

ДИАГНОСТИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

УДК 539.216:546.824-31

*Е. Н. ЗАЦЕПИН, С. В. ДРОБОТ***ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ БЕЛОРУССКОЙ АЭС***Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники**(Поступила в редакцию 17.07.2014)*

Введение. Главная особенность технологического процесса на АЭС заключается в образовании значительного количества радиоактивных продуктов деления в тепловыделяющих элементах активной зоны реактора. Для надежного удержания (локализации) радиоактивных продуктов в ядерном топливе и в границах сооружений атомной станции, строящейся в Беларуси по проекту АЭС-2006, предусматривается ряд последовательных физических барьеров на пути их распространения в окружающую среду [1].

Как показывает практика, на АЭС возможны нарушения режимов нормальной эксплуатации и аварийные ситуации с выходом радиоактивных веществ за пределы АЭС [2–4]. Это представляет потенциальный риск для персонала АЭС, населения и окружающей среды и требует принятия технических и организационных мер, снижающих вероятность возникновения данных ситуаций до приемлемого минимума. Обеспечение таких мер осуществляется системами безопасности и системами управления запроектными авариями.

Международные документы по обеспечению безопасности. К настоящему времени мировым сообществом выработаны общие принципы обеспечения безопасности АЭС. Они универсальны для всех типов реакторов, хотя и существует необходимость их адаптации к проектным или эксплуатационным особенностям конкретных реакторных установок. Эти принципы уточняются и дополняются по результатам опыта эксплуатации и анализа аварий. Основные принципы безопасности содержатся как в российской нормативной, так и в международной нормативно-регламентирующей документации. Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) и Международной консультативной группой по ядерной безопасности (INSAG) разработан ряд рекомендательных документов, определяющих общие подходы и принципы обеспечения безопасности: «Основные принципы безопасности атомных электростанций» (INSAG-3), «Культура безопасности» (INSAG-4) [5, 6], а также «Основополагающие принципы безопасности» [7] и др. В Российской Федерации действует более сотни специальных правил и норм (например, серия «Правила и нормы в атомной энергетике» – ПНАЭ) [8–12]. Эта документация нормативного характера охватывает все этапы жизненного цикла АЭС. Она разработана на основе международного опыта с учетом российской специфики. В частности, в «Общих положениях обеспечения безопасности атомных станций (НП-001-97)» определены основные цели, критерии и принципы безопасности АЭС, на основе которых разработаны специальные нормы и правила следующих уровней, учтены рекомендации INSAG-3, INSAG-4 и других документов МАГАТЭ [5, 6].

Международным сообществом формулируются 12 фундаментальных принципов безопасности, три из которых связаны с управлением безопасностью, три – с глубоководной защитой и шесть – с техническими принципами обеспечения безопасности [7].

В понятие «управление безопасностью» входят культура безопасности; ответственность эксплуатирующей организации; нормативный контроль и независимая проверка.

Реализация принципов обеспечения безопасности. Принцип глубокоэшелонированной защиты лежит в основе всей технологии безопасности АЭС. Его реализация направлена на решение двух главных задач обеспечения безопасности: предотвращение аварий на АЭС и ослабление их последствий. Данный принцип предполагает создание ряда последовательных уровней защиты:

комплекс последовательных физических барьеров на пути распространения радиоактивных продуктов в окружающую среду;

ряд технических и административных мероприятий по сохранению целостности и эффективности этих барьеров;

организационные мероприятия по защите населения и окружающей среды в случае разрушения барьеров.

Система последовательных физических барьеров включает в себя следующие элементы, показанные на рисунке:

топливная матрица;

оболочка тепловыделяющего элемента;

граница теплоносителя первого контура;

контеймент – прочная герметичная оболочка, представляющая собой внешнее защитное ограждение, в котором расположены ядерный реактор и оборудование первого контура. Он предназначен для локального удержания продуктов деления в аварийных ситуациях и предотвращения специфических внешних угроз.

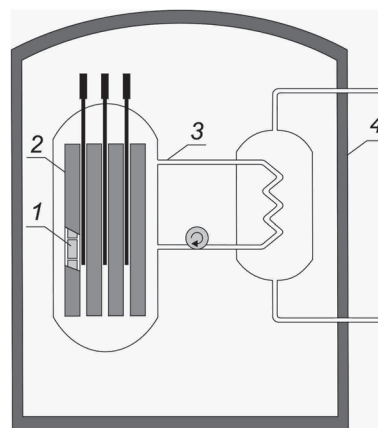
Принцип глубокоэшелонированной защиты распространяется не только на элементы, оборудование и инженерно-технические системы, влияющие на безопасность АЭС, но также на деятельность человека и имеет пять уровней безопасности.

