

Г. В. Громов¹, А. М. Дыбач¹,
О. В. Зеленый¹, В. В. Инюшев¹,
А. В. Носовский¹, С. Э. Шоломицкий¹,
А-й П. Шугайло¹, М. Х. Гашев², В. С. Бойчук²

¹Государственный научно-технический центр по ядерной
и радиационной безопасности, г. Киев, Украина

²Государственная инспекция

ядерного регулирования Украины, г. Киев, Украина

Результаты экспертной оценки стресс-тестов действующих энергоблоков АЭС Украины с учетом уроков аварии на АЭС «Фукусима-1» в Японии

В соответствии с декларацией Группы европейских регуляторов (ENSREG) эксплуатирующими организациями европейских стран под надзором национальных регулирующих органов по ядерной и радиационной безопасности выполнена целевая переоценка безопасности АЭС с учетом уроков аварии на АЭС «Фукусима-1» (стресс-тесты).

В статье представлены краткий обзор международных подходов, принятых при выполнении целевой переоценки безопасности АЭС, а также основные выводы по результатам экспертной оценки стресс-тестов энергоблоков АЭС Украины с учетом уроков аварии на АЭС «Фукусима-1».

К л ю ч е в ы е с л о в а: внешние экстремальные природные воздействия, стресс-тесты, АЭС, повышение безопасности.

**Г. В. Громов, А. М. Дибач, О. В. Зеленый, В. В. Инюшев,
А. В. Носовский, С. Э. Шоломицкий, А. П. Шугайло,
М. Х. Гашев, В. С. Бойчук**

**Результати експертного оцінювання стрес-тестів діючих
енергоблоків АЕС України з урахуванням уроків аварії на
АЕС «Фукусіма-1» в Японії**

Відповідно до декларації Групи європейських регуляторів (ENSREG) експлуатуючими організаціями європейських країн під наглядом національних регулюючих органів з ядерної та радіаційної безпеки виконана цільова переоцінка безпеки АЕС з урахуванням уроків аварії на АЕС «Фукусіма-1» (стрес-тести).

У статті наведено короткий огляд міжнародних підходів, прийнятих при виконанні цільової переоцінки безпеки АЕС, а також основні висновки за результатами проведеної експертної оцінки стрес-тестів діючих енергоблоків АЕС України з урахуванням уроків аварії на АЕС «Фукусіма-1».

К л ю ч о в і с л о в а: зовнішні екстремальні природні впливи, стрес-тести, АЕС, підвищення безпеки.

© Г. В. Громов и др., 2012

Для обеспечения надежности и безопасности ядерной энергетики необходимо извлекать уроки из каждого инцидента и аварии, чтобы, совершенствуя оборудование, технологии, правила и нормы по безопасности, инструкции по эксплуатации, повышая квалификацию персонала, предотвратить возникновение аварий или снизить риск их нежелательных последствий до пренебрежимо малого значения.

Проблемы безопасности ядерной энергетики приобрели особую актуальность в общественном сознании во всем мире после аварий на АЭС Three Mile Island и Чернобыльской АЭС. По результатам анализа причин этих аварий были разработаны многочисленные программы, выполнение которых позволило существенно повысить уровень безопасности ядерных установок.

Авария, произошедшая 11 марта 2011 г. на АЭС «Фукусима-1» в Японии, поставила перед ядерным сообществом новые вызовы, касающиеся необходимости выполнения дополнительного анализа безопасности действующих АЭС с целью разработки и реализации мероприятий по предотвращению возникновения тяжелых аварий на АЭС. Аварийные события на АЭС «Фукусима-1» продемонстрировали уязвимость энергоблоков АЭС к внешним воздействиям и их комбинациям: превышение проектных характеристик приводит к множественным зависимым отказам систем и оборудования, деградации основных функций безопасности и, как следствие, к недопустимым последствиям для населения и окружающей среды.

В отчете МАГАТЭ по результатам миссии 24 мая — 1 июня 2011 г. [1] сформулированы предварительные уроки аварии на АЭС «Фукусима-1» и выявленные проблемы безопасности:

влияние цунами было недооценено. В проекте АЭС и при эксплуатации необходимо надлежащим образом оценивать и предусматривать эффективную защиту от рисков от всех природных воздействий. Следует периодически обновлять эти оценки и их методологию в свете новой информации, опыта и более глубокого понимания процессов;

требования к глубокоэшелонированной защите, физическому разделению, разнообразию и резервированию должны быть установлены с учетом экстремальных природных воздействий;

система регулирования должна рассматривать внешние экстремальные воздействия надлежащим образом, включая их периодическую независимую проверку;

продолжительная комбинация внешних воздействий должна быть надлежащим образом учтена в проекте, при эксплуатации и определении необходимых ресурсов для осуществления противоаварийных мероприятий;

необходима оценка водородной опасности и внедрение соответствующих мероприятий;

противоаварийные мероприятия, особенно на ранней фазе, должны быть эффективны и осуществимы при тяжелых авариях в условиях внешних экстремальных воздействий.

