

В. М. Евланов, К. М. Ефимова

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

Влияние электрических и электромагнитных внешних воздействующих факторов на безопасность информационных и управляющих систем, важных для безопасности АЭС

Рассматриваются электрические и электромагнитные внешние воздействующие факторы (ВВФ), влияющие на безопасность информационных и управляющих систем (ИУС) АЭС. Показаны результаты влияния их на ИУС, важные для безопасности АЭС, методы борьбы с вредным влиянием, приведены примеры модернизации ИУС АЭС и решения для повышения помехоустойчивости, указаны значения ВВФ, которые могут представлять угрозу для здоровья и жизни обслуживающего персонала АЭС.

Ключевые слова: атомная электрическая станция, информационные и управляющие системы, программно-технические комплексы, технические средства автоматизации, электрические воздействия, электромагнитные воздействия, качество сети электропитания.

В. М. Євланов, К. М. Єфімова

Вплив електричних та електромагнітних зовнішніх факторів на безпеку інформаційних та керуючих систем, важливих для безпеки АЕС

Розглядаються електричні та електромагнітні зовнішні фактори впливу (ЗФВ) на безпеку інформаційних та керуючих систем (ІКС) АЕС. Наведено результати впливу їх на ІКС, важливі для безпеки АЕС, методи боротьби зі шкідливим впливом, приклади модернізації ІКС АЕС і рішення для підвищення заводостійкості, значення ЗФВ, які можуть являти загрозу для здоров'я та життя обслуговуючого персоналу АЕС.

Ключові слова: атомна електрична станція, інформаційні та керуючі системи, програмно-технічні комплекси, технічні засоби автоматизації, електричні впливи, електромагнітні впливи, якість мережі електроживлення.

© В. М. Евланов, К. М. Ефимова, 2012

Требования по ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций, разработаны на основании части второй статьи 22 и статьи 24 Закона Украины «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» и относятся к категории норм и правил по ядерной и радиационной безопасности. Требования распространяются на информационные и управляющие системы (ИУС) атомных станций, важные для безопасности, и их компоненты: программно-технические комплексы (ПТК); технические средства автоматизации (ТСА); программное обеспечение (ПО).

В настоящее время с внедрением новых информационных технологий, решением задач по увеличению мощности АЭС, расширением систем энергоснабжения возрастает значение влияния электрических и электромагнитных внешних воздействующих факторов на ИУС АЭС, важные для безопасности. Процент отказов электрооборудования АЭС является одним из наибольших в сравнении с другими системами. Причины этих отказов, приводящие к нарушению или полной остановке работы энергоблоков, часто кроются в несоблюдении требований к электрическим и электромагнитным ВВФ. Неправильно установленная причина аварии может привести к повторной аналогичной аварии. Кроме того, существуют значения ВВФ, которые опасны для здоровья и жизни человека, в частности для персонала, обслуживающего ИУС АЭС.

К *электрическим ВВФ* относят электрические низкочастотные поля, источниками которых являются технологическое оборудование и высоковольтные кабели, находящиеся в помещении, где эксплуатируют ТСА или предполагают их эксплуатировать. ТСА должны быть устойчивыми (выполнять предусмотренные функции в заданном объеме и с характеристиками, регламентированными в ТЗ или ТУ) при воздействии низкочастотных электрических полей в рабочих условиях эксплуатации без ограничения времени. Для ТСА единичного производства параметры электрических низкочастотных полей в рабочих условиях эксплуатации (рабочие параметры электрических ВВФ) устанавливают в ТЗ на основании экспериментальных данных о фактической интенсивности электрических ВВФ в месте размещения ТСА. Для ТСА серийного производства рабочие параметры электрических ВВФ устанавливают в ТУ в виде испытательных значений электрических ВВФ, имитирующих воздействие реальных электрических полей при испытании устойчивости ТСА к этим ВВФ. Испытательные значения электрических ВВФ (напряженности электрического поля, частоты, направления вектора напряженности) устанавливаются в соответствии с [1] в зависимости от группы условий эксплуатации ТСА.

