

## Предложения ООО “Экодом”

### к Национальному плану действий Республики Беларусь в рамках целевой переоценки безопасности (стресс-тестов) Белорусской АЭС

11 января 2019 г.

Минск, Беларусь

Предлагаем внести в Национальный План Действий Республики Беларусь по итогам партнерской проверки стресс-тестов Белорусской АЭС следующие меры, а также реализовать их до пуска первого энергоблока Белорусской АЭС.

#### 1. В области стресс-тестов “Стихийные бедствия”.

##### 1.1. Землетрясение.

1.1.1. **Вывод: Гудогайское землетрясение 1908 года нуждается в отдельном исследовании, его результаты в должном учете, а зона размещения Белорусской АЭС - в усиленном мониторинге.**

##### Обоснование.

Как утверждается в отчете о результатах партнерской проверки стресс-тестов Белорусской АЭС (ENSREG 2018), группа по проведению партнёрской проверки стресс-тестов (PRT) располагает информацией о различных интерпретациях сейсмического события 1908 года, опубликованных в сейсмологической литературе и каталогах. Российская сторона, в частности, на презентации отчета PRT о результатах партнерской проверки стресс-тестов Белорусской АЭС в Брюсселе, подвергала сомнению это событие.

Однако информация о Гудогайском землетрясении 1908 года не может быть проигнорирована как недостаточно достоверная, учитывая следующие факты:

- согласно отчету PRT, Ошмянский разлом, для которого было выявлено четвертичное смещение 0,3 м, является активным и он расположен всего на расстоянии 22 км от площадки размещения Белорусской АЭС;
- согласно отчету PRT, каталоги землетрясений для региона Восточной Балтики (например, европейский каталог SHEEC) показывают, что несколько землетрясений с эпицентральной интенсивностью  $I_0 = 7^\circ$  произошли примерно за последние сто лет в пределах района, который согласно картам ТКП 45-3.02-108-2008 и GSZ-97-D характеризуется вероятностью возникновения 10 в минус четвертой степени в год для таких событий;

Кроме того, по информации белорусской стороны в настоящее время сейсмический мониторинг зоны размещения Белорусской АЭС осуществляется при помощи временной сети станций.

**Рекомендации:** Детальное исследование сейсмического события (Гудогайского землетрясения) 1908 года для выяснения его природы должно быть выполнено НАН Беларуси, его результаты - представлены PRT и заинтересованным экспертам/организациям для ознакомления и анализа, а также включены в Национальный доклад. По результатам исследования Гудогайского землетрясения следует, как это рекомендует, в том числе, PRT:

- выполнить соответствующие обзоры по сейсмозонированию,
- скорректировать и обновить сейсмические каталоги,
- расширить количество станций сети сейсмического наблюдения для того, чтобы также покрыть Четвертичный Ошмянский разлом; сделать их данные доступными;
- а также скорректировать новый сейсмический вероятностный анализ безопасности с учетом полученных во время исследований Гудогайского события данных.

1.1.2. **Вывод:** *Нацдоклад<sup>1</sup> не содержит ключевой информации для адекватной оценки сейсмического риска Белорусской АЭС. Для стресс-тестов и обоснования устойчивости станции были использованы устаревшие методы и данные из области сейсмической опасности. Новый сейсмический вероятностный анализ безопасности (далее СВАБ) был разработан после выпуска Нацдоклада.*

#### Обоснование.

Согласно мнению PRT, изложенному в Отчете о партнерской проверки стресс-тестов Белорусской АЭС, для стресс-тестов и обоснования сейсмоустойчивости Белорусской АЭС, в частности, для оценки сейсмического риска и соответствующей оценки проектного землетрясения (ПЗ), были использованы устаревшие данные и методы, уже не отвечающие стандартам МАГАТЭ и WENRA. По информации PRT, новый СВАБ для Белорусской АЭС, отвечающий современным требованиям, был выполнен только весной 2018 года. Полное завершение исследования нового СВАБ и его окончательные результаты будут готовы только к июлю 2019 года.

Во время евроэкспертизы стресс-тестов эксперты PRT, хотя и не имея возможности детально ознакомиться с результатами нового СВАБ, приняли установленную им величину колебания для среднего значения риска (вероятности) для проектного землетрясения (ПЗ) с вероятностью наступления события 10 в минус четвертой в год, в 0,1 g, как заслуживающую доверия. Общественность не получила доступа к новому СВАБ, хотя и запрашивала его. Такой подход не отвечает евростандартам и даже российским подходам, когда отчеты по ВАБ (включая ВАБ АЭС Белене, выполненную российскими специалистами) публикуются в открытых источниках, чтобы дать независимым экспертам возможность ознакомления, проверки и использования их результатов.

Нацдоклад по стресс-тестам Белорусской АЭС не был обновлен с учетом новой СВАБ и, таким образом, основан на устаревших данных и методологии в области сейсмоустойчивости Белорусской АЭС и не содержит ключевой информации для оценки сейсмического риска, в частности, кривой сейсмического риска.

1.1.2. **Рекомендации:** Новый сейсмический ВАБ должен быть представлен PRT, а также заинтересованным сторонам, включая НПО и независимых специалистов, для детального ознакомления и экспертизы.

---

<sup>1</sup> Национальный доклад Республики Беларусь Belarus о целевой переоценке безопасности (стресс-тесты) Белорусской АЭС. Минск, 2017. Доступен в сети: [https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/943/national-report-on-belarusian-npp-stress\\_tests.pdf](https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/943/national-report-on-belarusian-npp-stress_tests.pdf)

После учета результатов исследования Гудогайского землетрясения, а также завершения, верификации и утверждения, новый СВАБ-2019, должен заменить собой старые оценки в области сейсмической опасности. Нацдоклад по стресс-тестам Белорусской АЭС должен быть дополнен результатами нового СВАБ. Кроме того, необходимо выполнить указание PRT по учету влияния значений движения грунта, полученных на основе данных новой СВАБ, в том числе для редких и нечастых вероятностей ниже  $10^{-4}$ .

Результаты нового СВАБ должны быть использованы для любых дальнейших решений в области сейсмической безопасности Белорусской АЭС.

Регулятор (Госатомнадзор, далее - ГАН) должен пересмотреть оценку безопасности Белорусской АЭС с учетом результатов нового СВАБ-2019 и принять надлежащие меры по усилению сейсмоустойчивости станции до загрузки топлива и ее пуска.

следующая рекомендация (п. 1.1.3.) является уточняющей по отношению к рекомендациям п. 1.1.2.

**1.1.3. Вывод: сейсмоустойчивость инфраструктуры, систем и элементов, важных для безопасности (Structure, System and Component important for safety, далее - SSC) по отношению к проектным и запроектным землетрясениям не гарантирована.**

Обоснование.

Согласно Нацдокладу, строительные здания и сооружения, а также технологические трубопроводы, другие коммуникации и конструкции проекта Белорусской АЭС рассчитаны на максимальное горизонтальное ускорение грунта МПЗ =  $0,12 g$  и ПЗ =  $0,06 g$ . Однако, результаты новой СВАБ могут поставить под сомнение эти величины.

Как утверждает PRT в своем отчете, анализ классификации сейсмособытий для **SSC (Structure, System and Component important for safety) - инфраструктуры, систем и элементов, важных для безопасности**, требуемый концепцией защиты, показал, что **все SSC одинаково рассчитаны проектом на значение МПЗ =  $0,12 g$** , несмотря на то, что SSC выполняют функции, относящиеся к различным уровням глубокоэшелонированной защиты. Тот факт, что в функцию отдельных SSC входит также справляться с запроектными авариями (BDBA) в условиях землетрясения не был отражен ни в более высоких требованиях к проекту; для этих SSC также не было доказано достаточного запаса надежности.

Кроме того, согласно отчету PRT, систематическая оценка **запасов сейсмоустойчивости (seismic margins)** для всех SSC, важных для безопасности, в настоящее время не доступна. Несмотря на то, что большинство SSC, от которых концепцией глубоко эшелонированной защиты требуется иметь некоторые или даже существенные запасы сейсмоустойчивости выше МПЗ, трубы и трубопроводы определенных систем, важных для безопасности, устойчивы только к МПЗ =  $0,13 g$ .

Тем не менее, PRT считает что запас в  $0,03 g$  недостаточен для демонстрации практического отсутствия возможности наступления аварий, ведущих к ранним или крупным выбросам, как этого требует Цель Безопасности **WENRA (Западно-европейской ассоциации регуляторов в области ядерной безопасности)**.