Дополнительно следует отметить следующие аспекты, характеризующие аварию на АЭС «Фукусима-1»:

потерю внешнего электроснабжения (вследствие землетрясения) и надежного электроснабжения на площадке АЭС (вследствие цунами) после разряда аккумуляторных батарей, что привело к полному обесточиванию АЭС. Следствием этого стали невозможность обеспечения аварийного теплоотвода, потеря контроля параметров реакторной установки

(прежде всего, уровня воды в корпусе реактора) и невозможность открытия предохранительных клапанов (в первую очередь, клапанов вентиляции контайнмента);

недостаточность человеческих и технических ресурсов для управления аварией на нескольких энергоблоках в условиях внешних экстремальных природных воздействий;

затрудненность своевременного и эффективного управления концентрацией водорода и давлением в контайнменте из-за неработоспособности электроприводных сбросных клапанов;

наличие негативных связей между энергоблоками (например, переток водорода из энергоблока № 3 в помещения энергоблока № 4);

возникновение одновременной неработоспособности 13 дизель-генераторов на площадке в результате влияния одного экстремального воздействия (цунами).

24 марта 2011 г. Совет Европейского союза заявил о неотложной необходимости переоценки безопасности европейских АЭС на основе всесторонней и открытой оценки риска (стресс-тесты). Западноевропейская ассоциация органов регулирования ядерной безопасности (WENRA) организовала разработку технических условий на проведение стресс-тестов, в которой принимали участие и украинские специалисты. Согласно подходам WENRA, стресс-тесты — это целевая переоценка запасов безопасности атомных станций, в свете событий на АЭС «Фукусима-1», при которой должны быть детально проанализированы экстремальные природные события и их комбинации, которые влияют на возможность выполнения функций безопасности и могут привести к тяжелой аварии.

На пятом совещании по рассмотрению выполнения обязательств в рамках Конвенции по ядерной безопасности (4–14 апреля 2011 г.) страны-члены Конвенции в общем заявлении по поводу аварии на АЭС «Фукусима-1» отметили необходимость проведения переоценки безопасности АЭС и немедленного принятия дополнительных мер с целью повышению безопасности АЭС.

Указанные предостерегающие уроки аварии на АЭС «Фукусима-1» и выявленные проблемы были учтены при выполнении целевых переоценок уязвимости действующих АЭС. Следует отметить, что объем оценок не ограничивался аварийными последовательностями на АЭС «Фукусима-1» — для каждой площадки были установлены характерные специфические воздействия и оценена уязвимость АЭС к этим воздействиям.

При органах регулирования ядерной безопасности США [2], а впоследствии в Канаде [3], были созданы специальные группы (так называемые Task Force) с целью оценки системы регулирования (учитывая аварию на АЭС «Фукусима-1») и разработки рекомендаций по дальнейшему ее улучшению. Результаты этой деятельности в США обобщены в отчете под названием «Рекомендации по повышению уровня реакторной безопасности в XXI веке» (Recommendations for Enhancing Reactor Safety in the 21st Century, July 12, 2011, U.S.NRC) [2], в котором, анализируя события на АЭС «Фукусима-1» применительно к площадкам АЭС в США, рассматриваются вопросы обеспечения безопасности при авариях, вызванных воздействием природных воздействий. Выполнен анализ требований Комиссии ядерного регулирования США (NRC) к защите АЭС США от природных воздействий и то, каким образом NRC регулирует вопросы защиты от событий, не учитываемых проектами АЭС. На основе этого анализа сделан основной вывод о том, что в США вряд ли может иметь

место такая же последовательность событий, как во время аварии на АЭС «Фукусима-1», поэтому дальнейшая эксплуатация американских АЭС не представляет непосредственной угрозы для здоровья и безопасности населения. Результатом анализа стал набор рекомендаций, которые предполагают сбалансированный подход к глубоководной защите применительно к событиям, обладающим низкой вероятностью возникновения, но ведущим к серьезным последствиям, таким как длительное обесточивание станции в результате тяжелых природных явлений. Эти рекомендации в совокупности предназначены для улучшения нормативной базы в части защиты от стихийных бедствий, ограничения их последствий, аварийной готовности, а также для повышения эффективности программ NRC.

Несмотря на отдельные различия в подходах к выполнению и в формате представления результатов целевых проверок, принятых в странах ЕС, США, Канаде, России и других странах, главной целью этих проверок является дальнейшее повышение безопасности АЭС с учетом уроков аварии на АЭС «Фукусима-1».

В настоящее время на четырех АЭС Украины эксплуатируются 15 энергоблоков с общей установленной мощностью 13 835 МВт, что составляет 26,3 % суммарной установленной мощности всех электростанций страны. Оператором всех действующих АЭС Украины является ГП НАЭК «Энергоатом». Как заявлено правительством, Украина будет и в дальнейшем продолжать развивать ядерную энергетику, без которой невозможно обеспечение устойчивого экономического роста. Сокращение зависимости от импортируемого органического топлива с непредвиденными ценовыми перспективами остается важной задачей для страны, не имеющей достаточных собственных запасов нефти и газа. При этом основным приоритетом в программах развития ядерной энергетики должно быть надежное обеспечение безопасности. При всем многообразии проблем развития ядерной энергетики в Украине главным вопросом сегодняшнего дня является повышение безопасности АЭС с учетом уроков аварии на АЭС «Фукусима-1».

