

## Авторы:

**к.т.н. Алимов Ю.Н.**,заместитель технического  
директора по РЗА**к.т.н. Дони Н.А.**,

заведующий отделом

перспективных разработок

**к.т.н. Фурашов В.С.**,заместитель генерального  
директора по коммерческим  
вопросам**к.т.н. Шурупов А.А.**,

заведующий отделом

разработок РЗА подстанции  
оборудования

## ЗАЩИТЫ ПОДСТАНЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «ЭКРА» – ДОСТИЖЕНИЯ И ОПЫТ ДВУХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ

Казалось совсем недавно, подводя итоги первых 10-ти лет работы [1] и имея в активе небольшой по теперешним меркам опыт разработки и включения первых микропроцессорных шкафов защит серии ШЭ2607 [2, 3], специалисты предприятия не скрывали амбициозных планов: разработка и выпуск всей линейки защит оборудования электроэнергетических объектов классов напряжения 110-750 кВ, создание собственной системы АСУ ТП, конкуренция на российском рынке с ведущими западными производителями и многое другое. Прошедшее десятилетие показало не только их реальность, но и возможности существенного расширения в сторону новых перспективных направлений.

На момент своего создания в ноябре 1991 года НПП «ЭКРА» представляло собой объединение ведущих специалистов отдела релестроения ВНИИР, которые в перестроечные годы, в условиях резкого снижения централизованного финансирования традиционных разработок отдела, были вынуждены изыскивать дополнительные источники существования. В первые годы деятельности предприятия это были, в основном, эпизодические работы, требовавшие от исполнителей высокой квалификации для выполнения наладки, модернизаций и доработок сложных устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), разработки и внедрения специализированного программного обеспечения и т.п. Собственное производство на предприятии отсутствовало.

К середине 1994 года, в результате происходивших в стране глобальных перемен, сокращение численности отдела релестроения приобрело катастрофический характер, поэтому для сохранения уникального коллектива разработчиков было принято единственное на тот момент правильное решение о полном переходе в новое предприятие. Окончательно оформились четыре основных направления деятельности: разработка, изготовление и поставка цифровых аварийных осциллографов, автоматизирован-

ных устройств проверки защит, защит блоков генератор-трансформатор и защит подстанционного оборудования. Многолетний опыт работы в области релейной защиты и заслуженный авторитет ведущих специалистов-разработчиков помог не только выжить в непростых условиях бартерных отношений с заказчиками, но при этом продолжать заниматься разработкой новых перспективных направлений, организацией собственного производства.

Ставший доступным для российских разработчиков зарубежный рынок современной микроэлектронной и микропроцессорной техники позволил перевести в практическую плоскость идеи в части реализации цифрового осциллографирования аварийных процессов в энергосистемах и автоматизации проверок устройств РЗА. Опыт первых разработок в этой области позволил заложить основы наиболее рационального сочетания возможностей аппаратной базы и программного обеспечения устройств нового поколения. Процесс освоения серийного производства цифровых аварийных осциллографов – основной продукции предприятия в эти годы, – способствовал формированию основ будущей структуры производственных подразделений предприятия. Поставки и первые включения новой аппаратуры на энергообъектах дали специалистам предприятия неоценимый опыт общения с проектными, наладочными и эксплуатационными организациями, замечания и пожелания которых учитывались в последующих разработках.

Налаживались связи со специалистами-релейщиками практически всех регионов России, но главным испытательным полигоном всех новых разработок стала энергосистема Татэнерго. На ее объектах проходили «обкатку» первые терминалы, а затем шкафы аварийных цифровых осциллографов, устройства автоматизированной проверки защит (наладка микропроцессорных шкафов защит ВЛ 500 кВ «Киндери-ЗайГРЭС» на терминалах фирмы АВВ), модернизирован-

ные шкафы серии ШДЭ (Елабужские электрические сети), новейшие по тем временам микроэлектронные шкафы защит шин (ПС «Зеленодольская», «Пестрецы»), уникальные комплексы защит автотрансформаторов 500 кВ (ПС «Бугульма-500»). Предприятием были также поставлены и введены в работу микроэлектронные шкафы ДЗШ и УРОВ на ТЭЦ «Хуанен» в г. Пекин.

