

УДК 621.039.51(07)

А.В. ШЕПИТЧАК, Н.И. ОДИЙЧУК, А.О. ПЕРЕВОЗНИКОВ, С.В. ШИРОКОВ

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКОВ №2 ХМЕЛЬНИЦКОЙ АЭС И №4 РОВЕНСКОЙ АЭС

В настоящее время уделяется огромное внимание вопросам безопасности АЭС. Разработаны целые методики с мощным программным обеспечением, позволяющие оценивать уровень безопасности АЭС на этапах проектирования, эксплуатации и снятия с эксплуатации.

Вероятностный анализ безопасности (ВАБ) является одним из наиболее действенных и эффективных инструментов в оценке риска эксплуатации действующих и проектируемых энергоблоков АЭС [1].

Задача ВАБ

Основной задачей проведения ВАБ является разработка отчета по анализу безопасности, который входит в состав документов, необходимых для получения лицензии на ввод в эксплуатацию ядерной паропроизводящей установки (ЯППУ) [1].

Цели ВАБ

Основные цели проведения ВАБ:

1) количественная оценка уровня безопасности и его сопоставление с действующими стандартами. Согласно "Общих положений обеспечения безопасности атомных станций-2000" [2] вероятность тяжелого повреждения активной зоны при запроектных авариях не должна превышать 10^{-5} на реактор в год;

2) определение наиболее важных факторов, влияющих на безопасность атомной станции: выявление проблем, обусловленных проектом или эксплуатацией, которые требуют решения или дальнейшего изучения (определение комбинаций исходных событий, отказов оборудования и ошибок персонала, которые могут привести к нежелательным последствиям со значительной частотой);

3) получение информации, необходимой для повышения уровня текущей эксплуатации (определение или уточнение технических требований по режимам эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и испытаниям систем и отдельного оборудования).

Выполнение ВАБ АЭС разбито на несколько уровней, каждый из которых имеет свои конкретные цели и задачи.

Объем выполнения вероятностного анализа безопасности первого уровня (ВАБ-1) ограничен рассмотрением только внутренних событий. Объектом анализа является основной потенциальный источник радиоактивного загрязнения окружающей среды и облучения персонала, а также населения за пределами станции - активная зона реактора, работающего на номинальном уровне мощности.

Основной целью выполнения ВАБ-1 является определение интегрального показателя риска эксплуатации энергоблока АЭС – частоты

повреждения активной зоны (ЧПАЗ).

В большинстве случаев ВАБ АЭС ограничен этим уровнем [1].

Уровень ВАБ-0 – (системный анализ) – определен для анализа отдельных систем.

ВАБ-2 определяет количество выбрасываемых продуктов радиоактивного распада при повреждении или разрушении активной зоны ядерной установки, изотопный состав продуктов распада – размер выбросов, и оценку вероятностей или частот таких событий, то есть ВАБ-2 рассматривает запроектные аварии.

ВАБ-3 содержит анализ распространения радиоактивных веществ при запроектной аварии – разрушение или повреждение активной зоны (или других источников радиоактивности на АЭС) в зависимости от метеорологических, климатических, гидрографических и других условий протекания запроектной аварии. Результаты ВАБ-3 используют для разработки плана мероприятий по защите населения при тяжелых авариях.

"Living PSA" – "живой ВАБ" – периодически обновляемый ВАБ АЭС. В расчетах учитываются все изменения, проводимые на блоке во время ремонтов и технического обслуживания. Используется для оценки проводимых мероприятий по безопасности [1].

Методология проведения ВАБ

В рамках выполнения ВАБ-1 по энергоблокам №2 Хмельницкой АЭС (ХАЭС) и №4 Ровенской АЭС (РАЭС) существует ряд руководств, которые выполнены с учетом требований действующих стандартов. Все руководства имеют между собой взаимосвязь.

Рассмотрим краткое описание некоторых методических руководств.

База данных по описанию систем. В руководстве представлена процедура сбора данных по системам, процедура выполнения анализа систем и создания базы данных по системам энергоблока, которые необходимы для моделирования деревьев отказов систем, деревьев событий в процессе выполнения ВАБ-1, а также для выполнения теплогидравлических расчетов при выполнении детерминистических анализов безопасности.

База данных по надежности. Цель разработки – получение представительной информации о параметрах надежности оборудования на основании обобщенных данных, которые являются единственными источниками информации при проведении истинных оценок, так как для обоих энергоблоков

не существует собственных эксплуатационных данных.

База данных по аномальным событиям и инцидентам. Для получения достоверных результатов при проведении ВАБ требуется представительная информация по частотам исходных событий аварий (ИСА).