К *электромагнитным ВВФ* относят электромагнитные процессы, вызванные работой и/или нарушениями в работе других ТСА, технологического оборудования АЭС, а также природными явлениями и действиями персонала, которые ухудшают или могут ухудшить качество функционирования ТСА (далее — помехи). Требования помехоустойчивости ТСА устанавливают, в общем случае, к следующим видам помех в соответствии с [1]: разрядам статического электричества на корпус, органы управления и внешние экраны кабелей; микросекундным импульсным помехам в цепях питания; наносекундным импульсным помехам, поступающим от внешних источников на информационные цепи и цепи питания; излученным радиочастотным помехам; динамическим изменениям напряжения электропитания; магнитным полям промышленной частоты; импульсным магнитным полям; кратковременным синусоидальным

помехам в цепях защитного и сигнального заземления; микросекундным импульсным помехам в цепях защитного и сигнального заземления. В зависимости от класса безопасности ТСА и электромагнитной обстановки в месте предполагаемого размещения ТСА устанавливаются группы помехоустойчивости.

Влияние электромагнитной совместимости на ТСА рассматривают в двух аспектах: с одной стороны, это нарушение работоспособности ТСА под влиянием помех, а с другой — сами ТСА могут служить источниками помех для других изделий, в том числе других ТСА.

АЭС, как и другие объекты энергетики, обладают сложной структурой, занимают большую площадь, имеют электрические связи с электроэнергетическими системами, содержат разветвленные устройства собственных нужд, управления, релейной защиты, автоматизированного управления, измерений, связи, сигнализации и т. д. Они подвергаются разнообразным внешним и внутренним электромагнитным воздействиям в нормальных и аварийных режимах. Основными причинами таких воздействий являются:

удары молний непосредственно в объекты, подходящие линии или вблизи них;

коммутационные процессы на стороне высокого напряжения в результате плановых переключений, аварийных процессов (короткие замыкания, перекрытия изоляции линий электропередачи, переключения и т. д.), в том числе операции с разъединителями;

коммутационные процессы на стороне низкого напряжения при включениях и отключениях аппаратуры, содержащей индуктивные цепи с током или емкостные устройства с напряжением;

наличие сильноточных устройств, создающих сильные электрические и магнитные поля промышленной частоты;

наличие мощных высокочастотных устройств связи, передачи данных и т. д.;

наличие колебаний напряжения частоты высших гармоник, перерывов питания в цепях электроснабжения, оперативного тока и т. д.;

разряды статического электричества.

Устройства связаны между собой кабелями, которые передают питание на исполнительные механизмы, по ним проходят информационные и измерительные сигналы. На АЭС обязательными являются системы молниезащиты и заземления для защиты электрической изоляции от перенапряжений, а персонал — от опасных напряжений прикосновения. Эти системы выполняют функции обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) оборудования — его нормальное функционирование в заданной электромагнитной обстановке (без сбоев, потери информации, повреждений при воздействии перенапряжений и помех и пр.) и отсутствие эмиссии помех, опасных для другого оборудования, установленного вблизи или подключенного к общим электрическим коммуникациям, включая контуры заземления, зануления, шины опорного потенциала.

АЭС представляет собой комплекс зданий и сооружений с электротехническим оборудованием, элементы которого находятся под напряжениями до сотен киловольт. Высоковольтными устройствами АЭС являются линии электропередачи, распределительные устройства, системы собственных нужд, генераторы. ИУС относятся к низковольтным устройствам. К ним также можно отнести оперативные цепи, приводы, пульта управления, релейную защиту, устройства измерения технологических параметров, цепи сигнализации. Кроме того, в настоящее

