

В. И. Скалозубов¹, И. Л. Козлов², Т. В. Габлая¹, Т. В. Герасименко³, К. В. Скалозубов¹

¹ Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Лысогорская, 12, корп. 106, Киев, 03028, Украина

² Одесский национальный политехнический университет, пр. Шевченко 1, Одесса, 65044, Украина

³ Государственная экологическая академия Украины, ул. Урицкого, 35, Киев, 03035, Украина

АНАЛИЗ УРОКОВ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ НА АЭС FUKUSHIMA-DAIICHI ДЛЯ ПЕРЕОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ

На основе анализа известных деклараций о причинах и уроках тяжелых аварий на АЭС Fukushima-Daiichi предложены комментарии авторов относительно необходимости более эффективных подходов переоценки безопасности действующих и проектируемых АЭС. Использованное в стресс-тестах переоценки безопасности АЭС Украины методическое обеспечение моделирования возможных затоплений промплощадок при запроектных землетрясениях является недостаточно обоснованным. Поэтому выводы стресс-тестов в отношении безопасности АЭС Украины при экстремальных природных воздействиях полагаем преждевременными.

Ключевые слова: тяжелые аварии, переоценка безопасности.

После произошедших тяжелых аварий и разрушительных взрывов с катастрофическими экологическими последствиями на АЭС Fukushima-Daiichi в марте 2011 г. было представлено достаточно много официальных заявлений эксплуатирующей организации ТЕРСО, японского правительства, МАГАТЭ, государственных организаций регулирования ядерной и радиационной безопасности ведущих ядерных держав. Также были даны научно-технические отчеты/публикации об уроках Фукусимской катастрофы для дальнейшего обеспечения и повышения безопасности эксплуатации ядерных энергетических установок (например, [1 – 23] и др.).

Относительно выводов эксплуатирующей организации ТЕРСО о причинах и последствиях большой аварии на АЭС Fukushima-Daiichi необходимо сделать ряд комментариев.

1. Мероприятия по поддержанию необходимого уровня в бассейне выдержки отработанного ядерного топлива (БВ ОЯТ) блока № 4 подтверждены в отчете ТЕРСО только после разрушительного взрыва 15 марта (использование мобильного насоса и вертолетов для разбрызгивания через поврежденную крышу здания блока № 4). Подтверждение наличия необходимого уровня в БВ ОЯТ блока № 4 основывалось на результатах визуального наблюдения 16 марта, а также измерений радиационных последствий после взрыва 15 марта. Возможное опасное снижение уровня в БВ ОЯТ блока № 4 было спрогнозировано ТЕРСО на конец марта.

Вместе с тем предварительные оценки состояния БВ ОЯТ блока № 4 косвенно указывали на снижение уровня еще до взрыва 15 марта (возможно, по причине потери герметичности бассейна при сейсмическом воздействии). Специалисты регулирующих органов Японии (NISA) и США (NRC), а также европейского концерна AREVA высказали сомнения в том, что необходимый уровень в бассейне поддерживался до и после взрыва 15 марта.

В любом случае разрушительного взрыва на блоке № 4 избежать не удалось по причине недостатков проектов энергоблоков (возможность попадания продуктов вентиляции от соседних блоков) и недостаточно эффективных действий аварийного персонала по изоляции аварийных блоков и поддержанию необходимого уровня в БВ ОЯТ.

2. Выводы ТЕРСО о том, что причиной всех взрывов были процессы дефлаграции/детонации водорода, основывались на том, что температура горючих материалов (например, турбинного масла) была недостаточной для их взрывоопасности, а давление в контейнентах контролировалось на квазистатическом уровне. Относительно небольшие разрушительные последствия также не характерны для паровых «энергетических» взрывов.