Вопросы целевой переоценки безопасности действующих энергоблоков АЭС Украины в свете событий на АЭС «Фукусима-1» детально рассмотрены в [4]. Целью настоящей статьи является представление широкой общественности результатов экспертной оценки стресс-тестов действующих энергоблоков АЭС Украины с учетом уроков аварии на АЭС «Фукусима-1».

Основные результаты экспертной оценки стресс-тестов действующих энергоблоков АЭС Украины

На заседании коллегии Государственной инспекции ядерного регулирования Украины от 19.05.11 г. № 2 [5] согласован «План действий по выполнению целевой внеочередной оценки состояния безопасности и дальнейшего повышения безопасности энергоблоков АЭС Украины с учетом событий на АЭС «Фукусима-1», которым предусмотрена реализация краткосрочных и долгосрочных мероприятий.

К краткосрочным мероприятиям относятся:

целевая внеочередная оценка состояния безопасности энергоблоков АЭС (стресс-тесты);

целевая проверка состояния аварийной готовности;

пересмотр и дополнение «Комплексной (сводной) программы повышения безопасности энергоблоков АЭС Украины» (К(С)ППБ) и плана-графика реализации мероприятий на 2011 г.;

анализ нормативно-правовой базы по ядерной и радиационной безопасности, разработка предложений по ее усовершенствованию и повышению требований безопасности для действующих и новых энергоблоков АЭС.

Как следствие реализации краткосрочных мероприятий, на *долгосрочной* фазе реагирования на аварийные события на АЭС «Фукусима-1» должны быть реализованы мероприятия по повышению безопасности энергоблоков АЭС Украины, которые будут определены по результатам выполнения целевой внеочередной оценки состояния их безопасности:

К(С)ППБ с изменениями и дополнениями по результатам целевого пересмотра норм и правил по ядерной и радиационной безопасности;

усовершенствование системы аварийной готовности по результатам целевой проверки состояния аварийной готовности на АЭС.

В соответствии с согласованным Планом действий, эксплуатирующей организацией ГП НАЭК «Энергоатом» выполнена целевая внеочередная переоценка безопасности энергоблоков АЭС Украины (стресс-тесты). Результаты стресс-тестов для площадок Запорожской (ЗАЭС), Южно-Украинской (ЮУАЭС), Ровенской (РАЭС), Хмельницкой (ХАЭС) атомных станций в установленный срок (15 октября 2011 г.) направлены эксплуатирующей организацией на рассмотрение в Госатрегулирование Украины и являются предметом экспертизы ядерной и радиационной безопасности, которая выполняется согласно ст. 40 Закона Украины «Об использовании ядерной энергии и радиационной безопасности» [6].

Для каждой площадки АЭС Украины по результатам выполнения стресс-тестов разработан отчет, структура которого включает общее описание АЭС; оценку внешних экстремальных природных воздействий; анализ развития аварий, связанных с потерей электрического питания и/или конечного поглотителя тепла; анализ мероприятий по управлению тяжелыми авариями. Состав и содержание отчетов по целевой переоценке безопасности АЭС Украины соответствуют «Рекомендованной структуре и содержанию отчета по целевой переоценке безопасности ядерных установок, размещенных на площадке АЭС, с учетом уроков аварии на АЭС «Фукусима-1»» [8].

Целевая внеочередная переоценка состояния безопасности энергоблоков ЗАЭС, ХАЭС, РАЭС, ЮУАЭС по отношению к внешним экстремальным природным воздействиям, которые приводят к отказу основных функций безопасности и, как следствие, к тяжелым авариям, выполнена с целью:

оценки уязвимости АЭС по отношению к внешним природным воздействиям;

определения компенсирующих мероприятий для обеспечения стойкости АЭС в условиях многочисленных отказов оборудования.

Целевая переоценка безопасности выполнена для каждой АЭС отдельно, с учетом отличий и специфики площадок, а также типов реакторных установок, которые эксплуатируются в Украине. Во время проведения целевой переоценки безопасности в качестве потенциального источника угрозы рассматривалось ядерное топливо, находящееся в активной зоне реактора, бассейне выдержки, сухом

хранилище отработавшего ядерного топлива и узле хранения свежего топлива. Целевая переоценка безопасности выполнена для всех эксплуатационных состояний энергоблоков (работа на мощности и в состоянии останова).

В качестве критериев экспертной оценки результатов стресс-тестов использованы действующие требования, рекомендации МАГАТЭ, а также требования к проведению стресс-тестов европейских АЭС (EU «stress-test» specifications) [7]. К выполнению экспертной оценки были вовлечены профильные научно-технические отделы ГНТЦ ЯРБ.