время для управления технологическими процессами все больше используются современные электронные элементы на базе микропроцессорной техники. Сложность электрических схем электроэнергетических объектов (не только первичных, но и вторичных цепей, схем электрических присоединений оборудования к заземляющему устройству и т. д.), а также расширяющееся применение микропроцессорной техники, имеющей гораздо меньшие уровни рабочих напряжений и токов по сравнению с широко распространенной техникой (электромеханические реле, контакторы, счетчики электрической энергии и пр.), а следовательно, и меньшие пороги помехоустойчивости, обостряют проблемы электромагнитной совместимости на АЭС. Эксплуатация микропроцессорной техники в условиях мощных электрических и магнитных полей является характерной особенностью современных энергетических объектов [5]. Нормативные документы с требованиями по ЭМС разработаны как для первичных, так и для вторичных электрических цепей. При проведении экспертизы отделом надежности систем контроля и диагностики ГНТЦ ЯРБ было установлено, что разработчиками и поставщиками оборудования АЭС эти требования не всегда соблюдены в полной мере в ТЗ или ТУ. Распространенной ошибкой также является установление менее жестких требований к автоматизированным системам управления технологическими процессами из-за применения требований ГОСТов и других нормативных документов, устанавливающих требования для высоковольтного электрооборудования или электрооборудования, не имеющего функций управления.

Одна из важнейших задач, которую необходимо решать для обеспечения безопасности и надежности эксплуатации энергетических объектов (ЭО), — снижение (исключение) влияния промышленных электромагнитных воздействий на нормальное функционирование используемого оборудования. Опыт эксплуатации отечественных и зарубежных объектов показывает, что в условиях возникающих электромагнитных воздействий природного и техногенного характера возможны нарушения режимов эксплуатации, сопровождающиеся отключениями подачи электроэнергии. В связи с быстрым развитием и широким использованием микропроцессорной техники пороговый уровень электромагнитных помех, нарушающих нормальное функционирование энергетического оборудования, резко снизился. Время срабатывания электромеханических реле старого образца и электронного оборудования, разработанного в 1950—1980 гг., составляло около 20 мс, тогда как время срабатывания современного цифрового оборудования — около 0,2 мкс, т. е. в 100 000 раз меньше. Снижение рабочего напряжения реле с 110 до 5 В увеличило восприимчивость современного цифрового оборудования к высокочастотным электромагнитным помехам коммутационного характера, к магнитным и электрическим полям, микросекундным импульсным помехам большой энергии.

Из большого перечня электромагнитных воздействий природного и техногенного характера выделим наиболее жесткие и укажем последствия их влияния на оборудование АЭС.

Коммутационные помехи. Возникают при коммутациях мощных нагрузок в сети питания систем управления ЭО или при оперативных манипуляциях разъединителями или выключателями высокого напряжения вблизи шкафов ЭО (например, системы регулирования возбуждения электрических генераторов). Имеют высокочастотный характер, их амплитуда может достигать 4 кВ. Распространяются по

цепям питания, управления и защиты, линиям передачи данных как кондуктивным путем, так и в виде полевых наводок из окружающего пространства. Могут способствовать несанкционированному включению аварийных защит или прекращению аварийной разгрузки энергоблоков.

Динамические изменения напряжения и частоты сети электропитания. Могут возникать при аварийных включениях резерва или в аварийных режимах работы энергосистем и нарушать нормальный режим работы ЭО.

Разряды статического электричества с обслуживающего персонала на корпуса шкафов ЭО. Из-за своего высокочастотного характера могут легко проникать по индуктивным и емкостным связям непосредственно в элементную базу схем управления оборудованием и, как показывает опыт, приводить к несанкционированным включениям (отключениям) исполнительных механизмов ЭО.

Радиочастотные электромагнитные поля. Устойчивость ЭО к радиочастотным электромагнитным полям регламентируется стандартами в диапазоне частот 0,15–80 МГц и к кондуктивным радиочастотным токам помех в диапазонах 80–10 000 МГц и 1400–2000 МГц, а также к радиочастотному электромагнитному полю, образуемому средствами радиосвязи, в том числе мобильными радиотелефонами. Как показывает опыт эксплуатации энергетических объектов, использование мобильных радиотелефонов может привести как к формированию ложных сигналов о состоянии ЭО, так и к несанкционированной разгрузке энергоблоков.