По мнению PRT, представленная белорусской стороной демонстрация устойчивости сейсмического проектирования **систем пассивной безопасности** недостаточна для обоснования достаточных запасов прочности. **Система пожаротушения**, в настоящее время не является сейсмоустойчивой.

Противопожарные системы классифицируются только как сейсмические категории II и III, газовые системы пожаротушения внутри защитной оболочки классифицируются как сейсмическая категория I.

Рекомендации: Следует провести переоценку **сейсмической устойчивости и запасов сейсмоустойчивости всех SSC - инфраструктуры, систем и элементов, важных для безопасности**, по отношению к проектному и запроектному землетрясению с учетом нового СВАБ-2019. Для этого PRT рекомендует использовать методологию EPRI (Electric Power Research Institute). По результатам, до пуска первого энергоблока электростанции должна быть реализована соответствующая программа по физическому усилению сейсмоустойчивости и увеличению запасов надежности **SSC**.

Для этого важно полное выполнение следующих рекомендаций PRT:

1. Регулятор должен **переоценить запроектную аварию Белорусской АЭС с учетом нового СВАБ**, результаты которого могут потребовать обновления концепции защиты в целом, с учетом сейсмических воздействий, в соответствии с целями безопасности WENRA для новых АЭС, взятыми за основу PRT в качестве стандарта.
2. **Рассмотреть сейсмостойкость всех SSC**, включая мобильное оборудование и здания, в которых размещены SSC или которые используются в качестве хранилищ для мобильного оборудования, необходимого для того, чтобы справиться с проектными или запроектными авариями, включая вызванные проектным или запроектным землетрясением. **Анализ должен быть проведен на предмет обеспечения функциональности SSC на разных уровнях глубокоэшелонированной защиты**. Необходимость в мерах по повышению устойчивости оборудования и проекта АЭС в целом может быть выявлена с помощью нового сейсмического ВАБ. Анализ может привести к доказательству того, что SSC, необходимые для борьбы с авариями, вызванными землетрясениями, превышающими проектную мощность, требуют модернизации.
3. Следует **провести всесторонний анализ запасов сейсмоустойчивости**, основанный на кривой сейсмической опасности из новой СВАБ, а также на оценках хрупкости. Запасы сейсмоустойчивости должны **быть определены** для всех элементов инфраструктуры, систем и элементов, важных для безопасности (SSC) в отношении проектной и запроектной аварий, и их достаточность для обеспечения непрерывной устойчивости АЭС должна быть подтверждена, либо показано, что они нуждаются в увеличении.
4. Регулятор должен **обеспечить достаточность сейсмоустойчивости и функциональность тех SSC, которые призваны справляться с аварийными условиями (уровни 3 и 4 глубокоэшелонированной защиты), вызванными сейсмособытиями**. Для этого должны быть приняты соответствующие меры по модернизации или усилению до пуска электростанции. Следует обратить внимание на модернизацию системы пожаротушения, которая в настоящее время не является сейсмоустойчивой. Эти меры должны подтвердить практическое устранение аварий с расплавлением активной зоны, приводящих к ранним или масштабным выбросам радиоактивных веществ.

5. Выполнить мероприятия, определенные в разделе 3.2.4. Нацдоклада по стресс-тестам Белорусской АЭС.

## **1.2. Затопление/Экстремальные погодные условия.**

**1.2.1. Вывод: недостаточна оценка вероятности подтопления зданий Белорусской АЭС, важных для безопасности; вероятность подтопления не может быть полностью исключена.**

### Обоснование.

В разделе 4.1.1. “Затопление, на устойчивость которому спроектирована АЭС” Нацдоклада, утверждается, что можно сделать вывод об отсутствии возможности подтопления электростанции при эксплуатации, имея в виду, в том числе, подтопления грунтовыми водами. На этом основании концепция проектного наводнения (ПН) не используется в случае стресс-тестов Белорусской АЭС.

Однако PRT считает, что вероятность подтопления грунтовыми водами до самого нижнего уровня подвальных помещений электростанции не может быть исключена. В отчете PRT также отмечается, что Нацдоклад дает мало информации о нормативной базе, технических условиях и методологии, использованной для наблюдения и описания характера угроз наводнений. Эта информация, тем не менее, была предоставлена во время странового визита.

Кроме того, по данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), тип, частота и интенсивность экстремальных погодных явлений, как ожидается, изменятся по мере изменения климата Земли. Эти изменения могут произойти даже при относительно небольших средних изменениях климата. Изменения в некоторых типах экстремальных явлений уже наблюдались, например, увеличение частоты и интенсивности сильных осадков. Прогнозируется, что экстремальные значения осадков будут превышать средние значения. Почти повсеместно прогнозируется увеличение частоты экстремальных осадков.

### Рекомендация:

Необходимо выполнить рекомендацию PRT о проведении с использованием современной методологии наблюдений и описания характера угроз наводнений и подтоплений грунтовыми водами, оценить максимальные уровни событий, вероятность наступления которых не превышает десять в минус четвертой степени в год.

Необходимо дополнить Нацдоклад результатами этих наблюдений, а также информацией, отсутствующей в отчете, но представленной экспертам PRT во время визита в Беларусь.

**1.2.2. Вывод: не гарантирована функциональность и достаточность объемной защиты от подтопления грунтовыми водами важных для безопасности зданий Белорусской АЭС; меры по устранению влияния этого события на безопасность АЭС не достаточны.**

### Обоснование.

В разделе 4.1.2. Нацдоклада “Меры и средства, направленные на защиту АЭС при проектном затоплении” говорится о том, что проектом предусмотрены такие системы для предотвращения затопления (подтопления) основных зданий и сооружений как: пластовый дренаж; нагорная канава; система ливневой канализации GU.

Однако, при этом в Нацдокладе отмечается: “При потере электропитания система очистки ливневых стоков и системы канализации не работают”. Далее, Нацдоклад сообщает в этой же главе, что важные для безопасности здания Белорусской АЭС защищены от подтопления отмосткой высотой 150 мм и гидроизоляцией стен подземной части.

PRT не смогла полностью рассмотреть объемную защиту важных для безопасности зданий из-за текущей стадии строительства и подтвердить ее функциональность и достаточность.

Тем не менее, в Нацдокладе признается возможность при затоплении ниже нулевой отметки потери ряда основных и важных функций, влияющих на безопасность АЭС, в частности, по отводу тепла от реакторной установки и отработавшего ядерного топлива.

В разделе 4.2.1. “Оценка запаса безопасности от затопления” Нацдоклада говорится, что несмотря на отсутствие проектного события для оценки запасов безопасности был принят детерминированный подход, когда было рассмотрено затопление всех помещений АЭС, расположенных ниже отм. 0.00. Далее, Нацдоклад утверждает, что проведенный консервативный анализ режима затопления систем и элементов систем безопасности (СБ) и систем, важных для безопасности (СВБ), расположенных ниже отметки 0.00, показал, что затопление приводит к потере следующих основных функций:

- отвода тепла от ОЯТ (системы FAK и JMN - не работоспособны);
- отвода тепла от первого контура (системы JNG, JNA, KAA, KAB - не работоспособны);
- поддержание запаса теплоносителя (система JND - не работоспособна);
- подпитка первого контура (система JND - не работоспособна).

В Нацдокладе сделан вывод о том, что упомянутые выше отказы оборудования не приводят к аварии с повреждением ядерного топлива, поскольку для данного события в течении 41 часа для бассейнов ОЯТ и 72 часов для реакторной установки, никаких дополнительных мер, направленных на поддержание безопасного состояния АЭС, не требуется.

Однако данная оценка не представляется убедительной, а меры по устранению рисков для безопасности, исходя из концепции физического устранения ранних и крупных выбросов, в достаточной степени проработанными.

#### Рекомендации.

На наш взгляд, должен быть выполнен всесторонний анализ функциональности и достаточности объемной защиты важных для безопасности зданий от подтопления грунтовыми водами. Дополнительные меры по обеспечению действенности защиты от подтопления и устранению связанных с этим событием рисков или производных от него - разработаны и внедрены, включая инструкции для персонала. В этом процессе должны быть учтены соответствующие рекомендации PRT:

- в случае подтопления необходимый доступ на площадку должен быть обеспечен;
- мобильное оборудование, необходимое для тяжелых аварий, должно быть размещено на площадках/в местах, доступ к которым сохраняется.

