

**А. А. Ключников, В. И. Скалозубов, Т. В. Габлая, В. Н. Ващенко²,
И. Л. Козлов¹, Т. В. Герасименко², А. А. Гудима², К. В. Скалозубов**

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Лысогорская, 12, корп. 106, Киев, 03028, Украина

¹ *Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина*

² *Государственная экологическая академия последипломного образования, ул. Урицкого, 35, Киев, 03035, Украина*

КОММЕНТАРИИ К ПРОЕКТУ ОСНОВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ С УЧЕТОМ УРОКОВ АВАРИИ НА АЭС FUKUSHIMA-DAIICHI

Рассмотрены предложения для разработки Основных требований безопасности атомных станций Украины с учетом уроков аварии на АЭС Fukushima-Daiichi в отношении терминологии аварий, вероятностных и детерминистских критериев безопасности, требований к методам и расчетным средствам моделирования аварийных процессов, а также к руководствам по управлению тяжелыми авариями. Предложения могут быть использованы Государственной инспекцией ядерного регулирования Украины и эксплуатирующей организацией.

Ключевые слова: безопасность; авария; АЭС Fukushima-Daiichi.

В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ и регулирующих органов ведущих ядерных держав эксплуатирующая организация АЭС Украины (ГП НАЭК «Энергоатом» и Государственная инспекция ядерного регулирования (ГИЯРУ) разработали План мероприятий по дальнейшему повышению безопасности атомной энергетики с учетом уроков большой аварии на АЭС Fukushima-Daiichi (далее - План). Первым краткосрочным этапом реализации Плана было проведение стресс-тестов анализа безопасности [1], основная цель которых заключается в определении дополнительных мероприятий к Комплексной (сводной) программе повышения безопасности (Кс ППБУ-2010) с учетом уроков и выводов большой аварии на АЭС Fukushima-Daiichi.

Одним из актуальных направлений реализации Плана в [1] определена необходимость пересмотра нормативно-технической документации, регулирующих безопасность АЭС. В рамках реализации Плана в 2013 г. разработан проект основополагающего нормативного документа «Основные требования безопасности атомных станций» (ОТБ), который должен быть введен в замену действующему ОПБУ-2008 [2]. Актуальность и фундаментальность этих нормативных документов определяет активное обсуждение и большое число предложений по их совершенствованию.

Ниже предлагаются наши комментарии к отдельным положениям проекта ОТБ, которые недостаточно обоснованы или имеют спорный характер с учетом уроков Фукусимской аварии.

Терминология аварий

В проекте ОТБ вводится термин *авария с множественными отказами* (фактически в замену термина «запроектная авария» в ОПБУ-2008), которая определяется как авария с дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем и ошибками персонала.

Относительно такого подхода классификации аварий полагаем необходимым отменить:

1. Термины «авария» проектная и «авария с множественными отказами» фактически не «охватывают» группы аварий с запроектными исходными событиями, но при отсутствии «множественных отказов». Так, авария на АЭС Fukushima-Daiichi [3] произошла при совместном запроектном воздействии землетрясения (около 9 баллов в эпицентре) и цунами (около 15 м у побережья), которые были не предусмотрены проектом энергоблоков (запроектное исходное событие), приведшее по причине недостатков проектов энергоблоков к «множественным отказам». Но можно предположить и более благополучную ситуацию - при запроектных исходных событиях (непредусмотренных проектом) сохранится принцип единичного отказа, характерный для проектных аварий.

2. С другой стороны, передовой опыт разработки руководств/инструкций по управлению и ликвидации аварий показывает [3], что алгоритмы управления проектными и запроектными авариями (без отказов критических функций безопасности, приводящих к повреждению ядерного топлива) практически идентичны. Поэтому более целесообразным является классификация аварий по двум группам: *аварии без повреждения ядерного топлива; тяжелые аварии с повреждением ядерного топлива.*

© А. А. Ключников, В. И. Скалозубов, Т. В. Габлая,
В. Н. Ващенко, И. Л. Козлов, Т. В. Герасименко,
А. А. Гудима, К. В. Скалозубов, 2014

Граничным условием этих групп аварий являются отказы систем (в том числе и по причине ошибочных действий персонала), обеспечивающих выполнение критических функций безопасности по предотвращению повреждения ядерного топлива.

