УДК 621.311

А.Б. ВАСЕНИН, ведущий инженер ООО «ТСН-электро»
Научный руководитель О.В. КРЮКОВ, д.т.н., доцент ООО «ТСН-электро»
г. Нижний Новгород

МОНИТОРИНГ МОДУЛЬНЫХ КТП-10/0,4 АРКТИЧЕСКОГО ИСПОЛНЕНИЯ НА БАЗЕ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Освоение территорий и богатейших ресурсов Крайнего Севера РФ неразрывно связано с надежным и энергоэффективным электроснабжением производственных и социальных объектов инфраструктуры [1,2]. Рассмотрим положительный опыт комплексного проектирования и строительства «под ключ» трансформаторных подстанций КТП-10/0,4 кВ в блочно-модульном исполнении полной заводской готовности (рис. 1) для объектов Арктики [3,4]. Все технические решения, принятые при проектировании и изготовлении блочных зданий, электрооборудования и систем АСУЭ соответствуют требованиям экологических, санитарно-гигиенических, противопожарных и других норм, действующих на территории Российской Федерации, и обеспечивают безопасную для жизни и здоровья людей его эксплуатацию при соблюдении НТД [5,6].

Рис. 1. Общий вид комплектной трансформаторной подстанции в заводском цехе сборки

Уникальные климатические условия арктических территорий размещения КТП характеризуются как очень суровые с диапазоном температур

воздуха от минус 52 °С и до плюс 30 °С при среднегодовой влажности 84 %. В связи со сложными инженерно-геологическими и климатическими условиями, недостаточно развитой инфраструктуры региона строительства, блочно-модульные КТП-10/0,4 кВ поставляются на объект установки максимально комплектными для минимизации объема строительно- монтажных (СМР) и пуско-наладочных работ (ПНР) и с максимальным спектром функциональных возможностей превентивного прогнозирования состояния на уровне цифровых подстанций в соответствии с принципами малолюдных технологий [7,8]. Категория надежности электроснабжения САУ обеспечивается по 1 категории особой группы электроснабжения.

Кроме типового унифицированного электрооборудования в КТП арктического исполнения устанавливаются специализированные системы автоматизации и мониторинга в каждом модуле [9,10]:

- распределительное устройство низкого напряжения (РУНН-0,4 кВ) с приборами учета электроэнергии для передачи в систему АСТУЭ и выводом на верхний уровень;
- шкаф собственных нужд 0, 4 кВ с ИБП для питания потребителей собственных нужд и независимыми расцепителями для отключения при пожаре на базе УК-ВК/04;
- установки компенсации реактивной мощности (УКРМ) с конденсаторными установками и антирезонансными фильтрами гармоник для стабилизации коэффициента мощности на уровне 0,95, обеспечивающие микропроцессорное регулирование и цифровой интерфейс RS-485.

Особенности реализации функций автоматического управления

Архитектура построения АСУЭ в составе шкафа РУНН, шкафа гарантированного электропитания и щитов станций управления КРУ базируется на централизованном устройстве сбора данных – *Концентраторе данных* РУНН, который контролирует работу АВР, расцепителей, счетчиков, УКРМ, модулей ввода-вывода. Подключение УВН выполнено напрямую по протоколу Ethernet 100 BASE TX / МЭК 61850.

Блок управления автоматическим вводом резерва (АВР) выполнен на базе программируемого контроллера и сенсорной панели оператора. Контроллер предназначен для автоматического ввода резерва, реализации функции возврата к нормальному режиму работы, контроля выполнения команд управления, силовых выключателей, автоматической блокировки подачи напряжения на аварийную секцию шин.

Сенсорная панель оператора выполняет функции отображения динамической мнемосхемы распределительного устройства, просмотра журнала событий и списка неквитированных неисправностей, а также для отображения и изменения настроек режимов работы блока АВР.

Основные функции управления АВР следующие:

– блок АВР разрешает управление силовыми выключателями с помощью ключей управления (кнопок), расположенных на панели управления, если переключатель режима установлен в положение «ручной»;

– блок АВР обеспечивает автоматическое включение резерва, если переключатель режима работы установлен в положение «автоматический»;

– блок АВР обеспечивает управление силовыми выключателями по командам дистанционного управления, если переключатель режима установлен в положение «дистанционный» (алгоритм АВР не работает);

– средствами программно-технического комплекса (ПТК) обеспечивается возможность изменения параметров работы электроустановки (выдержки времени и режимы АВР);

– все действия оперативного персонала по управлению коммутационными аппаратами, изменению режимов работы фиксируются в журнале;

– отсутствие подтверждения выполнения управляющих команд регистрируется в журнале событий и сопровождается сигнализацией.

Описание интерфейсов панели оператора.