До пуска Белорусской АЭС Госатомнадзор должен проверить качество упомянутых выше мер по защите от подтопления и по устранению производных рисков, а также конкретных связанных с этим эксплуатационных процедур и руководств.

**1.2.3. Вывод: Анализ экстремальных погодных условий основан на ограниченных исторических данных; ряд позиций по устойчивости Белорусской АЭС к экстремальным погодным условиям нуждается в дополнительном исследовании (например, связанных с градиентами); Нацотчет не содержит всей необходимой информации.**

#### Обоснование.

В рамках стресс-тестов ЕС были проанализированы опасные метеорологические явления. Однако в Нацдокладе информация о достоверной повторяемости превышений не была указана ни для одного из событий. Причины связаны с ограниченными историческими данными. Некоторые экстремальные погодные условия, например, сильные ветры анализируются с использованием устаревшей базы данных (данные с 1961 по 2000 годы). В отчете содержится мало информации о процессе проверки для отбора анализируемых экстремальных погодных явлений.

Также, по информации экспертов, анализирующих аналогичные проекты, у Белорусской АЭС возможны **проблемы с работой градиент в очень холодные периоды года**. Есть некоторые опасения, в частности, в отношении устойчивости линий электропередачи к обледенению. **Этот аспект даже не учитывался во время процедуры стресс-теста!**

Согласно отчету PRT, защита от удара молнии и экстремальных осадков были сочтены открытыми позициями в Национальном докладе. Во время странового визита белорусская сторона разъяснила, что защита от молнии основана на стандарте МЭК 62305 и российском стандарте ГОСТ Р МЭК 62305. По мнению экспертов PRT, Нацдоклад дает мало информации о процессе наблюдений, необходимом для определения анализируемых феноменов экстремальных погодных условий, однако во время странового визита необходимая информация была предоставлена.

И хотя PRT делает вывод о том, что отсутствует риск возникновения краевых эффектов (cliff-edge), связанных с экстремальной погодой, ряд упомянутых выше позиций нуждается в дополнительном изучении и может потребовать принятия дополнительных мер.

Также PRT утверждает, что на момент время визита в Беларусь инструкции технологической эксплуатации для экстремальных погодных условий находились в стадии разработки. PRT также не смогла оценить адекватность дренажных устройств.

#### Рекомендации.

Дополнительные исследования по устойчивости Белорусской АЭС к экстремальным погодным условиям и их комбинациям, включая устойчивость таких элементов инфраструктуры, как линии электропередач, должны быть проведены, а соответствующие меры по повышению устойчивости должны быть приняты до пуска электростанции. Для исследований следует использовать современные базы метеоданных и методики. Информация о достоверной повторяемости превышений экстремальных метеособытий вместе с другой отсутствующей информацией, указанной выше, должна быть внесена в Нацдоклад.

Важно выполнение рекомендации PRT о подготовке конкретных инструкций технологической эксплуатации для экстремальных погодных условий до запуска Белорусской АЭС а также об обеспечении дренирования площадки через поверхность под действием силы тяжести (улицы, сточные канавы).

## **2. В области стресс-тестов “Потеря электроснабжения и потеря конечного поглотителя тепла”.**

### **2.1. Вывод: Система JNB уязвима.**

#### Обоснование.

Партнерская проверка стресс-тестов Белорусской АЭС, выполненная PRT, показала, уязвимость системы JNB, которая нуждается в устранении, в соответствии с современными стандартами в области безопасности атомных электростанций (МАГАТЭ, WENRA).

В своем отчете PRT отмечает, что проект АЭС-2006 основан на старых дофукусимских российских стандартах, которые устанавливают использование мобильного оборудования для поддержки мер, направленных на предотвращение создания опасных условий в случае запроектных аварий (BDBA).

Учитывая тот факт, что стресс-тесты Белорусской АЭС проводились по европейской процедуре для “новых АЭС на стадии строительства”, PRT сочло, что было бы уместно сделать сравнительный анализ по отношению к новым стандартам МАГАТЭ, в частности, к требованию безопасности МАГАТЭ SSR 2/1, Rev. 1 “Безопасность атомных электростанций: Проектирование” (МАГАТЭ 2012), где рассматривается новая концепция запроектного режима работы DEC, пришедшая на смену старой, и необходимость иметь постоянные установки в противовес мобильным, осуществляющие или поддерживающие превентивные меры в этих запроектных условиях.

Уязвимость системы JNB, выявленная PRT, состоит в следующем. Несмотря на автономию системы пассивного отвода тепла (СПОТ), разработанной для того, чтобы справляться с сценариями полного обесточивания электростанции (Station Blackout, SBO), система пассивного отвода тепла СПОТ ПГ, баки аварийного отвода тепла (БАОТ) системы СПОТ 30 и бассейны отработавшего ядерного топлива снабжаются водой с использованием единственного низконапорного насоса JN-B50AP001 (на один энергоблок рассчитан только один насос), перекачивающего деминерализованную воду из баков системы подпиточной воды (системы LCU), которая подпитывается каналом 7.



В то же время, PRT отмечает важную функцию насоса JNB-50 для соответствия требованиям запроектного режима работы DEC, а также важность доступности насоса в ситуации полного обесточивания (SBO - station blackout).

Рекомендация: Рекомендация PRT по установке стационарного источника питания для насоса JNB-50, а также по установке дополнительного, резервного насоса должна быть выполнена перед пуском Белорусской АЭС.

## 2.2. Вывод: **Стационарный источник питания для запроектного режима работы отсутствует.**

### Обоснование.

Партнерская проверка стресс-тестов Белорусской АЭС, выполненная PRT, показала, что стационарный источник питания для запроектного режима работы отсутствует, что не соответствует современным стандартам в области безопасности атомных электростанций (МАГАТЭ, WENRA).

Рекомендация: Перед пуском белорусской АЭС должен быть установлен альтернативный стационарный источник питания для достаточного электроснабжения в условиях запроектного режима работы, который отличался бы по конструкции от уже имеющихся и не был бы подвержен событиям, вызывающим отказ внутри- и вне-площадочных источников энергоснабжения. Этот альтернативный блок питания (переменного тока) должен иметь необходимые разъемы для защиты систем электроснабжения от одновременного выхода из строя внешних (внеплощадочных) и аварийных источников питания переменного тока.

Время на операцию по переключению, необходимое для подключения альтернативного источника питания, должно соответствовать времени разрядки батареи. Продление времени разряда батареи, например, сброс нагрузки также может быть рассмотрено. Эта рекомендация учитывает международные согласованные и применяемые требования, описанные в Требовании 68 норм безопасности МАГАТЭ SSR2/1, Rev. 1 “Безопасность атомных электростанций: проектирование” (МАГАТЭ 2012).

## 2.3. Вывод: **Во время перезагрузки топлива возможны опасные ситуации.**

### Обоснование.

Партнерская проверка стресс-тестов Белорусской АЭС, выполненная PRT, показала, что сочетание условия открытого контейнента и запроектной аварии с обесточиванием электростанции и создает опасную ситуацию риска оголения топлива.

Так, по мнению PRT, в ситуации полного обесточивания электростанции во время перегрузки топлива, в частности, когда реактор опорожняется от охлаждающей воды до 550 мм ниже основного фланца корпуса реактора, отвод тепла прекращен, и до момента закипания в корпусе реактора остается короткий промежуток времени. Время заполнения охлаждающей водой корпуса реактора до покрытия ТВС составляет около 2-х часов, если не принимаются контрмеры. Из-за короткого периода времени, во время которого электроснабжение электростанции должно быть восстановлено для восстановления контроля и охлаждения, **это было определено PRT как эффект cliff edge (или краевой эффект).**

Рекомендация: До пуска АЭС необходимо выполнение рекомендации PRT по применению подходящего альтернативного решения для обеспечения того, чтобы водоснабжение было восстановлено в течение времени, необходимого для предотвращения повреждения активной зоны.

Иными словами, система по обеспечению подачи воды, функционирующая во время ситуации полного обесточивания и при открытом корпусе реактора должна быть установлена до пуска АЭС.