Первым уровнем безопасности являются качественно выполненный проект АЭС, в котором все проектные решения обоснованы и обладают определенной степенью консерватизма с точки зрения безопасности, и высокая степень подготовки и квалификации эксплуатационного персонала.

Вторым уровнем безопасности АЭС является обеспечение готовности оборудования и систем, важных для безопасности станции, с учетом возможных единичных отказов и отказов по общей причине. Согласно требованиям НП-001–97, под принципом единичного отказа понимается принцип, в соответствии с которым система должна выполнять заданные функции при любом требующем ее работы исходном событии и при независимом от исходного события отказе одного любого из активных или пассивных элементов, имеющих механические движущиеся части. На практике принцип единичного отказа реализуется путем резервирования. Резервирование предполагает применение двух и более аналогичных систем или независимых каналов одной системы, идентичных по своей структуре.

Для уменьшения вероятности отказов резервированных систем или их каналов по общей причине применяются принципы разнообразия и физического разделения систем и оборудования.

Наиболее наглядным примером резервирования и обеспечения защиты от отказов по общей причине является система аварийного охлаждения активной зоны реактора АЭС. Она имеет трехкратное резервирование и каждая из входящих в нее подсистем может самостоятельно выполнить проектную функцию безопасности в полном объеме. Физическое разделение обеспечивает устойчивость резервированных систем или их каналов к одновременному отказу по общей причине. Создание между



Основные элементы системы безопасности, обеспечивающие принцип глубокоэшелонированной защиты, проекта АЭС-2006: 1 – топливная матрица; 2 – оболочка тепловыделяющего элемента; 3 – граница теплоносителя первого контура; 4 – контеймент

системами или каналами физических барьеров (путем использования огнеупорных перегородок, отдельных кабельных проводов, размещения оборудования в разных помещениях или удаления его элементов друг от друга) обеспечивает сохранение работоспособности остальных систем или каналов при повреждении одного из них при пожаре, внутреннем или внешнем затоплении или по другим причинам общего характера. Разнотипность оборудования подразумевает применение разных по принципу действия систем, выполняющих одни и те же функции. В случае возникновения отказов в работе органов регулирования системы управления и защиты реактора типа ВВЭР ее функции могут быть выполнены увеличением концентрации борной кислоты в первом контуре до требуемого значения с использованием системы аварийного ввода бора.

Третий уровень защиты АЭС обеспечивается инженерными системами безопасности, предусматриваемыми в проекте станции. Он направлен на предотвращение перерастания отклонений от режимов нормальной эксплуатации в проектные аварии и перерастания проектных аварий в тяжелые запроектные аварии. Основными задачами на этом уровне защиты являются: аварийный останов реактора, обеспечение отвода тепла от активной зоны реактора с помощью специальных систем, а также локализация радиоактивных веществ в заданных проектом границах помещений или сооружений АЭС. Эти мероприятия включают систему аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ), спринклерную систему и систему аварийного парогазоудаления [1, 10]. Система аварийного охлаждения активной зоны является защитной системой безопасности и обеспечивает отвод тепла от активной зоны в аварийных режимах. Она состоит из двух узлов: пассивного и активного.

Пассивный узел предназначен как для аварийного расхолаживания активной зоны и отвода остаточного энерговыделения при авариях, связанных с разуплотнением первого контура, так и для планового расхолаживания установки при останове и отводе остаточного энерговыделения при перегрузке топлива. Система начинает подачу воды не позднее, чем через 35–40 с от момента возникновения в первом контуре аварийного давления. В состав системы входят насосы, бак-приямки борированной воды и теплообменники аварийно-планового расхолаживания.

Активный узел состоит из двух независимых контуров: аварийно-планового расхолаживания и аварийного ввода и впрыска бора. Активная система аварийного впрыска бора осуществляет подачу раствора борной кислоты в первый контур. Это необходимо для предотвращения аварий, приводящих к появлению положительной реактивности в активной зоне с сохранением высокого давления в контуре. Система обеспечивает подачу раствора борной кислоты после аварийного сигнала. В ее состав входят баки аварийного запаса борного концентрата и насосные агрегаты.

Спринклерная система предназначена для локализации аварий с разрывом трубопроводов первого и второго контуров в пределах гермооболочки. При такой аварии в гермооболочке возрастает давление. Чтобы не допустить ее разрушения, а также связать радиоактивные изотопы йода и осуществить аварийное заполнение бассейна выдержки топлива, спринклерная система подает раствор борной кислоты во множество форсунок под куполом гермооболочки. С помощью орошения спринклерным раствором во внутреннем объеме оболочки конденсируется пар и снижается давление. В состав системы входят центробежные и водоструйные насосы, баки спринклерного раствора и распылительные форсунки.