На рис. 2 представлен интерфейс панели оператора в режиме «Мнемосхема». Рамками выделены основные элементы интерфейса: функциональные кнопки (1), область видеокадра (2), поле отображения режимов АВР (3), заголовок окна (4). Функциональные кнопки используются для перехода между основными экранами. Назначение функциональных кнопок показано соответствующими поясняющими надписями на экране. Назначение функциональных кнопок одинаковое на экранных формах.

С помощью поля отображения режимов АВР отображаются режимы работы РУНН и режимы работы АВР. Режимы АВР СВ, АВР АВ устанавливаются с помощью переключателей на панели управления РУНН, а ВНР СВ, ВНР АВ устанавливаются с помощью программных переключателей на экранах «Выдержки времени, режимы АВР СВ», «Выдержки времени, режимы АВР АВ».

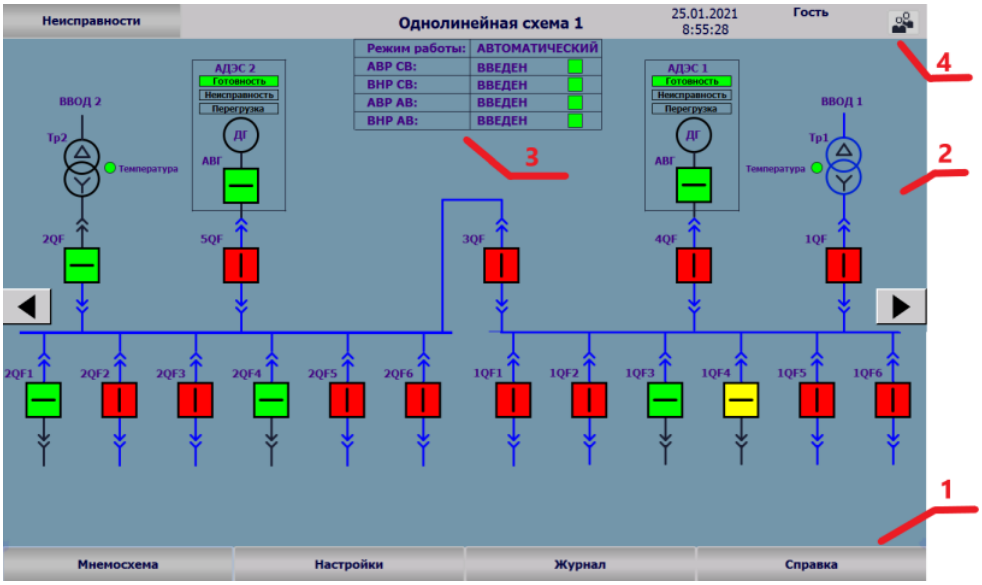

Рис. 2. Интерфейс панели оператора

На однолинейной схеме (рис. 2) в режиме реального времени динамически отображается следующая информация:

- наличие напряжения на сборных шинах и вводах;
- состояния вводных выключателей, секционного выключателя;
- состояния выключателей аварийных вводов и генераторов АДЭС;
- состояние перегрузки и неисправности АДЭС;
- режимы работы распределительного устройства;
- режимы АВР и ВНР.

Для перехода на экран «Справка» необходимо нажать функциональную кнопку «Справка». Экран «Справка» представлен на рис. 3, где показано графическое отображение состояний и положений выключателей.

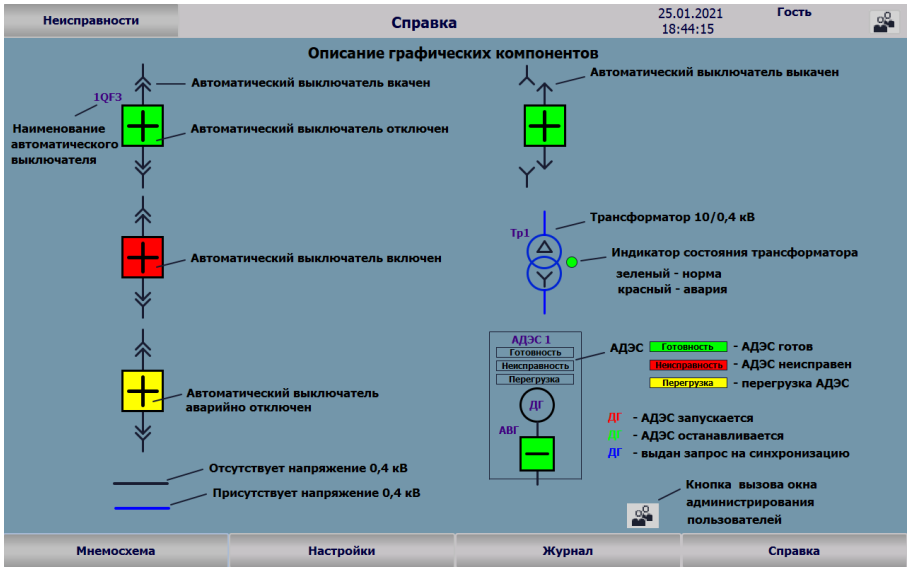

Рис. 3. Окно «Справка».

