

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

212-1

**20-22 октября 2022 года**

---

**УДК 621.316**

С.М. ЗИНЧУК, студент гр. ЭПбз-181 (КузГТУ)  
Научный руководитель А.С. КОРНЕЕВ, к.т.н., ассистент (КузГТУ)  
г. Кемерово

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭЭС ПОСЛЕ КРУПНЫХ АВАРИЙ**

Современная энергетическая система приближена к критическим эксплуатационным пределам в рыночных условиях. Сети передачи большой мощности и большой протяженности широко используются для удовлетворения потребностей современного общества в электроснабжении. И поэтому неправильное обращение с некоторыми частичными отказами может легко привести к авариям и серьезным цепным реакциям и, таким образом, в конечном итоге может привести к крупномасштабному и обширному отключению электроэнергии. Именно поэтому следует рассмотреть вопрос восстановления ЭЭС после аварий.

Риски крупномасштабных отключений электроэнергии все еще существуют и неизбежны, хотя был проделан большой объем работы по обеспечению устойчивости энергосистем к перебоям в электроснабжении. Правильный план восстановления может эффективно смягчить негативное воздействие на население, экономику и саму энергосистему. Исследование того, как быстро и эффективно восстановить энергосистему после сбоев, имеет жизненно важное значение.

Восстановление энергосистемы после частичного или полного разрушения - довольно сложный процесс. Необходимо учитывать множество факторов, включая рабочее состояние системы, доступность оборудования, время восстановления и успешность работы. Это требует не только большого объема анализа и проверки, но и решений, принимаемых диспетчерским персоналом. Восстановление энергосистемы - это задача многоцелевой, многоступенчатой оптимизации с несколькими переменными и множеством ограничений, которая полна нелинейности и неопределенности.

Цели восстановления – обеспечить безопасное и быстрое возвращение энергосистемы к нормальному состоянию, свести к минимуму потери и время восстановления, а также уменьшить негативное воздействие на общество.

Процесс восстановления ЭЭС начинается с определения послеаварийного состояния. В первую очередь оценивается состояние и работоспособность объектов системы. На данном этапе происходит поиск разрушений и их оценка, оценивается возможность работы объекта хотя

# V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

212-2

20-22 октября 2022 года

наполовину. После необходимо проверить наличие связей данного объекта с другими энергетическими системами и также оценить возможность связанной работы систем. Кроме того, необходимо оценить готовность объектов к включению нагрузок, в том числе для потребителей.

На рисунке 1 можно посмотреть алгоритм процессов восстановления ЭЭС. Естественно, реальные ситуации отличаются друг от друга, однако, к ним также можно и нужно применять некоторые наборы действий, которые будут различаться в зависимости от последствий аварий.

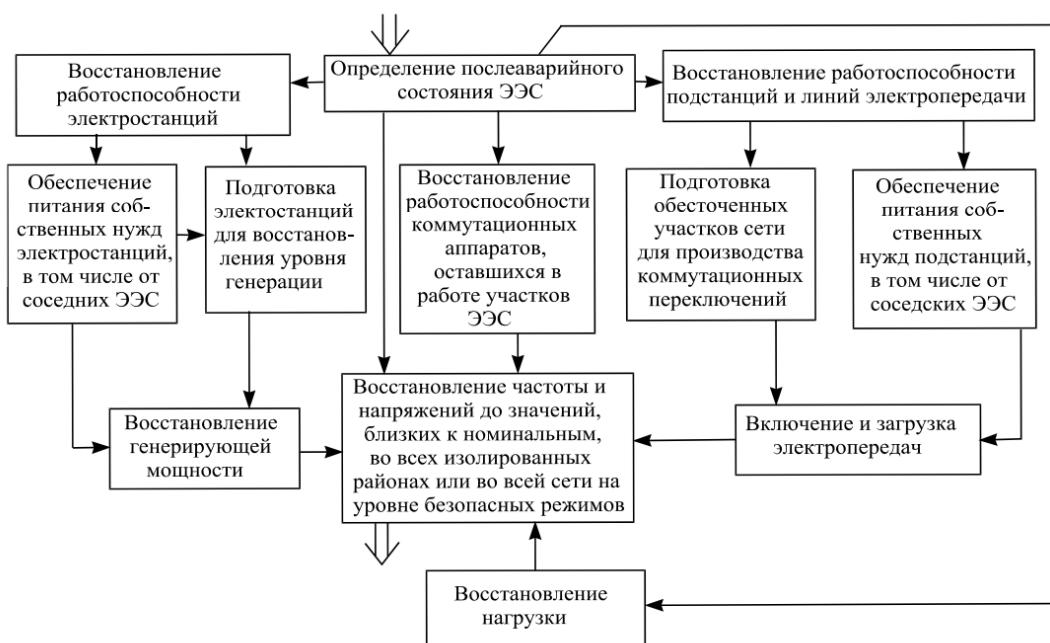


Рис.1. Обобщенная структурная схема, отражающая стратегию деятельности персонала по восстановлению ЭЭС после тяжелых системных аварий

Процесс восстановления энергосистем согласно рисунку 1 представляет собой согласованную подготовку и ввода взаимосвязанных объектов, которые сохранили свою работоспособность после аварии хотя бы в половинном объеме, а также действия персонала по восстановлению всех объектов.

