

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ РЕЖИМНОГО И ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМАМИ.

Сацук Евгений Иванович
АО «СО ЕЭС»

Санкт-Петербург, 2026

Герасимов Андрей
Сергеевич
АО «НТЦ ЕЭС»



ОБЕСПЕЧЕНИЕ
НАДЁЖНОСТИ И
ЖИВУЧЕСТИ
ЭНЕРГОСИСТЕМЫ
ПУТЁМ
ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ
РАЗВИТИЯ АВАРИЙНЫХ
СИТУАЦИЙ И
МИНИМИЗАЦИИ ИХ
ПОСЛЕДСТВИЙ

- 1 Сохранение устойчивости параллельной работы электростанций и энергосистем
- 2 Недопущение лавинообразного развития аварий, приводящего к массовым отключениям потребителей
- 3 Защита оборудования от повреждений из-за перегрузок и недопустимых режимов работы
- 4 Повышение пропускной способности сети за счёт более полного её использования на существующих линиях электропередачи



РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Развитие централизованных систем противоаварийного управления

- Совершенствование алгоритмов и функционала
- Импортозамещение программного обеспечения
- Координация между ЦСПА смежных энергосистем

Использование синхронизированных измерений параметров электрического режима

- Использование данных СВИ в существующих локальных и централизованных устройствах противоаварийного управления
- Создание новых устройств противоаварийной автоматики



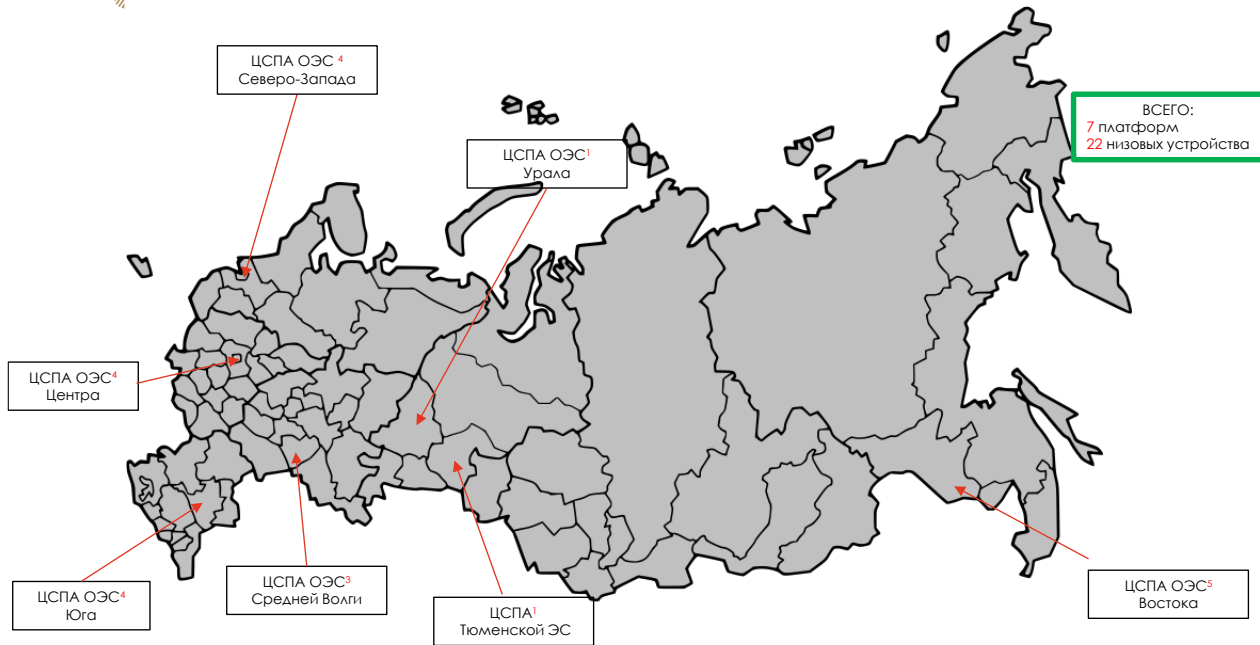
Комплексное развитие по всем трем направлениям обеспечит эффективность и устойчивое развитие автоматического противоаварийного управления в энергосистемах



ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ.