Магнитные поля промышленной частоты. При нормальной эксплуатации в энергонасыщенных помещениях энергетических объектов магнитные поля промышленной частоты в основном влияют на оборудование, содержащее измерительные устройства, основанные на измерении магнитного поля.

Воздействие магнитных полей на мониторы автоматизированных систем контроля и управления ЭО может создать неустойчивое изображение на экранах мониторов, что утомляет зрение операторов и оказывает косвенное влияние на безопасность ЭО.

В условиях коротких замыканий в сети электропитания силовые кабели создают мощные кратковременные магнитные поля промышленной частоты, воздействие которых на мониторы приводит к изменению цветовой гаммы выбранного формата контроля распределения энерговыделения в технологической контуре, представляемого на экране монитора, что приводит к дезинформации оперативного персонала.

Импульсные магнитные поля. Природа их возникновения связана с коммутацией мощных нагрузок или с разрядами молнии. Механизм воздействия этих полей на ЭО аналогичен воздействию магнитных полей промышленной частоты.

Токи помех в цепях защитного и сигнального заземления. Качество функционирования ЭО напрямую зависит от сопротивления растекания заземляющих устройств (ЗУ), влияющего на разность потенциалов между точками контура заземления. Перепады потенциалов на ЗУ могут воздействовать на кабели передачи данных, цепи управления и защиты ЭО, способствуя несанкционированному формированию сигналов на срабатывание исполнительных механизмов в опасные для технологических процессов направления.

Приведем подробный пример коммутационных помех из приведенного перечня.

В электрической силовой цепи имеются выключатели, разъединители, отделители, которые могут замыкать (включать) или размыкать (отключать) электрические цепи. То же самое можно делать и в слаботочных цепях релейной

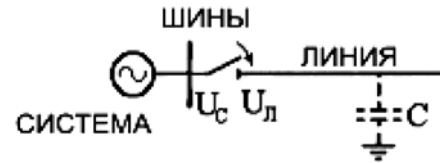


Рис. 1. Схема подключения участка линии разъединителем

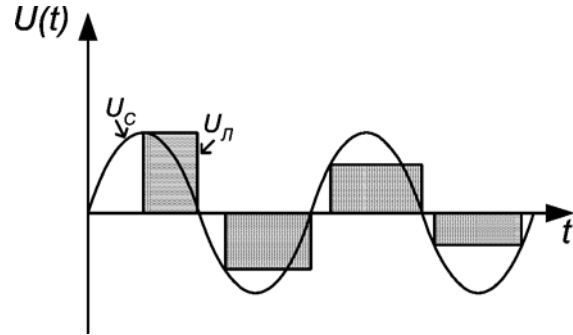


Рис. 2. Перенапряжения при включении короткой ненагруженной линии

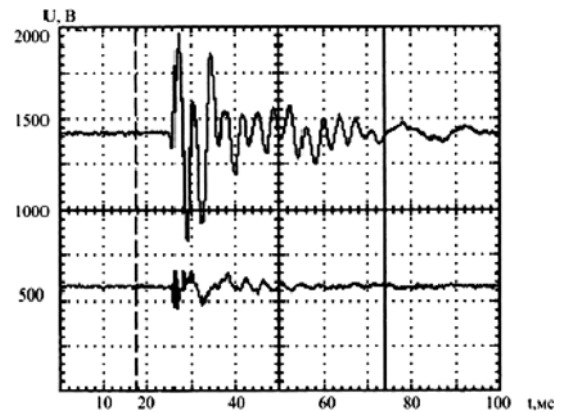


Рис. 3. Помеха при работе разъединителя

защиты, автоматики, связи с помощью контактов реле или других специальных устройств [6].

