

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ БЕЛОРУССКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Романюк Ф.А.¹, Ломан М.С.², Шевалдин М.А.³

¹*Белорусский национальный технический университет*

²*ОАО «Белэлектромонтажналадка»*

³*ГПО «БЕЛЭНЕРГО»*

Белорусская энергосистема – это в первую очередь ГПО «Белэнерго», которое включает в себя 30 организаций, в том числе монтажные (ОАО «Центроэнергомонтаж», ОАО «Электроцентрмонтаж», ОАО «Бобрыскэнергомонтаж» и др.), строительные (ГП «Белэнергострой», ОАО «Белсельэлектросетьстрой», ОАО «Западэлектросетьстрой» и др.), наладочные организации (ОАО «Белэнергоремналадка», ОАО «Белэлектромонтажналадка» и др.) и предприятия, проектные институты (РУП «БелТЭИ», РУП «БелНИПИэнергопром», РУП «Белэнергосетьпроект»), заводы (ОАО «Белоозерский ЭМЗ» и др.), учреждения образования (УО «Минский государственный энергетический колледж») и энергоснабжающие предприятия: РУП «Брестэнерго», РУП «Витебскэнерго», РУП «Гомельэнерго», РУП «Гродноэнерго», РУП «Минскэнерго», РУП «Могилевэнерго». Также в состав ГПО «Белэнерго» входит РУП «ОДУ», которое осуществляет непрерывное оперативно-диспетчерское управление энергосистемой.

Среднесписочная численность персонала предприятий и организаций, входящих в состав ГПО «Белэнерго», составляет 63457 человек (данные на 01.01.2014г.). Установленная мощность Белорусской энергосистемы – 9221,2 МВт, которая включает в себя 12 основных электростанций высокого давления, 28 малых электростанций, 23 гидроэлектростанции и 1 ветряную установку.

Крупнейшие станции: Лукомльская ГРЭС – установленная мощность 2890 МВт, Березовская ГРЭС – 1385 МВт, Минская ТЭЦ-4 – 1035 МВт.

ГПО «Белэнерго» включает также: 1 подстанцию с высшим номинальным напряжением 750 кВ (ПС 750кВ «Белорусская»), 27 подстанций – 330 кВ; 10 подстанций – 220 кВ; >800 подстанций – 110 кВ. Общая протяженность линий 220-750кВ – 7054 км (ВЛ 750 кВ – 753 км).

Электроэнергетические сети и системы характеризуются следующими основными параметрами:

- Непрерывностью производства и потребления электроэнергии во времени;
- Быстротечностью распространения электромагнитных возмущающих воздействий;
- Неизбежностью возникновения повреждений.

Поэтому, основное назначение устройств РЗА - это:

- Локализация поврежденного электрооборудования или линии электрических сетей;
- Отключение поврежденного оборудования или линии;
- Автоматическое восстановление нормального режима работы (восстановление напряжения);
- Предотвращение ненормальных режимов таких, как асинхронный ход, качания и другие ненормальные режимы.

Оценивая количественный анализ устройств РЗА в Белорусской энергосистеме необходимо отметить, что происходит постоянный рост генерирующих мощностей, развитие электросетевого комплекса, повышение ответственности за бесперебойность электроснабжения потребителей. И в связи с этим, с 2006 по 2013 г.г., количество устройств РЗА в энергосистеме, непрерывно растет. Количество устройств РЗ увеличилось с 91500 устройств в 2006 году до порядка 98500 (выросло на 7,7%) устройств в 2013 году, аналогичная картина

и по устройствам автоматики, количество которых выросло с 22700 до 25400 устройств (рост почти на 12%).

Филиалы РУП-облэнерго с наибольшим количеством устройств РЗА: Минские кабельные сети (5109 устройств, 33,5% из них микропроцессорные), Климовичские электросети (3213, 2,0%), Слуцкие электросети (2967, 16,5%), Гродненские ЭС (2721, 39,1%), Могилевские ЭС (2614, 38,8%).