#### **2.4. Вывод: Сейсмоустойчивость силовой подстанции “Вилия” для Белорусской АЭС не гарантирована.**

##### Обоснование.

Партнерская проверка стресс-тестов Белорусской АЭС, выполненная PRT, показала, что силовая подстанция “Вилия” не соответствует требованиям сейсмоустойчивости, в то время как она является внешним, внеплощадочным источником питания для обеспечения энергией уровней 1 и 2 глубоководной защиты.

Нацдоклад рассматривает подстанцию “Вилия” как дополнительное техническое решение для обеспечения энергоснабжения потребителей, связанных с безопасностью. От этой подстанции будет подпитываться дополнительный аварийный трансформатор мощностью 16 MVA (16 мегавольтампер) и напряжения 110/10 кВ, как дополнительный источник обеспечения энергоснабжения для одного компонента безопасности (safety train) обоих энергоблоков.

Рекомендация: до пуска Белорусской АЭС следует выполнить рекомендацию PRT по проведению анализа внеплощадочных источников на предмет сейсмической устойчивости и надежности; а также обеспечить надежность функционирования внешних источников питания в сейсмических условиях, при необходимости, с помощью мер по их модернизации.

#### **2.5. Вывод: Надежность и эффективность пассивных систем защиты не гарантирована.**

##### Обоснование.

Партнерская проверка стресс-тестов Белорусской АЭС, выполненная PRT, показала, что в Нацдокладе не было представлено доказательств эффективности и надежности новых систем пассивной безопасности, таких как СПОТ ПГ и СПОТ ЗО. Во время обсуждения PRT запросила информацию, полученную на основании экспериментальных данных и пуско-наладочных испытаний на аналогичных установках. Однако никакой дополнительной информации не было предоставлено во время миссии по партнерской проверке.

Тем не менее, Госатомнадзор заявил, что комплексные испытания, подтверждающие эффективность и функциональность этих новых систем, должны проводиться как часть процедуры ввода в эксплуатацию и были запрошены в процедуре лицензирования.

Рекомендация: Результаты комплексных испытаний, касающихся эффективности и функциональности новых пассивных систем защиты АЭС, должны быть получены в результате процедуры ввода в эксплуатацию и быть запрошены Госатомнадзором во время процедуры лицензирования. Также результаты аналогичных испытаний на экспериментальных исследовательских установках должны быть опубликованы и проанализированы международной группой экспертов. На основании результатов должны быть разработаны и внедрены меры, обеспечивающие надежность и функциональность пассивных систем защиты Белорусской АЭС.

### **3. В области стресс-тестов “Управление тяжелыми авариями”.**

#### **3.1. Вывод: *Практическое устранение аварий, приводящих к ранним или масштабным выбросам радиоактивных веществ, не показано.***

##### Обоснование.

В Нацдокладе утверждается, что цель безопасности для Белорусской АЭС подразумевает, что радиационное облучение в случае запроектных аварий (BDVA) ограничено приемлемыми значениями. Соответствие верхнему пределу частоты повреждения активной зоны (CDF) ниже  $10^{-5}$  в год, для больших выбросов (более 100 ТБк Cs-137) частота ниже  $10^{-7}$  в год требуются действующими нормативными актами. Эффективность мер по ограничению аварийных выбросов должна быть подтверждена в рамках использования результатов полномасштабного ВАБ-2 (по результатам полномасштабного ВАБ-1).

Из обзора всей информации из Беларуси и отчетов ОВОС по российским АЭС видно, что существует предельное значение для вероятности тяжелых аварий: рассматриваются только запроектные аварии с вероятностью возникновения  $> 10^{-7}$  на реактор и год (предел вероятности аварии на активной зоне составляет  $10^{-6}$  в год). Аварии с риском  $< 10^{-7}$  на реактор и год классифицируются как практически невозможные. По мнению австрийских экспертов, подобные аварии не следует исключать в принципе. Из-за ограничений и недостатков вероятностного анализа не следует исключать несчастные случаи, принимая во внимание только вероятностные аргументы. (UBA 2010)

Использование подобных критериев для исключения тяжелых аварий не соответствует современным стандартам, в настоящее время должен применяться подход практической ликвидации крупных и ранних аварий. Кроме того, результаты ВАБ еще не подтверждены ГАН.

PRT считает в своем отчете, что общая концепция практического устранения ранних и крупных выбросов должна быть более четко отражена в обновленном обосновании безопасности станции, основанном на новом ВАБ. По мнению экспертов PRT, следует также уделить внимание практическому устранению тяжелых аварий в бассейне с отработавшим топливом или тяжелых аварий, которые могут сочетаться с обходом защитной оболочки (контайнмента) (например, авария с открытым контайнментом или некомпенсированные первичные, или вторичные события, которые могут привести к серьезной аварии).

Рекомендация: Общий подход к практической ликвидации аварий, приводящих к ранним или крупным выбросам, включая тяжелые аварии в бассейне с отработавшим топливом, должен быть доработан и четко продемонстрирован. Необходимые меры по модернизации должны быть выполнены до пуска электростанции.

### 3.2. Вывод: **Независимость каналов безопасности не обеспечена.**

#### Обоснование.

Проектом АЭС-2006 предусмотрено несколько систем, которые работают одновременно как на уровне 3, так и на уровне 4 глубокоэшелонированной защиты: а) сервоуправляемый предохранительный клапан (POSV) устройства повышения давления, б) система аварийного удаления пара и газа (КТП), в) система вентиляции и фильтрации гермообъема контайнмента, d) система охлаждения бассейна отработавшего топлива (ФАК). Такие конструктивные решения не полностью соответствуют принципу независимости, в частности, между уровнями защиты 3 и 4, как того требуют требования безопасности МАГАТЭ (SSR-2/1 Rev. 1) для новых конструкций реакторов.

Рекомендация: До пуска станции новые системы или компоненты, гарантирующие полную независимость каналов безопасности, должны быть установлены.

### 3.3. Вывод: **Одного насоса JNB-50 не достаточно.**

#### Обоснование.

Благодаря внедрению нескольких новых пассивных решений проекта АЭС-2006, автономность РУ обеспечивается в течение не менее 24 часов. 72 часа (24 часа - в случае выхода из строя одного из четырех резервуаров аварийного отвода тепла) подпитка резервуаров СПОТ ПГ и СПОТ 30 будет выполняться одним насосом JNB 50. Из-за двойного использования единственного насоса это ограничение можно рассматривать как проблему для успешного выполнения действий по управлению авариями.

Рекомендация: До пуска станции необходима установка дополнительного насоса JNB-50 двойного назначения - для обеспечения охлаждения теплообменников Системы пассивного отвода тепла (СПОТ) и для охлаждения бассейнов отработавшего ядерного топлива.

### 3.4. Вывод: **Не гарантирована сейсмоустойчивость инженерных систем (SSC), значимых для безопасности, по отношению к запроектному землетрясению.**

#### Обоснование.

PRT в своем отчете отмечает, что адекватность сейсмических запасов SSC для запроектных землетрясений, в конечном счете необходимых для предотвращения крупных выбросов в случае серьезной аварии, не доказана.

Рекомендация: Следующие рекомендации PRT должны быть выполнены до пуска станции: сейсмоустойчивость систем, предназначенных для предотвращения тяжелых аварий, сопровождающихся ранними или масштабными выбросами (SSC, значимые для безопасности), должна быть переоценена с учетом результатов нового СВАБ и соответствующего уровня сейсмической опасности площадки; надежность систем, в случае необходимости, должна быть увеличена на основе новых результатов сейсмического ВАБ.

3.5. Вывод: ***Во время перезагрузки топлива возможны опасные ситуации.***

Обоснование в п. 2.3.

Рекомендация: Перед пуском энергоблоков АЭС должно быть внедрено решение в виде выделенной системы, рассчитанной на физическое предотвращение и смягчение тяжелых аварий в условиях заглушенного реактора, не функционирующей системы СПОТ и короткого промежутка времени, остающегося до повреждения активной зоны реактора - около 2-х часов.

3.6. Вывод: Активная система аварийной вентиляции гермообъема защитной оболочки реакторной зоны (контайнмента) не работоспособна в случае тяжелой аварии.

Обоснование.

PRT в своем докладе отмечает, что в случае полного обесточивания АЭС система аварийной вентиляции гермообъема контайнмента отсутствует. Следует дополнительно изучить, необходимо ли поддерживать работу системы вентиляции гермообъема в случае серьезной аварии в сочетании с отключением станции. И, если необходимо, система аварийной вентиляции гермообъема защитной оболочки должна быть модифицирована.