Вероятностные критерии безопасности

Проект ОТБ «сохранил» принятый в ОПБУ-2008 [2] подход регулирования ядерной безопасности на основе вероятностных критериев:

частота тяжелой аварии $< 10^{-4} \dots 10^{-5}$ 1/год;

частота предельного аварийного радиоактивного выброса $< 10^{-6} \dots 10^{-7}$ 1/год.

Такой подход соответствует общепринятой мировой практике ядерного регулирования в «до-фукусимский» период; однако противоречит урокам аварии на АЭС Fukushima-Daiichi:

1) все аварийные блоки до момента аварии соответствовали подобным вероятностным критериям безопасности (в том числе обоснования по продлению сроков эксплуатации 1 блока за месяц до аварии);

2) возникшие аварийные события и их последствия не нарушили условия вероятностных критериев безопасности.

Таким образом, уроки Фукусимской аварии показали, что вероятностные показатели тяжелых аварий и предельных радиоактивных выбросов не могут служить основными критериями безопасности. Приоритет следует отдавать альтернативным детерминистским критериям, которые должны более адекватно отражать состояние безопасности атомных энергоблоков

В качестве одного из таких детерминистских критериев безопасности можно предложить *достаточность квалификации оборудования, систем, строений в условиях аварийных ситуаций и аварий*. Под *квалификацией* подразумевается обоснование экспериментальными и расчетными методами работоспособности и/или надежности выполнения назначенных функций.

Важно отметить, что еще в «дофукусимский» период МАГАТЭ разработало и рекомендовало руководства по реализации программ квалификации оборудования и систем (в том числе для «жестких» условий эксплуатации). Мероприятия по квалификации оборудования и систем ВВЭР успешно реализуются и в Украине. Поэтому принятие в ОТБ *квалифицированного критерия безопасности* не требует разработки новых программ и методического обеспечения, а с другой стороны, является детерминистской альтернативой, недостаточной для оценки безопасности вероятностным критерием.

Эффективность квалифицированных критериев безопасности можно гипотетически продемонстрировать на примере Фукусимской аварии. Известно, что одной из основных причин полной потери длительного электроснабжения на аварийных энергоблоках (исходное событие тяжелых аварий) было затопление дизель-генераторов в нижних уровнях турбинных отделений через траншеи кабельной и трубопроводной обвязки [3]. Если бы своевременно и на достаточном уровне была проведена квалификация сооружений на «жесткие» условия затопления, а также приняты соответствующие компенсирующие мероприятия, то, возможно, не произошли бы тяжелые аварии и катастрофические экологические последствия.

Требования к анализу безопасности

Проект ОТБ определяет требования к методологии анализа безопасности и аттестации используемых программных средств. Относительно этих положений можно отметить:

1. Нормативный документ такого уровня, по нашему мнению, не должен конкретизировать методы анализа безопасности, которые постоянно совершенствуются и расширяются. В частности, одна из причин широкого применения вероятностных методов анализа безопасности в настоящее время связана с ограниченными возможностями детерминистских методов. Однако современное научно-техническое развитие методического обеспечения и расширения возможностей вычислительной техники может в будущем привести к полной доминантности детерминистских методов анализа безопасности.

2. Отсутствуют достаточно обоснованные и объективные критерии аттестации программных средств, моделирующих аварийные процессы. Так, например, в настоящее время в свете «фукусимских» событий активизировалась расчетная квалификация систем и оборудования на прочность при запроектных сейсмических воздействиях на основе современных программных средств, методическое обеспечение которых отличается/может отличаться от методов «морально устаревших», но действующих норм расчета на прочность [4].

Аналогичная ситуация и для так называемых теплогидравлических и нейтронно-физических кодов [5].

Такая ситуация может привести к субъективности аттестации программных средств экспертами ГИЯРУ, а также недопустимым последствиям при регулировании безопасности: скрытое «лоббирование», зависимость между регулирующей и эксплуатирующей организациями и т.п. Следует напомнить, что японское правительство официально заявило¹, что одной из основных коренных причин большой аварии на АЭС Fukushima-Daiichi было именно отсутствие необходимой независимости регулирующей и эксплуатирующей организациями ТЕРСО [3].