Начавшееся в 90-е годы в России достаточно агрессивное продвижение иномфирмами микропроцессорных терминалов для целей релейной защиты позволило специалистам оценить их достоинства и выявить недостатки. Поэтому уже в начале 1998 года объединенными усилиями трех отделов, с учетом опыта разработки собственного микропроцессорного терминала для аварийного осциллографа, новых наработок в области защит подстанционного оборудования, методик их испытаний и наладки, были начаты работы по созданию первого отечественного микропроцессорного шкафа защит. В основу технических требований к этому шкафу были взяты характеристики наиболее массового шкафа ступенчатых защит ВЛ 110-220 кВ типа ШДЭ 2802 на микроэлектронной элементной базе.

Разработанный предприятием микропроцессорный терминал типа БЭ2704, на базе которого планировалось создание шкафов для защит оборудования класса напряжения 110-220 кВ серии ШЭ2607, впервые был продемонстрирован широкому кругу специалистов-релейщиков на совещании ОДУ Средней Волги в октябре 1999 года. В ноябре этого же года первый микропроцессорный шкаф ступенчатых защит линии типа ШЭ2607 011021 был установлен на ВЛ 220 кВ «Киндери - Зеленодольская» подстанции «Киндери-500» энергосистемы Татэнерго. В апреле 2000 года на выставке «РЗА-2000» (ВВЦ, г. Москва) был впервые показан действующий образец шкафа ШЭ2607 011021. В июне 2000 года, с учетом положительного опыта эксплуатации головного образца шкафа серии ШЭ2607, первые типоразмера шкафов этой серии (основная высокочастотная защита ли-

ний ШЭ2607 031 и ступенчатые защиты с автоматикой управления выключателями ШЭ2607 011021, ШЭ2607 013022) были приняты межведомственной комиссией (МВК) и рекомендованы РАО «ЕЭС России» для применения в энергосистемах ЕЭС России. В конце 2000 года уже на трех ВЛ 220 кВ ПС «Киндери-500» были введены в работу микропроцессорные шкафы РЗА [2]. С середины 2001 года начаты поставки и включения в работу шкафов этой серии на ПС 220 кВ «Бабаево» Череповецких электрических сетей Вологдаэнерго, ПС 220 кВ «Барсово» Сургутских электрических сетей Тюменьэнерго [3], ПС 110 и 220 кВ энергосистем Карелэнерго, Ленэнерго, Магнитогорского металлургического комбината, ПС «Златоуст-500», ПС 110 кВ «Псоу» Кубаньэнерго, ПС «Сиддирганч» (Бангладеш) и другие.

Разработка шкафов серии ШЭ2607 была завершена в 2003 года. В мае 2002 года получено одобрение МВК по основным защитах ВЛ, трансформаторов и автотрансформаторов, ошиновки, а в марте 2003 года - по защитах шин [4, 5]. Отличительной особенностью шкафов защит этой серии является реализация традиционной российской идеологии построения релейной защиты энергообъектов, что существенно упростило переход на новую технику на начальном этапе ее внедрения по сравнению с зарубежными аналогами. С учетом новых возможностей впервые в шкафах серии ШЭ2607 предложена интеграция функций автоматики управления выключателем (АУВ) и резервных защит в одном терминале. Это позволило при замене выключателя присоединения решить проблему модернизации наиболее сложной аппаратуры вторичных цепей: управление выключателем и защит присоединения. Реализованный в терминалах АУВ принцип управления [6] разрабатывался с учетом особенностей элегазовых выключателей.