Однако эти выводы не представляются достаточно обоснованными по следующим положениям:

- а) фактически отсутствовал мониторинг условий паровых взрывов в реакторах блоков № 1 - 3;
- б) перед взрывами на блоках № 2 и 3 были зафиксированы периодические резкие увеличения давления в контейнентах (в частности, утром 14 марта);
- в) взрыв (а возможно, и последовательность взрывов) на блоке № 2 произошел внутри контейнента, заполненного рекомбинаторами (азот, инертные газы) для предотвращения детонации/де-

© В. И. Скалозубов, И. Л. Козлов, Т. В. Габлая,
Т. В. Герасименко, К. В. Скалозубов, 2014

флаграции водорода, что подтверждается резким снижением давления (более чем в три раза) в баке-барботере после взрыва (возможно, в результате его повреждения);

г) характер поведения давления в контейнменте блока № 3 до и после мощного взрыва в 11:01 14 марта, «грибовидная» форма облака взрыва, устойчивые паровые факелы из контейнмента после взрыва, а также значительно бóльшие разрушения здания, чем на блоке № 1, не исключают возможности парового «энергетического» взрыва и на блоке № 3 (в том числе с последующей инициацией водородных взрывов в здании [3]).

3. Попытки вентиляции для снижения давления в реакторе и контейнменте согласно отчету ТЕРСО осуществлялись:

на блоке № 1 (взрыв водорода в 15:36 12 марта в здании) – в 14:00 12 марта, в 21:00 и 21:35 14 марта;

на блоке № 2 (взрыва водорода не было) – в 9:00, 11:17, 12:00 и 21:00 13 марта; в 06:00 и 16:20 14 марта (просверлено отверстие в здании); в 16:00 15 марта; в 02:00 16 марта; в 21:00 17 марта; в 05:00 18 марта;

на блоке № 3 (взрыв водорода 11:01 14 марта в здании) – в 9:20 13 марта; в 11:00 20 марта и др.

Мероприятия по превентивной вентиляции блока № 4 до взрыва (05:54 15 марта) не осуществлялись. МАГАТЭ дополнительно уточнило свое предыдущее сообщение о том, что вентиляция на блоках № 1 и 2 в действительности не проводилось. С другой стороны, в случае реализации мероприятий по вентиляции контейнментов и отказов по вентилированию зданий энергоблоков возрастает вероятность возникновения внутренних взрывов водорода. Однако в любом случае мероприятия по превентивному вентилированию аварийных блоков не были эффективными: не удалось избежать разрушительных взрывов и катастрофических экологических последствий. Этот вывод можно отнести и к мероприятиям по отводу остаточных тепловыделений и охлаждению поврежденного ядерного топлива до возникновения взрывов. Основные причины неэффективности этих мероприятий, по нашему мнению, связаны с ограниченными конструктивно-техническими возможностями аварийных энергоблоков с реакторами BWR по предотвращению парогазовых взрывов, а также недостаточной организацией и подготовленностью действий аварийного персонала по управлению подобными авариями.

В официальном докладе-резюме о событиях на АЭС Fukushima-Daiichi независимой комиссии по расследованию Национального парламента Японии (CNDJ) указывается, что коренные причины аварии заключаются в недостатках действующей организационной и регулирующей системы обеспечения безопасности эксплуатирующей организацией (ТЕРСО), государственными регулирующими органами (NISA, NSC) и организациями поддержки ядерной энергетики Японии (METI). Независимая комиссия парламента Японии CNDJ также пришла к выводу, что непосредственной причиной аварии могло быть запроектное землетрясение, приведшее к повреждению оборудования/систем. В качестве основных причин аварий из-за повреждения оборудования/систем от непосредственного воздействия землетрясения CNDJ полагает: относительная скоротечность мощного взрыва на блоке № 1 после аварийного останова реактора; озабоченность операторов в процессе аварии по поводу возможных утечек теплоносителя; оценки в отношении возможности малых течей при запроектных землетрясениях и др. Кроме того, были также две причины потери внешнего источника питания, связанные с землетрясением: отсутствовала независимость сейсмостойких внешних систем электропитания, трансформаторная станция не была сейсмостойкой.

Особое внимание в отношении коренных причин большой аварии комиссия CNDJ справедливо уделяет организационным недостаткам, связанным с отсутствием эффективных инструкций/руководств по управлению относительно маловероятными запроектными авариями.

Таким образом, согласно CNDJ основные причины аварии связаны с недостатками организации системы эксплуатации и регулирования безопасности, а также недостаточной эффективностью системы управления маловероятными авариями. Вместе с тем полагаем необходимым сделать несколько комментариев к основным положениям доклада комиссии CNDJ.