- 1 1977-1980 гг. Постановка задачи. Разработка теоретических принципов. Оценка реализуемости идеи.
- 2 1981-1984 гг. Разработка технологических алгоритмов, их испытания на ЭДМ. Создание ПО и аппаратной базы. Определение объекта пилотного внедрения.
- 3 1984-1985 гг. Создание аппаратно-программного комплекса. Опытная эксплуатация.
- 4 1986 г. Промышленная эксплуатация.

1989 г. Коллектив создателей ЦСПА удостоен Государственной премии СССР



- Оценивание состояния в полной схеме.
- Расчет управляющих воздействий по условию сохранения статической и динамической устойчивости по классическим моделям.
- Выбор управляющих воздействий с учетом токовых ограничений в элементах модели и требуемых напряжений в указанных узлах.
- Моделирование различных типов устройств локального противоаварийного управления включая ЛАПНУ.



ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ ЦСПА



ОБЩЕСИСТЕМНОЕ И ПРИКЛАДНОЕ ПО:

- **Обеспечение требований Законодательства в части импортозамещения программного обеспечения.**

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ:

- Разработка структурных и алгоритмических решений по координации действия смежных зон Централизованного противоаварийного управления.
- Переход на кольцевую структуру взаимодействия Низовых Устройств.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ:

- Повышение эффективности Системы при переходе ЦСПА в локальный режим.
- Оптимизация алгоритмических решений при альтернативности обеспечения устойчивости послеаварийного режима
- Внедрение новых пусковых органов, таких как ФТКЗ — фиксация тяжести короткого замыкания, ФСН — фиксация снижения напряжения, ФСМ — фиксация снижения мощности и управляющих воздействий ИРТ — импульсная разгрузка турбины, ДРТ — длительная разгрузка турбины.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В АВТОМАТИЧЕСКОМ ПРОТИВОАВАРИЙНОМ УПРАВЛЕНИИ



СИНХРОНИЗИРОВАННЫЕ
ВЕКТОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- 1 2005 г. Начало работ по применению технологии СВИ в ЕЭС России.
- 2 2006 – 2009 гг. Создание отечественных УСВИ / КСВД
- 3 2006 – 2010 гг. Внедрение пилотной очереди СМПР ЕЭС (32 объекта)
- 4 2025 г. В эксплуатации более 1150 устройств СВИ

Интенсивное развитие системы синхронизированных векторных измерений режимных параметров позволило реализовать с их использованием ряд систем мониторинга, а также использовать их измерения в системах ПАУ



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В АВТОМАТИЧЕСКОМ ПРОТИВОАВАРИЙНОМ УПРАВЛЕНИИ



ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ:

- Повышение эффективности и точности процедуры оценки состояния

СОЗДАНИЕ НОВЫХ УСТРОЙСТВ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ

- Разработка устройства автоматики разгрузки при перегрузке с контролем взаимного фазового угла (АРПУ):
 - Необходимость разработки определено задачей объединения ОЭС Сибири и ОЭС Востока на параллельную работу
 - Устройство контролирует допустимую загрузку по транзиту с использованием значений разности фазового угла по концам транзита и скорости изменения разности фазового угла;
 - Устройство воздействует на отключение генерации и нагрузки по концам транзита в зависимости от направления перетока активной мощности
 - Опытный образец устройства – 2026 год;
 - Ввод в эксплуатацию на транзите между ОЭС Сибири и ОЭС Востока – 2029 год



РЕГУЛИРОВАНИЕ
РЕЖИМА РАБОТЫ
ЭНЕРГООБЪЕКТОВ ПО
ЧАСТОТЕ, АКТИВНОЙ
МОЩНОСТИ,
НАПРЯЖЕНИЮ

- 1 Поддержание параметров электроэнергетического режима энергосистемы в допустимых пределах
- 2 Выполнение заданных плановых диспетчерских графиков и их изменение при изменении фактического электроэнергетического режима энергосистемы
- 3 Обеспечение соответствия технологических режимов работы электростанций обязательным требованиям
- 4 Соответствие параметров технологических режимов работы линий электропередачи и оборудования допустимым значениям



Для повышения эффективности управления режимом энергосистемы применяется автоматическое управление электроэнергетическим режимом средствами режимной автоматики



ЦЕЛЬ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ:

- Для обеспечения безопасной работы электроэнергетического оборудования и устойчивости работы энергосистемы поддержание параметров электроэнергетического режима в области допустимых значений в темпе протекающих в энергосистеме процессов :
 - Частота электрического тока в энергосистеме
 - Величины напряжений в контрольных пунктах энергосистемы
 - Величины перетоков активной мощности по контролируемым сечениям и токовой нагрузки по ЛЭП и оборудованию

ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ:

- Предотвращение выхода параметров электроэнергетического режима из допустимой области значений;
- Приведение параметров режима в допустимую область значений за требуемое время
- Обеспечение устойчивого электроэнергетического режима работы энергосистемы





РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Развитие централизованных ИУС режимного регулирования

- Централизованные системы мониторинга
- Централизованные системы управления частотой и перетоками мощности
- Советчики диспетчера, централизованные системы управления напряжением

Развитие средств режимной автоматики

- Привлечение к режимному управлению новых устройств и систем регулирования
- Развитие алгоритмов функционирования существующей режимной автоматики



РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

ППТ «НОВОВОРОНЕЖСКАЯ АЭС – МОСКВА»

- Протяженность: 550 км
- Мощность: 1500 МВт

2032 год

ППТ «ИТАТСКАЯ (КАМАЛА) – ЮВЧ ОЭС СИБИРИ»

- Протяженность: 1420-1750 км
- Мощность: 1500 МВт

2030 год

ППТ «ЮВЧ ОЭС СИБИРИ – ЧИТА»

- Протяженность: 800 км
- Мощность: 1000 МВт

ППТ «Мокская ГЭС – Чита»

- Протяженность: 600 км
- Мощность: 1000 МВт

2032 год

ППТ «ЧИТА – ДАУРИЯ»

- Протяженность: 1000 км
- Мощность: 1000 МВт

2036 год



В период 2032-2036 годов планируется строительство 5 передач постоянного тока общей мощностью 6 ГВт, ориентировочной протяженностью 4700 км.



Объекты постоянного тока могут быть привлечены к регулированию перетоков активной мощности по ЛЭП и напряжения в точках подключения к энергосистеме



ВНЕДРЕНИЕ УСТРОЙСТВ ГИБКИХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА (FACTS):

- Технология регулирования реактивной мощности - УШР, СТАТКОМ
- Технология регулирования перетоков мощности - ФПТ
- Технология накопителей энергии большой мощности для регулирования частоты и напряжения

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ АГРЕГАТНОГО И СТАНЦИОННОГО УРОВНЕЙ:

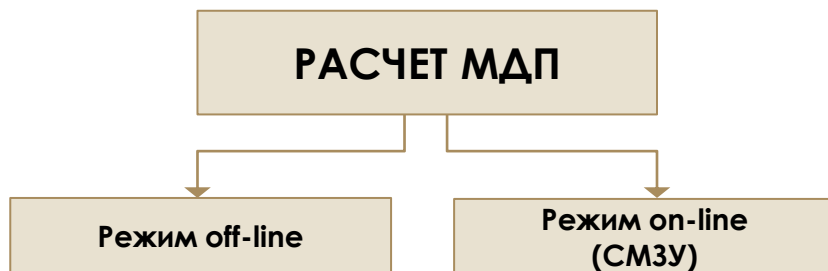
- Расширение перечня режимов работы САУ ГА ГЭС, САУМ (САРЧМ) энергоблоков, РЧВ турбин ТЭС;
- Совершенствование алгоритмов работы автоматических систем регулирования возбуждения синхронных генераторов
- Совершенствование алгоритмов работы групповых систем регулирования ГРАМ (ГРАРМ)



Широкое внедрение устройств FACTS, развитие алгоритмической основы систем регулирования станционного и агрегатного уровней повышает гибкость и устойчивость автоматического режимного управления

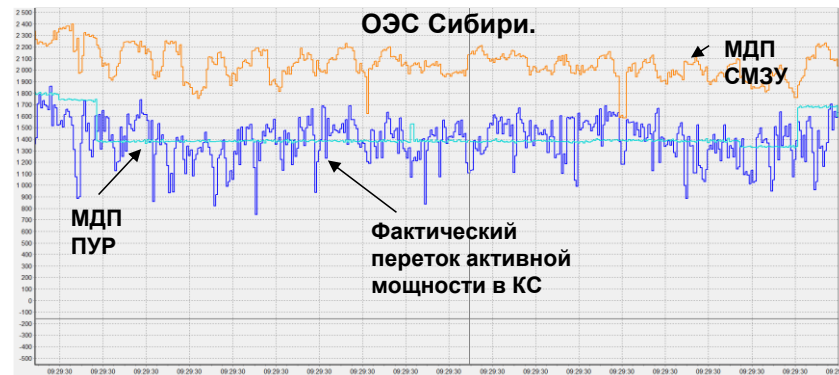
РАЗВИТИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА

➤ Система мониторинга запасов устойчивости



- Наиболее неблагоприятное сочетание режимно-балансовых условий функционирования энергосистем с учетом требований НТД

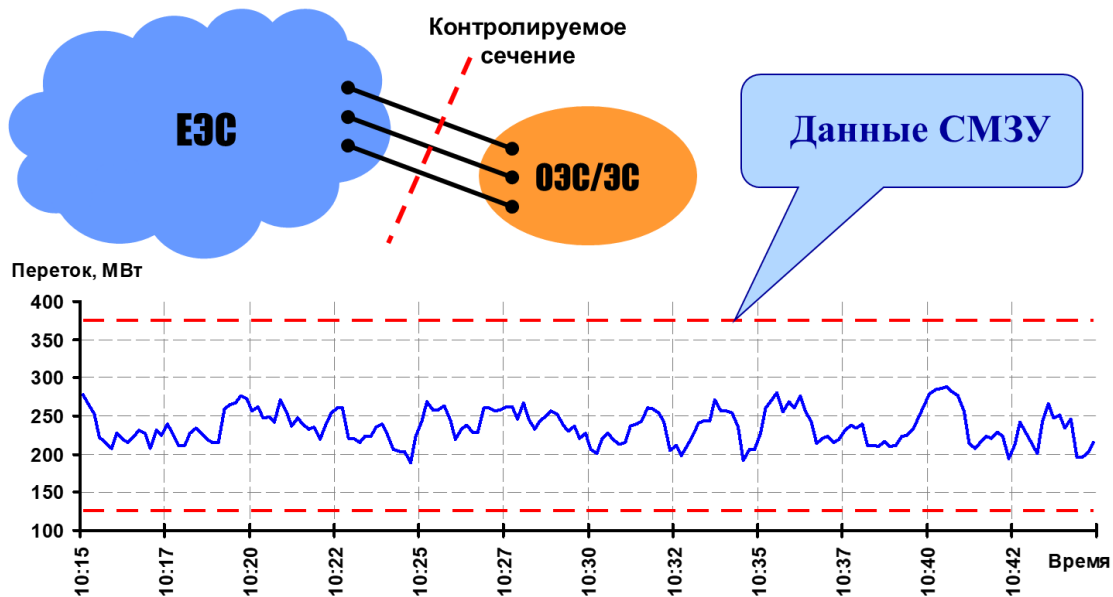
- Фактические режимно-балансовые условия функционирования энергосистем





РАЗВИТИЕ ЦС/ЦКС АРЧМ И СИСТЕМ МОНИТОРИНГА

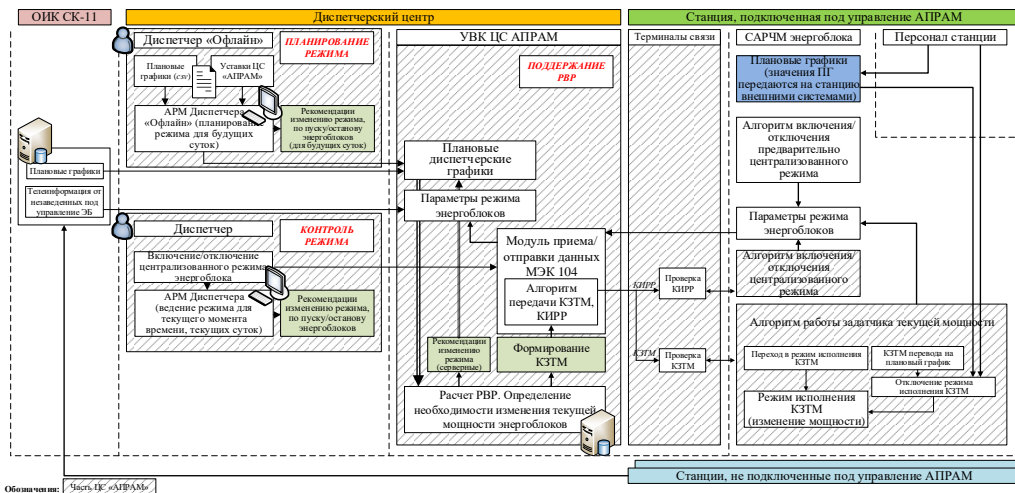
- Использование данных системы мониторинга запасов устойчивости в ЦС/ЦКС АРЧМ



