

УДК 621.039.58:658.261

Д. С. Скрипчак, К. М. Ефимова, В. В. Инюшев

Государственный научно-технический центр
по ядерной и радиационной безопасности (ГНТЦ ЯРБ),
г. Киев, Украина

Надежность электрооборудования: мероприятия по повышению безопасности и продлению сроков эксплуатации энергоблоков АЭС Украины

Приведены результаты проведенных модернизаций и реконструкций электрооборудования, важного для безопасности энергоблоков АЭС Украины. Рассматриваются преимущества модифицированного и недостатки действующего электрооборудования, выявленные в период эксплуатации и в процессе наработок по отказам.

Ключевые слова: атомная электрическая станция, электрооборудование, электроустановки, электрические аппараты, система безопасности, надежность, реконструкция, модернизация.

Д. С. Скрипчак, К. М. Ефимова, В. В. Инюшев

Надійність електрообладнання: заходи щодо підвищення безпеки та продовження термінів експлуатації енергоблоків АЕС України

Наведено результати проведених модернізацій і реконструкцій електрообладнання, важливого для безпеки енергоблоків АЕС України. Розглядаються переваги модифікованого й недоліки діючого електрообладнання, виявлені в період експлуатації та в процесі напрацювань за відмовами.

Ключові слова: атомна електрична станція, електрообладнання, електроустановки, електричні апарати, система безпеки, надійність, реконструкція, модернізація.

© Д. С. Скрипчак, К. М. Ефимова, 2012

В настоящее время на энергоблоках АЭС Украины эксплуатируется электротехническое оборудование, изготовленное более 20 лет назад, морально и физически устаревшее, выработавшее свой ресурс, с низкой степенью надежности.

В декабре 1997 г. Украина ратифицировала Конвенцию по ядерной безопасности. Для реализации ее положений была разработана и введена в действие «Комплексная программа модернизации и повышения безопасности энергоблоков атомных электростанций», одобренная распоряжением Кабинета Министров Украины от 29.08.2002 № 504–р. На сегодняшний день разработана и действует «Комплексная (сводная) программа повышения уровня безопасности энергоблоков атомных электростанций» (КсППБ), утвержденная постановлением Кабинета Министров Украины от 07.12.2011 № 1270. Данная программа предусматривает дальнейшее выполнение работ по повышению безопасности в рамках выполнения долгосрочной государственной стратегии повышения безопасности энергоблоков АЭС ГП НАЭК «Энергоатом». Для выполнения КсППБ разработаны Сводные мероприятия [9], которые включают в себя модернизацию, реконструкцию и замену электрооборудования, выработавшего свой установленный проектный ресурс и не в полной мере отвечающие требованиям нормативных документов по ядерной и радиационной безопасности [1–4, 10, 11].

Модернизации подлежат:

выключатели 6 кВ и 4 кВ серии ВЭС-6, так как они сняты с производства, имеют низкую надежность, чем снижают надежность электропитания систем безопасности и систем, важных для безопасности;

устаревшие и ненадежные в работе агрегаты бесперебойного питания (АБП) типа АБП-1500, требующие больших объемов технического обслуживания;

щиты постоянного тока (ЩПТ) типа ПСН, не имеющие устройств автоматического определения замыкания цепей постоянного тока на землю (поиск замыканий на землю выполняется оперативным персоналом по аварийному сигналу системы контроля, однако определение вышедших из строя или поврежденных линий производится вручную и порой занимает много времени);

кабельное хозяйство, от надежности которого зависит надежность электроснабжения собственных нужд, систем управления, защиты и других систем АЭС;

морально и физически устаревшие элементы системы электроснабжения собственных нужд 6 кВ;

электродвигатели 6 и 0,4 кВ, установленные в 1980-х годах, имеющие изоляцию низкого качества и слабые пусковые характеристики;

комплектные распределительные устройства 6/0,4 кВ, обладающие низкой надежностью, оборудование которых снято с производства;

