей трансформаторов тока (1 или 5 А) и напряжения (100 В). Ввод дискретной информации производится сигналами типа «сухой контакт» от контактных устройств. Вывод дискретных сигналов осуществляется сигналами типа «сухой контакт». Связь с устройствами верхнего уровня осуществляется при помощи сетевого интерфейса Ethernet по протоколу МЭК 870-5-104.

Устройство ЛПА на базе КПА-М обладает следующими особенностями. Прежде всего, необходимо отметить, что реализация конкретных функций ПА не требует каких-либо средств программирования и компиляции исполняемых модулей. *Функциональность ЛПА на базе КПА-М определяется только таблицами настройки.*

Следующим важным моментом является организация обработки входных сигналов. *Входные сигналы устройства ПА обрабатываются в реальном времени.*

Наконец, в состав программного обеспечения устройства ЛПА входит *модуль топологического анализа*, который позволяет, в частности, организовать контроль состояния схемы любой сложности от отдельной ВЛ до ОРУ в целом. Данный модуль может использоваться и в других задачах, для решения которых требуется анализ топологии.

### ***ЦПА***

В рамках задачи построения иерархической системы ПА ОЭС Сибири наибольший интерес представляет собой ЦПА на базе КПА-М. ЦПА выполняет следующие функции:

- Районная автоматика дозирования УВ (РАДВ)
- Автоматика запоминания дозирования УВ (АЗД).

Рассмотрим подробнее архитектурные особенности ЦПА.

### ***Резервирование ЦПА***

Согласно требованиям стандарта [4], в ЦПА предусмотрено аппаратное резервирование нескольких уровней. Прежде всего, в шкаф ЦПА устанавливается два идентичных полукомплекта с раздельным вводом доаварийной информации и независимым расчетом управляющих воздействий (УВ). На каждом цикле выбора УВ производится синхронизация дозирования УВ между полукомплектами.

Следующий уровень резервирования связан с необходимостью производства работ по обслуживанию ЦПА. Возможны два варианта исполнения ЦПА:

- трехшкафное — два шкафа (комплекта) ЦПА с общим кроссовым шкафом;
- четырехшкафное — два шкафа (комплекта) ЦПА, каждый со своим кроссовым шкафом.

Трехшкафный вариант допускает вывод из работы устройства покомпонентно, для производства работ в шкафах ЦПА. Однако, при производстве работ в кроссовом шкафу ЦПА необходимо выводить из работы полностью. Устройство в четырехшкафном исполнении лишено этого недостатка, т.к. в нем входные и выходные цепи разделены между комплектами. В любом случае, в штатном режиме один из шкафов находится в работе и осуществляет противоаварийное управление, другой шкаф находится в горячем резерве, т.е. осуществляет выбор УВ, но не фиксирует срабатывания пусковых органов и не выдает сигналов УВ в выходные цепи.

### ***Ввод и первичная обработка доаварийной информации***

Ввод аналоговой и дискретной доаварийной информации в ЦПА производится от устройств телемеханики при помощи сетевого интерфейса Ethernet по протоколам МЭК 870-5-104 или Modbus/ТСР. Существует два основных конструкторских варианта организации взаимодействия между комплектами ЦПА и центральной приемно-передающей станцией (ЦППС) телемеханики. Стандартно, в каждый шкаф ЦПА устанавливается полукомплект ЦППС, что дает возможность покомпонентного вывода из работы ЦППС вместе с ЦПА с целью обслуживания. При необходимости, может быть организована связь ЦПА с внешним шкафом ЦППС, однако в этом случае при выводе шкафа ЦППС на обслуживание оба комплекта ЦПА должны быть также выведены из работы, поскольку ЦПА лишается единственного источника информации.

Получая доаварийную информацию (ТИ и ТС), ЦПА подвергает ее первичной достоверизации с целью выделить достоверные значения для дальнейшей технологической обработки. В рамках первичной достоверизации ЦПА:

- контролирует состояние канала телемеханики;
- контролирует выход аналоговых параметров за заданные допустимые пределы;
- сравнивает значения вводимых параметров поканально.

При фиксации выхода из строя канала телемеханики всем параметрам, принимаемым по данному каналу, устанавливается признак «недостоверно».

При выходе значения аналогового параметра за допустимые пределы, значению устанавливается признак «недостоверно».