При переключениях в распределительных устройствах высокого напряжения, а также при операциях разъединителями возникают многочисленные повторные перекрытия (зажигания). Рассмотрим случай подключения (подачи напряжения) на короткий обесточенный участок линии (рис. 1). При приближении подвижного контакта разъединителя к неподвижному, если напряжение пробоя сближающихся контактов становится меньше максимального переменного напряжения, происходит первый пробой, во время которого подключаемый участок заряжается емкостным током, линия приобретает потенциал шин, с которых подается напряжение, и емкостный ток падает до нуля, дуга между контактами разъединителя гаснет. Потенциал линии во времени не меняется, а на шинах меняется по синусоидальному закону. Если в некоторый момент времени напряжение между контактами разъединителя превысит напряжение пробоя, произойдет второй пробой. Этот процесс повторяется неоднократно до тех пор, пока контакты разъединителя не сомкнутся.

На рис. 2 показан качественный характер изменения напряжения на шинах (U_C) и на линии (U_L).

При размыкании разъединителей протекают аналогичные процессы. На рис. 3 с помощью осциллографа

Таблица 1. Напряженность электрического и магнитного полей

Номинальное напряжение, кВ	Коммутируемый аппарат	Напряженность электрического поля и частота колебаний		Напряженность магнитного поля и частота колебаний	
		f, МГц	E, кВ/м	f, МГц	E, кВ/м
500	Разъединитель на ОРУ	0,5	15,0	0,5	150,0
230		1,0÷2,0	6,0	1,0÷2,0	90,0
115		2,0÷3,0	10,0	2,0÷3,0	50,0
500	Разъединитель в элегазовой ячейке	20,0	8,0	10,0	100,0
230		115,0	5,0	40,0	90,0

с максимальной частотой дискретизации 1 ГГц записан реальный ток при коммутации разъединителей. Максимальные зафиксированные уровни помех при работе разъединителей составляют более 5 кВ.

В табл. 1 приведены характерные значения напряженностей электрического и магнитного полей, частота их колебаний при операциях отключения различными разъединителями.

Многочисленность пробоя обеспечивается изменением полярности питающего напряжения. В этом случае возникает целая серия затухающих колебательных помех, следующих друг за другом через 5—15 мс.

Электромагнитные помехи возникают и при коммутациях в цепях релейной защиты и автоматики. В качестве примера рассмотрим простейший случай питания катушки промежуточного реле КЛ через переключатель П от источника постоянного тока Б (рис. 4). В нормальном режиме контакты переключателя П замкнуты, в цепи протекает постоянный ток i . В реле КЛ создается магнитный поток Φ . При отключении переключателя П ток пытается снизиться до нуля, а вместе с ним пытается снизиться до нуля поток Φ . Это приводит к появлению на выводах катушки КЛ ЭДС самоиндукции $U_L = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

Поскольку мы предположили, что ток i , а вместе с ним и поток Φ мгновенно снизились до нуля, то $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \rightarrow \infty$, т. е. $U_L = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ стремится к бесконечно большому значению (до нескольких киловольт).

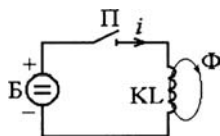


Рис. 4. Схема питания катушки промежуточного реле

В действительности величина U_L будет ограничена. При размыкании переключателя П к его контактам приложена ЭДС самоиндукции U_L в несколько киловольт. Это напряжение пробивает воздушный промежуток между подвижным и неподвижным контактами П, и в цепи снова появляется ток, что приводит к снижению тока, росту U_L и пробоем контактов П. Процесс прекратится только тогда,

когда контакты переключателя П удалятся друг от друга настолько, что необходимое напряжение горения дуги превысит фактически имеющееся напряжение на контактах. Таким образом, при отключении катушки реле КЛ будем иметь серию токовых импульсов большой крутиз-

ны $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ (рис. 5). Крутизна импульса ограничивается нали-

чием некоторого активного сопротивления в катушке КЛ. Импульсы тока являются первопричиной (источником) возникновения электромагнитных полей (помех).