В том же 2003 году, на базе апробированного терминала БЭ2704, были начаты разработки шкафов защит серии ШЭ2710 для оборудования классов напряжения 330-750 кВ, актуальность которых подтверждалась уже и запросами энергосистем, эксплуатиру-

ющих шкафы серии ШЭ2607 [7]. Учитывая степень ответственности данных защит, на самом начальном этапе к работам были привлечены лучшие российские специалисты в этой области. В частности, технические требования к защитах автотрансформаторов с высоким напряжением 330-750 кВ разработаны ОРЗАУМ института «Энергосетьпроект» (г. Москва). В декабре 2003 года - головные образцы серии ШЭ2710: комплекс защит автотрансформаторов на базе шкафов типов ШЭ2710 542, ШЭ2710 542543, ШЭ2710 544, ШЭ2710 572 - были приняты МВК. В этом же месяце на ПС «Вешкайма-500» был включен в работу первый отечественный микропроцессорный комплекс защит АТ 500/110 кВ.

В разработке и обсуждении идеологии построения комплекса защит ВЛ 330-750 кВ приняли участие ведущие специалисты ОАО «СО ЕЭС», ОАО «ФСК ЕЭС», ВНИИЭ, ОРЗАУМ института «Энергосетьпроект» (г. Москва), ОРГРЭС, ОДУ Средней Волги, ОДУ Северо-Запада, Татэнерго, Нижегородского института «Энергосетьпроект» [8, 9]. Технические требования к шкафам комплекса учитывали опыт эксплуатации панелей защит серии ПДЭ-2000 и разработки шкафов серии ШЭ2700 на микроэлектронной элементной базе, выполненной во ВНИИР в 80-е годы прошлого столетия. Идеологию построения устройства однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ) с адаптивными свойствами разрабатывали специалисты ВНИИЭ [10]. По предложению ОАО «СО ЕЭС» функция ОАПВ была дублирована с реализацией в терминалах основной и резервной защит линии. Автоматика управления выключателем была также помещена с функциями трехфазного автоматического включения (ТАПВ), УРОВ и защитами от неполнофазных режимов (ЗНФР) работы выключателя с реализацией в одном терминале. В апреле 2004 года комплекс защит ВЛ 330-750 кВ, включающий основные (ШЭ2710 582) и резервные (ШЭ2710 521) защиты с функцией ОАПВ, а также АУВ с функциями ТАПВ, УРОВ, ЗНФР (ШЭ2710 511) был принят МВК (фото 1).

Основная защита ВЛ 330-750 кВ была реализована на традиционном для России дифференциально-фазном принципе [11].

Начиная с 2004 года в номенклатуре предприятия появились шкафы и комплексы защит серии ШЭ2710, которые достаточно быстро нашли применение в проектах реконструкции и нового строительства, и последующих поставках как для ЕНЭС России, так и для стран ближнего зарубежья.

С учетом требований эксплуатации, в соответствии со спецификой защищаемого оборудования, номенклатура шкафов защит серий ШЭ2607 и ШЭ2710 постоянно пополняется. Так, в дополнение к дифференциально-фазным защитам ВЛ, появились продольные дифференциальные защиты: ШЭ2607 091 (для линий 110-220 кВ) и ШЭ2710 591 (для линий 330-750 кВ с функцией ОАПВ). Разработаны шкафы защит конденсаторных батарей и управляемых шунтирующих реакторов [12]. По техническим требованиям заказчиков начали изготавливаться шкафы противоаварийной автоматики [13, 14]. Ведется разработка шкафа центральной сигнализации.

Новая линейка шкафов серии ШЭ2607, для реализации защит понижающих трансформаторных подстанций 220(110)/35/10(6) кВ, разработана на базе комплексного использования терминалов серии БЭ2704 и терминалов серии БЭ2502 для класса напряжения