силовые и управляющие герметичные проходки через контаймент, в узлах уплотнения которых применяются эпоксидные компаунды, приводящие к потере герметичности и ухудшению электрических характеристик, и в которых отсутствует возможность оперативного контроля герметичности;

схемы релейной защиты и автоматики (РЗА) с недостаточными показателями надежности аппаратуры и отсутствием самодиагностики, что затрудняет поиск и устранение неисправностей при отказах и повышает вероятность ошибочных действий персонала на работающем энергоблоке;

вводные выключатели в шкафах РТЗО, имеющие низкую чувствительность и не обеспечивающие резервирование

отказа выключателя, который непосредственно защищает кабель на присоединении, что может послужить причиной возникновения и распространения пожара.

Учитывая значительный объем оборудования, сложность и длительность монтажных и пусконаладочных работ, модернизацию на энергоблоках проводят поэтапно, в течение нескольких планово-предупредительных ремонтов (ППР).

Новое оборудование в основном разрабатывается и изготавливается украинскими производителями: ПАО «НПП «Радий», г. Кировоград; ЧАО «СНПО «Импульс», г. Северодонецк; ЧАО «Завод ЭЛОКС», г. Комсомольское; Электротехнической корпорацией «ЭлКор», г. Харьков; ООО «Энпром», г. Энергодар; ЧАО «НПО «ЭТАЛ», г. Александрия; ПАО «Одескабель», г. Одесса; ПАО «Завод «Южкабель», г. Харьков, и др.

В СНПО «Импульс» ведется инициативная разработка коммутационного и распределительного электрооборудования для электропитания потребителей переменного и постоянного тока различных классов напряжения в составе силовых и распределительных шкафов электропитания потребителей переменного тока 220 В, постоянного тока 110 В, постоянного тока 24 В, а также шкафов электропитания для преобразования напряжения 380 В переменного тока в напряжение 24 В постоянного тока.

Модернизированное оборудование выполнено на современной элементной базе, имеет высокие показатели надежности, длительный срок службы и отвечает всем требованиям действующей в Украине нормативной базы [4-8].

Ниже представлены данные по замене электротехнического оборудования для отдельных энергоблоков АЭС Украины.

Запорожская АЭС, энергоблоки №№ 1—6. Проводится поэтапная замена выключателей 6 кВ и 0,4 кВ.

На современное оборудование, соответствующее требованиям по диагностике, надежности, электромагнитной совместимости, действию внешних воздействующих факторов, несанкционированному доступу, заменено оборудование системы электропитания собственных нужд 6 кВ: выключатели автоматические отходящих присоединений и схем управления; аппаратура РЗА, сигнализации; трансформаторы тока и напряжения измерительные.

Начата замена действующих штатных комплектных трансформаторных подстанций типа КТПСН (КТПСНВ), имеющих ряд существенных недостатков, обусловленных отсутствием точного регулирования уставки срабатывания защиты от перегрузки; отсутствием точного регулирования уставки срабатывания защиты в зоне токов короткого замыкания; отсутствием самодиагностики устройств РЗА в рабочем режиме; отсутствием штатных средств регистрации нормальных и аварийных режимов; недостаточной емкостью действующих секций 0,4 кВ, что приводит к сложностям с подключением новых потребителей в результате модернизаций и реконструкций оборудования технологических систем.

Действующие КТПСН-0,4 кВ с выключателями серии «Электрон», АЗ700, АЕ2000 и электромагнитными пускателями серии ПМА заменены на новые устройства низковольтные комплектные (НКУ) серии SPECIAL с автоматическими выключателями типа Masterpact NT и Comract NSX с усовершенствованными и современными электронными блоками управления и контроля типа Micrologic, имеющими улучшенные технические характеристики. Это позволит устранить существующие недо-

статки действующего оборудования и тем самым обеспечить высокую надежность функционирования и удобство в эксплуатации.