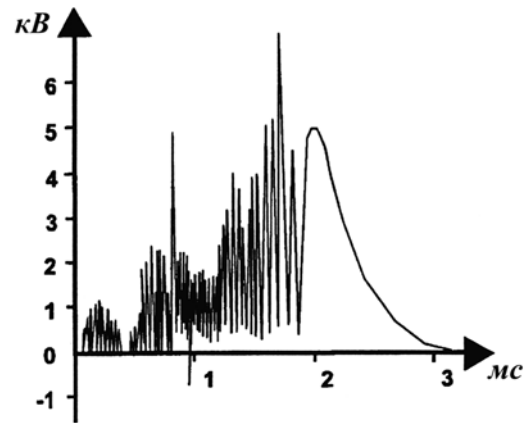


Рис. 5. Многократный пробой контакта при отключении

Это особенно опасно там, где современную цифровую аппаратуру устанавливают рядом с электромеханическими системами защиты и автоматики.

Электромагнитные помехи можно также разделить на две общие группы:

излучаемая ЭМП — помеха, распространяющаяся в окружающем пространстве;

кондуктивная ЭМП — помеха, распространяющаяся в проводящей среде (по проводам, проводящим поверхностям, т. е. помеха, передающаяся контактным способом) [9].

Обычно под словом «помеха» подразумевают именно излучаемую помеху, хотя влияние ее на ИУС, как правило, менее существенно и меры подавления проще, чем для кондуктивных помех. Учитывая это, а также целесообразность нормирования стойкости изделий к изменениям параметров электропитания в рамках требований по ЭМС компонентов ИУС [3], остановимся подробнее на этом аспекте как виде помех. ИУС, важные для безопасности, являются электроприемниками 1-й категории, особой группы в соответствии с главой 1 «Правил устройства электроустановок» [8] и получают питание однофазным или трехфазным переменным током от сети собственных нужд АЭС (далее — сеть первичного электропитания). Стандарт [2] устанавливает нормы качества электрической энергии (КЭЭ), которые являются уровнями электромагнитной совместимости для кондуктивных электромагнитных помех в системах электропитания общего назначения. При соблюдении указанных норм обеспечивается электромагнитная совместимость электрических сетей систем электропитания общего назначения и электрических сетей потребителей электрической энергии (приемников электрической энергии). Нормы, установленные настоящим стандартом, применяют при проектировании и эксплуатации электрических сетей, а также при установлении уровней помехоустойчивости

приемников электрической энергии. Примером применения этих норм являются такие ИУС, как АЗ-ПЗ, РОМ, АРМ, СИАЗ, СГИУ, ИВС, СВРК и др. Нормы распространяются на технические средства, участвующие в процессе производства, передачи и потребления электрической энергии.

Существуют разнообразные теоретически-расчетные методы, направленные на увеличение помехозащищенности устройств. В качестве примера можно привести разложение электрического сигнала в ряд Фурье для определения спектров помех, применение теоремы Котельникова для дискретной передачи непрерывных сигналов. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики является сложной и трудно поддается расчетам, потому во многих случаях ее определяют экспериментально. Для этого необходимо разрабатывать специальные методики и устройства.

Непосредственно на практике уровни допустимых помех можно регулировать различными техническими мероприятиями. В обобщенном виде к таким мероприятиям относятся выбор режима работы (например, ограничение токов короткого замыкания, регулирование напряжения, частоты, алгоритма оперативных переключений и т. д.), молниезащита, заземление, экранирование, прокладка электрических коммуникаций, уравнивание и выравнивание потенциалов, использование защитных устройств, ограничивающих перенапряжения (например, разрядников, ограничителей перенапряжений, варисторов, ограничительных диодов, комбинированных устройств), фильтров, использование строительных конструкций в качестве экранов, рациональное размещение оборудования и многое другое.

ИУС состоит из множества компонентов. В качестве такого конкретного компонента рассмотрим источник вторичного электропитания ИУС. Примерами технических решений по увеличению помехоустойчивости такого источника и приведение уровней вышеперечисленных электромагнитных помех к значениям, не превышающим нормы, могут служить применение схем с универсальным входом, оптимальный выбор конденсатора сетевого выпрямителя, выбор параметров импульсного управления (широотно-импульсная и частотная модуляция, включая введение управляющего сигнала по изменению входного напряжения), применение варисторов на входе сетевого помехоподавляющего фильтра, экранированного кожуха, минимизация площадей контуров с повышенным индуктивным сопротивлением, применение ограничителей скорости нарастания напряжения RC-цепей, применение мощных стабилитронов, уменьшение индуктивности рассеяния трансформатора, минимизация паразитной емкости между первичной и вторичной обмоткой трансформатора при помощи специальных экранных обмоток, оптимизация и разнесение контуров (силовых и управляющих), оптимальная разводка «земель», применение специальных конденсаторов с малым импедансом на высоких частотах [7].