В результате выполнения задачи по сбору базы данных по аномальным событиям и инцидентам на основании анализа опыта эксплуатации оборудования украинских энергоблоков ВВЭР-1000, а также других обобщенных данных должны быть получены:

- расширенный перечень ИСА с исходными событиями, специфическими для анализируемого энергоблока;

- основа для оценки частот ИСА;

- количественная оценка частот.

Сбор базы данных по ЯППУ. В соответствии с данным руководством для каждого элемента ЯППУ описываются детальные проектные геометрические, теплогидравлические и нейтронно-физические характеристики в объеме, достаточном для дальнейшего моделирования оборудования ЯППУ с помощью теплогидравлических и нейтронно-физических кодов.

Идентификация и группирование ИСА. Документ описывает методологию идентификации потенциальных случаев (исходных событий аварий), которые приводят к нарушению нормальных условий эксплуатации энергоблока, аварийному останову реактора и необходимости обеспечения отвода остаточных тепловыделений.

Анализ критериев успеха. Целью анализа является установить для каждого исходного события аварии минимальные требования к системам, выполнение которых позволяет системам успешно выполнить соответствующие функции безопасности в условиях ИСА; в конечном счете, ставить долговременные стабильные условия, предотвращающие повреждение активной зоны реактора и/или выброс радиоактивности.

Анализ систем (моделирование деревьев отказов). Целью данной работы является идентификация и количественная оценка возможных отказов систем энергоблока, влияющих на протекание аварии. Для каждой системы, определенной на стадии анализа аварийных последовательностей (АП), разрабатываются соответствующие деревья отказов.

Определение аварийных последовательностей (моделирование деревьев событий). Документ описывает методы, взаимосвязь со смежными задачами, требования по

документированию и номенклатуре информации, необходимой для моделирования деревьев событий и идентификации АП для ВАБ энергоблока.

Анализ надежности персонала. Целью выполнения анализа человеческого фактора является оценка вероятности базисных событий ошибки персонала, включенных в ВАБ энергоблока.

Количественный анализ. Производится количественная оценка АП, определенных на стадии анализа деревьев событий.

Анализ станционных данных

Аналізу даних в ВАБ надається більше значення. "Руководство по проведению вероятностного анализа безопасности атомных станций" МАГАТЭ [3] рекомендует задачу анализа данных рассматривать как отдельную задачу, а в отчете по ВАБ этому вопросу отводить отдельную главу.

Процедуру анализа данных для выполнения ВАБ-1 можно посмотреть на примере энергоблоков №2 ХАЭС и №4 РАЭС.

Энергоблоки №2 ХАЭС и №4 РАЭС строятся по унифицированному проекту АЭС с реактором ВВЭР-1000 (реакторная установка В-320). Установленная мощность такого энергоблока 1000 МВт (эл.).

Данный проект обладает всеми качествами, обеспечивающими ядерную и радиационную безопасность, присущими АЭС с водоводяными реакторами ВВЭР-1000, а именно:

- реактор, обладающий свойствами внутренней самозащищенности;
- реакторная установка и основное оборудование 1 контура с радиоактивным теплоносителем расположены в герметичной оболочке из напряженного железобетона, рассчитанной на избыточное давление;
- энергоблок оснащен системами безопасности, выполненными по 3-х канальному принципу, которые обеспечивают радиационную и ядерную безопасность в любом из проектных режимов.

ХАЭС расположена в северо-западной части Украины, на севере Хмельницкой области, в западной части Славутского района. Расстояние от площадки АЭС до районного центра Славута (по прямой) в юго-восточном направлении – 15 км; до областного центра Хмельницкий в южном направлении – 100 км; до ближайшего областного центра Ровно в северо-западном направлении – 44 км; до столицы государства Киев в восточном направлении – 265 км [1].

Система охлаждения конденсаторов турбин

и система технической воды ответственных потребителей на энергоблоке №2 ХАЭС замкнутые, с прудом-охладителем. Система технической воды ответственных потребителей работает по замкнутому контуру с охлаждением воды в брызгальных бассейнах.

Для обеспечения выдачи мощности первого энергоблока ХАЭС на АЭС заведена ВЛ-330 кВ Шепетовка – Ровно, проходящая в непосредственной близости (на расстоянии 14 км) от площадки АЭС, а также заход на ОРУ-750 кВ Хмельницкой АЭС ВЛ-750 кВ Чернобыльская АЭС (ЧАЭС) – подстанция 750 кВ Западно-Украинская и ВЛ-750 кВ на подстанцию 750 кВ Жешув (Польша). В настоящее время все ВЛ-330 кВ и ВЛ-750 кВ, кроме ВЛ-750 кВ "Жешув", находятся в работе.

Для повышения надежности схемы выдачи мощности и вводом в эксплуатацию энергоблока №2 введена в эксплуатацию ВЛ-330 кВ ХАЭС – ПС 330 кВ "Хмельницкая", ВЛ "Жешув" остается в отключенном состоянии.