1. Недостаточно проанализированы ограничения старых американских проектов с BWR, эксплуатируемых на АЭС Fukushima-Daiichi, связанные с возможностью преодоления перехода запроектных аварий в тяжелые. Именно эти ограничения были одной из коренных причин большой аварии.

При этом реализация большинства мероприятий по вентиляции блоков № 1 - 3 до возникновения взрывов не получила достаточного подтверждения.

2. На наш взгляд, резкие обвинения эксплуатирующей и регулирующей организаций излишне категоричны и не вполне справедливы: ответственность за аварию в равной степени должны нести проектные организации АЭС Fukushima-Daiichi, которые не обеспечили необходимый уровень безопасности при внешних экстремальных событиях; недостаточное внимание к относительно маловероятным аварийным событиям определяется общепринятым в мировой практике подходом – еще в 90-х годах прошлого века МАГАТЭ культивировала идеологию регулирующего органа США (NRC) по вероятностному ранжированию аварийных ситуаций и только после большой аварии на АЭС Fukushima-Daiichi пришло к необходимости пересмотра этой позиции.

В этом аспекте мы не согласны с российскими коллегами [23], которые полагают по урокам Фукусимы допустимым ранее общепринятым подход исключения из анализа безопасности «...аварийных сценариев, имеющих крайне малую вероятность реализации». Например, согласно результатам ВАБ украинских АЭС с ВВЭР-1000, полученным в «дофукусимский» период, полное обесточивание энергоблока является крайне маловероятным аварийным сценарием (порядка $10^{-7}/1/\text{год}$); но необходимость анализа этого сценария после фукусимских событий уже ни у кого не вызывает сомнений. Переоценка вероятности аварийных сценариев полного обесточивания с учетом внешних экстремальных событий не решает общие вопросы полноты спектра анализируемых сценариев в отношении «нефукусимских» событий, являющихся относительно маловероятными, но имеющих серьезные последствия (например, события при полном обесточивании с отказами пассивных систем безопасности).

NRC и ядерная промышленность США приняли активное участие как в поддержке и помощи Японии, так и в анализе причин и уроков большой аварии на АЭС Fukushima-Daiichi. В качестве основной причины аварии было определено несоответствие проектных основ АЭС Fukushima-Daiichi необходимому уровню защиты от возникших запроектных цунами и землетрясений.

Первоначально NRC отстаивала позицию, что причины и уроки аварии на АЭС Fukushima-Daiichi не повлияли на уровень безопасности американских АЭС (в том числе аналогичных японским 23 энергоблокам с BWR), так как затопление промплощадок АЭС США подобными цунами крайне маловероятно; станции обеспечены необходимой системой аварийного реагирования для аварий с обесточиванием и руководствами по управлению тяжелыми авариями (SAMG). Кроме того, после терактов 11 сентября в США начата реализация программы (известной под названием «В.5.в»), которая была затребована NRC для обеспечения «смягчения» последствий от падения самолетов на АЭС. В частности, эта программа предполагает размещение дополнительных мобильных насосных и дизельных установок. Однако авария на АЭС Fukushima-Daiichi выявила отдельные «слабые» места реакторных установок типа BWR, которые эксплуатируются в США. Поэтому 1 апреля 2011 г. NRC объявила о формировании краткосрочной Специальной комиссии из шести членов (NTF), которой дали 90 дней, чтобы изучить причины и уроки аварии Fukushima-Daiichi и рекомендовать меры по уменьшению «слабых мест» на американских реакторах. Доклад Специальной комиссии, выпущенный 12 июля (NRC 2011 Recommendations for enhancing reactor safety in the 21st century), содержал 12 общих рекомендаций.

Позже (3 октября 2011 г.) NRC после обсуждения с заинтересованными сторонами результатов NTF проинформировала о еще *шести дополнительных рекомендациях*.

