

тивных технологий электромеханических систем распределенной генерации в условиях Сибири / Ю.В. Коновалов, Е.В. Губий // Повышение эффективности производства и ис-

пользования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2022. – С. 50-54.

УДК 621.311

Коновалов Юрий Васильевич,

к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: yrvaskon@mail.ru

Гончаренко Алена Анатольевна, Гончаренко Роман Анатольевич,  
Шаура Максим Петрович, Иванов Иван Сергеевич,  
обучающиеся группы ЭЭ-23-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

### СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Konovalev Yu.V., Goncharenko A.A., Goncharenko R.A., Shaura M.P., Ivanov I.S.

### MODERN TRENDS IN DEVELOPMENT OF RELAY PROTECTION AND AUTOMATION IN ELECTRIC POWER INDUSTRY

**Аннотация.** Представлен комплексный анализ перспектив развития релейной защиты и автоматики в электроэнергетике, сформулированы актуальные направления использования новейших ИТ-технологий, позволяющие интегрировать в цифровую среду функции управления оборудованием объектов электроэнергетики, релейной защиты, противоаварийной и режимной автоматики.

**Ключевые слова:** анализ, перспективы, развитие, релейная защита, автоматика, электроэнергетика, ИТ-технологии, цифровая среда.

**Abstract.** A comprehensive analysis of the prospects for the development of relay protection and automation in the electric power industry is presented, current directions for the use of the latest IT technologies are formulated, allowing the integration of control functions for equipment of electric power facilities, relay protection, emergency and mode automation into the digital environment.

**Keywords:** analysis, prospects, development, relay protection, automation, electric power industry, IT technologies, digital environment.

Можно выделить три основных и одинаково важных тренда в сфере развития релейной защиты и автоматики (РЗА) в электроэнергетике [1-3].

1. Применение современных ИТ-технологий в электроэнергетике на базе стандарта МЭК 61850.

Стандарт международной электротехнической комиссии (International Electrotechnical Commission) МЭК 61850 (IEC 61850) представляет собой стандартизированный свод правил, который позволяет реализовать систему управления объектами электроэнергетики полностью в цифровом формате. Такой подход позволяет использовать новейшие ИТ-технологии, и интегрировать в цифровую среду все функции, включая функции управления оборудованием объектов электроэнергетики, релейной защи-

ты, противоаварийной и режимной автоматики.

Фактически система управления объекта электроэнергетики строится как большой компьютер, в котором технические комплексы управления оборудованием и РЗА информационно объединены шинами данных. Это позволяет реализовать систему РЗА объектов электроэнергетики с совершенно новыми качествами, основным из которых является адаптивность, т.е. приспособляемость к постоянно меняющимся режимам работы оборудования объекта и энергосистемы в целом. Разрабатываемые и внедряемые в настоящее время технические решения на основе МЭК 61850 позволяют анализировать информацию о режиме работы и состоянии оборудования объекта электроэнергетики и отходящих от него линий электропе-

редач (ЛЭП) в нормальных и аварийных условиях и, на основе полученных данных, реализовывать логику функционирования устройств и комплексов РЗА фактически для любой эксплуатационной ситуации. Это является целевой функцией современного развития систем технологического управления. Проекты внедрения систем управления на основе МЭК 61850 уже появились в единой энергетической системе (ЕЭС) России, например, на объектах Федеральной сетевой компании.

Построение систем управления на базе МЭК 61850 – это выбор мирового энергетического сообщества, и он объективно связан с развитием новейших IT-технологий.

2. Проблемы распределенной генерации.

Также, одно из направлений в развитии РЗА – это широкое использование в энергосистемах, в основном в распределительных сетях, возобновляемых источников энергии, так называемая распределенная генерация. Появление большого количества маломощных ветровых электростанций и объектов генерации на солнечных батареях – серьезный вызов специалистам, занимающимся вопросами управления энергосистемами, разработкой технических средств управления, прежде всего РЗА. Сегодня это один из ведущих трендов развития мировой энергетики, т.к. с каждым годом в энергосистемах будет внедряться все больше объектов генерации, относимых к возобновляемым источникам энергии. Эта тенденция актуальна и для ЕЭС России. Поэтому специалистам в области РЗА уже сегодня необходимо решать проблемы, связанные с разработкой новых требований к техническому совершенству комплексов РЗА энергосистем с распределенной генерацией.