Рекомендация: до пуска станции должна быть выполнена рекомендация PRT о дополнительном изучении того, необходимо ли поддерживать работу системы вентиляции гермообъема в случае серьезной аварии в сочетании с отключением станции. И, если необходимо, система аварийной вентиляции гермообъема защитной оболочки должна быть модифицирована с тем, чтобы обеспечить ее работоспособность в случае тяжелой аварии до пуска электростанции.

3.7. Вывод: ***Не гарантирована возможность нахождения персонала в зонах управления (главная диспетчерская, аварийная диспетчерская) во время тяжелой аварии в сочетании с долговременной полной потерей электроснабжения (блэкаут).***

Обоснование.

PRT в своем докладе отмечает, что хотя возможность нахождения людей в зонах контроля (основной диспетчерский пункт, аварийный диспетчерский пункт) во время тяжелой аварии в сочетании с полным обесточиванием станции была оценена в SAR как удовлетворительная, все же рекомендуется, чтобы эта проблема была дополнительно оценена и возможности для нахождения людей в зонах контроля повышены.

Рекомендация: Должны быть установлены дополнительные источники электроснабжения для вентилирования зон управления (главной и аварийной диспетчерской) для обеспечения доступа туда персонала во время тяжелой аварии в сочетании с полным блэкаутом электростанции.

**3.8. Вывод:** *Сброс давления в первичном контуре реактора во время тяжелых аварий не гарантирован.*

Обоснование.

Проектом АЭС-2006 предусмотрены сервоуправляемые предохранительные клапаны (POSV) первичного контура системы охлаждения реактора с возможностью его открытия из диспетчерских (основной диспетчерский или аварийный диспетчерский пункт) для сброса давления из контура в случае тяжелой аварии. Но их следует использовать в качестве системы безопасности, а также управления тяжелыми авариями (уровень 3 и 4). Первичная разгерметизация очень важна при управлении тяжелыми авариями во избежание расплава активной зоны при высоком первичном давлении с выбросом расплава под высоким давлением и возможным повреждением защитной оболочки. Следует отметить, что требования независимости каналов безопасности в данном случае не соблюдаются, поскольку они требуют независимости снижения давления в первичном контуре во время тяжелых аварий от систем, предназначенных для этапов эксплуатации станции и проектных аварий.

Рекомендация: Рекомендация PRT по установке полностью независимых средств сброса давления в первичном контуре охлаждения реактора должна быть выполнена до пуска электростанции.

**3.9. Вывод:** *Инструкции по управлению тяжелыми авариями отсутствуют.*

Обоснование.

В Нацдокладе отмечается, что руководства и инструкции ИЛА (Инструкция по ликвидации аварии), РУЗА (Руководство по управлению запроектными авариями) и РУТА (Руководство по управлению тяжелыми авариями) находятся в стадии разработки и согласования. PRT в своем отчете подчеркнула, что даже в случае значительно улучшенных технических, аппаратных средств, существует необходимость в наличии эффективного порядка аварийных процедур и руководства по управлению тяжелыми авариями.

Рекомендация: До пуска станции должна быть выполнена рекомендация PRT о как можно более скором завершении текущей программы разработки руководств и инструкций. Достаточное время и ресурсы должны быть предоставлены для проверки и аттестации руководств и инструкций, их отработке, а также для обучения всех групп персонала, участвующих в управлении авариями.

**Глава II.**

**Недостатки проекта АЭС-2006, проигнорированные во время стресс-тестов.**

Для того, чтобы показать полную картину безопасности и рисков атомных электростанций, некоторые существенные вопросы безопасности, не включенные в стресс-тесты, будут раскрыты в этой главе текста. Эти оценки не являются исчерпывающими, однако вносят свой вклад в более полное понимание рисков Белорусской АЭС. Цель этой работы - дать оценку того, может ли авария, сравнимая с Фукусимской произойти на Белорусской АЭС даже после проведения стресс-тестов или, иными словами, извлечены ли уроки из Фукусимы и какими средствами можно снизить ее риск.

**Вывод: Реактор проекта АЭС-2006 ВВЭР-1200/В-491 является морально устаревшим.**

Для Белорусской АЭС выбран проект АЭС-2006 с реакторами типа ВВЭР-1200. Существует две его модификации, отличающиеся структурой и компоновкой систем безопасности: В-392М (теперь ВВЭР-1200М) больше полагается на системы пассивной безопасности, а В-491 (теперь ВВЭР-1200Е) больше на системы активной безопасности.

Два энергоблока АЭС-2006/В-392М построены на Нововоронежской АЭС в России, первый блок был введен в эксплуатацию в 2017 году. Это первый из двух блоков на Нововоронежской АЭС-2, ведущий проект по внедрению АЭС-2006 на базе водородных реакторов, разработанных институтом "Гидропресс". Проект ВВЭР-1200М также реализуется на АЭС Рооппур в Бангладеш. Проект ВВЭР-1200/В-491 (сейчас - ВВЭР-1200Е) реализуется не только на Белорусской АЭС под Островцом, но и на ЛАЭС-2 в России, на АЭС "Ханхикиви-1" в Финляндии, на АЭС "Пакш-II" Венгрия. Проект ВВЭР-1200Е разработан Санкт-Петербургским Атомэнергопроектом (СПБАЭП).

Строительство 1-го блока ЛАЭС-2 началось в октябре 2008 года и должно было быть завершено в октябре 2013 года. Однако часть внешней защитной оболочки обрушилась в 2011 году и привела к задержке графика. Задержки во время строительства могут указывать на то, что рабочий проект этой АЭС не был завершен до начала строительных работ и был частично продолжен параллельно со строительными работами.

По информации ГАН, принципиальных отличий между проектом ЛАЭС-2 и Белорусской АЭС нет. Но существуют существенные различия между проектированием блоков Белорусской АЭС и проектированием АЭС Ханхикиви-1: проекты этих АЭС реализуются с применением различных нормативных баз - российской и финской.

По данным ГАН, техническая концепция конструкции ВВЭР-1200/В-491 уже была оценена и детально рассмотрена в рамках процедуры лицензирования для двух блоков на площадках ЛАЭС-2 в России (проведены нормативные проверки, выдана лицензия на строительство и эксплуатацию). Утверждается, что проект был проверен также на соответствие международным и национальным российским требованиям ядерной безопасности. Однако, как показал экспертный анализ стресс-тестов Белорусской АЭС, он не соответствует стандартам безопасности ЕС.

Западноевропейская ассоциация ядерных регулирующих органов (WENRA) определила и выразила общую позицию в отношении целей безопасности для новых атомных электростанций в ноябре 2010 года. Цели безопасности WENRA 2010 были основаны на выводах доклада Рабочей группы WENRA по гармонизации реакторов (WENRA 2009). Цели безопасности WENRA должны гарантировать, что АЭС, лицензируемые в будущем, будут соответствовать более высоким стандартам безопасности по всей Европе, по сравнению с существующими станциями, особенно за счет улучшения конструкции. Цели безопасности отражают современное состояние ядерной безопасности и могут быть реализованы в проекте с использованием новейших доступных технологий.

Исходя из этих целей безопасности, Рабочая группа WENRA по гармонизации реакторов разработала позиции по отдельным ключевым вопросам, имеющим особую актуальность, с учетом ожиданий, возлагаемых на новые проекты по сравнению с существующими. Эти позиции более подробны, чем цели безопасности, и предназначены для их разъяснения. Вместе с этими позициями в отчете 2013 года были опубликованы соображения, касающиеся основных уроков, извлеченных из аварии на АЭС «Фукусима-дайчи» (WENRA 2013).

Среди прочих вопросов, позиции касаются подхода глубоководной защиты (DiD) для новых атомных электростанций. Этот подход получил дальнейшее развитие с усовершенствованной структурой, включающей введение двух подуровней в уровне DiD 3: уровень 3a для одиночных исходных событий, уровень 3b для множественных сбоях. Также были сформулированы ожидания относительно независимости между различными уровнями DiD. Другие позиции касаются практического устранения тяжелых аварий с масштабными или ранними выбросами.

В Национальном докладе о стресс-тестах Белорусской АЭС не обсуждается выполнение целей безопасности (SO) WENRA для новых атомных станций. WENRA вообще не упоминается в тексте Доклада.