В отчете независимой организации ведущих ученых по ядерной безопасности (UCS) «Безопасность американской ядерной энергетики спустя год после Fukushima» (март 2012 г.) также поддерживается принятие и внедрение общих рекомендаций NRC, но при этом отмечается, что США эксплуатирует на 23 энергоблоках проекты BWR и соответствующие системы предотвращения и управления авариями, аналогичные аварийным энергоблокам АЭС Fukushima-Daiichi. И хотя для американских станций подобные запроектные цунами практически исключены, они также уязвимы для других серьезных стихийных бедствий или террористических воздействий, которые могут привести к авариям с полным длительным обесточиванием (например, уже в «постфукусимский» период внешним экстремальным воздействиям – торнадо, землетрясения – подверглись четыре американских АЭС). Уроки большой аварии на АЭС Fukushima-Daiichi показали, что действующие подобные проекты BWR в принципе не позволяют предотвращать тяжелые аварии, которые вызваны полным длительным обесточиванием, и управлять ими; а все проблемы по управлению такими авариями фактически возлагаются на «смекалку и героизм» персонала.

В дополнение к замечаниям UCS по программе NRC дальнейшего повышения безопасности АЭС США с учетом уроков большой аварии на АЭС Fukushima-Daiichi полагаем полезным отметить следующее.

NRC и ядерная промышленность США фактически определила затопление промплощадки АЭС Fukushima-Daiichi запроектными цунами, приведшее к полному длительному обесточиванию, как основную причину большой аварии. Однако эти события можно оценить как одну из основных причин начальной стадии запроектной аварии. *Основными же причинами возникновения тяжелых аварий (с недопустимым повреждением ядерного топлива) и разрушительных взрывов были недостатки проектов BWR и соответствующей системы управления запроектными и тяжелыми авариями.* Эти недостатки NRC определила как «слабые места», выявленные в процессе аварии на АЭС Fukushima-Daiichi, а не как основные причины тяжелых аварий и их последствий. Однако если бы американские проекты BWR на АЭС Fukushima-Daiichi до аварии были обеспечены необходимой герметичностью от затоплений проходок и помещений, в которых располагались дизель-генераторов (ДГ), достаточными для охлаждения реактора и контейнмента пассивными системами безопасности, не требующими электропитания, независимыми системами вентиляции энергоблоков, системами рекомбинации водорода вне контейнментов и т.п., то вне зависимости от действий аварийного персонала возможно было не только «смягчить» последствия, но и предотвратить возникновение тяжелых аварий. Косвенным подтверждением признания NRC недостатков американских проектов BWR и соответствующих систем аварийного регулирования могут быть непосредственно и сами рекомендации NRC по их модернизации, представленные уже в «постфукусимский» период. Целесообразность эффективного внедрения этих рекомендаций вполне очевидна, но уже бесполезна для предотвращения произошедшей аварии на АЭС Fukushima-Daiichi.

В первое время после аварии на АЭС Fukushima-Daiichi NRC защищала безопасность АЭС США в отношении предотвращения возникновения и последствий подобных аварий. Такая позиция основывалась на ранее предпринятых мерах в системе реагирования и управления авариями с обесточиванием, вызванными внешними экстремальными событиями, а также принятой после 11 сентября и находящейся в процессе реализации противотеррористической программы «В.5.в» для АЭС США.

Однако позже NRC были проведены две серии инспекций на каждой станции АЭС США, результаты которых заставили подвергнуть существенному сомнению обоснованность этой позиции.

Международная экспертная миссия МАГАТЭ аварии на АЭС Fukushima-Daiichi (24 мая – 1 июня 2011 г.) на основе анализа причин и последствий аварии, фундаментальных принципов обеспечения безопасности и обобщения информации заинтересованных сторон сформулировала предварительные выводы и уроки большой аварии на АЭС Fukushima-Daiichi [11].

Относительно предварительных заключений МАГАТЭ о выводах и уроках аварий на АЭС Fukushima-Daiichi позволим сделать следующие основные комментарии.