СМЗУ позволяет осуществлять управление электроэнергетическим режимом с максимальным использованием пропускной способности сети в текущих схемно-режимных и режимно-балансовых условиях функционирования энергосистемы

СОЗДАНИЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДДЕРЖАНИЯ РЕЗЕРВОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ (ЦС «АПРАМ»)

- автоматическое поддержание резервов вторичного регулирования (РВР);
- автоматизированное поддержание резервов третичного регулирования (РТР);

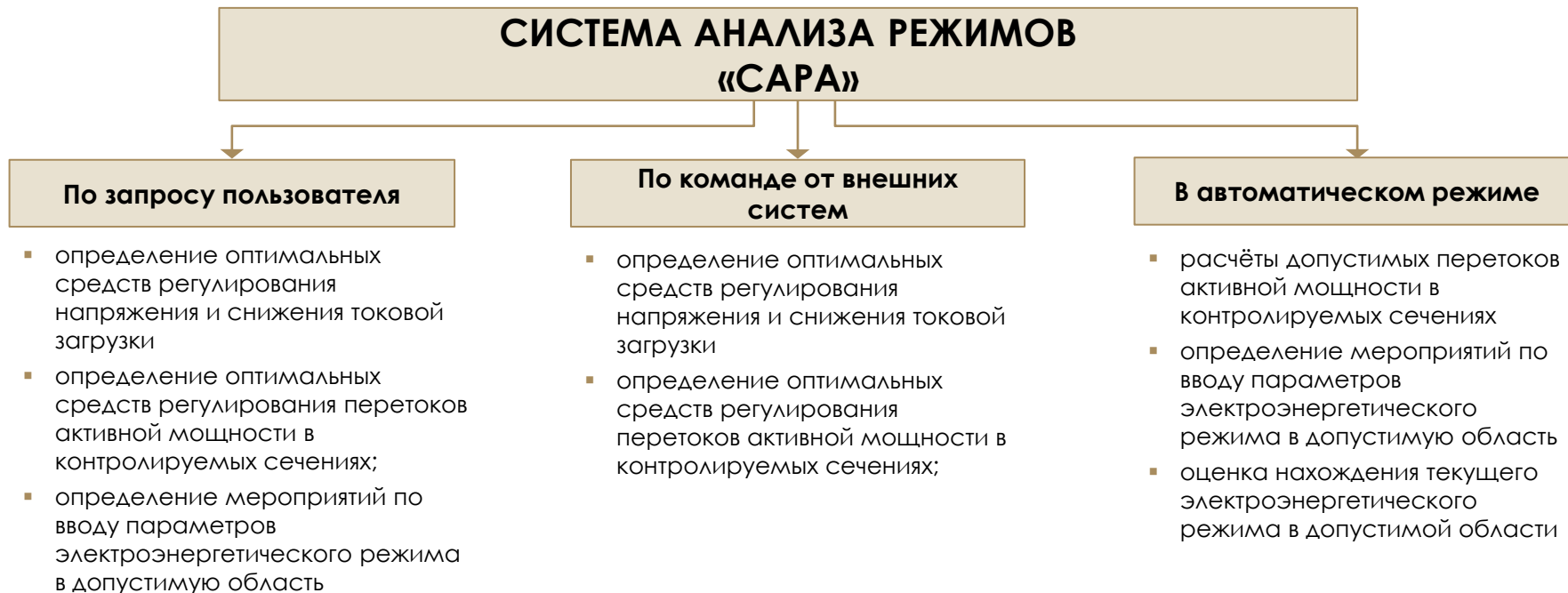


АПРАМ позволяет решать для изолированной энергосистемы Калининградской области задачу наиболее эффективного восстановления резервов регулирования частоты с минимизацией риска возникновения аварийных ситуаций



РАЗВИТИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ

- Использование технологии СМЗУ в системе анализа режимов - САРА





РАЗВИТИЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ

Развитие нормативно-технической базы автоматического ПА

- Обновление и замена устаревших стандартов.
- Разработка стандартов для новых технологий и функций
- Межгосударственная стандартизация
- Интеграция с цифровыми технологиями
- Проведение испытаний алгоритмов работы устройств ПА (сертификация)