Как известно все устройства РЗА выполнены на 3 элементных базах, это электромеханические устройства, микроэлектронные (статические устройства, выполненные на транзисторах, операционных усилителях, тиристорах и других элементах) и микропроцессорные устройства. На сегодняшний день более 95% выпускаемых устройств составляют устройства на микропроцессорной элементной базе. Проводя качественный анализ устройств РЗА на объектах Белорусской энергосистемы можно выделить, что в сети 220-330кВ следующее соотношение (по данным на 01.02.2014г.): РЗА на электромеханической элементной базе – 52,2%, на микроэлектронной – 17,3%, на микропроцессорной – 30,5%; в сети 110кВ соотношения следующие: 65,4% - 8,0% - 26,6%; в сети 35кВ: 83,0% - 0,3% - 16,7%; для трансформаторов и автотрансформаторов – 81,6%, 3,5% и 14,9%; для РЗА генераторов: 50,8% - 18,2% - 31,0%; для распределительных сетей 3,5-10кВ: 68,2% - 0,6% - 31,2%. В целом по ГПО «Белэнерго»: 70,4% - 2,57% - 27,03%. Т.е. примерно треть устройств РЗА составляют устройства, выполненные на микропроцессорной элементной базе. Однако важно отметить и то, что более 50% от числа всех устройств РЗА исчерпали свой нормативный срок службы, но несмотря на это, продолжают находиться в работе и выполнять свои функции. Для примера, на объектах в Российской Федерации (по данным ОРГРЭС) процентное соотношение микропроцессорных устройств РЗА 23,9% от общего числа устройств РЗА, причем ещё в 2007 г. данный пропорциональный показатель составлял только 2,8%.

Если делать качественный анализ микропроцессорных устройств РЗА по производителям, то можно выделить следующие индикативные группы: РЗА для воздушных и кабельных линий 110-750кВ (ABB – 55,43%, SIEMENS – 17,9%, MiCOM – 11,72%, General Electric – 5,11%, ОАО «Белэлектромонтажналадка»- 1,99%), РЗА воздушных линий 35 кВ (ABB – 9,17%, SIEMENS – 0,89%, MiCOM – 7,1%, General Electric – 4,14%, ОАО «Белэлектромонтажналадка»- 50,89%), РЗА трансформаторов и автотрансформаторов (ABB – 22,9%, SIEMENS – 2,76%, MiCOM – 15,17%, General Electric – 5,47%, ОАО «Белэлектромонтажналадка»- 25,44%), РЗА распределительных сетей (ABB – 9,21%, SIEMENS – 1,38%, MiCOM – 9,32%, General Electric – 1,42%, ОАО «Белэлектромонтажналадка»- 68,68%), РЗА генераторов (ABB – 46,98%, SIEMENS – 7,76%, MiCOM – 13,79%, General Electric – 5,17%). В целом по ГПО «Белэнерго» следующие цифры по микропроцессорным устройствам РЗА: ОАО «Белэлектромонтажналадка»- 54,28%, ABB – 16,91%, MiCOM – 10,3%, SIEMENS – 3,61%, General Electric – 2,44%,).

В целом по России аналогичная ситуация: основные фирмы-производители устройств РЗА, установленных на объектах ЕНЭС следующие: SIEMENS – 24,3%, «ЭКРА»- 22,9%, ABB – 11,8%, «Уралэнергосервис»- 9,5%, Alstom – 9,4%, General Electric – 4,9%.

Необходимо обратить внимание на большое разнообразие фирм-производителей РЗА. Всего на объектах ГПО «Белэнерго» насчитывается более 15 производителей микропроцессорных устройств РЗА. Все эти устройства, а часто и устройства одного и того же производителя, построены на разных платформах и имеют персональное программное обеспечение и т.д. И весь огромный объем информации о широком спектре устройств должны знать специалисты СРЗА и ЭТЛ, что накладывает высокие требования к их квалификации.

Существуют определенные проблемы в области обучения специалистов по РЗА: существующая система высшего и средне-специального образования не может подготовить качественных специалистов, способных эксплуатировать современные системы РЗА. Поэтому дополнительным обучением приходится заниматься на местах, причем непрерывно. Нередко персонал осваивает новую технику посредством самообучения непосредственно на этапе её внедрения.

В 2006–2013 гг. процентное соотношение правильной работы устройств РЗА остается приблизительно на одинаково высоком уровне (99,72-99,82%). Несмотря на рост числа устройств и на работу сверх нормативного срока службы устройств РЗА, эксплуатирующему персоналу удается работать достаточно эффективно и поддерживать уровень правильной работы на достойном уровне. Этот показатель выше, чем аналогичные показатели в странах СНГ. Так показатель, представленный в докладе ОАО «Фирма ОРГРЭС» конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем. РЗА 2014» в г. Москва для объектов Российской электроэнергетики составил в 2013 году: 99,27% (для МП защит – 99,12%). Данный показатель в предыдущие годы (2007 г. – 99,18%, 2008 г. – 98,87%, 2009 г. – 98,75%, 2011 г. – 98,86 %, 2012 г. – 98,89 %).

Для устройств электроавтоматики и противоаварийной автоматики (ЭА и ПА) процент правильных срабатываний немного выше (99,9%), чем для устройств РЗА. Общее число срабатываний – около 11000 в год.