Результатом поканального сравнения всегда является одно значение с признаком достоверности. Выбор значения может производиться по следующим правилам, настраиваемым индивидуально для каждого параметра:

- при расхождении значений аналоговых параметров более заданного, выбор значения с приоритетного канала, или выбор максимального из двух значений;
- при несоответствии значений дискретного параметра, полученных по различным каналам, выбор значения с приоритетного канала, или установка результату признака «недостоверно».
- если значение, полученное по одному из каналов, недостоверно (например, в результате выхода канала из строя), и если значение, полученное по другому каналу, достоверно, то выбирается достоверное значение.

Кроме того, при первичной достоверизации существует возможность контроля значения аналогового параметра (например, ТИ перетока по ВЛ) по значению дискретного параметра (ТС состояния ВЛ). Если ВЛ отключена, и значение перетока по ней выходит за заданные пределы отклонения от нуля, то значение перетока объявляется недостоверным.

В рамках процедуры первичной достоверизации, может производиться также сглаживание скачков параметра на буфере заданной глубины.

С точки зрения технологических алгоритмов ЦПА, параметры текущего режима могут быть разделены на следующие группы:

- параметры, полученные от ССПИ и прошедшие первичную достоверизацию;
- константы, задаваемые при настройке устройства;
- параметры, вычисляемые на основе двух предыдущих типов;
- параметры на ручном вводе.

Расчет вычисляемых параметров производится при помощи стандартных математических операций над аналоговыми параметрами, стандартных логических операций над дискретными параметрами. Также над дискретными параметрами может выполняться специальная операция «Подсчет включенных элементов», что бывает полезно, например, при вычислении средней загрузки одного агрегата на ГЭС, при условии, что ССПИ доступна суммарная мощность выработки ГЭС и состояния ее агрегатов.

Любой параметр текущего режима может быть переведен на ручной ввод.

#### *Ввод и вывод дискретных сигналов, пусковые органы и управляющие воздействия*

Ввод и вывод дискретной информации производится сигналами типа «сухой контакт» от контактных устройств. Все многообразие дискретных сигналов ЦПА может быть разделено на три группы:

- пусковые (аварийные) сигналы и соответствующие пусковые органы ЦПА;
- сигналы управляющих воздействий;
- сигнализация и управление функционированием ЦПА.

Пусковой орган (ПО) ЦПА фиксирует аварийную ситуацию, в которой ЦПА должна сработать согласно текущей настройке, с выдачей сигналов управляющих воздействий (УВ) или без выдачи таковых. Пусковой орган формируется по факту прихода одного или нескольких пусковых сигналов (ПС) одним из следующих способов (рис 1).

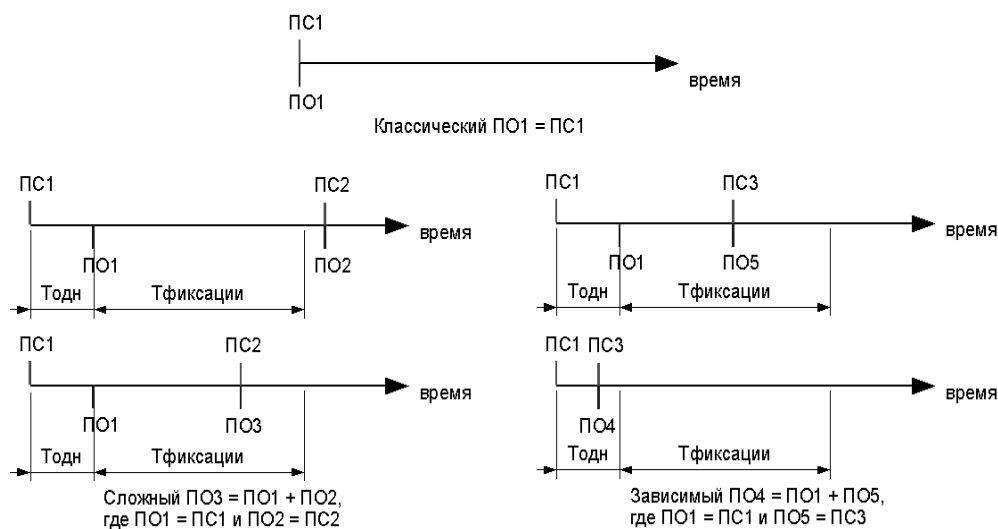


Рис 1. Способы формирования ПО ЦПА

«Классический» ПО фиксируется по факту прихода одного ПС. Сигналы УВ выдаются ЦПА немедленно по факту срабатывания ПО.