6-35 кВ [15]. Терминалы серии БЭ2502 начали разрабатываться на предприятии в 2004 году по многочисленным просьбам заказчиков и для расширения рынка поставок оборудования в сторону защит низкого напряжения [16]. Несмотря на наличие в этой области большого количества серьезных конкурентов, преимущества использования на одном энергообъекте оборудования одного производителя неоспоримы. В дополнение к поставкам различных типов исполнений терминалов БЭ2502 для встраивания в ячейки и шкафы НКУ других производителей, новая линейка шкафов предназначена для обеспечения основной, резервной защиты и АУВ 2-х или 3-х обмоточных трансформаторов, автоматики РПН, защиты и автоматика вводов 6-35 кВ, защиты линий 35 кВ. В зависимости от первичной схемы объекта и требований заказчика разработаны различные варианты сочетаний комплектов защит в шкафах. Для ускорения внедрения данных шкафов в эксплуатацию одновременно с разработкой технической документации по типовым исполнениям шкафов были разработаны варианты типовых проектных привязок защит для всех применяемых на практике первичных схем подстанций. В дальнейшем, на основании полученного положительного опыта, проектным отделом предприятия были разработаны аналогичные типовые проектные решения для ПС классов напряжения 110-220 кВ и 330-750 кВ.

Также для расширения рынка поставок оборудования, обеспечения их комплектности и, учитывая важность систем оперативного постоянного тока (СОПТ) и собственных нужд 0,38 кВ энергообъектов, на предприятии в 2004 году был создан отдел низковольтных комплектных устройств (НКУ). В настоящее время он осуществляет поставки широкого спектра шкафов НКУ, СОПТ и щитов собственных нужд собственной разработки. В их составе предлагается новейшая система «ЭКРА-СКИ» контроля изоляции и поиска мест замыкания на землю в СОПТ [17], позволяющая существенно уменьшить вероятность ложной работы микропроцессорных шкафов РЗА.

Следует отметить, что освоение производства всех типов исполнений шкафов серий ШЭ2607 и ШЭ2710 велось по проверенной временем схеме:

- разработка технических требований к устройству;
- изготовление опытного образца;
- опытная эксплуатация;
- приемка МВК;
- организация серийного производства и поставок.

Позднее, в связи с переходом основных потребителей поставляемой продукции от системы приемок МВК к отраслевой аттестации, технические требования на все основные функции, реализованные в шкафах серий ШЭ2607 и ШЭ2710, проходили соответствующую экспертизу и аттестованы: в ОАО «ФСК ЕЭС» (подтверждение аттестации, февраль 2010 г.), АК «Транснефть» (июль 2009 г.), ОАО «Газпром» (апрель 2010 г.), ГК «Росатом» (по классу безопасности 4, март 2011 г.).

В отличие от внедряемых иνοфирмами терминалов РЗА с выбираемым составом функций и «свободно программируемой логикой» для всех разновидностей шкафов РЗА серий ШЭ2607 и ШЭ2710, предлагается типовой вариант исполнения. Для анализа возможностей и реализации проектных привязок по каждому исполнению шкафа предоставляется полный комплект технической документации: руководство по эксплуатации с подробным описанием состава

Фото 1. Межведомственная комиссия по приемке защит ВЛ 500 кВ



функций и схем логики, электрические принципиальные и монтажные схемы, варианты конструктивного исполнения, карты заказа шкафов и соответствующего программного обеспечения, бланки для выбора уставок, формы протоколов испытаний и другие. Возникающие при проектировании конкретного объекта необходимые изменения и дополнения выполняются на стадии изготовления шкафов, что позволяет существенно сократить сроки поставки.

Основные конструктивные решения по шкафам защит были разработаны на самом начальном периоде организации их серийного производства, с учетом имеющихся к тому времени наработок по микроэлектронным шкафам и панелям защит, шкафам цифровых аварийных осциллографов. Типизация габаритных размеров шкафов, разделение полного объема шкафа на отдельные зоны для установки однотипных групп навесных элементов с учетом требований удобства монтажа, наладки и оперативного обслуживания, позволили создать библиотеку конструктивных решений (конструктив ШУ-2), обеспечивающую быструю компоновку комплекта документации для изготовления отдельных деталей шкафов с последующей их сборкой и монтажом с учетом конкретных требований заказчика. В настоящее время выпускаются шкафы двухстороннего и одностороннего (с поворотной рамой) обслуживания, на базе конструктивов

ШУ-2, RITTAL, SIEMENS, со сплошной стальной передней дверью или специальным окном. В мае 2005 года шкафы конструктива ШУ-2 были аттестованы на сейсмостойкость, а в сентябре того же года – на электромагнитную совместимость в соответствии со стандартом ОАО «ФСК ЕЭС» и механические внешние воздействующие факторы. Изготовление шкафов в первые годы выполнялось ПО «Элтехника» (г. Санкт-Петербург), а затем переведено на более территориально близкий завод «Контакт» (г. Йошкар-Ола). В настоящее время построено собственное механосборочное производство полного цикла.