В связи с ростом количества устройств и развитием сетей, повышается также и ответственность за бесперебойное электроснабжения потребителей. По каждому сбою в работе оборудования проводится детальное расследование и подробный анализ. Надежность работы электрических сетей (как высоковольтных, так и распределительных) и электрооборудования электростанций и подстанций напрямую зависит от работы служб РЗА.

Анализ неправильной работы устройств РЗА приведен по категориям: всего (по причинам, связанных с эксплуатацией РЗА) и отдельно из этого числа количество срабатываний по вине персонала. Проанализировать полученную статистическую информацию довольно сложно, т.к. наблюдаются как всплески так и снижения числа отказов по годам. Объективную причину этому явлению давать сложно, но следует отметить значительный вклад персонала в поддержание высокого процента правильной работы устройств РЗА. Несмотря на все сложности, высокую ответственность и ограничение средств на эксплуатационную деятельность, данная кривая не растет значительно вверх, а колеблется в определенном диапазоне.

Отдельно следует выделить анализ работы устройств РЗА на микропроцессорной элементной базе (МП). Новые МП-устройства при правильном подходе к их эксплуатации и соответствующей квалификации обслуживающего персонала по сравнению с аналогичными устройствами, выполненными на микроэлектронной и электромеханической элементной базе, более надежны, обладают более высокой быстродействием, проще в эксплуатации, более точны в измерениях, более чувствительны к минимальным значениям аварийных и ненормальных параметров, более удобны в эксплуатации, компактны и т.д. Также необходимо отметить, что архитектура, принципы построения и алгоритмы функционирования систем РЗА остаются такими же, как и 30-40 лет назад. Т.е. РЗА в этом плане одна из самых консервативных отраслей электроэнергетики, хотя и тут не обходится без нововведений и инновационных технологий, что в первую очередь связано с применением микропроцессорной техники. Что также накладывает определённые трудности, и в частности непрерывное обновление устройств РЗА (т.е. МП-устройства, что выпускались в начале 2000х годов уже не просто не купить на рынке, но и комплектующие к ним, найти у поставщиков и производителей весьма проблематично), несмотря на порой громкие заявления про «универсальность» аппаратной базы для данных устройств. Также следует отметить необходимость выполнения дополнительных работ по определению электромагнитной совместимости на объектах ГПО «Белэнерго» при установке хотя бы 1 комплекта МП-защит, что связано с крупными затратами.

Анализируя статистику за 2006-2013 гг. по микропроцессорным защитам для сети 6–35 кВ, видно, что количество устройств на МП элементной базе для данного класса сетей с 2006 года росло в прямолинейной зависимости, однако в последние годы темпы роста количества устройств немного снизились. Также выросло и число правильных срабатываний, а число неправильных срабатываний является достаточно малым, и нет значительного прироста числа неправильных срабатываний для данного типа защитных устройств. Таким обра-

зом, данные МП-устройства достаточно надежны, несмотря на имеющиеся проблемы и сложности, возникающие при их эксплуатации, в том числе связанные с их разнотипностью.

Аналогичная картина и для устройств РЗА оборудования напряжением 110-330 кВ. Количество этих устройств постепенно увеличивается. Количество правильных срабатываний также непрерывно растет.

Одной из задач персонала служб РЗА и электротехнических лабораторий является определение места повреждения на линиях электропередач 6-750 кВ. Т.к. линии сети 35-750кВ имеют значительную протяженность, в том числе длины линий составляют в среднем для 35-110кВ – 16,7 км и 20,6км, а для сети 220-330кВ - 48км и 54,66 км, а для ВЛ 750 кВ – 753 км. При отключении линий, особенно для ВЛ 330 кВ и 750 кВ, необходимо знать точное место повреждения или участок, где произошло повреждение, чтобы устранить его как можно быстрее. Для этого служат устройства ОМП. Также данные устройства служат и для регистрации аварийных событий. Эти функции могут выполнять и МП-устройства защиты, но в то же время все равно остается необходимость установки отдельных регистраторов аварийных событий. Основные производители указанных устройств, эксплуатирующихся в данный момент на объектах ГПО «Белэнерго» являются: ООО «Парма», ООО «Регина-Р», ЗАО «Радиус Автоматика», ООО НПП «Экра» и другие.

Численность сотрудников служб РЗА и электротехнических лабораторий энергоснабжающих предприятий и РУП «ОДУ», обслуживающих и занимающихся вопросам эксплуатации устройств и аппаратуры РЗА суммарно по ГПО «Белэнерго»на 01.02.2014 г. составляет: инженерно-технические работники - 575 специалистов и электромонтеров - 521 работник, т.е. суммарно 1096 человек (~1,5% от общего числа работников Белорусской энергосистемы). Большинство специалистов имеют значительный опыт работы: 61% от нормативной численности для инженерно-технических работников и 56% для электромонтеров.