Переход на экран «Настройки АВР СВ» (рис. 4) выполняется на нажатием кнопки «Режимы АВР СВ. Выдержки времени».

Рис. 4. «Настройки АВР СВ»

Для адаптации логики работы алгоритма к условиям конкретной энергосети используется переключение режимов на щите и панели. Длительная, энергоэффективная и безаварийная работа всех систем цифровых КТП в арктическом исполнении подтвердила корректность реализации заложенных при проектировании принципов малолюдных технологий и алгоритмов АСУЭ с полным набором функций мониторинга, позволяет говорить о перспективности дальнейшего совершенствования КРУ «Каскад» и IT-технологий КТП для арктических объектов нефтегазового сектора.

Список литературы

1. Крюков О.В., Гуляев И.В., Сычев М.Н. Энергоэффективность и автоматизация электрооборудования КС // Вологда, 2022.

2. Ипполитов В.А., Кононенко А.Б., Косоротов А.А. Мониторинг и новые функциональные возможности распределительных устройств с НКУ «КАСКАД» // Контроль. Диагностика. 2021. Т. 24. № 5 (275). С. 32-39.

3. Ипполитов В.А., Груздев В.В., Малькова Н.Е. Арктические блочно-модульные КТП-10/0,4 с функциями цифровой подстанции // Автоматизация и IT в энергетике. 2023. № 3 (164). С. 26-34.

4. Васенин А.Б., Степанов С.Е. Блочно-модульные КТП-10/0,4 с функциями цифровой подстанции для арктических объектов ПАО "Газпром" // Наука и техника в газовой промышленности. 2023. № 2. С. 9-18.

5. Гуляев И.В., Бычков Е.В., Подшивалов Е.С. Повышение надежности электрооборудования при полном использовании ресурса // Автоматизация и IT в энергетике. 2023. № 4 (165). С. 50-58.

6. Степанов С.Е., Подшивалов Е.С. Обеспечение устойчивости электроэнергетических систем автоматическим регулированием // Автоматизация и IT в энергетике. 2023. № 5 (166). С. 16-25.

7. Крюков О.В. Принципы малолюдных технологий в организации работы КС // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2014. № 4. С. 10-13.

8. Степанов С.Е. Организация диспетчерского управления подстанциями компрессорных цехов с экспертной оценкой проектных решений // Промышленная энергетика. 2021. № 1. С. 27-34.

9. Васенин А.Б., Крюков О.В. Вопросы электропитания вдольтрассовых объектов ЕСГ России // Вести газовой науки. 2020. № 2. С. 181-192.

10. Гуляев И.В., Васенин А.Б. Разработка прикладного ПО для системы геотехнического мониторинга газопроводов // Контроль. Диагностика. 2022. Т. 25. № 6 (288). С. 48-59.

Информация об авторах:

Васенин Алексей Борисович, ведущий инженер ООО «ТСН-электро», 603108, г. Н.Новгород, ул. Электровозная, 7А, alexsbob@mail.ru

Крюков Олег Викторович, д.т.н., . зам. дир. . ООО «ТСН-электро», 603108, г. Н.Новгород, ул. Электровозная, 7А, o.v.kryukov@mail.ru

УДК 621.311

Е.С. ПОДШИВАЛОВ, аспирант, инженер ООО «ТСН-электро»
Научный руководитель О.В. КРЮКОВ, д.т.н., доцент ООО «ТСН-электро»
г. Нижний Новгород

АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

В последнее время во всём мире всё больше акцентируется внимание на концепции развития электроэнергетических сетей, получившей название Smart Grid, которую можно трактовать как «умный» или «прагматичный» подход к развитию электроэнергетических систем (ЭЭС), включая цифровые подстанции и распределительные устройства (рис. 1), с целью повышения их эффективности и надежности [1,2]. Таким образом, Smart Grid – перспективная концепция инновационного преобразования электроэнергетики, предусматривающая пересмотр существующих базовых принципов модернизации отрасли. Но именно антропогенный фактор климатических изменений диктует новые и достаточно противоречивые пути развития для отрасли производства электроэнергии.

Рис. 1. Общий вид модульного распределительного устройства «Каскад»

Тренд на интеллектуальное развитие ЭЭС актуален, так как создание нечувствительной к внешнеэкономическим возмущающим факторам отрасли – приоритетная задача для стран-лидеров энергетического сектора.

Поэтому многие ведущие страны ставят целью сокращение выбросов CO_2 к 2030 году, за счёт увеличения производства электроэнергии от атомных электростанций (АЭС), возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и природного газа для решения экологических проблем и диверсификации своего энергетического сектора в сторону источников энергии с более низким или нулевым выбросом парниковых газов [3,4].