С целью устранения дефицитов безопасности АСУ ТП, в том числе для соблюдения положений нормативных документов о помехоустойчивости, проводится модернизация ИУС и ПТК энергоблоков АЭС. В качестве примеров можно привести завершённые модернизации следующих ИУС: СГИУ-М (управление органами регулирования СУЗ на энергоблоке № 4 РАЭС, всех энергоблоках ЮУ АЭС, энергоблоках №№ 1 и 2 ХАЭС, энергоблоках №№ 3—5 ЗАЭС; разработчик — SKODA JS); АКНП-ИФ (контроль плотности и скорости изменения нейтронного потока на энергоблоках №№ 1—4 РАЭС, энергоблоке № 3 ЮУ

АЭС, энергоблоках №№ 1 и 2 ХАЭС; разработчик СНПО «Импульс»); СППБ (предоставление параметров безопасности на энергоблоке № 3 РАЭС, всех энергоблоках ЮУ АЭС, энергоблоке № 1 ХАЭС, всех энергоблоках ЗАЭС; разработчик — ООО «Вестрон»); СУМП (управление машиной перегрузочной на энергоблоке № 4 РАЭС, энергоблоках №№ 1 и 2 ЮУ АЭС, энергоблоке № 2 ХАЭС, энергоблоке № 2 ЗАЭС; разработчик ООО «Evig»).

Вычислительные комплексы СМ-2М ИВС «Комплекс Титан-2» разработки 1970-х годов имеют устаревшую архитектуру, низкую надежность, недостаточный объем функции самодиагностики, а также не имеют требуемого объема памяти и быстродействия, не могут обеспечить требования, которые предъявляются к современной АСУ ТП. Это же относится и к устройствам М-64 и УЛУ2-ЭВМ. Поэтому возникла необходимость замены устаревшей ИВС на новую ИВС разработки ЗАО «Импульс» (г. Северодонецк), на базе современных микропроцессорных устройств сбора и обработки информации и высокопроизводительных рабочих станций, объединенных общей информационной блочной сетью с выводом информации на современные дисплеи. При установке новой ИВС на нее возложены функции СППБ, центра технической поддержки операторов в аварийных ситуациях, информационной системы «Опыт эксплуатации энергоблока и АЭС» и температурного контроля генератора (А701-03).

Блоки унифицированного комплекса технических средств (УКТС) разработки и изготовления 1980-х годов обладают недостаточными надежностью, помехозащищенностью, имеют скрытые отказы, недостаточную диагностируемость и к тому же после длительного хранения пришли в частичную или полную негодность. Поэтому они заменяются на модернизированные блоки УКТС с достаточной глубиной самодиагностики каждого шкафа и каждого блока [4]. Отдельно хочется отметить, что все большее применение находит использование волоконно-оптической линии как метод борьбы с электромагнитными помехами (например, обмен информацией между различными ПТК).

Обязательным условием улучшения помехоустойчивости для новых и модернизируемых ИУС является использование элементной базы ведущих зарубежных фирм — Motorola, Philips, Atmel и др. Украинские разработчики применяют высоконадежные микросхемы, конденсаторы, диоды, соединители, резисторы, варисторы. Например, в устройствах силового управления приводами ПТК СГИУ логическая часть выполнена на базе микроконтроллера фирмы Analog Devices, силовая — на тиристорных модулях Еурес, диодах и транзисторах SEMIKRON. Широко применяются и высококачественные готовые изделия — компоненты ИУС: серверы и сетевые коммутаторы Siemens Hewlett-Packard Co, мониторы Samsung, источники бесперебойного питания GE Digital Energy.