Таким образом, мы полагаем нецелесообразными положения проекта ОТБ по конкретизации методов анализа безопасности и аттестации используемых программных средств.

В требованиях ОТБ должна быть отражена необходимость *дополнений к отчетам по анализу безопасности и/или техническим обоснованиям безопасности по адаптации, верификации, валидации используемых программных средств и анализу неопределенностей расчетного моделирования.*

Требования к руководствам по управлению тяжелыми авариями

Коренными причинами тяжелых аварий на АЭС Fukushima-Daiichi были недостатки проектов энергоблоков по преодолению относительно маловероятных запроектных событий, а также недостаточная подготовленность персонала по управлению подобными авариями. Поэтому рекомендации МАГАТЭ и комиссии европейских регуляторов, а также результаты стресс-тестов [1] особое внимание уделяют необходимости разработки достаточно эффективных руководств по управлению тяжелыми авариями (РУТА).

Основные требования проекта ОТБ к РУТА заключаются в необходимости учета всех потенциальных источников радиационных выбросов, а также влияние внешних экстремальных явлений. В определенной степени эти требования учитывают уроки Фукусимской катастрофы: известные в «до-фукусимский» период РУТА в основном были ориентированы на внутри - и внекорпусную (для реактора) стадии тяжелых аварий; а мероприятия по управлению тяжелыми авариями, например в бассейнах «свежего» отработанного ядерного топлива либо вообще не регламентировались, либо рассматривались крайне недостаточно. Также недостаточно уделялось внимание и организации управлению тяжелыми авариями в условиях экстремальных природных событий, подобных большой аварии на АЭС Fukushima-Daiichi [3].

Однако уроки Фукусимской аварии, по-нашему мнению, должны определить и другие фундаментальные требования к РУТА, которые должны определять *эффективные стратегии управления тяжелыми авариями (СУТА) с учетом первичных исходных аварийных событий, а также фактического состояния доступности и работоспособности систем, обеспечивающих управление процессами для:*

предотвращения разрушения защитных барьеров безопасности;

приведения в стабильное и контролируемое состояние топливосодержащих масс (ТСМ).

Проекты отечественных РУТА (см., например, [3]) определяют СУТА как мероприятия по предотвращению отдельных эффектов тяжелых аварий (например, «снижение давления в гермообъеме», «охлаждение поврежденного топлива», «предотвращение взрыва водорода» и т.п.). Такой подход имеет явные ограничения, так как недопустимо, например, реализовать стратегию снижения давления без охлаждения ТСМ и/или предотвращения парогазовых взрывов. СУТА должны определять весь комплекс эффективных мероприятий для достижения основной цели: предотвращение разрушения защитных барьеров безопасности и приведение ТСМ в стабильное состояние. Перечень же СУТА должен определяться, главным образом, предысторией возникновения тяжелых аварий и состоянием доступности и работоспособности систем, обеспечивающих выполнение критических функций безопасности.

Основные выводы

С учетом уроков аварии на АЭС Fukushima-Daiichi в новой редакции Основных требований безопасности атомных станций предлагается:

1. Классификация аварий по двум группам: аварии без повреждения ядерного топлива; тяжелые аварии с повреждением ядерного топлива.

¹ По-нашему мнению, не вполне обосновано.

Граничным условием этих групп аварий являются отказы систем (в том числе по причине ошибочных действий персонала), обеспечивающих выполнение критических функций безопасности по предотвращению повреждения ядерного топлива.

2. Дополнительно к вероятностным критериям безопасности должны применяться детерминистские критерии безопасности достаточности квалификации оборудования, систем, строений в условиях аварийных ситуаций и аварий (квалификационные критерии безопасности).

3. Нецелесообразны конкретизация методов и расчетных средств анализа безопасности. В требованиях должна быть только отражена необходимость их верификации, валидации и анализа неопределенностей расчетного моделирования.

