

# **АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДА, МЕСТА ПРИЛОЖЕНИЯ И СТУПЕНЕЙ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПА**

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»  
ОДУ Сибири – Филиал ОАО «СО ЕЭС»

**С.Г. Аржанников, О.В. Захаркин, Е.Ю. Ивахненко  
Д.С. Лоцман**

Рассматривается алгоритм выбора вида и места приложения управляющих воздействий, основанный на сопоставлении параметров эквивалентов сети между узлами примыкания аварийно отключаемых связей и узлами управления. Описан порядок выбора ступеней управления относительной наиболее слабой части схемы энергосистемы.

**Введение.** Сохранение статической устойчивости послеаварийных режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) в настоящее время обеспечивается централизованными системами противоаварийной автоматики (ЦСПА). Алгоритмы расчета дозировки управляющих воздействий (УВ), реализуемые в ЦСПА, могут быть основаны на принципе I-ДО (выбор УВ производится до момента возникновения аварии в условиях математической модели текущего режима контролируемого района ЭЭС) или на принципе II-ДО (выбор УВ производится по таблице решений, заполняемой вне контура управления).

В качестве основных мероприятий по обеспечению устойчивости послеаварийных режимов обычно рассматриваются отключения генераторов (ОГ) и отключения нагрузок (ОН). Места приложения и требуемые ступени УВ определяются на стадии проектирования систем ПА на основе расчетов предполагаемых режимов и возможных аварийных ситуаций.

При использовании алгоритмов II-ДО вопрос выбора вида, места приложения и требуемых ступеней УВ решается персоналом служб ПА на основе многовариантных расчетов послеаварийных режимов, соответствующих срабатыванию заданных пусковых органов (ПО). Найденные решения заносятся в таблицу решений. Управляющее устройство производит оценку текущего состояния системы (определяет состав линий электропередачи, перетоки мощности по контролируемым связям) и осуществляет выбор соответствующих этому состоянию управляющих воздействий. Оценка необходимости ввода УВ выполняется путем сопоставления текущих перетоков мощности по линиям и сечениям с заранее определенными предельными значениями. К недостаткам алгоритмов этого класса можно отнести их неработоспособность при появлении непредусмотренных схемно-режимных ситуаций, сложность перенастройки при появлении новых

элементов в схеме сети, большой объем информации, заносимой в таблицы решений.

При использовании алгоритмов, основанных на принципе I-ДО, набор возможных видов УВ и мест их приложения также зафиксирован. Управляющее устройство при этом должно решать следующие задачи:

1. Определить необходимость ввода УВ для каждой из расчетных аварий (ПО) в условиях сложившейся схемно-режимной ситуации.
2. Выбрать наиболее слабую часть системы.
3. Выбрать наиболее эффективный вид управления.
4. Выбрать наиболее эффективное место приложения УВ данного вида.
5. Выбрать достаточную для сохранения устойчивости ступень управления.

Решение этих задач предлагается проводить на основе следующего алгоритма.

**Определение коэффициента запаса устойчивости.** Первая задача состоит в определении коэффициента запаса устойчивости рассматриваемого послеаварийного режима. Если коэффициент запаса меньше допустимого (или послеаварийный режим не существует), то необходим ввод управляющих воздействий. Данная задача решается с помощью метода определения предельных режимов, предложенного ЗАО «ИАЭС» [1]. Этот метод основан на совместном решении уравнений установившегося режима (УУР) подробной математической модели электроэнергетической системы и уравнений границы области предельных режимов в форме произведения транспонированной матрицы Якоби УУР на собственный вектор этой матрицы, отвечающий нулевому собственному значению. В качестве одной из переменных совокупной системы уравнений выступает коэффициент напряженности режима  $k_H$ , связанный с коэффициентом запаса устойчивости соотношением  $k_H = 1 - k_{зус}$ .

**Выбор слабой части системы.** Разработанный алгоритм реализует известное для простейших систем положение об эффективности ОГ в передающей системе более слабой по мощности, чем приемная система, и эффективности ОН в приемной системе, более слабой по мощности, чем передающая система [2].

При выборе УВ полная расчетная схема сети сворачивается относительно узлов примыкания аварийно отключаемых связей – «аварийных узлов». Таких узлов может быть два, если отключается одна связь, или несколько, если одновременно отключаются две (или более) связи, имеющие разные узлы примыкания. Сворачивание схемы сети осуществляется по алгоритму эквивалентирования, описанному в [3, 4]. При сворачивании схемы сети используются исходные параметры аварийных связей.

После эквивалентирования схемы сети каждый из аварийных узлов содержит эквивалентный генератор и эквивалентную нагрузку, соответствующие доаварийному режиму. Все аварийные узлы ранжируются в порядке возрастания мощности эквивалентного генератора. В качестве наиболее слабой части системы выбирается аварийный узел, имеющий наименьшую мощность эквивалентного генератора.