Сложный ПО формируется по факту прихода нескольких ПС на заданном интервале времени (интервал фиксации). Сигналы УВ выдаются ЦПА по факту срабатывания каждого ПО, входящего в состав сложного ПО.

Зависимый ПО формируется по факту прихода нескольких ПС на заданном интервале времени (интервал одновременности). Сигналы УВ выдаются ЦПА либо немедленно по факту срабатывания зависимого ПО, либо по окончании интервала одновременности, если с момента прихода первого ПС зависимый ПО не сформировался.

Дозировка УВ для вывода в случае срабатывания ПО формируется на основании выбора УВ одним или несколькими алгоритмами, на каждом цикле расчета. Результирующая дозировка выбирается индивидуально для каждого ПО, при этом, если один из алгоритмов по каким-либо причинам не выбрал УВ для данного ПО, производится автоматический переход к следующему алгоритму согласно заданному приоритету. Выбранная дозировка УВ синхронизируется между полуккомплектами шкафа ЦПА, и уже затем подготавливается к выводу в выходные цепи. В случае неуспешного выбора УВ всеми алгоритмами, а также в случае неуспешной синхронизации дозировки УВ, предусмотрена возможность задания следующей дисциплины поведения:

- оставить последнюю успешно выбранную дозировку в течение заданного интервала времени;
- обнулить дозировку по истечении заданного интервала времени.

#### *Выбор управляющих воздействий*

ЦПА может выбирать управление по способам I-ДО и II-ДО. При этом, несколько алгоритмов выбора УВ могут функционировать параллельно. Например, при достаточном объеме доаварийной информации выбор управления может осуществляться по способу I-ДО, с автоматическим переходом на резервный алгоритм II-ДО при пропадании существенной части исходной информации, в данной связке способ II-ДО может использоваться и для выбора управления для тех аварийных ситуаций, которые по каким-либо причинам не могут быть предусмотрены математической моделью района управления. В случае, если объем доаварийной информации недостаточен для выбора УВ по способу I-ДО, и увеличение этого объема не планируется в ближайшей перспективе, II-ДО может быть использован в качестве основного.

На этапе подготовки текущего режима к использованию в технологических алгоритмах выбора УВ, в ЦПА имеется возможность использования алгоритма оценивания исходного режима. Данный алгоритм может быть применен как для достоверизации текущего режима для выбора УВ по способу II-ДО, так и, при достаточном объеме исходной информации, для формирования оцененного режима для выбора УВ по способу I-ДО.

Алгоритму выбора УВ по способу I-ДО, разработанному ЗАО «ИАЭС», посвящено значительное число публикаций (например, [5]), поэтому остановимся на особенностях реализации алгоритма выбора УВ по способу II-ДО.

Единицей расчета для алгоритма II-ДО является пусковой орган, для которого алгоритм должен выбрать набор управляющих воздействий. Для одного ПО в таблице уставок может быть задано несколько схемно-режимных условий, в которых (и только в которых) будут проверены уставки по мощности для данного ПО:

1. Схемно-режимное условие представляет собой сочетание значений аналоговых параметров и состояний дискретных параметров текущего режима; как правило, сочетание ремонтов ВЛ, в некоторых случаях значение перетока активной мощности по ВЛ или выдачи станции.

1.1 Параметры схемно-режимного условия могут сочетаться при помощи логических операций «И» (например, ремонт ВЛ 1 и ВЛ 2) и «ИЛИ» (например, ремонт одной из ВЛ 1, 2, 3).

1.2 Схемно-режимное условие может включать в себя ссылки на другие схемно-режимные условия. Например, сочетание ремонтов ВЛ может быть описано в соответствующей таблице один раз (такое условие называется базовым), после чего, при описании схемно-режимных условий, включающих это сочетание, употребляется ссылка. Кроме того, в ссылке указывается логический способ сочетания параметров в базовом условии, а также может указываться ограничение на количество параметров, принимающих значение «истина» (например, таким образом может быть задано условие «ремонт двух ВЛ из ВЛ1, ВЛ2, ВЛ3»).

1.3 Результатом проверки, удовлетворяет ли текущая схема схемно-режимному условию, является «истина» (удовлетворяет) или «ложь» (не удовлетворяет).