Заменены электродвигатели, являющиеся приводами для механизмов систем, важных для безопасности, 6 и 0,4 кВ на новые двигатели с улучшенными пусковыми характеристиками и качественной изоляцией, что повысит надежность их работы.

Заменены выключатели в шкафах РТЗО.

Южно-Украинская АЭС, энергоблок № 1. В соответствии с требованиями КСППБ модернизируется система аварийного электроснабжения (САЭ) первой группы постоянного тока (ЩПТ) САЭ и системы нормальной эксплуатации, важной для безопасности.

Установленные на энергоблоке ЩПТ 220 В являются распределительными шкафами установок постоянного тока, предназначенными для подключения аккумуляторных батарей, выпрямителей и потребителей с общими шинами. В настоящее время на общешлюнковой системе электроснабжения и каналах СБ эксплуатируются ЩПТ, которые в силу своих конструктивных недостатков приводят:

к недопустимым для потребителей ЩПТ (более 20 мс) перерывам питания при отключении коротких замыканий выключателями в цепях присоединений;

недостаточному контролю состояния аккумуляторных батарей (АБ), поскольку существующее устройство контроля тока подзарядки не обеспечивает необходимой точности и диапазона измерений контролируемого параметра;

неопределению системой контроля изоляции поврежденного фидера без выполнения большого объема оперативных переключений, которые при существующей структурной схеме ЩПТ могут привести к ошибочным действиям оперативного персонала;

потере выпрямителя ВАЗП при обесточивании секции 0,4 кВ, питающей потребителей в режиме поиска «земли» от постороннего (не связанного с АБ) источника.

Замена штатных ЩПТ, состоящих из панелей типа ПСН-1300, на новые ЩПТ с усовершенствованной структурной схемой, микропроцессорной схемой контроля, быстродействующими защитными аппаратами позволит устранить существующие недостатки действующих ЩПТ.

Выполняется поэтапная замена электродвигателей 6 кВ и 0,4 кВ, а также выключателей 6 кВ и 0,4 кВ. Заменены выключатели в шкафах РТЗО.

Энергоблоки №№ 1 и 2. Ведутся работы по выполнению целого комплекса мероприятий КСППБ, предполагающего реконструкцию комплектно-распределительных устройств 6 кВ (КРУ-6 кВ) систем безопасности в части замены выключателей 6 кВ, модернизации кабельного хозяйства систем безопасности, модернизации системы питания собственных нужд 6 кВ, модернизации схем РЗА с внедрением реле на микроэлектронной базе.

КРУ-6 кВ всех трех каналов системы безопасности являются распределительными устройствами переменного тока сети 6 кВ собственных нужд энергоблока. Они предназначены для подключения потребителей 6 кВ и распределения электроэнергии в сети 6 кВ и 0,4 кВ.

КРУ-6 кВ включают в себя силовые распределительные шкафы, выключатели 6 кВ, измерительные трансформаторы напряжения и тока, шкафы устройств РЗА, силовые и контрольные кабельные линии.

Существующие проекты КРУ-6 кВ систем безопасности энергоблоков с реактором ВВЭР-1000 были разработаны

на базе оборудования, которое изготовлено более 30 лет назад. Выключатели ВЭМ-6 отработали свой установленный ресурс, сняты с производства, морально и физически устарели, запасные части отсутствуют. При питании мощного электромагнитного привода данных выключателей системы безопасности создается большая нагрузка на аккумуляторные батареи сети постоянного тока САЭ, что существенно увеличивает разряд АБ. Установленный ресурс эксплуатации устройств релейной защиты и автоматики на базе электромеханических реле также закончился и, самое главное, отсутствует самодиагностика устройств РЗА, что не соответствует требованиям действующих в Украине норм, правил и стандартов по ядерной и радиационной безопасности для обеспечивающих систем (элементов) [1, 4, 5].