**Выбор эффективного вида управления.** Требуемый для обеспечения необходимого запаса устойчивости системы в послеаварийном режиме вид УВ (ОГ или ОН) определяется по направлению перетока мощности по сечению между наиболее слабым аварийным узлом и остальными аварийными узлами. При направлении перетока от слабого узла в слабой части системы необходимо произвести ОГ, при направлении перетока к слабому узлу в слабой части системы необходимо произвести ОН.

**Выбор эффективного места приложения УВ.** Возможные места приложения УВ каждого вида определены заранее и соответствуют «управляемым узлам». Каждый управляемый узел может быть связан через сеть с каждым из аварийных узлов. Степень близости управляемого узла к каждому из аварийных узлов характеризуется величиной эквивалентного реактивного сопротивления между этими узлами. Для определения этих сопротивлений производится сворачивание полной схемы сети к эквивалентам в виде пары узлов «управляемый узел – аварийный узел» при использовании алгоритма эквивалентирования [3, 4]. Аварийные связи при сворачивании схемы сети отключены и эквивалентное сопротивление между парами узлов определяется по параметрам шунтирующей сети. После определения реактивных сопротивлений между каждым аварийным узлом и управляемыми узлами для каждого аварийного узла составляются списки управляемых узлов (по эффективному для каждого аварийного узла виду УВ). Номера управляемых узлов в списке располагаются в порядке увеличения реактивного сопротивления между аварийным и управляемыми узлами.

**Выбор необходимых ступеней управления.** Выбор УВ начинается с ввода первой ступени управления требуемого вида в наиболее близком к слабой части системы управляемом узле. Если по данным оценки параметров текущего режима ввод ступени УВ заданной мощности невозможен (отключены генераторы или снижена нагрузка), ввод ступени УВ осуществляется в следующем по списку управляемом узле. Если требуемый для аварийного узла вид УВ отсутствует, то выбор вида и ступени УВ проводится для следующего по рангу аварийного узла.

После выбора ступени УВ производится расчет послеаварийного режима и определяется коэффициент напряженности  $k_H$ . Если

коэффициент напряженности меньше нормативного значения, то расчет УВ для рассматриваемого ПО заканчивается. Если коэффициент напряженности больше нормативного значения, то выполняется выбор следующей ступени управления.

При выборе УВ контролируется возникший от ввода управления небаланс мощности в системе. Если при вводе очередной ступени УВ этот небаланс превышает допустимое значение, то осуществляется балансировка режима за счет ввода управления противоположного знака в аварийном узле, расположенном на другом конце аварийной связи.

**Реализация алгоритма.** Рассмотренный алгоритм выбора управляющих воздействий по условиям устойчивости послеаварийных режимов сложных ЭЭС относится к классу алгоритмов I-ДО и реализован в составе технологического программного обеспечения координирующей системы противоаварийной автоматики (КСПА) ЭЭС Сибири (аппаратно – промышленная ЭВМ с процессором Intel частотой 3 ГГц и операционной системой QNX 4.25).

Расчетная схема ЭЭС Сибири, используемая в КСПА, содержит 150 узлов. Расчет цикла выбора управляющих воздействий по изложенному алгоритму для 40 пусковых органов в условиях этой схемы составляет 30 секунд.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аржанников С.Г., Захаркин О.В., Петров А.М. Оценка запаса устойчивости установившегося режима ЭС и выбор управлений для его ввода в допустимую область / электрон. журн. «Новое в российской электроэнергетике», 2005, № 5 .

2. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. - М.: Энергоавтомиздат, 1990. – 392с.

3. Захаркин О.В., Ивахненко Е.Ю. Алгоритмы получения эквивалентов для районов управления в КСПА // Технологии управления режимами энергосистем XXI века. Сб. докладов Всерос. науч.-практ. конф. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – С. 135-141.

4. Захаркин О.В., Ивахненко Е.Ю. Особенности эквивалентирования электрической схемы ЭЭС при формировании математических моделей районов управления. – см. статью в настоящем сборнике.

## Контактная информация

**Аржанников Сергей Гаврилович**, ст.н.с. научно-исследовательской лаборатории ЗАО ИАЭС  
630132, Новосибирск, ул. Железнодорожная, 12/1.  
Тел. (383)-363-02-65

**Захаркин Олег Владимирович**, к.т.н., заведующий научно-исследовательской лаборатории ЗАО «ИАЭС»  
630132, Новосибирск, ул. Железнодорожная, 12/1.  
Тел. (383)-363-02-65

**Ивахненко Елена Юрьевна**, н.с. научно-исследовательской лаборатории ЗАО «ИАЭС»  
630132, Новосибирск, ул. Железнодорожная, 12/1.  
Тел. (383)-363-02-65, сот. 214-01-91  
[eyi@iaes.ru](mailto:eyi@iaes.ru)

**Лоцман Дмитрий Сергеевич**, Начальник отдела устойчивости, противоаварийной и режимной автоматики службы электрических режимов  
Филиал ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС» ОДУ Сибири  
650620, г.Кемерово, ул.Кузбасская 29  
т. 8-906-922-27-66  
раб. (38-42) 36-12-07