Отгрузкой изготовленных шкафов заказчику и участием во включении (шеф-наладка) работа с ними не заканчивается. Специально созданный отдел наладки и сервиса осуществляет шеф-наладку на объектах, гарантийное и постгарантийное обслуживание шкафов. Ведущие разработчики постоянно занимаются анализом поведения шкафов в аварийных ситуациях, обсуждением общих проблем теории и практики релейной защиты [18, 19], участвуют в конференциях и совещаниях на разных уровнях, семинарах по обучению персонала в тренажерных центрах, разработке рекомендаций по проектированию, выбору уставок, методов наладки и обслуживанию устройств защит.

За прошедшее десятилетие на предприятии прошли обучение более 800 специалистов наладочного и экс-

плуатационного персонала из более чем 100 организаций. С 2011 года основной процесс обучения перенесен в «Научно образовательный центр «ЭКРА» с гостиницей для проживания, который рассчитан на прием более двухсот специалистов в год.

В сентябре 2008 года в Чебоксарах была организована первая научно-практическая конференция по продукции предприятия (фото 2), в докладах на которой поднимались и проблемы общего плана, характерные для современного этапа модернизации устройств релейной защиты [20]. В дальнейшем, подобные конференции вошли в повседневную практику и организовывались для специалистов-релейщиков отдельных отраслей (РусГидро, Росатом) и направлений (вопросы проектирования и выбора уставок).

Ведется постоянная работа в части соответствия шкафов серий ШЭ2607 и ШЭ2710 современным требованиям в плане перспектив перехода к строительству цифровых подстанций нового поколения [21]. В настоящее время ведутся работы по переводу всех защит на новую аппаратную платформу терминала серии БЭ2704 с поддержкой протокола МЭК-61850 и современных требований связи с АСУ верхнего уровня. Первые поставки шкафов защит с новыми терминалами уже начаты. Постоянно совершенствуется программное обеспечение, как в части функций защит, так и вопросов сервисного обслуживания.

Фото 2. Участники 1-ой Международной научно-практической конференции, проведенной НПП «ЭКРА» в сентябре 2008 года.



Непрерывное расширение номенклатуры шкафов защит, положительный опыт работы, налаживание контактов с проектными, наладочными и эксплуатационными организациями, сервисное обслуживание, правильная маркетинговая политика позволили год от года наращивать объем поставок. Построен и уже несколько лет эксплуатируется новый производственный корпус предприятия, расширяется механосборочное производство. Однако современные планы и темпы строительства и реконструкции энергообъектов в России заставляют искать новые пути, как расширения производства, так и сокращения сроков поставки оборудования. Известные проблемы производителей продукции [20], наладочных и эксплуатирующих организаций [21] требуют безотлагательных решений в части типизации требований к устройствам РЗА разных производителей и на их базе типовых проектных решений. Это позволит, в сочетании с правильно выстроенной системой строительства и ввода новых энергообъектов, обеспечить их дальнейшую надежную работу.