Замена действующих штатных КРУ-6 кВ, состоящих из шкафов серии К-XXV с выключателями типа ВЭМ-6, на новые КРУ-6 кВ серии КУ-6С с усовершенствованными и современными быстродействующими вакуумными выключателями типа ВРС-6, имеющими улучшенные технические характеристики, многофункциональными микропроцессорными устройствами РЗА типа «Диамант», позволяет устранить существующие недостатки действующих выключателей 6 кВ и устройств РЗА.

Хмельницкая АЭС. Энергоблоки №№ 1 и 2. Проводится поэтапная замена выключателей 6 кВ и 0,4 кВ, а также электродвигателей 6 кВ и 0,4 кВ. Заменено оборудование системы электропитания собственных нужд 6 кВ на энергоблоке № 2. Заменены выключатели в шкафах РТЗО.

Ровенская АЭС. Энергоблоки №№ 3 и 4. Проводится поэтапная замена выключателей 6 кВ и 0,4 кВ. Заменено оборудование системы электропитания собственных нужд 6 кВ на энергоблоке № 4. Заменены электродвигатели 6 кВ и 0,4 кВ на энергоблоке № 4, аналогичные работы ведутся на энергоблоке № 3. Заменены выключатели в шкафах РТЗО.

На всех энергоблоках ведутся работы по замене кабелей на нераспространяющие горение и модулей герметичных проходок на новые с более высокими показателями назначения: сроком эксплуатации 30 лет; более высокими токовыми нагрузками, электрической прочностью и стойкостью к механическим воздействиям; наличием устройств контроля герметичности проходки. Герметичные кабельные проходки последнего поколения фирмы «ЭЛОКС» имеют улучшенные характеристики прохождения электрических сигналов без искажений при нормальной эксплуатации и в аварийных режимах, а также при пожарах и максимальных землетрясениях. Кроме того, герметичные кабельные проходки имеют улучшенную биологическую защиту от проникновения радиоактивного излучения из контейнента, работают в открытом пламени и режимах запроектной аварии.

Энергоблоки №№ 1 и 2. При выполнении работ по продлению эксплуатации произведена замена аккумуляторных батарей (АБ) фирмы VARTA системы надежного электроснабжения в полном объеме. Эксплуатационный ресурс, надежность и другие параметры установленных АБ на порядок выше благодаря применению современных материалов и технических решений, что отвечает требованиям к выбору АБ в каналах САЭ (время функционирования систем безопасности, возможная продолжительность восстановления энергоснабжения от аварийных источников электроснабжения и пр.).

Заменен весь комплекс электротехнического оборудования на резервных дизель-генераторных электростанциях

энергоблока № 1, на данный период времени производится замена системы автоматического управления (САУ) РДЭС энергоблока № 2.

Заменены все сборки типа РТЗО на СБ в составе ПТК УСБ.

Продолжаются работы по внедрению программно-технического комплекса в системе нормальной эксплуатации, важной для безопасности (ПТК СНЭ ВБ), в том числе меняются сборки РТЗО.

Произведена замена выпрямителей АБП на всех каналах системы безопасности и надежного электроснабжения на выпрямители фирмы BENNING. Выпрямители с электронной регулировкой в сочетании со свинцово-кислотными или никель-кадмиевыми батареями создают надежную систему энергоснабжения постоянным током, которая используется для снабжения энергией потребителей, важных для безопасности энергоблоков АЭС, как в случае питания от сети, так и во время перебоев в питании [4, 5].