Основной причиной аварии, как следует из выводов экспертной миссии, МАГАТЭ полагает недостаточное обеспечение защиты станции от запроектных цунами, приведшее к затоплению промплощадки, полной потере длительного электроснабжения и практически всех проектных систем, обеспечивающих надежное и эффективное управление авариями на блоках № 1 - 4. Несмотря на героические усилия персонала, которые в сложившихся экстремальных условиях МАГАТЭ признает оптимальными, возникновение тяжелых аварий и их последствий было *неизбежно*. Иначе говоря, МАГАТЭ фактически вынесло необоснованный «смертельный приговор» при авариях с полной потерей длительного электроснабжения при затоплении промплощадки. Косвенным подтверждением этого может быть ситуация на соседней АЭС Fukushima, которая также подверглась экстремальным воздействиям и потере отдельных систем, но сумела сохранить необходимое электроснабжение и тем самым предотвратить катастрофические последствия. Следствие из выводов о неизбежности возникших тяжелых аварий на АЭС Fukushima-Daiichi связано с тем, что МАГАТЭ не признало одной из основных причин тяжелых аварий недостатки проектов BWR аварийных энергоблоков и проектной системы аварийного реагирования.

По нашему мнению, *основные недостатки* проектов BWR аварийных энергоблоков АЭС Fukushima-Daiichi в предотвращении возникновения тяжелых аварий связаны с:

недостаточной защищенностью ДГ системы резервного/аварийного электроснабжения от внешних экстремальных воздействий (в данном случае от затоплений цунами);

недостаточностью пассивных систем безопасности (СБ), не требующих длительного электроснабжения (обеспечение отвода остаточных тепловыделений на энергоблоках № 1 - 3 и от БВ ОЯТ на блоке № 4);

зависимостью систем вентиляции разных блоков (попадание водорода из контейнмента блока № 3 в здание блока № 4).

Произошедшая авария на АЭС Fukushima-Daiichi выявила следующие недостатки ранних проектов АЭС с BWR по организации *управления тяжелыми авариями*:

недостаточное обеспечение защиты турбинного отделения и помещений ДГ от затоплений промплощадки АЭС (в том числе через подземные траншейные туннели для трубопроводов и кабельной сети). Восемь из 13 ДГ были расположены в подвале турбинного отделения в 140 м от побережья; два ДГ – на нижнем этаже за энергоблоком № 4, а три ДГ – внутри и вне энергоблока № 6. Уровень морской воды при затоплении только в машинном зале достиг 1,5 м, что привело к выходу из строя 12 из 13 ДГ;

недостаточное обеспечение восстановления/дублирования выполнения функции надежного и длительного электроснабжения насосов СБ. Проектные аккумуляторные батареи, обеспечивающие работоспособность насосов СБ, разряжаются за 10 - 12 ч; надежное охлаждение естественной циркуляцией обеспечивается проектом лишь в течение 4 - 8 ч, а эффективность и время работы насосов СБ от турбопривода ограничены. В процессе аварии также выявлена общая ограниченность проекта в обеспеченности и эффективности пассивных СБ, не требующих электроснабжения (в частности, эффективность расположения бассейна сброса давления, органов регулирования и др.);

в обосновании проектов недооценена возможность возникновения парогазовых взрывов как крайне маловероятных событий. В частности, следствием этой недооценки явилось отсутствие обоснований мероприятий и противоаварийных процедур при отказах систем подачи рекомбинаторов водорода;

недостаточная организация и эффективность систем контроля (в том числе отсутствие объективной и достоверной информации о состоянии ядерного топлива и защитных барьеров безопасности) и систем управления аварийными процессами;

недостаточное обеспечение принципа независимости энергоблоков. Так, по одной из наиболее вероятных версий, разрушительные взрывы в приреакторном БВ ОЯТ энергоблока № 4 произошли в результате попадания парогазовой смеси водорода из контайнмента энергоблока № 3;

недостаточная эффективность бака-барботера контайнмента Mark I при относительно длительном протекании аварийного процесса в условиях полного обесточивания энергоблока, относительно небольшой объем контайнмента Mark I (например, по отношению к ВВЭР-1000/320) затрудняет размещение дополнительных пассивных систем безопасности и «дожигателей» водорода;

существенная зависимость скорости снижения давления в реакторе от давления в защитной оболочке, что затрудняет подключение низконапорных систем аварийного охлаждения, а высоконапорные системы охлаждения работоспособны только при высоком давлении пара в реакторе, что ограничивает действия персонала по сбросу давления.

