

# **КОНЦЕПЦИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ АВТОМАТИКИ ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА**

*Жиленков А.А., Прохоров А.В.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, Томск, Инженерная школа энергетики, отделение  
электроэнергетики и электротехники*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Постоянное усложнение электроэнергетических систем, ввод новых генерирующих мощностей, высокая загруженность линий электропередачи приводят к повышению вероятности возникновения и развития аварий, а также их тяжести.

Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР) работает, когда управляющие воздействия других видов противоаварийной автоматики оказались неэффективными, то есть является одной из последних ступеней защиты энергосистемы от блэкаута и массового отключения потребителей электроэнергии.

Применяемые в настоящее время локальные АЛАР оперируют информацией о параметрах режима только непосредственно в месте их установки. Поэтому они не способны выполнить деление системы с учетом минимизации небаланса мощности в отделившихся частях электроэнергетической системы (ЭЭС), что приводит к увеличению объема отключения нагрузки в дефицитной части.

Данную проблему можно решить при помощи централизации АЛАР и обеспечения адаптивности её действий к изменяющимся условиям работы ЭЭС.

Централизованные АЛАР отсутствуют сегодня в энергосистемах. Авторами данной работы были сформулированы основные требования к функциональным блокам централизованной АЛАР, разработаны соответствующие алгоритмы, выполнена их программная реализация и тестирование с использованием результатов моделирования переходных процессов в энергосистеме.

**ОБЗОР ПРИЧИН НЕКОРРЕКТНОЙ РАБОТЫ  
СУЩЕСТВУЮЩИХ УСТРОЙСТВ АЛАР**

В зависимости от принципов работы, существующие АЛАР обладают следующими недостатками:

- Подверженность дистанционных АЛАР влиянию дополнительных возмущений.
- Высокая длительность выявления АР дистанционных и угловых АЛАР – он обнаруживается только в момент появления (первого асинхронного проворота углов генераторов).
- Низкая селективность быстродействующих (осуществляющих деление при  $\delta < 180^\circ$ ) устройств АЛАР.
- Пересечение характеристик срабатывания нескольких устройств дистанционных АЛАР.
- Низкая чувствительность цикловых АЛАР.
- Устройства АЛАР выполняют деление системы без учета величины небаланса в отделившихся частях. А те устройства, которые способны выбирать точку деления системы, оценивают лишь характер небаланса – будет отделившаяся часть энергосистемы избыточной или дефицитной.
- Человеческий фактор: ошибки в заданных или выставленных параметрах настройки устройств АЛАР.

Разрабатываемый алгоритм должен обеспечивать сокращение времени выявления АР, реализовывать деление системы исходя из условия минимизации небаланса в отделившихся частях энергосистемы, а также минимизировать участие человека при расчете параметров настройки централизованной АЛАР.

#### ОПИСАНИЕ КОНЦЕПЦИИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ АЛАР

На основании результатов анализа исследованных ранее подходов к построению централизованных АЛАР [1]-[3], сформулированы следующие требования к функциональным возможностям разрабатываемой автоматики, предложены и программно реализованы способы их обеспечения.

- Для сокращения времени выявления АР должно выполняться прогнозирование возникновения АР [1]. Прогнозирование следует выполнять в два этапа:

– Кластеризация заранее рассчитанных на модели ЭЭС режимов на: устойчивой, те, устойчивость которых нарушается до действия автоматики предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ), и те, устойчивость которых нарушается после действия АПНУ. Для кластеризации принят метод с-средних.

– Классификация на основе онлайн данных с устройств синхронизированных векторных измерений (УСВИ) – реализуется на базе метода опорных векторов.

Кластеризация и классификация данных были выполнены на языке программирования R.

- Должны определяться группы когерентных генераторов. В качестве расчетного метода может быть использован метод оценки отклонения углов от центра инерции системы [2].

- Для деления системы по условию минимизации небаланса в отделившихся частях ЭЭС, сечение деления системы может выбираться на основании заранее выявленных сечений-кандидатов. Сечение, по которому будет выполняться деление системы, выбирается исходя из обеспечения условий: разделения групп когерентных генераторов, минимизации небаланса активной мощности в отделившихся частях энергосистемы и выполнения условий сохранения устойчивости в них [3].

Алгоритмы, реализующие вышеуказанные принципы, были программно реализованы на языке C#. Для моделирования режимов работы ЭЭС использовались ПК RastrWin3 и ПАК EUROSTAG. Автоматизация процедур сбора данных выполнена на языке Python. Предполагается, что для уменьшения человеческого фактора все расчеты параметров настройки проводятся автоматически, без участия человека.

## ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМОГО РАЙОНА

Для проверки работоспособности предложенных алгоритмов выбрано сечение «Братск-Красноярск», которое является одним из наиболее подверженных возникновению AP сечений в ОЭС Сибири и

обладает сложной системой шунтирующих связей, что интересно с точки зрения исследования алгоритма деления системы.