В 2012 г. решена одна из немаловажных проблем на энергоблоках №№ 1 и 2, касающаяся соблюдения принципа резервирования потребителей собственных нужд. Произведены пусконаладочные работы и введен в эксплуатацию второй источник резервного питания для энергоблоков №№ 1 и 2 — комплекс оборудования (релейная защита и автоматика) совместно с резервным трансформатором 6ТР; тем самым увеличено надежное резервирование потребителей собственных нужд от энергосистемы. Первоначально проектом предусматривался один резервный трансформатор собственных нужд на два энергоблока, что не соответствовало требованиям соблюдения принципа резервирования. В процессе внедрения данной модификации в проекте реализована концепция, которая ранее не применялась ни на одном энергоблоке Украины, — отказ от подведения высокого напряжения к резервному трансформатору 6ТР от открытого распределительного устройства (ОРУ) 110 кВ посредством линии электропередачи (ЛЭП). Электропитание резервного трансформатора осуществляется при помощи высоковольтной кабельной магистрали классом напряжения 110 кВ, что предотвращает (уменьшает) влияние внешних воздействующих факторов, в том числе и природного характера, на элемент резервного электропитания.

Выводы

Предъявляемые повышенные требования к заменяемому электрооборудованию связаны в первую очередь с организацией надежного питания электропотребителей собственных нужд энергоблока, обеспечивающих безопасность АЭС. Обеспечению надежности (бесперебойности) электроснабжения потребителей собственных нужд АЭС сегодня уделяется особое внимание, а приоритетом является недопустимость потери контроля над ядерно-энергетической установкой и управления ею.

Надежная и безаварийная работа отдельных элементов и систем электроснабжения (САЭ, СНЭ ВБ) в целом требует устранения выявленных в процессе эксплуатации конструктивных и технических недостатков оборудования путем модернизации и реконструкции схем электроснабжения на современные аналоги.

Согласно результатам количественной оценки влияния мероприятий по повышению безопасности на показатели надежности заменяемого, реконструируемого

и модернизируемого электрооборудования, наибольший дефицит безопасности существует на энергоблоках №№ 1 и 2 Южно-Украинской АЭС, № 1 Хмельницкой АЭС, № 3 Ровенской АЭС, где только начаты работы по замене выработавшего свой ресурс электротехнического оборудования. Большая часть мероприятий КСППБ должна быть выполнена до получения разрешения на продление эксплуатации энергоблоков, что является основной задачей в выдаче лицензии на продолжение эксплуатации атомных энергоблоков.

Список использованной литературы

1. *НП 306.2.141–2008*. Загальні положення безпеки атомних станцій. — Затвердж. наказом Держатомрегулювання України від 19.11.2007 № 162; за реєстр. Мін'юстом України 25.12.2008.
2. *НП 306.2.145–2008*. Правила ядерної безпеки реакторних установок атомних станцій з реакторами з водою під тиском. — Затвердж. наказом Держатомрегулювання України від 15.04.2008 № 73; за реєстр. Мін'юстом України 09.06.2008.
3. *НП 306.5.02/3.035–2000*. Вимоги з ядерної та радіаційної безпеки до інформаційних і керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій. — Затвердж. наказом Держатомрегулювання України від 28.03.2000 № 19.
4. *ПНАЭ Г-9–026–90*. Общие положения по устройству и эксплуатации аварийного электроснабжения атомных станций. — Утв. постановлением Госпроматомнадзора СССР от 26.04.1991 № 2.

5. *ГКД 34.20.507–2003*. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила. — К.: Мінпаливенерго України, 2003.
6. *Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / Госатомрегулирование Украины*. — К.: “Форт”, 2009.
7. *Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей (ПТЭ)*. — 13-е изд. — М.: Энергия, 1977.
8. *Электрическая часть станций и подстанций / Под ред. А. А. Васильева*. — М.: Энергия, 1980.
9. *Сводные мероприятия Комплексной (сводной) программы повышения уровня безопасности энергоблоков атомных электростанций*. — Утв. письмом ГИЯРУ № 15–04/1771 от 21.03.2012.
10. *DS303. Emergency Power Systems at Nuclear Power Plants*. — Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001.
11. *DS430. Design of Electric Power Systems for Nuclear Power Plants. DRAFT SAFETY GUIDE*. — Vienna: International Atomic Energy Agency, 2012.

Получено 12.10.2012.