В результате экспертной оценки ядерной и радиационной безопасности материалов стресс-тестов сформулированы следующие основные выводы:

1. Целевая переоценка безопасности не выявила новых дефицитов безопасности, а также дополнительных (не учтенных проектом) внешних экстремальных воздействий и их комбинаций, которые значительно влияют на безопасность АЭС.

2. Проектные основы, заложенные во время строительства энергоблоков АЭС Украины, гарантируют высокую устойчивость действующих энергоблоков ВВЭР по отношению к внешним экстремальным воздействиям и их комбинациям и свидетельствуют о наличии запасов безопасности на этапе эксплуатации энергоблоков АЭС.

3. На протяжении эксплуатации энергоблоков АЭС реализован комплекс мероприятий по повышению безопасности АЭС, которые в том числе повышают устойчивость АЭС к внешним экстремальным воздействиям и их возможным последствиям (подача воды в ПГ от мобильных установок для ВВЭР-1000, дополнительная система аварийной питательной воды для ВВЭР-440 и др.).

4. На основании результатов стресс-тестов выявлена способность энергоблоков АЭС Украины противостоять сложным комплексным авариям с наложением множественных отказов систем и элементов, а также внешних экстремальных воздействий. Высокая надежность энергоблоков во время управления и ликвидации аварий достигается за счет постоянного внедрения мероприятий по повышению уровня безопасности АЭС.

5. В рамках К(С)ППБ продолжается реализация мероприятий, направленных на дальнейшее повышение безопасности АЭС, в частности ведутся работы по дополнительному сейсмическому исследованию площадок, квалификации оборудования на сейсмические влияния, разработок по управлению тяжелыми авариями и др. Реализация указанных мероприятий увеличит имеющиеся запасы безопасности по устойчивости энергоблоков АЭС к внешним экстремальным воздействиям.

6. В дополнение к реализованным мероприятиям ГП НАЭК «Энергоатом» разработаны предложения относительно реализации дополнительных мероприятий по использованию мобильных установок для обеспечения возможности отвода остаточного тепла от топлива до 72 ч при полном обесточивании АЭС и потере конечного поглотителя тепла. Реализация указанных мероприятий позволит повысить уровень безопасности энергоблоков АЭС Украины до уровня современных международных требований к новым проектам АЭС поколения III+ (требования EUR).

7. В части управления тяжелыми авариями в рамках стресс-тестов выполнены расчетные анализы и разработаны предложения относительно реализации мероприятий по основным феноменам тяжелых аварий, которые имели место на АЭС «Фукусима-1», — водородная опасность и переопрессовка гермооболочки.

Вместе с тем, при выполнении экспертной оценки выявлены аспекты, требующие детального изучения на этапе разработки технических решений по реализации мероприятий по повышению безопасности:

учет реального времени разряда аккумуляторных батарей;

анализ работы дополнительной системы аварийной питательной воды (ДСАПВ) при возникновении аварий с потерей теплоотвода к конечному поглотителю тепла (для энергоблоков №№ 1 и 2 РАЭС);

учет возможности возникновения повторной критичности при планировании соответствующих мероприятий по повышению безопасности;

уточнение разработанных мероприятий по повышению безопасности, в частности относительно подачи борированной воды в первый контур, и др.

Результаты стресс-тестов действующих АЭС и выводы государственной экспертизы ядерной и радиационной безопасности были рассмотрены 24–25 ноября 2011 г. на открытом заседании коллегии Госатомрегулирующего Украины [9] с участием представителей общественных организаций, средств массовой информации, Секретариата Кабинета Министров Украины, профильных комитетов Верховного Совета Украины, Министерства энергетики и угольной промышленности Украины, областных государственных администраций и областных советов, а также представителей органов ядерного регулирования Российской Федерации, Словацкой Республики, Германии и Болгарии.

По итогам рассмотрения коллегией отмечено:

последовательность событий, произошедших на АЭС «Фукусима-1», практически невозможна для АЭС Украины. Реализованные в течение последних 10–15 лет мероприятия по повышению безопасности энергоблоков АЭС в значительной степени снизили вероятность повреждения активной зоны и выброса радиоактивных веществ;

не обнаружены новые критические внешние природные воздействия или комбинации воздействий дополнительно рассмотренным при проектировании АЭС и детально проанализированным в рамках обоснования безопасности АЭС.

Национальный отчет Украины

В соответствии с требованиями ENSREG к структуре и содержанию национальных отчетов [10] «Post-Fukushima “stress tests” of European nuclear power plants — contents and format of National Reports» Госатомрегулирующим при активном участии ГНТЦ ЯРБ составлен Национальный отчет Украины о проведении стресс-тестов, который в дальнейшем будет анализироваться европейскими экспертами.

Национальный отчет рассмотрен и одобрен на открытом заседании коллегии Госатомрегулирующего Украины 20 декабря 2011 г. [11]. Выводы, представленные в Национальном отчете Украины о проведении стресс-тестов, приведены далее.