Впоследствии эксперты МАГАТЭ в аналитическом отчете о состоянии мировой атомной энергетики на конец 2011 г. уточнили и конкретизировали свои рекомендации по урокам Фукусимской аварии для переоценки и дальнейшего повышения безопасности. Однако рекомендации по дальнейшему совершенствованию стратегий предотвращения и управления тяжелыми авариями фактически не затронули вопросы о необходимости учитывать не только фукусимские события (совместное воздействие запроектных экстремальных природных явлений на несколько энергоблоков, затопление и разрушение конструкций промплощадки, полная потеря длительного электроснабжения и т.п.), но и другие относительно маловероятные исходные аварийные события, имеющие катастрофические последствия; а также вопросы о необходимости пересмотра методического обеспечения руководств/инструкций по управлению тяжелыми авариями в части формирования эффективных стратегий поврежденного ядерного топлива охлаждения и регулирования давления на разных стадиях развития тяжелых аварий для предотвращения разрушительных парогазовых взрывов и недопустимых радиационных выбросов в окружающую среду.

В Украине в мае 2011 г. Государственная инспекция ядерного регулирования (ГИЯРУ) и эксплуатирующая организация (ГП НАЭК «Энергоатом») разработали и приняли План мероприятий по выполнению целевой внеочередной проверки и дальнейшего повышения безопасности АЭС с учетом событий на АЭС Fukushima-Daiichi (далее – План), который в основном направлен на уточнение и дополнение действующей Комплексной (сводной) программы безопасности АЭС Украины (КСПБУ). Одним из базовых краткосрочных мероприятий этого Плана было проведение в 2011 г. стресс-тестов переоценки безопасности, основная цель которых связана с экспресс-оценкой текущего состояния безопасности и обоснованием дополнительных к КСПБУ долгосрочных мероприятий по дальнейшему повышению безопасности АЭС Украины с учетом уроков большой аварии на АЭС Fukushima-Daiichi.

Ограничения и недостатки результатов стресс-тестов в отношении возможности затоплений промплощадок действующих АЭС Украины при запроектных землетрясениях, на наш взгляд, заключаются в следующем.

1. Влияние землетрясений учитываются только в отношении возможного разрушения дамб/плотин водохранилищ. Непосредственное сейсмическое воздействие на скорость и уровни волн воды в потоках и прудах-охладителях не учитывается. При этом мощность динамического воздействия при запроектных землетрясениях может значительно превышать нивелирные, ветровые и паводковые факторы, на которых основан анализ в стресс-тестах.

2. Используемые в ряде случаев (например, для ХАЭС и РАЭС) аргументы «достаточно дальнего расположения водохранилищ от промплощадок» являются недостаточно обоснованными (опять же по причине неучитывания непосредственного динамического воздействия запроектных землетрясений на скорость и высоту возможных волн затоплений).

3. По этой же причине недостаточно обоснованы в стресс-тестах «запасы» уровня до затопления промплощадок (для ЗАЭС-2,6м; для ХАЭС-3м; для ЮУАЭС-2,5м; для РАЭС-24м): непосредственные сейсмические воздействия на водные объемы могут существенно повлиять на их значения.