Безусловно, разумно и правильно использовать энергию ветра, солнца, приливов. Однако эти объекты нетрадиционной энергетики начали создавать трудности в управлении энергосистемами: в какой-то момент ветер стих или облако закрыло солнце, соответственно этот объем электрической мощности из энергетического баланса энергосистемы исчез. А управлять энергосистемой даже в условиях резко меняющегося режима работы генерирующего оборудования надо так, чтобы обеспечивалось ее надежное функционирование.

3. Smart Grid.

Еще одно направление в развитии РЗА и управления электроэнергетическими системами (ЭЭС) – это широкое внедрение концепции Smart Grid (умные сети). Эта тема рассматривается прежде всего с точки зрения потребителя. Но есть еще и другие важные аспекты данной проблемы: как использовать элементы Smart Grid для задач управления энергосистемой в нормальных и аварийных режимах и что принесет внедрение Smart Grid в сети высокого класса напряжения – системообразующие, магистральные, транзитные.

Инновационные решения по созданию в ЕЭС России интеллектуальных сетей, которые разрабатываются сегодня в российских сетевых, генерирующих компаниях, системном операторе ЕЭС России, очень созвучны с направлением Smart Grid и должны привести к созданию цифровых объектов электроэнергетики и энергосистем нового качества, технические комплексы управления которых будут базироваться на современных IT-технологиях, а внедренные в электрические сети элементы на базе силовой электроники обеспечат гибкость (адаптивность) управления электроэнергетическим режимом энергосистем. Smart Grid для сетей высокого и сверхвысокого класса напряжения – это особый комплекс задач разработки и внедрения современных силовых сетевых элементов, новых технологий и технических комплексов управления энергосистемой, обеспечивающих оптимальное управление электроэнергетическим режимом работы энергосистемы, исходя из критериев надежности и экономичности ее работы.

Рассмотренные перспективы определяют основные задачи – это техперевооружение, замена и модернизация физически и морально устаревшего релейного оборудования с обеспечением информационной «прозрачности», наблюдаемости и управляемости в составе интегрированных программно-технических комплексов (ПТК) автоматизированной и автоматической системы диспетчерского и технологического управления, включая РЗА – (АСТУ) [4]. При этом процесс глобализации производства микропроцессорной универсальной элементной базы для АСТУ энергосистем является общемировым явлением, характеризующимся рядом следующих факторов.

1. Интеграция отдельных устройств РЗА, выполненных на универсальной микро-

процессорной базе, в единый терминал повышает технико-экономическую эффективность исполнения за счет исключения дублирования аналогово-цифровых преобразований, многофункциональности отдельных терминалов РЗА, простоты организации обмена логической и измерительной информацией между отдельными алгоритмическими процедурами внутри терминалов РЗА, что позволяет уменьшить многочисленные цепи вторичной коммутации.

2. Интеграция отдельных терминалов, выполненных на универсальной микропроцессорной элементной базе, в единый ПТК АСТУ выполняется, как известно, с помощью высоконадежных оптических сетей внутри межобъектовой цифровой связи. В настоящее время усилия электроэнергетиков в значительной степени ориентированы на применение, совершенствование и развитие группы стандартных протоколов МЭК 61850, которые используются при организации обмена логической и измерительной информацией между отдельными терминалами РЗА в составе АСТУ, находящихся как на одном, так и на разных электроэнергетических объектах. Использование оптических цепей вторичной коммутации и сетей связи на базе универсальных протоколов в соответствии со стандартами МЭК 61850 позволяет радикально сократить количество металлических жил информационных кабелей.

3. Востребованный в настоящее время уровень информационной производительности ПТК АСТУ энергообъектов, выполненных на универсальной микропроцессорной элементной базе, практически недостижим на элементных базах предыдущих поколений РЗА.

4. Обеспечение информационной «прозрачности», наблюдаемости и управляемости электроэнергетических объектов превращает в действительность возможности по оптимизации режимов энергосистемы с целью энергосбережения, повышения надежности и качества электроэнергии по критериям снижения ущербов и потерь при нарушениях, а также сохранения ресурса электрооборудования.