Система аварийного парогазоудаления предназначена для удаления газовой смеси из оборудования первого контура: верхних точек реактора, компенсатора давления, коллекторов парогенераторов по первому контуру. Она представляет собой комплекс электроприводной запорной арматуры и трубопроводов, соединяющих основное оборудование первого контура с барботажным баком системы компенсации давления, в который в случае необходимости производится сброс парогазовой смеси.

Система аварийной подпитки парогенераторов предназначена для работы в условиях аварий системы питательной воды второго контура, что необходимо для создания условий

расхолаживания реакторной установки. В ее состав входят насосы и баки химически обессоленной воды.

Четвертым уровнем глубокоэшелонированной защиты АЭС является управление запроектными авариями. Этот уровень защиты станции обеспечивается заранее запланированными и отработанными мероприятиями по управлению ходом развития запроектных аварий.

Пятый уровень защиты – противоаварийные меры вне площадки АЭС. Основная задача этого уровня состоит в ослаблении последствий аварий с точки зрения уменьшения радиологического воздействия на население и окружающую среду. Данный уровень защиты обеспечивается за счет противоаварийных действий на площадке АЭС и реализации планов противоаварийных мероприятий на местности вокруг АЭС.

Таким образом, реализация принципа глубокоэшелонированной защиты позволяет достигать главной цели безопасности при эксплуатации – предотвращения отказов и аварий, а в случае их возникновения предусматривает средства по их преодолению и ограничению последствий.

Общие технические принципы распространяются на апробированную инженерно-техническую практику; обеспечение качества; человеческий фактор; оценку и проверку безопасности; высокое качество эксплуатации; самоанализ и независимый партнерский анализ.

Заключение. При создании проекта АЭС-2006 особое внимание уделено повышению его безопасности с учетом опыта новых разработок в этой области, а также строительства новых станций в Индии и Китае. В проекте соблюдены как качественные показатели безопасности, когда функции безопасности должны выполняться активными и пассивными элементами, так и количественные показатели. Расчетная вероятность тяжелого повреждения активной зоны реактора по всем исходным событиям не превышает 10^{-6} на реактор в год; расчетная вероятность серьезных чрезвычайных ситуаций с выходом радиоактивности в окружающую среду не превышает 10^{-7} на реактор в год. Предусмотрено также минимальное влияние на показатели безопасности человеческого фактора (ошибки, ошибочные решения, бездействие персонала) и отказов обеспечивающих и управляющих систем безопасности (обесточивание в энергосистеме, отсутствие охлаждающей воды). Безопасность АЭС формируется широким применением концепции глубокоэшелонированной защиты.

Положенные в основу систем безопасности 12 принципов защиты позволяют значительно снизить вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций при потере внешнего электроснабжения, отказах аварийного электроснабжения и природных катаклизмах, приводящих к длительной потере внешней водной среды как конечного поглотителя тепла. Основными инновациями в системах безопасности АЭС-2006 по сравнению с типовым проектом ВВЭР-1000 являются пассивные технологии: отвод тепла; залив активной зоны (гидроемкости первой и второй ступеней); фильтрация межболочного пространства; локализация и удержание расплавленных материалов активной зоны. Применение пассивных систем предотвращает переход запроектных аварий в тяжелую стадию, при которой происходит повреждение активной зоны, обеспечивает локализирующие свойства контейнмента и ограничивает количество радиоактивных выбросов со станции.

Литература

1. Проект АЭС-2006. Ленинградская АЭС-2. ФГУП Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Атомэнергопроект», 2007.
2. Иванов Е. А., Хамьянов Л. П. // Атомная энергия. 1997. Т. 83, вып. 3. С. 222.
3. Крышев И. И., Рязанцев Е. П. // Атомная энергия. 1998. Т. 85, вып. 2. С. 158–164.
4. Иванов Е. А., Рамзина Т. В. // Атомная энергия. 1995. Т. 79, вып. 3. С. 215.
5. Основные принципы безопасности атомных электростанций: Докл. Междунар. конс. группы по ядерной безопасности. № 75-INSAG-3. МАГАТЭ. Вена, 1989.
6. Культура безопасности: Докл. Междунар. конс. группы по ядерной безопасности. № 75-INSAG-4. МАГАТЭ. Вена, 1991.
7. Основополагающие принципы безопасности. Основы безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № SF-1. МАГАТЭ. Вена, 2007.

8. Закон Российской Федерации «Об использовании атомной энергии» № 170-ФЗ от 12.11.1995.
9. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций НП-001–97. М., 1998.
10. Безопасность атомных станций: Справочник. М., 1994.
11. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций НП-082–07.
12. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. НП-031–01 // Вестн. Госатомнадзора России. 2001. № 6.

E. N. ZATSEPIN, S. V. DROBOT

BASIC SAFETY PRINCIPLES OF BELARUSIAN NUCLEAR POWER PLANT

Summary

Safety systems of Belarusian nuclear power plant project realising safety basic principles in according to recommendations of International atomic energy agency are presented.