4. Дополнительные требования к руководствам по управлению тяжелыми авариями должны определять необходимость эффективности стратегий управления тяжелыми авариями с учетом исходных событий, а также состояния доступности и работоспособности систем, обеспечивающих управление аварийными процессами для предотвращения разрушения защитных барьеров безопасности и приведение в стабильное состояние ТСМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Национальный отчет Украины о результатах стресс-тестов / Государственная инспекция ядерного регулирования Украины.* – 2012.
2. *НП 306.2.141-2008.* Загальні положення безпеки АС (ОПБУ-2008).
3. *Анализ причин и последствий аварии на АЭС Fukushima как фактор предотвращения тяжелых аварий в корпусных реакторах / В. И. Скалозубов, А. А. Ключников, В. Н. Ващенко.* – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2012. – 280 с.
4. *ПНАЭ Г-7-002-86.* Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов АЭУ.
5. *Основы управления запроектными авариями на АЭС с ВВЭР / В. И. Скалозубов, А. А. Ключников, В. Н. Колыханов.* – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2012.

**О. О. Ключников, В. М. Щербін, В. І. Скалозубов, Т. В. Габлая, В. М. Ващенко², І. Л. Козлов¹,
Т. В. Герасименко², А. А. Гудима², К. В. Скалозубов**

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12, корп. 106, Київ, 03028, Україна

¹ *Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченко, 1, Одеса, 65044, Україна*

² *Державна екологічна академія післядипломної освіти, вул. Урицького, 35,
Київ, 03035, Україна*

КОМЕНТАРІ ДО ПРОЕКТУ ОСНОВНИХ ВИМОГ БЕЗПЕКИ АТОМНИХ СТАНЦІЙ З УРАХУВАННЯМ УРОКІВ АВАРІЇ НА АЕС FUKUSHIMA-DAIICHI

Розглянуто пропозиції для розробки Основних вимог безпеки атомних станцій України з урахуванням уроків аварії на АЕС Fukushima-Daiichi відносно термінології аварій, імовірнісних і детерміністських критеріїв безпеки, вимог до методів і розрахункових засобів моделювання аварійних процесів, а також до керівництва з управління важкими аваріями. Пропозиції можуть бути використані Державною інспекцією ядерного регулювання України та експлуатуючою організацією.

Ключові слова : безпека; аварія; АЕС Fukushima-Daiichi.

**O. O. Klyuchnykov, V. I. Skalozubov, T. V. Gablaya, V. N. Vaschenko², I. L. Kozlov¹,
T. V. Gerasimenko², A. A. Hudyma², K. V. Skalozubov**

*Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Lysogirska str., 12, building 106,
Kyiv, 03028, Ukraine*

¹ *Odessa national polytechnic university, Blvd. Shevchenko, 1, Odessa, 65044, Ukraine*

² *State ecological Academy of postgraduate education and management, Urickogo str., 35,
Kyiv, 03035, Ukraine*

COMMENTS ON THE DRAFT BASIC REQUIREMENTS SAFETY OF NUCLEAR PLANTS BASED ON LESSONS ACCIDENT AT THE PLANT FUKUSHIMA-DAIICHI

The paper discusses the proposal for the development of the Basic requirements safety of Nuclear power stations in Ukraine based on the lessons of the accident at Fukushima-Daiichi nuclear power plant on the terminology of accidents and deterministic probabilistic safety criteria, requirements and methods of calculation disturbance modeling

tools , as well as to the guidelines for the management of severe accidents. Proposals may be used by the State Nuclear Regulation Inspectorate of Ukraine and the operating organization.

Keywords: safety; accident; Fukushima-Daiichi NPP.

REFERENCES

1. *National report. Results of realization "stress tests" / State inspection of the nuclear adjusting of Ukraine. - 2012. (Rus)*
2. *NP 306.2.141-2008. Generals of safety of AES (OPBU-2008). (Ukr)*
3. *Analysis of reasons and consequences of accident on АЭС of Fukushima as a factor of prevention of severe accidents n reactors. / V. I. Skalozubov, A. A. Kliuchnykov, V. N. Vaschenko, S. S.Yarovoy. - Chornobyl: Institut problem bezpeky AES NAN Ukraine (Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants), 2012. - 280 p. (Rus)*
4. *PNAEG -7-002-86. Norms of calculation on durability of equipment and pipelines of NP. (Rus)*
5. *Government bases by severe accident with the loss of coolant-moderator on NPP with VVER / V. I. Skalozubov, A. A. Kliuchnykov, V. N. Kolykhanov. - Chornobyl: Institut problem bezpeky AES NAN Ukraine (Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants), 2010. - 400 p. (Rus)*

Надійшла 15.01.14

Received 15.01.14