Направления развития распределенных микросетей

Развитие электроэнергетики на принципах активно-адаптивных сетей связано с распределенными системами генерации и аккумулирования микросетей (Microgrid) с усовершенствованным подходом к ЭЭС, который сфокусирован на широкомасштабном внедрении распределенной генерации с ВИЭ, что обеспечивает снижение потерь и повышение надежности распределения электроэнергии [5,6]. Микросети – это локально ограниченные и независимо управляемые электрические сети, в которых разветвлённая архитектура способна обеспечить неравномерные нагрузки электрической энергией от распределённых энергетических источников [7,8]. В отличие от централизованной энергосистемы, они дешевле в установке, имеют более короткое время выполнения монтажа (для фотоэлектрических станций пессимистический вариант может длиться не более 1 года), размеры, соответствующие местным требованиям, могут изменяться в зависимости от растущих потребностей или изменяющихся технологий. Графическая интерпретация концепции микросети представлена на рис. 2.

Рис. 2. Упрощённая блок-схема концепции микросети

Современные микросети можно разделить по мощности на две основные группы: менее 10 кВт и от 10 кВт до 10 МВт. Каждая микросеть может функционировать как автономная система электроснабжения (АСЭС) (islanded mode), так и совместно (параллельно) с основной генерирующей сетью . Работая в параллельном режиме, микросеть может накапливать избыток энергии от своих собственных генерирующих блоков и основной сети, чтобы впоследствии покрывать пики потребления.

Сети постоянного тока имеет определённый спектр преимуществ:

- более высокая эффективность энергосистемы из-за меньших потерь преобразования; почти 30 % мощности на переменном токе реализуется через инвертор с объемом потерь энергии в диапазоне 10–25 %;

- системы постоянного тока имеют возможность быть модульными и масштабируемыми, по сравнению с системами переменного тока, что объясняется простотой управления и гибкостью;

- системы постоянного тока обладают большей пропускной способностью и отсутствием реактивной мощности и зависимости от частоты;

- доступное согласование прерывистых энергоресурсов не требует синхронизации и ведет к высокой живучести при внешних возмущениях;

- большинство распределенных источников прерывистой генерации и устройств хранения электрической энергии имеют выходы постоянного тока, что делает архитектуру сети на базе постоянного тока естественной;

- основные нагрузки сети требуют питания постоянного тока;

- заинтересованность энергетического рынка в микросетях постоянного тока, поскольку они с распределенными ВИЭ могут иметь экономию затрат, сокращение потерь, повышение качества электроэнергии, экономию топливного ресурса, снижение вредных выбросов и снижение цены.

Тенденции развития автономных СЭС в России

Российские удалённые и малочисленные группы потребителей продолжают испытывать энергетическую нестабильность из-за медленных темпов расширения энергосистемы. Подобного рода небольшие энергоузлы, сформированные в основном сельскими пунктами, имеют сложнейшие логистические схемы трансфера углеводородного топлива [9,10].

Децентрализованные территории составляют значительную часть России. Вклад этих регионов в формирование ВВП России равен 15-16%, но при этом отопительный сезон длится 9-11 месяцев в году. Стратегическое благополучие России зависит от освоения территорий, где проживает лишь 12% населения, но добывается 76% нефти, 93% природного газа, 95% угля, 95% золота, 100% алмазов и других полезных ресурсов.

Техническая реализация АСЭС

Рис. 3. Архитектура построения АСЭС

Архитектура микросети АСЭС (рис. 3) предусматривает необходимость расчёта силовой электроники, анализа информационно-коммуникационных связей в микросетях и систем электробезопасности, а также мониторинга качества напряжения. Кроме того, рассмотрены способы взаимодействия генерирующих источников различной природы, к примеру, дизель-генераторов и фото-электрических станций (ФЭС), с алгоритмами интеллектуального управления, генерирующими и накапливающими системами.

Принцип работы системы заключается в разделении генератора и потребителя двойным преобразованием электроэнергии благодаря интеллектуальной сети постоянного тока. При этом используется генератор, рассчитанный на мощность номинального потребления, а пиковые нагрузки гасятся за счёт энергии, накапливаемой в аккумуляторных батареях.

Проектирование данных систем на введенных в эксплуатацию объектах не влечет изменений в топологии кабельных трасс. Создается значительный резерв для существенного увеличения передаваемой энергии. Передача энергии по линиям постоянного тока осуществляется напряжением 0,4 кВ (DC), что соответствует СЭС общего пользования. Для потребителя продолжает поступать безопасное и знакомое переменное напряжение, которое обеспечивает инвертор. Кроме того, при помощи комплексной системы мониторинга может быть предложена информация в режиме реального времени о потреблении электроэнергии и её стоимости. Пример микросети, состоящей из взаимосвязанных АСЭС, показан на рис. 4.