В состав сечения входят две ВЛ 500 кВ: Братский ПП 500 кВ – ПС 500 кВ Тайшет и Братский ПП 500 кВ – ПС 500 кВ Озерная.

Исследования алгоритма централизованной АЛАР проводились на динамической модели ЭЭС, состоящей из 4978 узлов, 5957 ветвей и 252 генераторов общей установленной мощностью более 130 ГВт. В качестве возмущений, приводящих к АР, рассматривались отключения одной и нескольких ЛЭП 500 кВ после короткого замыкания (КЗ) и без КЗ, а также отключения энергоблока на электростанции или секции шин на подстанции. Возмущения моделировались при перетоке, близком к аварийно допустимому. АДП в рассматриваемом сечении составляет 2020 МВт.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

Было определено, что наиболее высокая точность прогнозирования АР в рассматриваемом сечении, обеспечивается при:

- проведении измерений на подстанциях 500 кВ: Озерная, Тайшет и Братский ПП;
- использовании при прогнозировании временных рядов действующих значений напряжения и углов векторов напряжения.

Показано, что точность идентификации появления АР составляет 92,3% после возникновения возмущения (таблица 1) и до 100% – после действия АПНУ (таблица 2). При этом достаточная для успешной идентификации длина временных рядов составляет соответственно 60 и 20 мс. Тренировочная выборка составляла 80% от всего набора данных, тестовая – 20%.

Выбор сечения ДС в соответствии с алгоритмом позволил повысить надежность электроснабжения потребителей в отделившихся частях ЭЭС – объем управляющих воздействий автоматики частотной разгрузки для сохранения устойчивости энергосистемы оказался на 445 МВт (на 55,76%) ниже, чем при делении по сечению локальными устройствами АЛАР.

В таблице 3 приведено время идентификации нарушения устойчивости централизованной АЛАР и существующими АЛАР для различных возмущений при перетоке по сечению «Братск-Красноярск» близкому к АДП. Отметим, что время идентификации нарушения устойчивости существующих АЛАР соответствует времени наступления АР, так как их срабатывание происходит по факту выявления ЭЦК на защищаемом участке.

Таблица 1. Точность прогнозирования АР после возмущения

Длина временного ряда, мс	Подстанции, на которых осуществляется сбор данных			
	ПС Тайшет	ПС Озерная	Братский ПП	БПП, Тайшет, Озерная
20	0,692	0,769	0,769	0,769
40	0,692	0,692	0,769	0,769
60	0,923	0,923	0,923	<b>0,923</b>
80	0,923	0,923	0,923	0,923

Таблица 2. Точность прогнозирования АР после действия АПНУ при сборе данных с ПС 500 кВ БПП, Тайшет, Озерная

Длина временного ряда, мс	20	40	60	80	100
80%/20%	1	0,909	0,818	0,818	0,909

Таблица 3. Время идентификации нарушения устойчивости

Номера эксперимента	Время идентификации нарушения устойчивости, мс		
	Централизованной АЛАР		Существующими АЛАР
	С учетом действия АПНУ	Без учета действия АПНУ	
1	650	430	1390
2	650	430	1350
3	650	430	1385
4	650	330	690

5	650	310	1260
6	650	310	1295
7	-	310	580

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты показывают, что предложенный алгоритм обеспечивает выявление и ликвидацию АР быстрее, чем локальные устройства АЛАР, за счет возможности прогнозирования АР. При этом чувствительность может достигать 100%. Однако, так как исследования проводились на небольших наборах данных, то для получения более точных результатов в будущем планируется увеличить объем данных для обучения классификатора. Кроме того, необходимо провести дополнительные исследования по отстройке централизованного АЛАР от режима синхронных качаний.

Также в будущем планируется модификация отдельных частей алгоритма. В частности, будет выполнена доработка алгоритма для выявления нескольких групп когерентных генераторов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. F. Arraño-Vargas, C. Rahmann, F. Valencia, L. Vargas. Active Splitting in Longitudinal Power Systems based on a WAMPC // *Energies* 2018, January 2018.
2. F. Hashiesh, H. E. Mostafa, I. Helal, M. M. Mansour. A Wide Area Synchrophasor Based ANN Transient Stability Predictor for the Egyptian Power System // *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)*, 11-13 October 2010.
3. Tao Ding, Kai Sun, Can Huang, Zhaohong Bie, Fangxing Li. Mixed-Integer Linear Programming-Based Splitting Strategies for Power System Islanding Operation Considering Network Connectivity // *IEEE Systems Journal*, March 2018.

Научный руководитель: А.В. Прохоров, к.т.н., доцент отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ ТПУ