Запасы безопасности

1. *Сейсмические воздействия.* Действующие АЭС спроектированы с применением консервативного принципа и устойчивы к проектным воздействиям, а также обладают определенными запасами безопасности.

Проектная сейсмичность площадок действующих АЭС Украины принята на уровне следующих значений: проект-

ное землетрясение — 5 баллов (0,025g), максимальное расчетное землетрясение — 6 баллов (0,05g).

Выполнены дополнительные исследования сейсмичности площадок (для ЗАЭС выполняются), по результатам которых для площадок РАЭС и ХАЭС (2000–2002 гг.) подтверждена проектная сейсмичность площадок, для ЮУАЭС (2009–2010 гг.) определено максимальное значение ускорения на уровне грунта — 0,093g.

Строительные конструкции всех энергоблоков АЭС 1-й категории (защитная оболочка, здание реакторного отделения, здание РДЭС, брызгальные бассейны технической воды ответственных потребителей) и 2-й категории (в том числе турбинное отделение) устойчивы к проектным сейсмическим воздействиям. Для строительных конструкций 1-й категории имеются запасы безопасности (как минимум 0,1g).

Определены следующие запасы безопасности для защитной оболочки (системы герметичных ограждений):

0,185g — для РУ с ВВЭР-440 (оценка технического состояния в рамках продления срока эксплуатации РАЭС-1, 2);

0,17g — для РУ с ВВЭР-1000/320 (оценочный расчет в рамках стресс-тестов);

0,15g — для РУ с ВВЭР-1000/302–338 (оценка технического состояния в рамках продления срока эксплуатации ЮУАЭС-1).

Оборудование и трубопроводы, необходимые для выполнения основных функций безопасности, устойчивы к проектным сейсмическим воздействиям, имеются запасы безопасности для основного оборудования и трубопроводов РУ и систем безопасности.

Продолжаются работы по квалификации оборудования энергоблоков АЭС на повышенные сейсмические воздействия. При выполнении квалификации в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ консервативно принято значение 0,1g (для ЮУАЭС 0,12g с учетом инженерного запаса).

Сооружения и элементы бассейнов выдержки энергоблоков АЭС Украины устойчивы к проектным сейсмическим воздействиям, имеются запасы безопасности (0,1g).

Сооружения и элементы сухого хранилища отработавшего ядерного топлива (СХОЯТ, ЗАЭС) спроектированы с учетом сейсмического воздействия на уровне грунта 0,2g.

2. *Затопление.* Отсутствуют прямые риски от затоплений, в том числе вызванных разрушениями гидротехнических сооружений вследствие землетрясений. Имеются запасы безопасности:

ЗАЭС. Максимально возможный уровень в Каховском водохранилище в случае прорыва плотин Днепроовского каскада равен 19,4 м, что ниже отметки размещения площадки ЗАЭС (22,0 м);

ХАЭС. Планировочные отметки гребня плотины и площадки ХАЭС составляют 206,0 м, а максимальная начальная отметка волны затопления при возможном прорыве плотины водохранилища-охладителя равна 203,0 м;

РАЭС. Планировочная отметка площадки РАЭС — 188,5 м, расчетный максимальный уровень воды в р. Стырь — 164,4 м;

ЮУАЭС. Уровень воды в Ташлыкском водохранилище может достичь отметки 101,5 м, отметка площадки ЮУАЭС — 104,0 м. Подъем уровня в р. Южный Буг не представляет опасности: уровень воды в реке на 70 м ниже размещения площадки.

3. *Смерч.* Воздействие смерча на здания и сооружения 1-й категории всех энергоблоков ЗАЭС, ХАЭС, РАЭС и ЮУАЭС проанализировано с учетом фронтального давления ветра, перепада давления и воздействия летящих предметов.

Значения фронтального давления смерча для площадок всех АЭС, рассчитанные на основании статистических данных, находятся в диапазоне 6,0–12,0 кПа, что существенно ниже нагрузки от воздействия ударной волны с давлением сжатия во фронте $\Delta P = 30$ кПа (проектное значение).

Значения перепада давления 4,5–6,4 кПа при смерче, рассчитанные на основании статистических данных, меньше консервативно принятых в отчетах по анализу безопасности значений данного типа нагрузки (8,1–10,1 кПа).

Смерчи, возможные на территории Украины, не представляют опасности для зданий и сооружений АЭС с точки зрения воздействия летящих предметов.

Анализ воздействия смерча на сухое хранилище отработавшего ядерного топлива, расположенное на площадке ЗАЭС, свидетельствует об отсутствии его негативного влияния.

4. *Прочие природные воздействия (внешние пожары; экстремально высокие/низкие температуры; экстремальный ветер; экстремальный снег; комбинация внешних экстремальных природных воздействий).* Не обнаружены новые критические внешние природные воздействия или комбинации воздействий дополнительно к рассмотренным при проектировании АЭС и детально проанализированным в рамках обоснования безопасности АЭС.