По данным Украинского института "Энергосетьпроект" (г.Харьков) [1] при отключении обеих ВЛ-750 кВ ("Чернобыльская" и "Западно-Украинская") энергоблок №2 должен быть отключен средствами противоаварийной автоматики.

РАЭС расположена в северо-западной части Украины на границе Ровенской и Волынской областей. Расстояние от площадки АЭС (по прямой) до районного центра г. Владимирец в северо-восточном направлении – 18 км; областного центра г. Ровно в юго-восточном направлении – 84 км; областного центра г. Луцк в юго-западном направлении – 60 км; столицы государства г. Киев в юго-восточном направлении – 265 км [4].

Для охлаждения конденсаторов турбин на энергоблоке №4 РАЭС принята оборотная система технического водоснабжения с испарительными башенными градирнями в количестве двух градирен для энергоблока № 4. Система технической воды ответственных потребителей работает по замкнутому контуру с охлаждением воды в брызгальных бассейнах.

Реализованная схема присоединения РАЭС к сетям энергообъединения Украины не соответствует "Нормам технологического проектирования АЭС" [4] – ремонтные, а особенно ремонтно-аварийные отключения ВЛ-330 кВ РАЭС – Ровно, РАЭС – Грабов и РАЭС – Луцк определяют перегруз автотрансформаторных связей 330/110 кВ подстанций Ковель и Нововолыньск. Для снятия перегруза требуется воздействие автоматики на энергоблока РАЭС,

обеспечивающее ограничение генерируемой мощности станции на 400 МВт.

В соответствии с проектной схемой присоединения РАЭС к сетям энергообъединения Украины, разработанной институтом Укрэнергопроект, для доведения условий выдачи мощности до нормативных необходимо сооружение электросетевых объектов [4]:

- ВЛ-330 кВ РАЭС-Луцк Северная;
- распредустройства 330 кВ на ПС Луцк Северная;
- ВЛ-330 кВ Луцк Северная – Львов Западная.

С вводом энергоблока №4 РАЭС предусматривается перевод линии на ПС Западно-Украинская на напряжение 750 кВ, которая для выдачи мощности РАЭС 1835 МВт работает на напряжении 330 кВ, а также сооружение линии 750 кВ на ЧАЭС [4].

Подробное описание оборудования систем энергоблоков №2 ХАЭС и №4 РАЭС приведены в отчете "База данных по описанию систем" [5] (см. "Методология проведения ВАБ").

Перечень принятых сокращений:

- АП – аварийная последовательность;
- АЭС – атомная электрическая станция;
- ВАБ – вероятностный анализ безопасности;
- ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;
- ВЛ – высоковольтные линии;
- ИСА – исходное событие аварии;
- МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии;
- ПС – подстанция;
- РАЭС – Ровенская атомная электрическая станция;
- ХАЭС – Хмельницкая атомная электрическая станция;

ЧАЭС – Чернобыльская атомная электрическая станция;

ЧПАЗ – частота повреждения активной зоны;

ЯППУ – ядерная паропроизводящая установка.

Литература

1. ОАО "Киевский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "ЭНЕРГОПРОЕКТ". ХМЕЛЬНИЦКАЯ АЭС. ЭНЕРГОБЛОК № 2. ОТЧЕТ ПО АНАЛИЗУ БЕЗОПАСНОСТИ. ТОМ 19. Глава 19. Вероятностный анализ безопасности. ЧАСТЬ 1 Сбор данных для разработки модели ВАБ 43-923.203.254.ОБ.19.01. - К., 2004.
2. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. НПЗ06.1.02/1.034 2000.
3. Бегун В.В., Горбунов О.В., и др. Вероятностный анализ безопасности атомных станций: Учебное пособие. - К., 2000.
4. ОАО "Киевский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "ЭНЕРГОПРОЕКТ". РОВЕНСКАЯ АЭС ЭНЕРГОБЛОК № 4. ОТЧЕТ ПО АНАЛИЗУ БЕЗОПАСНОСТИ. ТОМ 19. Глава 19. Вероятностный анализ безопасности. ЧАСТЬ 1 Сбор данных для разработки модели ВАБ 38-223.203.003.ОБ.19.01. - К., 2004.
5. ОАО "Киевский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "ЭНЕРГОПРОЕКТ". ХМЕЛЬНИЦКАЯ АЭС. ЭНЕРГОБЛОК № 2. ОТЧЕТ ПО АНАЛИЗУ БЕЗОПАСНОСТИ. БАЗА ДАННЫХ ПО ОПИСАНИЮ СИСТЕМ. 43-923.203.009.БД00. - К., 2003.