Развитие НТД в части средств режимной автоматики и регулирования

- Требования к участию в регулировании частоты, перетоков активной мощности и напряжения
- Требования к взаимодействию с централизованными ИУС
- Проведение испытаний алгоритмов работы устройств ПА (сертификация)



ПРАВИЛА технологического функционирования электроэнергетических систем



ТРЕБОВАНИЯ

к оснащению линий электропередачи и оборудования объектов электроэнергетики классом напряжения 110 кВ и выше устройствами и комплексами релейной защиты и автоматики, а также к принципам функционирования устройств и комплексов релейной защиты и автоматики



ГОСТ 34045-2023 Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования



ГОСТ Р 55105-2019 Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования

Группа СТО СО ЕЭС

Правила выбора логики действия и настройки устройств ПА



ТРЕБОВАНИЯ

к релейной защите и автоматике различных видов и ее функционированию составе энергосистемы



ГОСТ Р 59371-2021 Устройства автоматики ликвидации асинхронного режима
ГОСТ Р 59373-2021 Устройства автоматики ограничения повышения частоты
ГОСТ Р 59234-2020 Устройства автоматики разгрузки при перегрузке по мощности
ГОСТ Р 59233-2020 Устройства автоматики разгрузки при коротких замыканиях. Устройства фиксации тяжести короткого замыкания
ГОСТ Р 59232-2020 Устройства автоматической частотной разгрузки.
ГОСТ Р 59384-2021 Устройства автоматики ограничения перегрузки оборудования
ГОСТ Р 70435-2022 Устройства автоматики ограничения повышения напряжения
ГОСТ Р 70411-2022 Устройства автоматики ограничения снижения напряжения
ГОСТ Р 59979-2022 Устройства локальной автоматики предотвращения нарушения устойчивости
ГОСТ Р 59372-2021 Устройства фиксации отключения и фиксации состояния линий электропередачи, электросетевого и генерирующего оборудования



➤ Обновление и замена устаревших стандартов

- ГОСТ Р 55105-2019 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования» заменил ГОСТ Р 55105-2012. Этот стандарт устанавливает общие нормы и требования к организации автоматического противоаварийного управления, определяет назначение, функции, условия применения видов ПА и общие требования к устройствам и комплексам ПА.

➤ Разработка стандартов для новых технологий и функций

- ГОСТ Р 72037–2025 регулирует организацию передачи доаварийной телеметрической информации в устройства ПА из диспетчерских центров
- ГОСТ Р 59233-2025 устанавливает требования к микропроцессорным устройствам автоматики разгрузки при коротких замыканиях (АРКЗ) и устройствам фиксации тяжести короткого замыкания (ФТКЗ) и методику проведения испытаний
- ГОСТ Р 70411-2022 устанавливает требования к устройствам автоматики ограничения снижения напряжения (АОСН) и методику проведения испытаний
- ГОСТ Р 70435-2022 устанавливает требования к устройствам автоматики ограничения повышения напряжения (АОПН) и методику проведения испытаний
- ...



- Создана приказом ОАО «СО ЕЭС» от 05.12.2012 № 475
- Зарегистрирована Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии в едином реестре СДС 21.03.2013 за рег. № РОСС RU.31034.04EЭ01
- Объекты сертификации:
 - ✓ генерирующее оборудование электростанций
 - ✓ автоматические регуляторы возбуждения
 - ✓ противоаварийная автоматика
 - ✓ релейная защита
 - ✓ устройства мониторинга переходных режимов ЕЭС России
 - ✓ устройства ГРАМ и САУ ГА

Любая организация, соответствующая критериям допуска к проведению добровольной сертификации, может стать органом по добровольной сертификации

Критерии допуска к проведению добровольной сертификации:

- Претендент не должен являться проектировщиком, производителем или поставщиком объектов сертификации
- Наличие необходимого количества экспертов
- Независимость оплаты труда экспертов от результатов сертификации
- Оснащение соответствующей производственно-технической базой
- Наличие возможности архивного хранения всей полученной документации



➤ Межгосударственная стандартизация.