4. Для РАЭС основную опасность представляет вполне реальное затопление насосной станции подпитки системы водоснабжения ответственных потребителей при запроектных землетрясениях, так как насосная станция находится фактически на одном уровне с водным объемом. В этом случае надежность выполнения функции безопасности по обеспечению водоснабжением СБ для охлаждения остановленных реакторов фактически полностью возлагается на системы градирен и брызгальных бассейнов. Поэтому стресс-тестами должна была быть определена необходимость глубокой *квалификации* указанных систем в условиях запроектных землетрясений (в том числе в комплексе с другими внешними экстремальными событиями); а выводы о том, что отказ систем подпитки от насосной станции в полной мере дублируются другими системами представляются преждевременными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Fukushima Nuclear Accident Analysis Report* // TEPCO, Inc. – 20.06.2011.
2. *Japanese earthquake and tsunamis: implications for the UK nuclear industry* // Find Report/HM Chief inspector of Nuclear installations. ONR of HSE. – September, 2011.
3. *Recommendations for enhancing reactor safety in the 21st century* // Report NRC US. – 12.07.2011.
4. *Complementary safety assessment of the French nuclear power plants* // Autorite de Surete Nucleaire (ASN). – 2011.
5. *IAEA. International Fact Finding Expert Mission of Nuclear Accident Following The Great East Japan Earthquake And Tsunami* // Preliminary Summary: 24 May. – June, 2011.
6. *Результаты оценки стресс-тестов действующих энергоблоков АЭС Украины с учетом уроков аварии на АЭС «Фукусима-1» в Японии / ГНТЦ ЯРБ – ГИЯРУ // Ядерная и радиационная безопасность. – 2012. – № 1(53).*
7. *Результаты проведения стресс-тестов: Национальный отчет Украины / ГИЯРУ, 2011. – 137 с.*
8. *План дій щодо впровадження на АЕС України заходів з підвищення безпеки за результатами стрес-тестів / ДІЯРУ – ДНТЦ ЯРБ // Ядерна та радіаційна безпека. – 2013. – № 2(58).*
9. *Авария на АЭС «Фукусима-1»: опыт реагирования и уроки // Тр. ИБРАЭ РАН. – 2013. – Вып. 13.*
10. *Уроки ядерной аварии на АЭС Fukushima-Daiichi* // Отчет INPO US.–11-005. – Август 2012.
11. *IAEA. Обзор ядерной безопасности на 2011 год // Отчет МАГАТЭ. – 2012.*
12. *Ланкин М.Ю., Хамаза А.А., Шарафутдинов Р.Б., Мирошниченко М.И. О некоторых аспектах обоснования безопасности атомных станций (Уроки аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи») // Ядерная и радиационная безопасность (НТЦ ЯРБ, Россия). – 2012. – № 1(63).*
13. *Букринский А.М., Шарафутдинов Р.Б. Реакция международного ядерного сообщества на аварию на АЭС «Фукусима-Дайичи» в Японии 11 марта 2011 г. // Там же. – 2013. – № 3 (69).*
14. *The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: OECD/NEA Nuclear Safety Response and Lessons Learnt, OECD 2013, NEA № 7161.*
15. *Беззубцев В.С. Уроки аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи» и регулирование ядерной и радиационной безопасности / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2012.*
16. *Черников О. Г. Изменения в управлении аварийными ситуациями на российских АЭС, принятые после аварии на АЭС «Фукусима». – М.: Росэнергоатом, 2013.*

17. *Безопасность* энергоблока ВВЭР-ТОИ при исходных событиях и отказах, имевших место на АЭС «Фукусима». – Международный форум «АТОМЭКСПО 2011»: «Развитие атомной энергетики: пауза или продолжение». – М.: ЦВЗ «Манеж», 6 - 8 июня 2011 г.
18. *Реконструкции* на АЭС ПАКШ для предупреждения и снижения последствий тяжелых аварий // Эйгеманн Габор, Добо Наталия. – АЭС Пакш., 2013.
19. Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» / Национальная академия наук Беларуси // Информационный бюллетень. Сер. Атомная энергетика. АЭС Фукусима № 4-5. – 2011. – С. 5 - 6.
20. *Августин Алонсо, Владимир Асмолов, Адольф Биркхофер и др.* НИКОГДА БОЛЬШЕ: Предложения по достижению важнейшей цели ядерной безопасности // Индекс безопасности. – 2011. – Т. 17, № 3 (98). – С. 99 – 100.
21. *Авария* на АЭС «Фукусима» и ее последствия / Миссия РОТОБО:5-13.10.11.
22. *Зыкова И.А., Гарбуз Ю.А., Зеленцова С.А., Романова О.Б.* Анализ публикаций об аварии на АЭС «Фукусима» в средствах массовой информации // Радиационная гигиена. – 2011. – Т. 4, № 3. – С. 43.
23. *Об утечках* загрязненной воды и безопасности продукции морского промысла / Департамент рыболовства Японии. – Октябрь, 2013.