ОАО «Белэлектромонтажналадка»- одно из ведущих инжиниринговых предприятий в белорусской энергосистеме. Предприятие основано в 1964 г. как Минский территориальный наладочный участок треста «Электроцентрмонтаж». Основной вид деятельности до 1991 года - наладочные работы на крупных энергетических объектах (Минские ТЭЦ-3 и ТЭЦ-4, Лукомльская ГРЭС, Курская, Смоленская, Нововоронежская АЭС и др.) В 1992 году на базе Минского территориального участка было образовано Белорусское монтажно-наладочное предприятие «Белэлектромонтажналадка».

В сложный экономический период 90-х гг. предприятие диверсифицировало свою деятельность, помимо наладки стало выполнять проектные и монтажные работы, выпускать электротехническое оборудование. В 1991 года на предприятии сформировано специальное конструкторское бюро (СКБ), которое занимается разработкой и выпуском цифровых устройств. В тесном сотрудничестве СКБ со научными специалистами энергетического факультета БНТУ были разработаны основные принципы и алгоритмы релейной защиты на микропроцессорной базе, проведены их исследования, изготовлены опытные образцы и выполнены их испытания. В 1998 году был начат серийный выпуск микропроцессорных устройств релейной защиты. С 2000 года в структуре «Белэлектромонтажналадка» функционирует исследовательский центр, который объединяет три лаборатории: информационных измерительных систем, специальных измерений и экспериментальная лаборатория средств релейной защиты и автоматики.

На сегодняшний день ОАО «Белэлектромонтажналадка» - ведущий разработчик микропроцессорных устройств РЗА в Беларуси. Устройства РЗА производства «Белэлектромонтажналадка» полностью закрывают потребности понижающих подстанций 110 кВ и ниже. Линейка микропроцессорных защит производства «Белэлектромонтажналадка» включает в себя терминалы защиты линий с одно- и двусторонним питанием, защиты по напряжению и частоте, защиты вводных и секционных выключателей, электродвигателей, основной дифференциальной и резервной независимой защиты трансформаторов, дифференциальной и дуговой защиты сборных шин. Значительная часть микропроцессорных защит разработана по государственным программам инновационного развития и импортозамещения. Ведется раз-

работка терминала дистанционной защиты линии 110 кВ, выпуск которого позволит решить систему РЗА распределительных подстанций 110 кВ полностью на белорусских устройствах. Объем выпуска устройств РЗА – 2500-3000 устройств в год, общее количество произведенных устройств – более 25000.

Терминалы РЗА производства «Белэлектромонтажналадка» установлены и успешно эксплуатируются на объектах всех областных энергосистем Республики Беларусь, на крупных промышленных предприятиях (БелАЗ, МАЗ, Минский тракторный завод, Белорусский металлургический завод и др.). а также в ряде российских энергосистем («Белгородэнерго», «Брянскэнерго», «Мосэнерго», «Новгородэнерго», «Тюменьэнерго» и др.).

ОАО «Белэлектромонтажналадка» - многопрофильное предприятие с собственными конструкторской, производственной и испытательной базами. Предприятие выполняет полный комплекс работ по проектированию, поставке, монтажу, наладке, ремонту, испытанию и сервисному обслуживанию энергетического оборудования, АСУ ТП, АСКУЭ, КИПиА. «Белэлектромонтажналадка» производит: ячейки КРУ, КСО, вакуумные выключатели по лицензии Siemens AG; низковольтные шкафы постоянного и переменного тока; микропроцессорные устройства РЗА и контроллеры; блоки питания; ВЧ-аппаратуру передачи команд.

Штат ОАО «Белэлектромонтажналадка» - 600 человек, более половины имеют высшее образование. Средний возраст сотрудников – около 35 лет. В том числе более 100 высококвалифицированных наладчиков, обладающими опытом и навыками работы как устройствами РЗА производства ОАО «Белэлектромонтажналадка», так и других производителей (ABB, Siemens, General Electric, Alstom, Areva и др.). Штат управления перспективного развития, которое занимается разработкой и производством устройств РЗА – 53 человека.

Направлениями перспективного развития системы РЗА в Белорусской энергосистеме являются:

1. Замена устройств на электромеханической и микроэлектронной элементной базе на микропроцессорные устройства РЗА.
2. Повсеместное внедрение систем АСУ ТП (SCADA) на объектах энергетики и интеграция в указанных системах устройств релейной защиты и автоматики.
3. Внедрение цифровой подстанции, где взаимодействие устройств организовано на горизонтальном уровне по протоколу IEC 61850.
4. Внедрение Real Time Digital Simulator (RTDS) - современного симулятора переходных процессов энергосистемы.