- ГОСТ 34045-2023 «Электроэнергетические системы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования» стал межгосударственным стандартом, введённым в действие в России с 1 июня 2023 года
 - устанавливает общие требования к организации автоматического противоаварийного управления электроэнергетическими режимами энергосистем
 - определяет общие принципы взаимодействия при создании (модернизации) и выборе параметров настройки (уставок), алгоритмов функционирования устройств (комплексов) противоаварийной автоматики, установленных на межгосударственных линиях электропередачи классом напряжения 110–750 кВ, связывающих электроэнергетические системы государств — участников СНГ
 - регламентирует устройства (комплексы) противоаварийной автоматики, которые используют пусковые органы, управляющие воздействия, сигналы состояния линий электропередачи, сетевого и генерирующего оборудования, а также доаварийную и аварийную информацию, формируемую, реализуемую или передаваемую в электроэнергетических системах нескольких государств — участников СНГ

➤ Интеграция с цифровыми технологиями

- ГОСТ Р 58651.10 – 2023 устанавливает базовый состав профиля информационной модели (CIM) устройств релейной защиты и автоматики для обеспечения однозначной интерпретации передаваемых и получаемых данных всеми участниками информационного обмена в электроэнергетической отрасли



НТД ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ ЧАСТОТЫ И ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ



- «Правила технологического функционирования электроэнергетических систем». Утверждены Постановлением Правительства РФ 13.08.2018 № 937
- «Требования к участию генерирующего оборудования в общем первичном регулировании частоты», утв. приказом Минэнерго России от 09.01.2019 № 2
- Межгосударственный стандарт ГОСТ 34184-2017 «Электроэнергетические системы. Регулирование частоты и перетоков активной мощности в энергообъединении. Общие требования»
- ГОСТ Р 55890-2013 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Регулирование частоты и перетоков активной мощности. Нормы и требования»
- «Основные технические требования к параллельно работающим энергосистемам стран СНГ и Балтии. Правила и рекомендации по регулированию частоты и перетоков активной мощности», утверждены Электроэнергетическим Советом СНГ 23.10.2015



Государственные стандарты в области требований к функционированию устройств РЗА в части режимной автоматики

НОРМЫ И ТРЕБОВАНИЯ К УСТРОЙСТВАМ РА

- ГОСТ Р 70609-2022 Автоматические регуляторы возбуждения сильного действия синхронных генераторов. Испытания и проверка параметров настройки
- ГОСТ Р 70661-2023 Устройства автоматического регулирования частоты и активной мощности гидроагрегатов гидравлических и гидроаккумулирующих электростанций
- ГОСТ Р 71084-2023 Системы группового регулирования активной мощности гидравлических и гидроаккумулирующих электростанций

ПЛАНИРУЕМЫЕ К ВЫПУСКУ ГОСТы по РА

- ГОСТ Р Требования к системам автоматического регулирования частоты и активной мощности тепловых электрических станций
- ГОСТ Р Методические указания по проверке готовности генерирующего оборудования тепловых электростанций к участию в общем первичном регулировании частоты



РАЗВИТИЕ НТД В ЧАСТИ СРЕДСТВ РЕЖИМНОЙ АВТОМАТИКИ

- ГОСТ Р 71084–2023 описывает:
 - основные функциональные и технические требования к системам группового регулирования активной мощности гидравлических и гидроаккумулирующих электростанций (ГЭС), работающих в режиме выдачи активной мощности (генераторном режиме)
 - методику проведения испытаний систем группового регулирования активной мощности ГЭС (ГРАМ) для проверки их соответствия основным функциональным и техническим требованиям, установленным настоящим стандартом
- НТЦ ЕЭС проведены первые сертификационные испытания ГРАМ на соответствие требованиям ГОСТ Р 71084–2023.



РАЗВИТИЕ НТД В ЧАСТИ СРЕДСТВ РЕЖИМНОЙ АВТОМАТИКИ

➤ ГОСТ Р 70661—2023 описывает:

- основные функциональные и технические требования к электрогидравлическим регуляторам и иным устройствам автоматического регулирования частоты и активной мощности гидроагрегатов, обеспечивающим функцию управления положением регулирующих органов гидротурбины
- порядок и методику проведения испытаний для проверки соответствия ЭГР основным функциональным и техническим требованиям

➤ Впервые вводится понятие режима работы ЭГР «Изолированный» - обеспечивающий следящее регулирование активной мощности гидроагрегата с коррекцией по частоте без использования обратной связи по активной электрической мощности гидрогенератора



Планируется дальнейшее развитие НТД в части систем регулирования газовых и тепловых турбин, а также уточнение требований к качеству и характеристикам регулирования частоты в территориально изолированных энергосистемах



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Герасимов А.С.
АО «НТЦ ЕЭС»

Сацук Е.И.
АО «СО ЕЭС»