Подтверждена устойчивость энергоблоков ЗАЭС (и СХОЯТ), ХАЭС, РАЭС, ЮУАЭС к указанным воздействиям. Дефициты безопасности не выявлены.

5. *Обеспечение электроснабжения.* Для каждого энергоблока АЭС с РУ ВВЭР-1000 и ВВЭР-440 проектом предусмотрены три автономных канала системы надежного электроснабжения. В состав каждого канала входят дизель-генератор и аккумуляторные батареи. Каждый канал системы аварийного электроснабжения энергоблока по мощности и составу подключенных потребителей способен обеспечить аварийное расхолаживание реактора. Независимость трех каналов достигается за счет полного физического разделения каналов в строительной части, в технологической части, в части электроснабжения и управления. Кроме этого, для блоков №№5 и 6 ЗАЭС, № 2 ХАЭС, № 4 РАЭС и № 3 ЮУАЭС проектом дополнительно предусмотрена общеблочная система надежного электроснабжения, в состав которой входят два канала с автономными дизель-генераторами и аккумуляторными батареями. Общее количество ДГ, установленных на площадках АЭС, составляет: ЗАЭС — 20, ХАЭС — 8, РАЭС — 14, ЮУАЭС — 11. На всех площадках АЭС для каждого ДГ обеспечивается 7-суточный запас дизельного топлива, время проектной необслуживаемой работы ДГ в аварийном режиме составляет 250 ч.

При потере внешнего электроснабжения проектом обеспечиваются перевод энергоблоков АЭС с РУ ВВЭР-1000 и ВВЭР-440 в безопасное состояние и длительный отвод остаточных тепловыделений.

Дополнительно на всех АЭС имеется возможность подачи напряжения на секции 6 кВ собственных нужд по следующим схемам:

ЗАЭС: от блоков Запорожской ТЭС, от гидрогенераторов Днепровской ГЭС-1, ГЭС-2 и Каховской ГЭС; от одного (любого) дизель-генератора (любого) энергоблока ЗАЭС; от любого дизель-генератора ОРДЭС-5, 6; от высоковольтных линий ВЛ-750. Начато строительство высоковольтной линии ВЛ-750 Кв «ЗАЭС — ПС Каховская», которая также может быть использована в качестве дополнительного источника электроснабжения;

ХАЭС: от одного (любого) дизель-генератора (любого) энергоблока ХАЭС; от любого дизель-генератора ОРДЭС; от высоковольтных линий ВЛ 330 кВ и ВЛ 750 кВ;

РАЭС: от одного (любого) дизель-генератора (любого) энергоблока РАЭС (для блоков №№ 1,2 и № 3,4); от любого дизель-генератора ОРДЭС; от высоковольтных линий ВЛ 330 кВ и ВЛ 750 кВ;

ЮУАЭС: от гидрогенераторов Кременчугской ГЭС и Ташлыкской ГАЭС; для блока № 1 от одного (любого) дизель-генератора энергоблока № 2 (и наоборот); от любого дизель-генератора ОРДЭС.

Разработаны соответствующие программы подключений, сменный персонал обучен и проходит плановые тренировки.

При авариях с потерей внешнего электроснабжения с отказом ДГ на энергоблоках АЭС с РУ ВВЭР-1000 и ВВЭР-440 Украины существуют дополнительные возможности подачи напряжения и предусмотрены адекватные действия оперативного персонала.

6. *Обеспечение теплоотвода.* Для обеспечения длительного отвода остаточных тепловыделений на энергоблоках АЭС Украины выполнены следующие модернизации:

на энергоблоках с РУ ВВЭР-440 (РАЭС-1, 2) введена в эксплуатацию (2010 г.) дополнительная система аварийной подачи питательной воды в парогенераторы. Система независима, дизель-насосные установки с воздушным охлаждением, запас воды — 2×1000 м³, предусмотрено дозаполнение баков;

на энергоблоках с РУ ВВЭР-1000 обеспечена долговременная подпитка баков аварийного запаса обессоленной воды и парогенераторов в аварийных режимах расхолаживания первого контура при обесточивании потребителей собственных нужд с использованием пожарных рукавов и мобильных насосных агрегатов (пожарных машин). Разработаны соответствующие программы подключений, внесены изменения в эксплуатационную и аварийную документацию, персонал обучен и проходит плановые тренировки.

Реализация указанных мероприятий для энергоблоков с РУ ВВЭР-440 и ВВЭР-1000 позволяет успешно осуществлять долговременный отвод остаточных тепловыделений, в том числе при авариях с потерей электроснабжения.

7. *Управление запроектными авариями.* На энергоблоках АЭС введены в действие симптомно-ориентированные аварийные инструкции. Действия персонала по инструкциям направлены на предотвращение аварий с тяжелым повреждением активной зоны.

Создана эффективная система управления авариями, которая включает необходимые организационные и технические мероприятия, средства и ресурсы для предотвращения возникновения и ограничения последствий аварий. Обеспечивается внешняя техническая поддержка при управлении авариями на отраслевом и государственном уровне, что позволяет мобилизовать дополнительные человеческие и технические ресурсы.