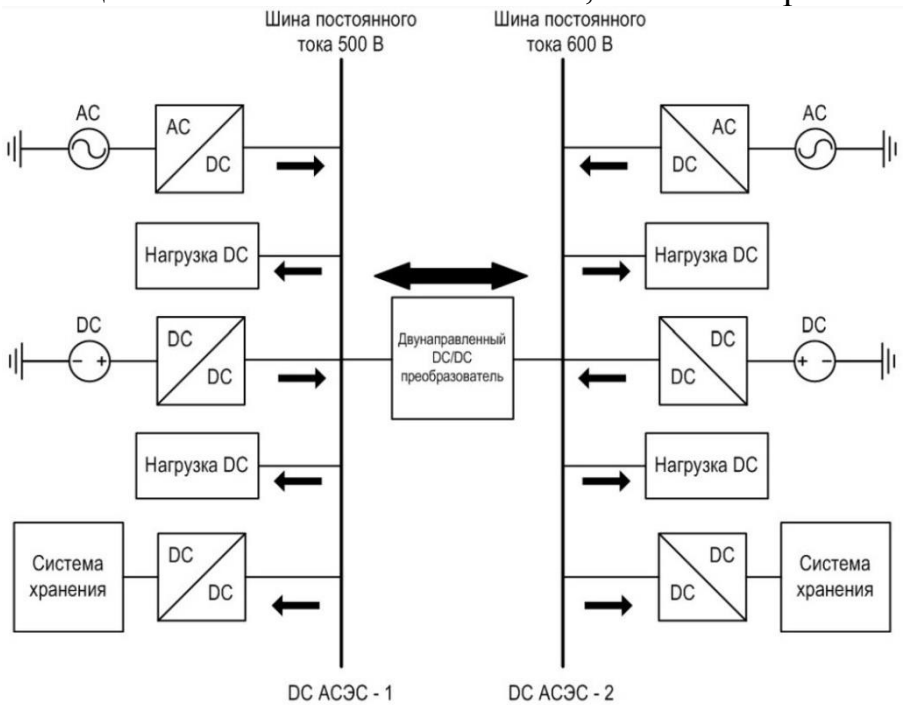

Рис. 4. Взаимосвязанные микросети постоянного тока разных напряжений

Как видно на рис. 6, поток энергии между двумя взаимосвязанными АСЭС постоянного тока управляется посредством двунаправленного пре-

образователя постоянного тока. Однако имеется существенный недостаток – несмотря на отсутствие проблем с синхронизацией, преобразование напряжения в точке соединения вызывает потери. Хотя уровень напряжения, используемый системой АСЭС, зависит от конкретного случая, необходимо обеспечить как можно больший процент доли возобновляемого энергоносителя в составе генерирующих устройств, а также достаточную пропускную способность при минимально возможной цене и всегда в рамках диапазона государственных стандартов качества электроэнергии.

Список литературы

1. Васенин А.Б., Серебряков А.В., Плехов А.С. АСУ СЭС на принципах Smart Grid // Автоматизация в промышленности. 2012. №4. С. 36-38.
2. Ипполитов В.А., Кононенко А.Б., Косоротов А.А. Мониторинг и новые функциональные возможности распределительных устройств с НКУ «КАСКАД» // Контроль. Диагностика. 2021. Т. 24. № 5 (275). С. 32-39.
3. Васенин А.Б., Гуляев И.В. Автономные системы электроснабжения постоянного тока с ВИЭ // Автоматизация и IT в энергетике. 2023. № 7 (168). С. 16-25.
4. Гуляев И.В., Бычков Е.В., Подшивалов Е.С. Повышение надежности при полном использовании ресурса // Автоматизация и IT в энергетике. 2023. № 4 (165). С. 50-58.
5. Kryukov O.V., Serebryakov A.V. Active and adaptive algorithms wind power plants // В сборнике: 2016 2nd International Conference ICIEAM 2016. Proceedings. 2016. С. 7911445.
6. Степанов С.Е. Организация диспетчерского управления подстанциями компрессорных цехов с экспертной оценкой проектных решений // Промышленная энергетика. 2021. № 1. С. 27-34.
7. Степанов С.Е., Подшивалов Е.С. Обеспечение устойчивости электроэнергетических систем автоматическим регулированием // Автоматизация и IT в энергетике. 2023. № 5 (166). С. 16-25.
8. Подшивалов Е.С., Крюков О.В. Перспективы развития СЭС объектов АПК на базе распределенной энергетики // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70. № 1 (50). С. 45-52.
9. Васенин А.Б., Крюков О.В. Вопросы электропитания вдольтрассовых объектов ЕСГ России // Вести газовой науки. 2020. № 2. С. 181-192.
10. Гуляев И.В., Степанов С.Е. Разработка прикладного ПО для системы геотехнического мониторинга газопроводов // Контроль. Диагностика. 2022. Т. 25. № 6 (288). С. 48-59.