По информации ГАН, в настоящее время рассматривается вопрос о включении всех рекомендаций WENRA в правовую базу Республики Беларусь, в том числе, в технические нормативные акты и регулиующую базу в отношении ядерной безопасности. Но только часть рекомендаций WENRA была учтена в правовой базе Республики Беларусь, и они относятся к другой теме.

Ниже приведены важные примеры, показывающие, что Белорусская АЭС не соответствует стандартам безопасности ЕС (целям безопасности WENRA для новых атомных электростанций).

## **1. Неадекватная защита систем безопасности.**



Контроль внутренних угроз может быть проблемой для AES-2006 (ВВЭР 1200/V-491) в части, касающейся здания безопасности: его конструктивные элементы содержат четыре параллельные избыточные подсистемы, которые физически разделены, но размещены рядом и связаны служебными коридорами и техническими каналами/шахтами. Места соединения этих каналов разделены дверьми и заслонками, что ставит под сомнение адекватную реализацию физического разделения. Кроме того, в каждой подсистеме здания безопасности инжекционные насосы низкого и высокого давления, соответствующее оборудование и трубопроводы размещены в одной комнате без физического разделения. По данным финского ядерного управления (STUK), соответствие проекта ВВЭР-1200/491 требованиям безопасности Финляндии в части защиты от внутренних угроз, таких как наводнения и пожары, еще не было продемонстрировано, (STUK 2009).

Кроме того, в доступной документации Белорусской АЭС не обсуждается и не решается вопрос множественных отказов (уровень DiD 3 b, согласно WENRA).

## **2. Возможная потеря целостности защитной оболочки**

Главная угроза от разрушения защитной оболочки (контанаймента) - высокий выброс продуктов деления в окружающую среду. Это требует незамедлительных действий по обеспечению охраны здоровья и безопасности населения и персонала АЭС.

В Национальном докладе по стресс-тестам Белорусской АЭС (2017) объясняется, что проектом предусмотрены меры по предотвращению потери целостности защитной оболочки. Загрязнение больших территорий радионуклидами исключается, и обязательное введение защитных мер, существенно влияющих на социально-экономические условия и жизнедеятельность населения (эвакуация, отселение) не требуется. Защитные меры для населения ограничиваются временным укрытием, профилактическим приемом йода и ограничением потребления местных загрязненных продуктов питания в окрестностях АЭС. **Но эта информация не соответствует действительности.**

Согласно Национальному докладу о стресс-тестах Белорусской АЭС (2017), существует несколько потенциальных опасностей разрушения защитной оболочки под высоким давлением: взрывы пара на стадии тяжелой аварии на внутри и вне-корпусной стадии; нагрузка защитной оболочки (контанаймента) из-за высокого по своей энергии и массе выброса на внутри и вне-корпусной стадии тяжелой аварии.

По словам разработчика, физические явления, связанные с серьезными авариями, которые могут поставить под угрозу целостность защитной оболочки, не возможны в соответствии с проектом АЭС-2006 (ATOMENERGOPROEKT 2011).

Можно предположить, что формулировка «не возможны в соответствии с проектом» означает, что эти явления не должны рассматриваться дальше, то есть, что они практически исключены проектными мерами.

Похоже, что ряд физических явлений, которые могут привести к масштабным и/или ранним выбросам в случае тяжелой аварии, разработчики ВВЭР-1200/V491 считают практически исключенными. Тем не менее, практическое устранение таких событий/аварий прямо не рассматривается и не решается в имеющихся документах.

Концепция практического устранения была введена МАГАТЭ. Последовательность отказов или аварийных событий может считаться практически исключенной, если физически невозможно, чтобы последовательность произошла, или если последовательность может рассматриваться с высокой степенью достоверности как крайне маловероятная (МАГАТЭ 2012).

В отчете об ожиданиях безопасности при проектировании новых АЭС Рабочая группа по гармонизации реакторов (RHWG) WENRA разработала эту концепцию, обсудив, среди прочего, средства практического устранения и демонстрацию практического устранения. В этом отчете указывается, что для повышения надежности технического решения по безопасности станции демонстрация предпочтительно должна основываться на физической невозможности. В любом случае, практическое исключение не может быть заявлено только на основе соответствия вероятностному пороговому значению. Анализы должны быть подтверждены соответствующими экспериментальными результатами. Неопределенности должны быть приняты во внимание, и исследования чувствительности выполнены. Все коды и расчеты должны быть проверены на предмет конкретных явлений и верифицированы. Кроме того, необходимо обеспечить, чтобы соответствующие положения оставались в силе и действовали в течение всего срока службы станции.

Для Белорусской АЭС может оказаться сложной задачей продемонстрировать практическое устранение всех рассматриваемых явлений с учетом этих принципов. По имеющейся информации, это пока не обеспечено (UBA 2014).

По мнению ГАН, концепция практического устранения была применена к Белорусской АЭС, что не соответствует действительности.

### **3. Функциональность ловушки расплава под вопросом.**

Важной особенностью АЭС-2006 является устройство локализации расплава активной зоны (или ловушка расплава активной зоны). Если бы это устройство функционировало как запланировано, это могло бы снизить вероятность масштабных выбросов в случае тяжелой аварии. Однако функционирование улавливателя активной зоны сталкивается с рядом вопросов, которые не были в достаточной степени прояснены (например, взаимодействие между расплавом активной зоны и бетоном, значительные неопределенности в отношении теплопередачи между соответствующими материалами; появление трещин в бетонной части устройства; образование водорода).

Ловушка расплава активной зоны ВВЭР-1000/V466, которая, как можно предположить, аналогична ловушке ВВЭР-1200, расположена в бетонной шахте под корпусом реактора. Она наполнена жертвенным материалом. Расплавленная активная зона реактора попадает в это устройство после того, как она прошла через дно корпуса реактора, и охлаждается водой сверху.

Паровые взрывы представляют собой серьезную проблему для ловушки расплава, дизайн которой выбран для ВВЭР-1000/V466. Не гарантируется, что расплавленный кориум вообще весь стечет в ловушку расплава одновременно. Если сначала в бетонную шахту попадает только часть, вероятно, это вызовет затопление охлаждающей водой. Далее расплавленный материал кориума падает в воду, и расплав может распадаться на мелкие частицы. И поскольку передача тепловой энергии воде происходит очень быстро, происходит резкое испарение. Для подобных паровых взрывов сегодня невозможно предсказать уровень потенциального ущерба.

Функционирование ловушки расплава связано со сложными химическими реакциями, а также сложными физическими процессами. Адекватное подтверждение функционирования экспериментально и теоретически, таким образом, представляет собой значительные проблемы (в частности, демонстрацию переносимости результатов эксперимента на реальный компонент станции). Есть открытые вопросы относительно надежного функционирования ловушки расплава при сценариях аварий с затоплением расплава активной зоны охлаждающей водой, когда существует вероятность парового взрыва, и т. д.

Базовая конструкция ловушки расплава активной зоны имеет принципиальный недостаток - расплавленный кориум остается в очень компактной форме, что приводит к неблагоприятному для охлаждения соотношению поверхности и объема (UBA 2010). Согласно описанию ловушки расплава в Национальном докладе о стресс-тестах Белорусской АЭС (2017 г.), вышеупомянутые проблемы не решены.

#### **4. Отсутствует фильтрация системы вентилирования.**

Фильтрация вентиляционной системы контейнента (защитной оболочки) не предусмотрена проектом АЭС-2006. Следует отметить, что финские требования предписывают оснащать вентиляцию контейнента атомных электростанций системами фильтрации для смягчения последствий тяжелых аварий.

По мнению ГАН, фильтрация вентиляционной системы контейнента не нужна, поскольку полное обесточивание (блэкаут) Белорусской АЭС не приведет к повреждению топлива в реакторе, что связано с эффективным охлаждением топлива с помощью СПОТ ПГ. **Однако, как объяснялось ранее, функционирование СПОТ ПГ не гарантируется при всех условиях.** Кроме того, абсолютная, 100% целостность циркониевых стержней не может быть гарантирована во время так называемой кампании, одного цикла загрузки топлива в реактор. Стержни могут растрескиваться, а также подвергаться разного рода дефектам, особенно учитывая то, что топливо проекта АЭС-2006 также является недостаточно опробованным на практике. В таких случаях, как утверждает ОВОС Белорусской АЭС, допускаются штатные, лицензированные выбросы радионуклидов в окружающую среду в небольших количествах. Однако этого загрязнения можно было бы избежать, установив фильтрацию вентсистемы контейнента.