#### Литература:

1. Саевич О.Л. ЭКРА: 10 лет на пути к успеху. Новости Электротехники, №6, 2001г., стр.10-12.
2. Добродеев К.М., Меер В.М., Лопухов В.М., Алимов Ю.Н., Дони Н.А., Фурашов В.С., Шурупов А.А. Микропроцессорная защита и автоматика линий и выключателей 110-220 кВ. Энергетик, 2001г., №10, стр.20-23.
3. Карпов А.В., Кашаев Е.В., Кочкин Н.А., Шурупов А.А. Подстанция с отечественными микропроцессорными защитами линий 110-220 кВ. Опыт включения. Новости Электротехники, № 5, 2001, с.24-25.
4. Дони Н.А., Фурашов В.С., Шурупов А.А. Отечественная микропроцессорная релейная защита оборудования 110-220 кВ. Новости Электротехники, №5, 2003г., стр. 54-56.
5. Дони Н.А., Исаев В.В., Фурашов В.С. Дифференциальная защита шин 110-220 кВ. Новости электротехники, №5, 2006г., стр.2-4.
6. Добродеев К.М. Элегазовые выключатели 110 кВ и выше. Некоторые особенности схем автоматики и управления. Новости Электротехники, №3, 2005г., стр. 62-64.
7. Меер В.М., Лопухов В.М., Кандалицев В.В. Микропроцессорные защиты 110-220 кВ. Новости Электротехники, №5, 2002г., стр.32-33.
8. Алимов Ю.Н., Добродеев К.М., Левиуш А.И., Пуляев В.И., Усачев Ю.В., Фещенко В.А. Релейная защита оборудования 330-750 кВ с использованием микропроцессорных устройств. Новости Электротехники, №4, 2004г., стр. 36-38.
9. Алимов Ю.Н., Белотелов А.К., Добродеев К.М., Левиуш А.И., Пуляев В.И., Усачев Ю.В., Фещенко В.А. Основные принципы построения релейной защиты оборудования 330-750 кВ с использованием микропроцессорных устройств серии ШЭ2710. Электрические станции, №9, 2009г., стр. 42-45.
10. Амурский И.П., Дони Н.А., Стрелков В.М., Фокин Г.Г. Принципы выполнения микропроцессорного устройства однофазного АПВ ВЛ 330-750 кВ. Материалы СИГРЭ, 10-12 сентября, 2007г. Чебоксары.
11. Дони А.Н., Дони Н.А., Левиуш А.И. Особенности выполнения микропроцессорной ДФЗ ВЛ 110-750 кВ. Релейщик, №1, 2008г., стр.32-33.
12. Фурашов А.В., Петров А.А., Иванов А.Н., Веселов П.К., Булыкин П.Ю. Комплекс РЗА для статических источников реактивной мощности. Новости Электротехники, №2, 2008г., стр. 62-64.
13. Лопухов В.М., Иванов С.А., Малый А.П., Шурупов А.А. Автоматика ликвидации асинхронного режима. Новости Электротехники, №6, 2009г., стр. 2-5.
14. Иванов С.А., Кошельков И.А., Малый А.П., Павлов Ю.Н., Шурупов А.А. Реализация автоматики ликвидации асинхронного режима в шкафах серии ШЭ2607. Релейная защита и автоматизация, №1, 2010г., стр.39-42.
15. Софронов С.В. Шкафы микропроцессорных защит серии ШЭ2607 для понижающих трансформаторных подстанций. Релейщик, №3, 2009г., стр.62-65.
16. Дони Н.А., Исаев В.В. Защита и автоматика присоединений 6-35 кВ на базе терминалов БЭ2502. Релейщик, №2, 2009г., стр.49-51.
17. Алимов Ю.Н., Галкин И.А., Шаварин Н.И. Система контроля и измерения сопротивления изоляции в цепях оперативного постоянного тока 220 кВ «ЭКРА-СКИ». Релейная защита и автоматика энергосистем. Сборник докладов XX конференции (Москва, 1-4 июня 2010), стр. 350-357.
18. Дони Н.А. Об использовании обмоток ТН, соединенных в разомкнутый треугольник». Релейщик, №4, 2009г., стр.73-75.
19. Бондаренко А.Ф., Дони Н.А., Шурупов А.А., Левиуш А.И., Фокин Г.Г. Адаптивное АПВ линий высокого напряжения для исключения междуфазных КЗ. Электрические станции, №11, 2008г., стр.42-43.
20. Алимов Ю.Н., Саевич О.Л., Фурашов В.С. «ЭКРА» - о предприятии и некоторых общих вопросах. Релейщик, №1, 2008г., стр.18-20.
21. Волошин И.М. Проблема подстанций «нового поколения». Релейная защита и автоматизация, №2, 2011г., стр.38-40.