Напряженность электрического поля может служить не только источником помех оборудования, но и представлять опасность для здоровья и жизни человека, в частности обслуживающего персонала АЭС. Стандартом [10] устанавливаются допустимые уровни напряженности электрического поля (ЭП):

1. Предельно допустимый уровень напряженности воздействующего ЭП устанавливается равным 25 кВ/м. Пребывание в ЭП напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

2. Пребывание в ЭП напряженностью до 5 кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня.

3. При напряженности ЭП свыше 20 до 25 кВ/м время пребывания персонала в ЭП не должно превышать 10 мин.

4. Допустимое время пребывания в ЭП напряженностью свыше 5 до 20 кВ/м включительно вычисляются по формуле

$$T = \frac{50}{E} - 2,$$

где T — допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч; E — напряженность воздействующего ЭП в контролируемой зоне, кВ/м.

Исследования показали, что степень функциональных расстройств зависит от длительности пребывания человека в электрическом поле. Наиболее чувствительна нервная система. Вслед за расстройством нервной системы могут возникать расстройства сердечно-сосудистой системы, изменения в составе крови. В электрическом поле, напряженность которого превышает 25 кВ/м, можно работать только с применением средств индивидуальной защиты.

Выводы

В связи с широким внедрением информационных и управляющих систем, важных для безопасности АЭС, возрастает влияние воздействий внешних электрических и электромагнитных воздействующих факторов. Данные факторы способны привести к серьезным авариям в работе ИУС и электротехнического оборудования. Кроме того, при ремонте и замене этих вышедших из строя устройств или их комплектующих не всегда правильно устанавливается, что причиной поломки могут стать именно воздействия этих ВВФ, что в итоге приводит к аналогичной или еще более серьезной поломке. Исходя из результатов проведенных экспертиз сотрудниками ГНТЦ ЯРБ, следует отметить, что борьба с вредным влиянием данных ВВФ заключается прежде всего в правильном применении разработчиками и эксплуатационниками АЭС требований соответствующих нормативных документов, исходя из выполняемых функций оборудования, его месторасположения, элементной базы и многих других факторов. Наряду с расчетными методами повышения помехоустойчивости применяются апробированные универсальные практические решения, внедряются современные ИУС ведущих

производителей. В соответствии с международными стандартами идет процесс внесения изменений в нормативные документы, действующие в Украине, в частности нормируется стойкость к изменению параметров электропитания в рамках требований по ЭМС компонентов ИУС.

Список использованной литературы

1. *НП 306.5.02/3.035-2000*. Вимоги з ядерної та радіаційної безпеки до інформаційних і керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій. — Затверджено наказом Держатомрегулювання України від 28.03.2000 № 19.
2. *ГОСТ 13109-97*. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. *Розен Ю. В.* Электромагнитная совместимость компонентов информационных и управляющих систем (1): правила нормирования и оценки помехоустойчивости // Ядерная и радиационная безопасность. — 2007. — № 2.
4. Безопасность атомных станций: Системы управления и защиты ядерных реакторов. / М. А. Ястребенецкий, Ю. В. Розен, С. В. Виноградская и др.; Под ред. М. А. Ястребенецкого. — К.: Основа-Принт, 2011. — 764 с.
5. Электромагнитная совместимость электрической части атомных электростанций / Под ред. Даниленко К. Н. и Кужекина И. П. — М., Знак, 2006. — 280 с.
6. *Висящев А. Н.* Электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах. — Иркутск: ИРГТУ, 2005. — 693 с.
7. *Эраносян С. А.* Электромагнитная совместимость импульсных источников питания. Проблемы и пути их решения. Ч. 1 // Силовая электроника. — М., 2006. — № 4.
8. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), Минэнерго России, 6-е изд. 1998.
9. *ГОСТ 30372-95*. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения.
10. *ГОСТ 12.1.002-84 (1999)* — ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.

Получено 14.11.2011.