#### **5. Независимость уровней 3 и 4 глубокоэшелонированной защиты (DiD) под вопросом.**

Независимость уровней DiD является ключевым по своей важности элементом концепции глубокоэшелонированной защиты. WENRA ожидает, что разные уровни DiD будут независимы в той степени, в которой это практически возможно, чтобы отказ одного уровня DiD не повлиял на глубокоэшелонированную защиту, обеспечиваемой другими уровнями. Тем не менее, разработчики проекта ВВЭР-1200/В491, по-видимому, понимают концепцию глубокоэшелонированной защиты как общие теоретические посылки, а не как принцип, которого необходимо последовательно придерживаться на протяжении всего проектирования. Важность независимости уровней DiD подчеркивается в общих чертах, но не всегда последовательно реализуется в деталях проекта.

Кроме того, в случае тяжелой аварии в проекте АЭС-2006 ряд функций 4-го уровня DiD также используются на других, более низких уровнях DiD. Что наиболее важно, что две системы пассивного отвода тепла не предназначены в проекте АЭС-2006 для исключительного использования в случае тяжелой аварии - они также должны использоваться на уровне безопасности 3. Кроме того, для уровней DiD 3 и 4 имеется только один набор клапанов разгерметизации первичного контура. Вдобавок к этому, вопрос разделения систем I&C, поддерживающих разные уровни глубокоэшелонированной защиты, остается невыясненным в имеющиеся документах (UBA 2014).

Тем не менее, ГАН заявляет, что проектом АЭС-2006 предусмотрен адекватная уровень независимости каналов глубокоэшелонированной защиты DiD. Это не так, как показано выше.

## **6. Режим слежения за нагрузкой не рассматривается.**

Непонятно, в какой степени предполагается работа с нагрузкой для белорусской АЭС. АЭС в Европе в основном используются в режиме базовой нагрузки. Их гибкость ограничена несколькими процентами от номинальной мощности. Для новых атомных электростанций (строящихся и планируемых) предполагается работа под полной нагрузкой. Но опыта эксплуатации недостаточно. Исследования возможных воздействий в режиме следования реактора за нагрузкой ограничены и не позволяют сделать выводы о влиянии в будущем. Управление активной зоной реактора во время слежения за нагрузкой является проблемной и сложной задачей и для современных реакторов, в частности, для реакторов с большими активными зонами. Реактор должен выполнять изменения нагрузки, сохраняя ограничения активной зоны для локального пика мощности и запасов прочности или безопасности.

Эксплуатация АЭС в маневренном режиме вызывает технические трудности, поскольку компоненты и системы станции подвергаются многочисленным циклам термического стресса; это приводит к более быстрому старению и требует более сложных систем для контроля и управления реактором. Кроме того, возникает экономический недостаток эксплуатации АЭС в маневренном режиме в более широком диапазоне мощностей, если энергоблок работает на пониженной мощности.

По данным ГАН, по состоянию на 28 апреля 2018 года документация по технике безопасности при работе в маневренном режиме блоков Белорусской АЭС проверяется на предмет лицензирования эксплуатации блока 1 Белорусской АЭС. После завершения экспертизы информация может быть предоставлена.

Экономические аспекты эффективности функционирования АЭС в маневренном режиме блоков энергоблоков Белорусской АЭС находятся в стадии обсуждения. Особое внимание уделяется влиянию внешних факторов, включая динамику регионального энергетического рынка, динамику регионального энергопотребления и т. д.

## **7. Проблемы радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива.**

Отработавшее ядерное топливо, которое будет производиться во время эксплуатации новой электростанции, будет храниться в течение 10 лет в бассейне охлаждения, расположенном рядом с реакторами.

В соответствии с межправительственным соглашением между Республикой Беларусь и Российской Федерацией, отработавшее ядерное топливо Белорусской АЭС предполагается возвращать для переработки в Российскую Федерацию на условиях, которые определяются отдельным договором. В этом контексте стороны обсуждают порядок и условия отправки отработавшего ядерного топлива обратно в Россию и обращения с продуктами переработки.

Переработка и транспортировка отработавшего топлива и радиоактивных отходов несут дополнительные риски для людей и окружающей среды. Таким образом, будет хорошим решением, если Беларусь откажется от переработки за рубежом.

Альтернативные варианты обращения с облученными тепловыделяющими сборками должны быть разработаны в рамках Стратегии обращения с отработавшим ядерным топливом Белорусской АЭС. Проект Стратегии проходил общественного обсуждения в декабре 2018 - январе 2019 и слушания 15 января 2019 года.

В долгосрочной перспективе, согласно Стратегии обращения с радиоактивными отходами для Белорусской АЭС, планируется выработать необходимость строительства площадки захоронения высокоактивных радиоактивных отходов в глубокой геологической формации. Для достижения этой цели будет проведен комплекс научно-исследовательских работ по выработке предложений по обращению с высокоактивными РАО. Окончательное решение о порядке обращения с высокоактивными РАО будет принято в зависимости от результатов всего комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Емкость хранилища на площадке предназначена для хранения: очень низкоактивных отходов, низкоактивных отходов, и среднеактивных отходов, образующихся в течение 10 лет эксплуатации энергоблока. Когда период временного хранения закончен, радиоактивные очень низкоактивные отходы, низкоактивные отходы, и среднеактивные отходы транспортируются на место захоронения для длительного хранения и/или захоронения (Национальный доклад о стресс-тестах Белорусской АЭС. 2017).

Объединенный институт энергетических и ядерных исследований в Беларуси "Сосны" проводит исследования по наилучшим методам хранения и переработки ядерных отходов, образующихся на Белорусской АЭС. В течение 60 лет эксплуатации Белорусская АЭС произведёт около 960 кубометров очень низкоактивных отходов, 3840 кубометров низкоактивных отходов, 600 кубометров среднеактивных отходов и 60 кубометров высокоактивных отходов (ВАО). Кроме того, Беларусь ожидает, что в течение всего срока эксплуатации станции будет образовано 3960 кубометров отвержденных жидких отходов.

В исследовании предусматривается, что высокоактивные отходы будут храниться на Белорусской АЭС в течение всего срока её службы, и что очень низкоактивные, низкоактивные и среднеактивные отходы будут храниться в 200-литровых бочках в приповерхностном сооружении, построенном где-то в Беларуси, не на площадке Белорусской АЭС. Место для размещения хранилища должно быть выбрано к 2023 году. Первая часть хранилища должна быть завершена к 2028 году, чтобы там могли храниться отходы, образовавшиеся в течение первых 10 лет эксплуатации Белорусской АЭС, в соответствии с Национальной стратегией Беларуси по обращению с ядерными отходами. По истечении первых 10 лет время обслуживания запланированного хранилища может быть увеличено или отходы могут быть перевезены в новое хранилище, которое будет построено к 2038 году.

Как утверждает ГАН, предполагается, что в случае тяжелой аварии на энергоблоке Белорусской АЭС все произведенные РАО (жидкие, твердые и газообразные), будут безопасно локализованы под защитной оболочкой АЭС. Ожидается, что в этом случае предполагаемый объем жидких радиоактивных отходов (ЖРО) составит около 3000 м<sup>3</sup>. После перевода энергоблока в безопасное состояние предусмотрено неограниченное количество времени для очистки и переработки образующихся отходов с помощью предусмотренных систем обращения с РАО, что помогает обеспечить надежный уровень ядерной и радиологической безопасности. Это заявление не заслуживает доверия, если принять во внимание комплексные меры по очистке площадки атомных электростанций после Фукусимской или Чернобыльской аварий.

## **8. Некоторые существенные погодные воздействия на Белорусскую АЭС не были рассмотрены.**

Независимые эксперты считают одним из неблагоприятных погодных факторов, который может привести к спонтанному отключению Белорусской АЭС от энергосети, сочетание условий низких температур и высокой влажности, ведущее к обледенению проводов системы электропередач.

Такая ситуация рассматривается экспертами НГО “Зеленый мир” как вероятная в условиях крайне высокой влажности, создаваемой башенными испарителями - градирнями. Этот сценарий не был рассмотрен в стресс-тестах.