Информация об авторах:

Подшивалов Егор Сергеевич, инженер ООО «ТСН-электро», 603108, г. Н.Новгород, ул. Электровозная, 7А, e.podshivalov-tcn-nn@yandex.ru

Крюков Олег Викторович, д.т.н., зам. дир. ООО «ТСН-электро», 603108, г. Н.Новгород, ул. Электровозная, 7А, o.v.kryukov@mail.ru

УДК 621.311

Л.Р. РОМАНОВ, аспирант, инженер ООО «ТСН-электро»
Научный руководитель О.В. КРЮКОВ, д.т.н., доцент ООО «ТСН-электро»
г. Нижний Новгород

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ СРЕДСТВАМИ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ И РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ СЕТИ

Большинство предприятий РФ по своей структуре электропитания практически ничем не отличаются друг от друга, хотя и имеют свои особенности по конфигурации и нагрузкам в зависимости от типа производства [1,2]. В то же время, если системы электроснабжения (СЭС) разделить на уровни и осуществлять анализ отказоустойчивости систем относительно содержащегося на шинах комплектных распределительных устройств (КРУ) (рис. 1) электрооборудования (ЭО), такой подход можно реализовывать для систем любой сложности, что расширяет возможности исследований при вероятностных анализах и одновременном использовании зависимостей наработки на отказ и времени устранения отказов [3,4].

Рис. 1. Фрагмент распределительного устройства типа «Каскад»

Поэтому обеспечение отказоустойчивости СЭС промышленных предприятий с применением средств релейной защиты и автоматики (РЗА) с учетом их надежности является актуальным и связано с оценкой элементного влияния вспомогательных систем с учетом их воздействия на

длительность отказов ЭО уровней систем, и, в конечном счете, на безотказное обеспечение электроэнергией технологических машин предприятия. Поэтому анализ отказоустойчивости СЭС следует осуществлять с учетом взаимодействия ее ЭО с оборудованием других систем, то есть с учетом безотказности элементов РЗА [5,6]. При этом объединяющим фактором является качество выпускаемой продукции. Решение данной задачи можно осуществить путем экономико-математического подхода к оценке выпускаемой продукции предприятия с анализом надежности средств РЗА.

Функциональная оценка СЭС промышленного предприятия

Чем мощнее предприятие, тем сложнее СЭС, которая состоит из большого числа силовых элементов. В зависимости от технологического процесса предприятия СЭС можно представить в виде отдельных подсистем, являющихся структурно сложными. Чтобы упростить функциональную оценку СЭС их подразделяют на уровни [7,8]. Наименьший уровень расположен у приемников электроэнергии предприятия, наибольший состоит из ЭО, соединяющего СЭС предприятия со схемой энергосистемы.

Такой подход позволяет в разных СЭС для одинаковых уровней системы рассматривать однотипное ЭО. Подтверждение такого явления производилось на основе анализа используемого по уровням ЭО СЭС различных предприятий. В качестве примера на рисунке 2 представлена схема отдельного цеха металлургического предприятия. В результате составлена таблица 1, отображающая возможное наименование ЭО уровней СЭС.