Для решения этих актуальных задач на современном этапе развития энергосистем [4] предусматривается использование новых управляемых в темпе процесса on-line силовых элементов, таких как управляемые реакторы, установки компенсации, которые фор-

мируют потоки реактивной мощности, а также и множество собственных источников активной мощности распределенной генерации (мини ГЭС и ТЭЦ, накопители электроэнергии на базе аккумуляторов большой мощности и т.д.), что позволяет характеризовать их как активноадаптивные сети (ААС).

Появление новых силовых элементов в ААС ставит перед РЗА следующие новые задачи:

- выбор структуры и параметров РЗА этих новых силовых элементов;
- модернизация РЗА в прилегающих сетях для обеспечения динамической устойчивости генераторов распределенной генерации;
- обеспечение скоординированного регулирования параметров новых силовых элементов.

Обеспечение чувствительности, селективности и быстродействия РЗА в ААС с обеспечением ближнего и дальнего резервирования в условиях необходимости учета множества возможных режимов с множеством возможных значений параметров новых силовых элементов зачастую приводит к неразрешимым логическим противоречиям в расчетах уставок и вынуждает переходить к активной адаптации структуры и значений уставок РЗА в режиме on-line, или активно адаптированной РЗА (ААРЗА).

Переход на «интеллектуальную» РЗА должен предусматривать адаптацию структуры и параметров РЗА в режиме on-line на основании собранной информации о структуре и параметрах ААС с целью многофакторной оптимизации на основе многовариантного моделирования [5].

Построение интеллектуальных ААРЗА – одно из перспективных направлений развития РЗА, которое заключается в наполнении новыми интеллектуальными алгоритмами и доработке ПТК существующих АСТУ. Материальная основа и элементная база для этого уже существует.

Одно из перспективных направлений развития РЗА с целью обеспечения селективности, чувствительности, быстродействия и надежности [6-9] лежит в области интеграции силовых электрических сетей и сетей связи. В начале третьего тысячелетия ситуация со связью поменялась кардинально – использование разнообразных видов связи доступно, эффективно и прибыльно.

Исследованиями [9-11] подтверждена технико-экономическая эффективность интеграции в общих узлах двух сетей – электрической и информационной. Наибольший эффект может быть достигнут в распределительных сетях 6-35 кВ электроснабжения мегаполисов и высокотехнологичных зон с собственными источниками распределенной генерации [10].

Сети связи, интегрированные с силовой электрической сетью, позволяют применить централизованную РЗА и обеспечить:

- исключение выдержек времени для решения задач по управлению конфигурацией сети за счет быстрого сбора, обработки и принятия решения о переключениях [11];
- собственно устройства РЗА, рассредоточенные в электрической сети, могут иметь упрощенные алгоритмы (реле тока, реле направления мощности);
- для многочисленных потребителей распределительной сети существенно изменяются параметры потока провалов напряжения и другие режимные значения.

Кроме перечисленных свойств управления в аварийных режимах коротких замыканий (КЗ) сеть связи, интегрированная с силовой электрической распределительной сетью, обеспечивает:

- информационную поддержку процессов контроля и управления в рабочих режимах, включая учет электроэнергии и реализацию наивыгоднейших режимов работы, в том числе за счет управления электрической нагрузкой;
- предоставление требуемой пропускной способности сети связи для удовлетворения потребностей информационного общества и корпоративных сетей высокотехно-

логических зон, включая информационное обеспечение технологий энергосбережения, «умного дома» и т.д.;

- коммерческое использование сети связи позволяет провести диверсификацию бизнеса и получать внетарифные доходы для сетевой компании.

Таким образом, интеграция силовых электрических сетей с сетями связи и использование новых централизованных алгоритмов позволяет реализовать дополнительные требования к РЗА в части устойчивости нагрузки и динамической устойчивости генераторов собственных источников распределенной генерации.