### **Выводы и рекомендации главы II.**

Для того, чтобы привести проект АЭС-2006 ВВЭР-1200/В-491 в соответствие с европейскими стандартами безопасности, в частности, с теми, которые группа PRT применяла для партнерской проверки стресс-тестов Белорусской АЭС регулятору следует выполнить следующие действия, которые могут быть внесены в Национальный план действий по стресс-тестам:

1. Провести полную детальную экспертизу проекта АЭС-2006 ВВЭР-1200/В-491 с использованием стандартов WENRA и МАГАТЭ, как это сделал финский регулятор STUK, чей опыт должен быть учтен в рассмотрении.
2. Выработать рекомендации по приведению проекта АЭС-2006 ВВЭР-1200/В-491 в соответствие со стандартами WENRA и МАГАТЭ, учтя все рекомендации, выданные группой PRT, а также рассмотрев аналогичные рекомендации STUK.
3. Рекомендации из пункта 2 должны решать, в том числе, следующие проблемы:
  - 3.1. **Неадекватной защиты систем безопасности.** Эта проблема должна решаться, в том числе, путем обеспечения реальной физической независимости и защиты каналов безопасности (или уровней безопасности), а также полного физического разделения уровней глубокоэшелонированной защиты 3 и 4.
  - 3.2. **Возможной потери целостности защитной оболочки (конайтмента).** Этот вопрос должен быть рассмотрен в рамках концепции практического устранения МАГАТЭ, иными словами все физические явления, связанные с серьезными авариями, которые могут поставить под угрозу целостность защитной оболочки, должны быть рассмотрены с точки зрения физического обеспечения невозможности, а не исключены как маловероятные.

**3.3. Подтверждения функциональности ловушки расплава.** Для этого должны быть выполнены необходимые изыскания, в том числе, по вопросам **взаимодействия между расплавом активной зоны и бетоном; значительных неопределенностей в отношении теплопередачи между соответствующими материалами; появления трещин в бетонной части устройства; образования водорода, возможности парового взрыва при водяном охлаждении.** Если подтверждение функциональности невозможно, должны быть приняты меры по физическому устранению источников риска перерастания аварии в более тяжелую и/или неконтролируемую фазу.

**3.4. Отсутствия фильтрации системы вентилирования.** Фильтрация системы вентилирования контейнента должна быть внедрена до пуска АЭС, как этого потребовал финский STUK в отношении аналогичного проекта.

**3.5. Режима слежения за нагрузкой.** Документация по технике безопасности при работе в маневренном режиме блоков Белорусской АЭС должна быть подвергнута экспертизе, в том числе на предмет допустимых безопасных пределов, а также целесообразности и оправданности использования такого режима.

**3.6. Обращения с ОЯТ и РАО Белорусской АЭС.** Для этого должны быть оценены аварии, влияющие на объекты по обращению с РАО, которые будут созданы на месте, и их влияние на окружающую среду. Воздействия возможной аварии должны быть проанализированы, несмотря на низкую вероятность.

**3.7. Отсутствия рассмотрения погодных условий, значимых для работы АЭС с башенными испарителями, а также вероятных в климатических условиях северо-западной Беларуси.** Для этого, подобные сценарии должны быть проанализированы, а также разработаны меры для устранения и смягчения последствий из наступления.

## Ссылки

**МАГАТЭ 2012:** Безопасность атомных электростанций: проектирование. Конкретные требования безопасности. Серия норм безопасности МАГАТЭ, No SSR-2/1 (Rev. 1). Вена: Международное агентство по атомной энергии, 2016; [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1715\\_R\\_1rev1\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1715_R_1rev1_web.pdf)

**ATOMENERGOPROEKT 2011:** St. Petersburg Research and Design Institute: Design AES-2006, concept solutions by the example of Leningrad NPP-2. Saint Petersburg, 2011.

**ENSREG 2018:** European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG): EU Peer Review Report of the Belarus Stress Tests; June 2018; [http://www.ensreg.eu/sites/default/files/attachments/hlg\\_p2018-36\\_155\\_belarus\\_stress\\_test\\_peer\\_review\\_report\\_0.pdf](http://www.ensreg.eu/sites/default/files/attachments/hlg_p2018-36_155_belarus_stress_test_peer_review_report_0.pdf)

**STUK 2009:** Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority (2009): Preliminary Safety Assessment of the Loviisa 3 Nuclear Power Plant Project; Assessment Report; 2009.

**UBA 2010:** Umweltbundesamt: Construction of a NPP in Belarus; Report on the Bilateral Consultations on May 10th 2010 according to Article 5 of the Convention on environmental impact assessment in a transboundary context (Espoo Convention); Helmut Hirsch; Antonia Wenisch; Report, REP-0291; Vienna 2010; <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0291.pdf>

**UBA 2014:** Umweltbundesamt: NPP FENNOVOIMA (HANHIKIVI 1) Expert Statement to the Environmental Impact Assessment Report; Oda Becker, Helmut Hirsch; Adhipati Y. Indradiningrat, Andrea Wallner; By Order of the Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Report, REP-0479; Vienna 2014; [www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/umweltpolitische/ESPOOverfahren/uvp\\_fennovoima2014/REP\\_0479\\_Hanhikivi\\_EIA.pdf](http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/umweltpolitische/ESPOOverfahren/uvp_fennovoima2014/REP_0479_Hanhikivi_EIA.pdf)

**WENRA 2009:** RHWG—Reactor Harmonization Working Group (2009): Safety Objectives for New Power Reactors. Western European Nuclear Regulator's Association. December 2009 (Published in the final wording in November 2010); [http://www.wenra.org/media/filer\\_public/2012/11/05/rhwg\\_report\\_newnpp\\_dec2009.pdf](http://www.wenra.org/media/filer_public/2012/11/05/rhwg_report_newnpp_dec2009.pdf)

**WENRA 2010:** Western European Nuclear Regulator's Association (2010): Statement on Safety Objectives for New Nuclear Power Plants. November 2010; [http://www.wenra.org/media/filer\\_public/2012/11/05/wenra\\_statementonsafetyobjectives-fornewnuclearpowerplants\\_nov2010.pdf](http://www.wenra.org/media/filer_public/2012/11/05/wenra_statementonsafetyobjectives-fornewnuclearpowerplants_nov2010.pdf)

**WENRA 2013:** Western European Nuclear Regulator's Association (2013): Safety of New NPP Designs. A report by RHWG – Reactor Harmonization Working Group. March 2013; [http://www.wenra.org/media/filer\\_public/2013/08/23/rhwg\\_safety\\_of\\_new\\_npp\\_designs.pdf](http://www.wenra.org/media/filer_public/2013/08/23/rhwg_safety_of_new_npp_designs.pdf)



## Принятые сокращения

АЭС	атомная электростанция
ВАБ	вероятностный анализ безопасности
ГАН	Госатомнадзор, Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Беларуси
МАГАТЭ	Международное агентство по атомной энергии
МПЗ	максимальное проектное землетрясение
НАН Беларуси	Национальная академия наук Беларуси
НПО	неправительственные организации
ПЗ	проектное землетрясение
ПН	проектное наводнение
РАО	радиоактивные отходы
СВАБ	сейсмический вероятностный анализ безопасности
СПОТ 30	система пассивного отвода тепла из объема герметичной оболочки
СПОТ ПГ	система пассивного отвода тепла через парогенератор
ТВС	тепловыделяющая сборка
ТКП	технический кодекс установившейся практики
BDBA	Beyond Design Basis Accident, запроектная авария
DiD	Defence in Depth, глубокоэшелонированная защита
ФАК	система охлаждения топливного бассейна
<i>g</i>	standard value of the gravitational acceleration (9,81 m/s <sup>2</sup> ), ускорение свободного падения (9,81 м/с <sup>2</sup> )
JMN	спринклерная система защитной оболочки
JNA	система отвода остаточного тепла
JNB	система пассивного отвода тепла через парогенераторы
JND	система аварийного впрыска высокого давления
JNG	система аварийного впрыска низкого давления
КАА	система промконтура охлаждения ответственных потребителей
КАВ	система промконтура охлаждения ответственных потребителей высокого давления
PRT	Peer Review Team, группа по проведению партнёрской проверки стресс-тестов

SAR	Safety Analysis Report, отчёт об анализе безопасности
SBO	station blackout, полное обесточивание электростанции
SHEEC	SHARE European Earthquake Catalogue, европейский каталог землетрясений, <a href="https://www.emidius.eu/SHEEC/">https://www.emidius.eu/SHEEC/</a>
SSC	Structures, Systems and Components; инфраструктура, системы и элементы
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association, Западноевропейская ассоциация ядерных регуляторов