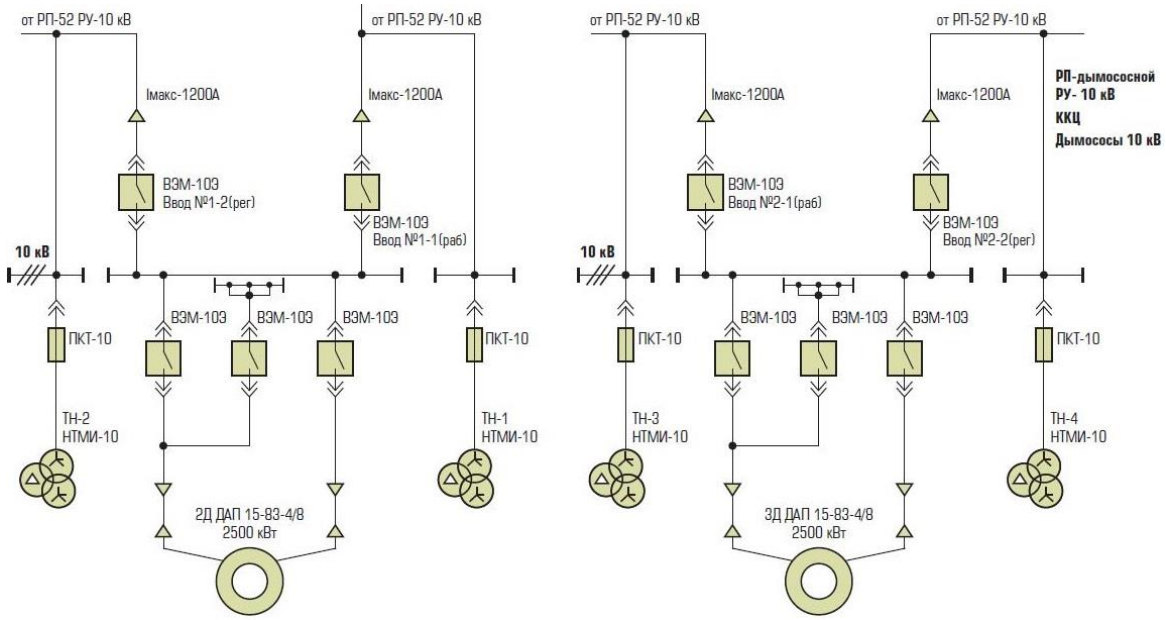

Рис. 2. Однолинейная СЭС РУ-10 кВ отдельного цеха предприятия

Электрооборудование на однотипных уровнях, разных предприятий в зависимости от выпускаемой продукции будет отличаться друг от друга. Отличаться будут и функции распределения наработки на отказ, и тем более времени восстановления отказов.

Таблица. 1. Наименование возможного основного ЭО СЭС предприятия

№ уровня	Возможное наименование электрооборудования
1	Электрические двигатели.
2	Пускатель, автоматический выключатель, кабельная линия.
3	Трансформатор, шинный выключатель, секция шин, разъединитель, плавкий предохранитель.
4	Выключатель, кабельная линия, короткозамыкатель.
5	Ограничитель перенапряжений, выключатель, трансформатор, секция шин.
6	Отделитель, короткозамыкатель

Все это усложняет оценку процессов управления безотказностью СЭС предприятий. Однако используя теорию случайных импульсных потоков, функциональные распределения наработки на отказ и времени восстановления ЭО, можно в среднем оценить подобные задачи, выполнять расчеты и получать результаты для конкретных производств и их СЭС.

Особенности функциональной безотказности ЭО уровней СЭС

В настоящее время при функционировании СЭС предприятий ставятся иные задачи по управлению их безотказностью, чем это было несколько лет назад. Если раньше оценка осуществлялась относительно отдельных единиц ЭО, то в настоящее время она выполняется для системы в целом. Особенно усложнилась задача управления, что вызвало применение более сложных по функциональным особенностям систем РЗА. Независимо от сложности в каждом конкретном случае необходимо знать исходные данные, показатели надежности ЭО и их функции распределения [9,10].

Таблица 2. Оборудование схемы электроснабжения подверженное отказам

Уровни системы	Оборудование уровня	Частота отказов μ_i, час$^{-1}\times10^{-5}$	Оборудование уровня	Частота отказов μ_i, час$^{-1}\times10^{-5}$
1	Электрические двигатели.	0,015	Технологическая машина.	0,025
2	Пускатель.	0,018	Автоматический выключатель.	0,022
	Кабельная линия.	0,02		
3	Трансформатор.	0,029	Выкатная ячейка с выключателем	0,028
	Секция шин.	0,001		
4	Кабельная линия.	0,026	Выключатель.	0,034
5	Выключатель.	0,034	Секция шин.	0,005
	Трансформатор.	0,037		
6	Отделитель.	0,02	Короткозамыкатель.	0,005

С использованием нового ЭО и с изменением технологического процесса предприятия существующие данные не будут отображать истинное состояние безотказности систем, и осуществлять их управление. Для оценки проблемы наработана статистика, начиная с определения заводской и производственной надежности отдельных единиц ЭО. Частота отказов отдельных элементов системы приведена в таблице 2.

Решение задач, связанных с оценкой безотказности функционирования СЭС предприятий и их ЭО, относится к направлениям, связанным с надежностью СЭС. Предложено за надежность ЭО принимать отношение наработки на отказ к сумме наработки на отказ и времени восстановления ЭО. Практически такая оценка надежности осуществлялась по коэффициенту готовности, который в настоящее время довольно широко применяется в машиностроении.

Безотказное состояние ЭО оценивалось коэффициентом, отображающим режимы его функционирования. Такой подход широко используется и в настоящее время для оценки надежности, где основными параметрами служат для i-го элемента частота отказов $\mu_i(t)$ или опасность отказов $\lambda_i(t)$.

Условия и характер работы ЭО определяют уровни его безотказности, а их оценку можно осуществлять более чем по 15 параметрам. Повышение заводской надежности ЭО связано с изменением производственных расходов. При этом частота отказов нового ЭО уменьшается, производительность рабочих машин предприятия увеличивается, величина ущерба уменьшается. Поэтому задачи производственной надежности являются не только вероятностными (рис. 3 *а*), но и экономическими (рис. 3 *б*).