Проблемные вопросы

Деятельность по оценке безопасности проектов ВВЭР (В-213, В-320, В-302/338) с целью определения основных проблем безопасности проектов ВВЭР и установления единого международного подхода к приоритетам мероприятий по повышению безопасности инициирована МАГАТЭ в 1990 г. Разработаны книги МАГАТЭ по безопасности ВВЭР («Issues books»), в которых установлены

и ранжированы проектные и эксплуатационные проблемы безопасности энергоблоков АЭС с ВВЭР.

«Issues books» были положены в основу разработки программ повышения безопасности энергоблоков АЭС Украины. Дополнительно при составлении программ повышения безопасности учитывались мероприятия по повышению безопасности, определенные по результатам выполненных (в рамках разработки ОАБ) детерминистических и вероятностных анализов безопасности.

Независимая оценка безопасности АЭС Украины выполнена в рамках реализации совместного проекта ЕК—МАГАТЭ—Украина («Меморандум о взаимопонимании в отношении сотрудничества в области энергетики между Европейским Союзом и Украиной») по следующим направлениям:

- оценка проектной безопасности (ESRS);
- оценка эксплуатационной безопасности (OSART);
- оценка деятельности по обращению с РАО (RWRS);
- комплексный анализ регулирующей деятельности (IRRS).

В рамках реализации проекта проведено 14 инспекционных миссий на всех четырех площадках АЭС и IRRS-миссия. В проведении миссий приняли участие 62 эксперта из 23 стран и 32 представителя МАГАТЭ.

По результатам реализации проекта экспертами сделан вывод о соответствии АЭС Украины большинству требований и рекомендаций МАГАТЭ в области безопасности. По направлениям, где выявлено неполное соответствие, подтверждено, что Украина выполняет мероприятия, направленные на их устранение. Полных несоответствий не выявлено.

В рамках оценки проектной безопасности, АЭС Украины проверялись на соответствие требованиям NS-R-1 «Safety of Nuclear Power Plants: Design». По результатам оценки подтверждено полное соответствие АЭС Украины 172 требований из 192 требований NS-R-1. Неполное соответствие выявлено по направлениям квалификации оборудования, учета тяжелых аварий, сейсмостойкости АЭС, полноты вероятностного и детерминистического анализа безопасности, а также в части поставарийного мониторинга.

Результаты оценки по направлению эксплуатационной безопасности подтвердили, что управление эксплуатационной безопасностью АЭС Украины осуществляется квалифицировано и эффективно.

Учет рекомендаций МАГАТЭ по «Issues books», выполнение комплексных анализов и переоценки безопасности АЭС Украины, а также результаты независимых проверок позволили определить области, требующие повышения безопасности, и разработать необходимые мероприятия.

По результатам выполнения стресс-тестов не выявлены новые проблемные вопросы (не установленные ранее). Стресс-тесты продемонстрировали актуальность мероприятий по повышению безопасности действующей К(С)ППБ. Определены направления дальнейшего улучшения:

- повышение устойчивости АЭС к сейсмическим воздействиям;

- повышение устойчивости АЭС к воздействию смерча (в части зависимой потери технической воды ответственных потребителей);

- обеспечение дополнительных средств для длительного отвода остаточных тепловыделений от активной зоны и БВ в условиях полного обесточивания и/или потери теплоотвода к конечному поглотителю;

- усовершенствование инструкций по управлению запроектными авариями в части тяжелых аварий;

- обеспечение дополнительных средств для реализации стратегий по управлению тяжелыми авариями;

- поставарийный мониторинг.

В стресс-тестах проработаны возможные мероприятия по повышению безопасности, эффективность которых подтверждена расчетными оценками:

- определены основные параметры мобильных установок (расход, напор);

- установлены требования к размещению мобильной техники;

- проанализированы стратегии по управлению тяжелыми авариями: фильтруемый сброс давления, управление концентрацией водорода.

Направления дальнейшего повышения безопасности

По результатам анализа событий на АЭС «Фукусима-1», в апреле 2011 г. Госатомрегулирование Украины обязало эксплуатирующую организацию пересмотреть объемы реализации и приоритеты выполнения запланированных мероприятий К(С)ППБ. Среди мероприятий, которые требовали пересмотра приоритета выполнения и объемов реализации, следует отметить следующие:

- внедрение системы контроля концентрации водорода в герметичном ограждении для запроектных аварий;

- обеспечение дополнительных средств для управления тяжелыми авариями;

- повышение надежности аварийного электроснабжения в условиях полного обесточивания (мобильные дизель-генераторы);

- доисследование сейсмичности площадок АЭС и обеспечение сейсмостойкости оборудования, трубопроводов, зданий и сооружений, важных для безопасности;

- выполнение детального анализа тяжелых аварий и разработка руководств по управлению тяжелыми авариями;

- приборное обеспечение во время и после аварий;

- модернизация систем радиационного контроля АЭС;

- внедрение системы «промышленного» телевидения для пожаро- и взрывоопасных помещений, а также необслуживаемых помещений.