Если текущая схема удовлетворяет нескольким схемно-режимным условиям, заданным для одного ПО, то уставки по мощности для данного ПО проверяются в порядке задания схемно-режимных условий в таблице уставок. Таким образом, наивысший приоритет имеет последнее схемно-режимное условие из существующих в текущей схеме для данного ПО. Для исключения неоднозначности, в этом случае предусмотрены следующие варианты дисциплины выбора УВ:

- Подрыв — дозировка, выбранная для ПО по предыдущему схемному условию, не сохраняется при переходе к следующему.

- Поглощение большими дозировками — дозировка, выбранная для ПО по предыдущему схемному условию, будет выставлена, если для данного ПО в следующем схемном условии не требуется более высокая ступень воздействия. При этом, если места применения воздействий различаются, будут выбраны оба воздействия.

- Поглощение ненулевыми дозировками — дозировка, выбранная для ПО по предыдущему схемному условию, будет выставлена, если для данного ПО в следующем схемном условии уставка не превышена. В случае, если уставка превышена, дозировка по следующему схемно-режимному условию полностью замещает предыдущую.

Если текущая схема не удовлетворяет ни одному из схемных условий для данного ПО, для такого ПО выбирается нулевая дозировка.

Для одного ПО и одного схемно-режимного условия может быть задано несколько уставок по мощности:

1. Ограничения по мощности задаются в виде линейных уравнений. Описание уравнения представляет собой набор аналоговых параметров текущего режима. Значение параметра (например, перетока по ВЛ) может быть умножено на заданный коэффициент, после чего результаты умножения арифметически складываются. В большинстве случаев, уравнение представляет собой сумму перетоков активной мощности по ВЛ, входящим в определенное контролируемое сечение. Поэтому употребляемый здесь и далее термин «ограничение» может рассматриваться как «контролируемое сечение».

2. С уставкой сравнивается текущее значение ограничения. Уставка считается превышенной, если текущее значение ограничения больше либо равно заданному значению уставки, с учетом знака.

3. Одной уставке соответствует один фиксированный набор УВ, который будет выбран для данного ПО, если уставка будет превышена текущей мощностью ограничения.

4. Уставки для одного ПО и одного схемного условия по одному ограничению должны задаваться в порядке возрастания мощности. При переходе на другую уставку, если предыдущая уставка была превышена, алгоритм работает согласно заданной дисциплине выбора УВ.

5. Для одного ПО и одного схемного условия могут быть заданы уставки по разным ограничениям (например, переток по ВЛ к шинам и от шин некоторой подстанции). В этом случае при переходе к другой уставке, если предыдущая уставка была превышена и дозировка была выбрана, приоритет дозировки может быть согласно заданной дисциплине выбора УВ.

Таким образом, существует три контрольные точки алгоритма, в которых может быть задана дисциплина выбора УВ для одного ПО, а именно:

- Переход с одной уставки по мощности сечения на другую.
- Переход с одного сечения на другое.
- Переход с одного схемно-режимного условия на другое.

Алгоритм не анализирует, не сортирует и не изменяет наборы УВ, он только их выставляет в своей выходной таблице. Имеется возможность задать, какой набор УВ будет выбран, в зависимости от дополнительного условия, например, с целью обнуления дозировки УВ при выводе ВЛ в ремонт. Проверка условия производится после того, как алгоритм выяснит, что данный ПО в текущей схеме нуждается в дозировке. Дополнительное условие представляет собой схемно-режимное условие, которое алгоритм проверяет согласно правилам, описанным выше. С целью сокращения объема настройки, предусмотрена возможность группировки ПО, требующих одинаковых воздействий.

## *Взаимодействие с ЦКПА*

В рамках иерархической системы ПА, ЦПА может взаимодействовать с ЦКПА. При этом, в качестве протокола межмашинного обмена используется стандартный протокол МЭК 870-5-104, что, в силу универсальности реализации данного протокола, дает возможность передачи на верхний уровень любой аналоговой и дискретной информации из внутренних таблиц ЦПА.

При интеграции в иерархическую систему ПА, ЦПА настраивается прежде всего на:

- прием дозировки УВ от ЦКПА;
- передачу выставленной дозировки УВ в ЦКПА для сравнения и контроля;
- передачу аварийного протокола в ЦКПА.