Как известно, энергосистема состоит из электростанций, подстанций и линий электропередач. Поэтому после определения послеаварийного состояния ЭЭС работа ведётся в двух направлениях.

Стоит отметить, что во время каскадного развития аварии диспетчер практически не в состоянии адекватно действовать, так как обстановка такого развития аварии довольно стрессовая. На стадии же восстановления

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

212-3

20-22 октября 2022 года

---

практически все управляющие воздействия возлагаются на диспетчера и оперативный персонал. Но автоматическая часть также имеет огромное значение.

Важно обратить внимание на иерархическую автоматическую централизованную систему аварийного управления. Эта система собирает и обрабатывает информацию о текущем состоянии и возмущениях в большой области ЭЭС или даже во всей системе. Восстановительные действия поддерживаются аналитическими инструментами и могут включать различные географические меры, запускаемые сложными алгоритмами. Алгоритмы выполняют следующие функции:

- выявление опасности нестабильности и принятие решения о необходимости корректирующих действий по контролю;
- выбор наиболее эффективных мер контроля для восстановления ЭЭС из арсенала доступных восстановительных действий;
- определение объёма вышеизложенных действий.

Приведенные выше принципы показывают, что В России уже сейчас присутствуют элементы идеологии smart grid. К таким элементам относят:

- адаптивность путём координации действий по управлению в порядке, зависящем от типа, времени и серьёзности аварийной ситуации; эхолотированная система управления пытается прервать каскадный аварийный процесс, чем быстрее, тем лучше;
- оптимальность управляющих воздействий, включающая верхнюю координирующую подсистему с быстрыми алгоритмами оптимального выбора действий управляющими устройствами на нижнем уровне;
- интеллект процесса принятия решений через обучение и оптимальные управляющие воздействия; такая система обладает свойствами мультиагентных систем.

Опыт эксплуатации современных сложных энергосистем показывает необходимость также режимной поддержки решений диспетчера по восстановлению системы после крупных аварий. Для этого создаются и используются различные тренажёры для формализации знаний диспетчера и проработки характерных ситуаций. Также такие тренажёры позволяют проводить эксперсс-анализы переходных и установившихся режимов систем на различных шагах их восстановления.

Главным критерием успешного восстановления ЭЭС является промежуток времени ведения работ по ремонту систем, который должен быть максимально маленьким, а также недопущение срыва процесса ремонта, т.е. аварийная ситуация не должна усугубиться.

Таким образом, восстановление и аварийное реагирование после потери электроэнергии рассматриваются как комплексный учебный опыт

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

212-4

**20-22 октября 2022 года**

---

для общего и местного распределения, управления и восстановления энергосистемы.

Каждый случай восстановления имеет уникальные алгоритмы и проблемы, которые должны быть решены на месте руководством и восстановительными бригадами с использованием навыков и знаний в том числе машинной поддержкой. Опыт показывает, что комплексное реагирование системы, действия управления по восстановлению ЭЭС после аварий и ремонтных бригад отражают сочетание отдельных процессов, имеющих большую эффективность по восстановлению. Точно также на эффективность восстановления влияют и новые устройства и методы искусственного интеллекта для различных задач противоаварийного управления и управления во время восстановления.

**Список литературы:**

1. Воропай, Н.И. Алгоритмы живучести и самовосстановления интеллектуальных электроэнергетических систем / Воропай Н.И., Ефимов Д.Н., Курбацкий В.Г., Панасецкий Д.А., Томин Н.В – Текст: электронный // Институт энергетической стратегии – Москва. – 2019. URL: [http://www.energystrategy.ru/projects/Energy\\_21/7-2.pdf](http://www.energystrategy.ru/projects/Energy_21/7-2.pdf) (дата обращения: 01.10.2022).

2. Соколов, С.Е. Основные проблемы эксплуатации электрических сетей и систем / С.Е. Соколов, Е.Г. Михалкова – Текст: электронный // Институт энергетической стратегии – Москва. – 2018. URL: [https://libr.aues.ru/facultet/eef/kaf\\_esss/63/umm/ess\\_1.pdf](https://libr.aues.ru/facultet/eef/kaf_esss/63/umm/ess_1.pdf) (дата обращения: 01.10.2022).

**Информация об авторе:**

Зинчук Сергей Максимович, студент гр. ЭПбз-181, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, sergeyDS@outlook.com