Дополнительно, до начала выполнения стресс-тестов, Госатомрегулированием было установлено требование о необходимости реализации на энергоблоках АЭС с РУ ВВЭР-1000 мероприятия по принудительному аварийному сбросу давления парогазовой смеси из герметичного ограждения.

В настоящее время приоритеты указанных мероприятий, объемы и сроки их реализации на всех энергоблоках АЭС определены в соответствии с их значимостью в свете событий, произошедших на АЭС «Фукусима-1».

В дополнение к вышеупомянутым мероприятиям по повышению безопасности, которые уже выполняются в рамках К(С)ППБ, разработаны дополнительные мероприятия по результатам выполнения стресс-тестов:

- обеспечение работоспособности потребителей системы технической воды ответственных потребителей реакторного отделения при обезвоживании брызгальных бассейнов вследствие воздействия смерча;

- обеспечение длительного (до 72 ч) теплоотвода остаточных тепловыделений от активной зоны и БВ при полном обесточивании и/или потере конечного поглотителя тепла:

- подпитка второго контура от мобильных установок;
- подпитка БВ;

- аварийная подпитка первого контура борированной водой, в том числе для компенсации возможных потерь теплоносителя первого контура через уплотнения ГЦН (вопрос находится на стадии изучения);
 - разработка руководств по управлению тяжелыми авариями в БВ;
 - уточнение мероприятий по приборному обеспечению во время и после аварий по результатам стресс-тестов.
- Указанные мероприятия дополнительно включены в К(С)ППБ, 7 декабря 2011 г. повышен статус К(С)ППБ до уровня государственной программы, определены объемы и источники финансирования.

Выводы

Для поддержания высокого уровня безопасности атомной энергетики необходимо постоянное повышение безопасности действующих АЭС с учетом уроков, извлеченных из происшедших аварий, новых научно-технических данных и более глубокого понимания аварийных процессов. В свете аварийных событий на АЭС «Фукусима-1» эксплуатирующие организации различных стран под надзором национальных органов регулирования ядерной и радиационной безопасности выполнили целевую переоценку устойчивости АЭС к внешним экстремальным природным воздействиям и разработали компенсирующие мероприятия по ее результатам.

Украиной при проведении целевой переоценки безопасности действующих АЭС были приняты технические спецификации на проведение стресс-тестов, определенные Группой европейских регуляторов (ENSREG) на основании предложений WENRA.

Госатомрегулированием при активной поддержке ГНТЦ ЯРБ подготовлен Национальный отчет Украины о проведении стресс-тестов, который подлежит партнерской проверке европейскими экспертами.

По результатам стресс-тестов определены направления дальнейшего повышения безопасности АЭС, которые могут корректироваться (уточняться) после партнерских проверок и получения новых данных о результатах переоценок других стран, а также появления дополнительной информации об аварии на АЭС «Фукусима-1».

Список использованной литературы

1. IAEA International Fact Finding Expert Mission Of The Nuclear Accident Following The Great East Japan Earthquake And Tsunami, 24 May —1 June 2011, Preliminary Summary.
2. U.S.NRC. Recommendations for Enhancing Reactor Safety in the 21st Century, July 12, 2011.
3. CNSC Fukushima Task Force Report. INFO-0824, October 2011.
4. Вопросы целевой переоценки безопасности действующих энергоблоков АЭС Украины в свете событий на АЭС «Фукусима-1» в Японии / М. Х. Гашев, Г. В. Громов, А. М. Дыбач, В. В. Инюшев, А. В. Носовский, С. Э. Шоломицкий // Ядерна та радіаційна безпека. — 2011. — № 3 (51). — С. 3–8.
5. Щодо Плану дій з виконання цільової позачергової перевірки та подальшого підвищення безпеки АЕС України з урахуванням подій на Фукусіма-1 («stress-test»). — Колегія Держатомрегулювання № 2 від 19.05.2011.
6. Закон України «Об использовании ядерной энергии и радиационной безопасности».
7. Declaration of ENSREG, Annex 1 «EU Stress-test specifications», 13 May, 2011.
8. Рекомендованная структура и содержание отчета по целевой переоценке безопасности ядерных установок, размещенных на площадке АЭС, с учетом уроков аварии на АЭС «Фукусима-1». — Согласовано Госатомрегулированием Украины приказом от 23.06.2011 № 91.
9. Про результати виконання цільової позачергової оцінки стану безпеки діючих енергоблоків АЕС та ССВЯП ЗАЕС з урахуванням подій на АЕС «Фукусіма-Даїчі». — Колегія Держатомрегулювання № 13 від 24–25.11.11.
10. ENSREG. Post-Fukushima “stress tests” of European nuclear power plants — contents and format of National Reports.
11. Про Національний звіт України щодо результатів проведення «стрес-тестів» для АЕС України. — Колегія Держатомрегулювання від 20.12.11.

Получено 12.01.2012.