Кроме того, имеется возможность приема дополнительной информации от ЦКПА для расчета УВ, а также передачи параметров текущего режима в ЦКПА.

Дозировка УВ, принятая от ЦКПА, рассматривается как дозировка от алгоритма выбора УВ с наивысшим приоритетом. Таким образом, обеспечивается автоматический переход на дозировку, выбранную ЦПА по собственной информации, в случае как прекращения связи с ЦКПА, так и неуспешного выбора УВ в ЦКПА для определенных аварий, а также выбор управления для ПО, не обрабатываемых на верхнем уровне.

## **ЦКПА**

ЦКПА на базе КПА-М предназначен для выполнения следующих функций:

- Координирующая автоматика дозировки воздействий (КАДВ);
- Прочие функции ЦКПА, определенные стандартом [4].

Выбор управления в ЦКПА осуществляется по способу I-ДО на базе полной математической модели ОЭС. Ввод доаварийной информации производится по протоколу МЭК 870-5-104 от ОИК соответствующего подразделения Системного Оператора (ОДУ), а также от ЦПА районов управления, поскольку, например, опыт эксплуатации ЦКПА ОЭС Сибири показывает, что качество доаварийной информации ССПИ районов управления в ряде случаев оказывается выше, чем качество аналогичной информации ОИК, в основном за счет детерминированного времени сбора.

На нижний уровень ЦКПА передает рассчитанную дозировку УВ, и, при необходимости, может передавать координирующую информацию для выбора УВ.

ЦКПА также осуществляет автоматический контроль дозировки УВ, выставленной на нижнем уровне, и, при фиксации несовпадения дозировок для каких-либо ПО, оповещает об этом дежурный персонал.

## **Внедрения и перспективы**

В настоящее время в опытной эксплуатации находится ЦКПА ОЭС Сибири с центром в ОДУ Сибири, на двух районах управления (ПС 1150 кВ Алтай и ПС 500 кВ Таврическая). ЦПА этих двух районов находятся в промышленной эксплуатации с 2007 и 2008 годов соответственно. На 2010-2011 год запланирована реконструкция ЦПА ПС 1150 кВ Итатская, завершение реконструкции ССПИ ЦПА ПС Итатская, ввод в промышленную эксплуатацию ЦКПА ОЭС Сибири на трех районах управления. Кроме того, запланирована поставка оборудования ЦПА на ПС Камала, в перспективе — установка ЦПА на Саяно-Шушенской ГЭС.

Кроме системной автоматики, в последнее время ЗАО «ИАЭС» выпущено значительное количество локальных устройств ПА для установки в различных регионах Сибири.

## **Литература**

1. Реконструкция вычислительного комплекса противоаварийной автоматики западной и центральной части ОЭС Сибири, установленного на ПС Итатская. Техническое задание. — СИЭСИ, 1995. Инв.№ 230-16-т1.
2. Разработка схемы развития противоаварийного управления ОЭС Сибири. Этап 1. Анализ текущего состояния системы противоаварийного управления (ПАУ) ОЭС Сибири, оценка эффективности, общий подход к развитию и совершенствованию, режимы работы, устойчивоспособность и управляемость. Инв.№ 01-ОЭС/03-16-т1. — ЗАО «ИАЭС», Новосибирск, 2003.
3. Разработка схемы развития системы противоаварийного управления ОЭС Сибири. Этап 2. Разработка рекомендаций по выбору модели управления для определения управляющих воздействий (УВ) ПАУ, структуры системы ПАУ на перспективу. Инв. № 01-ОЭС/03-16-т2. Новосибирск, ЗАО «ИАЭС», 2003.
4. СТО 59012820.29.240.008-2008. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Условия организации процесса. Условия создания объекта. Нормы и требования. М., 2008.
5. Аржанников С.Г., Захаркин О.В., Петров А.М. Управление активной мощностью электростанций с целью сохранения устойчивости послеаварийных режимов ЭЭС // Передача энергии переменным током на дальние и сверхдальние расстояния: Труды международной научно-практической конференции, том 2. — Новосибирск, СибНИИЭ, 2003.

***Контактная информация***

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

Адрес: Россия, г.Новосибирск, 630091, ул.Крылова, 2

Тел./факс: (383)2680223

E-mail: [iaes@iaes.ru](mailto:iaes@iaes.ru)