Актуальными в электроэнергетике направлениями развития РЗА являются следующие:

- «интеллектуализация» как высшее свойство адаптивности РЗА. При этом обеспечивается многофакторная оптимизация на базе многовариантного моделирования в режиме on-line;
- расширение элементной базы датчиков-преобразующей аппаратуры, состава и частотного диапазона контролируемых физических величин, построение алгоритмов РЗА на базе развития диагностических методик;
- интеграция систем РЗА в централизованные комплексы на основе сетей связи с уменьшением выдержек времени срабатывания защит;
- сочетание типовых и индивидуальных инновационных проектов участков электрических сетей с учетом дополнительных требований к РЗА по критериям устойчивости источников распределенной генерации, а также устойчивости высокотехнологичных электроприемников.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коновалов Ю.В.** Тенденции развития мировой энергетики в современных условиях / Ю.В. Коновалов, Н.В. Буякова, А.А. Терехова, Н.К. Малинин, А.С. Хухрянская // Сб. научн. тр. АнГТУ. – Ангарск. – 2024. № 21. – С. 302-307.
2. Цифровая трансформация электроэнергетики России [Электронный ресурс] Режим доступа: [http:// digitenergy.ru/wp-content/themes/energy/img/materials-2018/2/5](http://digitenergy.ru/wp-content/themes/energy/img/materials-2018/2/5). (дата обращения: 20.10.2024).
3. **Коновалов, Ю.В.** Применение цифровых регуляторов для оптимального ис-

пользования компенсирующей способности синхронных двигателей совместно с конденсаторными батареями / Ю.В. Коновалов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 7(47). – С. 175-182.

4. Разработка программы модернизации электроэнергетики России на период до 2030 г. Энергетик. 2011, № 2, с. 7-10.

5. **Веников В.А.** Теория подобия и моделирования применительно к задачам электроэнергетики. М.: Высшая школа. 1976, 478 с.

6. Голованов, И.Г. Повышение надёжности релейной защиты и автоматики с помощью систем диагностирования / И.Г. Голованов, П.А. Маслихов, Ю.В. Никульшинов, У.Э. Туратбек // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2019. Т. 1. – С. 222-223.

7. Коновалов, Ю.В. Учет пространственного положения ротора синхронной машины при преобразовании координат / Ю.В. Коновалов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2013. № 2. – С. 97-102.

8. Голованов, И.Г. Повышение надёжности функционирования систем релейной защиты и противоаварийной автоматики систем электроснабжения / И.Г. Голованов, Е.В. Жабин // Вестник Ангарской гос-

ударственной технической академии. 2013. № 7. – С. 56-59.

9. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия, 2010, 208 с.

10. Арцишевский Я.Л., Вострокнутов С.А., Земцов А.А. Обеспечение надёжности и качества электроснабжения. «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение». 2010, № 3, с. 14-17.

11. Арцишевский Я.Л., Задкова Е.А., Кузнецов Ю.П. Техпереворужение релейной защиты и автоматики систем электроснабжения предприятий непрерывного производства. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2011, 94 с. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик». Вып. 7 (151)].

УДК 621.311

*Коновалов Юрий Васильевич,*

*к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: yrvaskon@mail.ru*

*Нефедова Регина Алексеевна,*

*обучающаяся группы ЭЭ-23-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: orlova-r2@yandex.ru*

*Нефедов Сергей Леонидович,*

*обучающийся группы ЭЭ-23-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: nefedov-SL@yandex.ru,*

*Ульянов Вадим Денисович,*

*обучающийся группы ЭЭ-23-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»*

## РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

*Konovalev Yu. V., Nefedova R. A., Nefedov S. L., Ulyanov V. D.*

### DEVELOPMENT OF ELECTRIC POWER AND RENEWABLE ENERGY SOURCES IN EASTERN SIBERIA

**Аннотация.** Представлен комплексный анализ текущих тенденций, существующих проблем и будущих перспектив в области энергетики Восточной Сибири, с акцентом на возобновляемые ресурсы. Результаты приведенных исследований могут послужить основой для дальнейших исследований и разработок в области энергетики, а также для принятия решений на уровне государственной политики.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, Восточная Сибирь, анализ текущих тенденций, существующие проблемы, будущие перспективы, возобновляемые источники энергии.

**Annotation.** A comprehensive analysis of current trends, existing problems and future prospects in the energy sector of Eastern Siberia is presented, with an emphasis on renewable resources. The results of the presented studies can serve as a basis for further research and development in the energy sector, as well as for decision making at the level of public policy.

**Keywords:** electric power industry, Eastern Siberia, analysis of current trends, existing problems, future prospects, renewable energy sources.