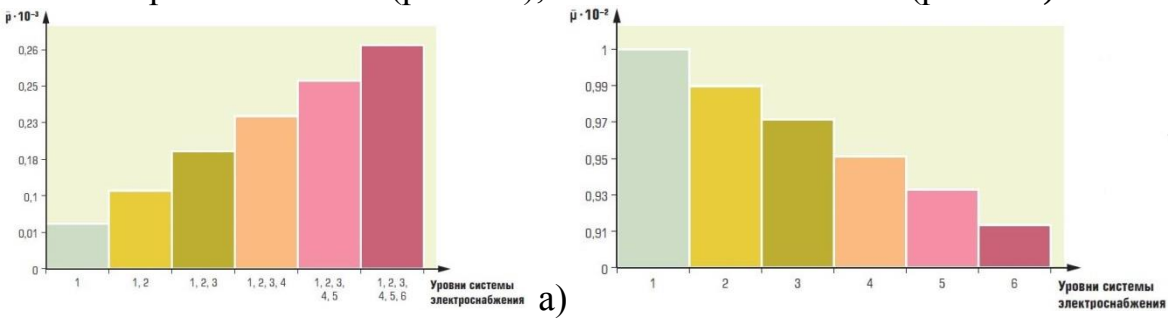

Рис. 3. Зависимости вероятности (а) и частоты (б) вынужденных остановок приемников листопрокатного конвейера с учетом отказов ЭО уровней СЭС

Применение любых мероприятий, повышающих отказоустойчивость системы, требуют дополнительных затрат. Решение по их выбору должно обосновываться технико-экономическими расчетами окупаемости. Для электрических систем технико-экономические параметры оптимизации надежности СЭС должны осуществляться по совокупности мероприятий, позволяющих влиять на безотказность систем.

Средства РЗА используются практически на всех уровнях СЭС. Выполняемые ими функции отличаются друг от друга. С этим связана их сложность и стоимость. Поэтому при рассмотрении относительных затрат на ремонт и обслуживание средств РЗА необходимо учитывать уровень

СЭС, на котором эти средства находятся. С повышением уровня увеличивается и общая прибыль, но и, соответственно, растут затраты на эксплуатацию систем РЗА электроснабжения.

Таким образом, отказоустойчивость СЭС зависит от ряда факторов: от заводской надежности ЭО, структурной топологии системы, взаимосвязей ЭО между собой и технологическими машинами, нагрузочными диаграммами потребителей и воздействия окружающей среды.

Список литературы

1. Крюков О.В., Гуляев И.В., Сычев М.Н. Энергоэффективность и автоматизация электрооборудования КС // Вологда, 2022.

2. Ипполитов В.А., Кононенко А.Б., Косоротов А.А. Мониторинг и новые функциональные возможности распределительных устройств с НКУ «КАСКАД» // Контроль. Диагностика. 2021. Т. 24. № 5 (275). С. 32-39.

3. Саушев А.В., Еразумов М.И., Романов Л.Р. Многоуровневый подход к анализу отказоустойчивости РЗА // Автоматизация и IT в энергетике. 2023. № 4 (165). С. 34-43.

4. Гуляев И.В., Бычков Е.В., Подшивалов Е.С. Повышение надежности при полном использовании ресурса // Автоматизация и IT в энергетике. 2023. № 4 (165). С. 50-58.

5. Степанов С.Е., Подшивалов Е.С. Обеспечение устойчивости электроэнергетических систем автоматическим регулированием // Автоматизация и IT в энергетике. 2023. № 5 (166). С. 16-25.

6. Ипполитов В.А., Груздев В.В., Романов Л.Р. Структуры и направления развития ЭТК РЗА // Автоматизация и IT в энергетике. 2023. № 7 (168). С. 40-48.

7. Ипполитов В.А., Погодина С.А., Романов Л.Р. Способ диагностики ЭТК РЗА подстанций // Автоматизация и IT в энергетике. 2023. № 8 (169). С. 32-41.

8. Степанов С.Е. Организация диспетчерского управления подстанциями компрессорных цехов с экспертной оценкой проектных решений // Промышленная энергетика. 2021. № 1. С. 27-34.

9. Васенин А.Б., Крюков О.В. Вопросы электропитания вдольтрассовых объектов ЕСГ России // Вести газовой науки. 2020. № 2. С. 181-192.

10. Гуляев И.В., Степанов С.Е. Разработка прикладного ПО для системы геотехнического мониторинга газопроводов // Контроль. Диагностика. 2022. Т. 25. № 6 (288). С. 48-59.

Информация об авторах:

Романов Леонид Романович, инженер ООО «ТСН-электро», 603108, г. Н.Новгород, ул. Электровозная, 7А, romanovl.r@yandex.ru

Крюков Олег Викторович, д.т.н., зам. дир. ООО «ТСН-электро», 603108, г. Н.Новгород, ул. Электровозная, 7А, o.v.kryukov@mail.ru