В. І. Скалозубов¹, І. Л. Козлов², Т. В. Габляя¹, Т. В. Герасименко³, К. В. Скалозубов¹

¹ *Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Лисогірська, 12, корп. 106, Київ, 03680, Україна*

² *Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченко 1, Одеса, 65044, Україна*

³ *Державна екологічна академія післядипломної освіти, вул. Урицького, 35, Київ, 03035, Україна*

АНАЛІЗ УРОКІВ ВАЖКИХ АВАРІЙ НА АЕС FUKUSHIMA-DAIICHI ЩОДО ПЕРЕОЦІНКИ БЕЗПЕКИ

На основі аналізу відомих декларацій про причини та уроки важких аварій на АЕС Fukushima-Daiichi запропоновано коментарі авторів щодо необхідності більш ефективних підходів переоцінки безпеки діючих і проєктованих АЕС. Використане в стрес-тестах переоцінки безпеки АЕС України методичне забезпечення моделювання можливих затоплень промайданчиків при проєктних землетрусах є недостатньо обґрунтованим. Тому висновки стрес-тестів щодо безпеки АЕС України при екстремальних природних впливах вважаємо передчасними.

Ключові слова: важкі аварії, переоцінка безпеки.

V. I. Skalozubov¹, I. L. Kozlov², T. V. Gablaia¹, T. V. Gerasimenko³, K. V. Skalozubov¹

¹ *Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine*

² *Odesa National Polytechnic University, Shevchenko pr., 1, Odesa, 65044, Ukraine*

³ *State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Uritskogo str., 35, Kyiv, Ukraine*

ANALYSIS OF LESSONS SEVERE ACCIDENTS AT NUCLEAR POWER PLANTS FUKUSHIMA-DAIICHI FOR TRANSLATING SAFETY

On the basis of analysis of known declarations about the causes and lessons of severe accidents at Fukushima-Daiichi nuclear power plant proposed by the authors' comments on the need for more effective approaches safety reassessment of existing and planned nuclear power plants. Used in the stress-tests of Ukrainian NPP safety reassessment methodological support modeling of possible flooding at industrial sites beyond design basis earthquake is insufficiently substantiated. Therefore the findings of stress-tests for the safety of Ukrainian NPPs under extreme environmental impacts believe premature.

Keywords: severe accident, safety reassessment.

REFERENCES

1. *Fukushima Nuclear Accident Analysis Report* // TEPCO, Inc. – 20.06.2011.
2. *Japanese earthquake and tsunami: implications for the UK nuclear industry* // Find Report/HM Chief inspector of Nuclear installations. ONR of HSE. – September, 2011.
3. *Recommendations for enhancing reactor safety in the 21st century* // Report NRC US. – 12.07.2011.
4. *Complementary safety assessment of the French nuclear power plants* // Autorite de Surete Nucleaire (ASN). – 2011.
5. *IAEA. International Fact Finding Expert Mission of Nuclear Accident Following The Great East Japan Earthquake And Tsunami* // Preliminary Summary: 24 May. – June, 2011.

6. *The evaluation* results of stress tests for Ukrainian NPPs operating based on the lessons of the accident at the plant "Fukushima-1" in Japan / SSTC NRS- SNRIU // *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost.* - 2012. - № 1 (53). (Rus)
7. *Results* of stress tests: National Report of Ukraine / SNRIU, 2011. – 137 p. (Rus)
8. *Action* Plan for implementation in Ukraine NPP safety improvement measures based on the results of stress-tests / SNRIU – SSTC NRS // *Yaderna ta radiatsijna bezpeka.* – 2013. - № 2 (58). (Ukr)
9. *The accident* at the nuclear power plant "Fukushima-1": experience and lessons learned from the response // *Proceedings IBRAE RAS.* – 2013. - Iss. 13. (Rus)
10. *Lessons* nuclear accident at Fukushima-Daiichi // Report INPO US.-11-005. - August, 2012. . (Rus)
11. *IAEA* . Nuclear Safety Review for 2011 // Report of the IAEA. - 2012. (Rus)
12. *Lankin M.Y., Khamaza A.A., Sharafutdinov R.B., Miroshnichenko M.I.* Some aspects of the safety of nuclear power plants (NPP accident Lessons "Fukushima-Daiichi") // *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost (SEC NRS, Russia).* - 2012. - № 1 (63). (Rus)
13. *Bukrinsky A.M., Sharafutdinov R.B.* Response of the international nuclear community to the accident at the plant "Fukushima-Daiichi" in Japan on March 11, 2011 // *Ibid.* – 2013. - № 3 (69). (Rus)
14. *The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: OECD/NEA Nuclear Safety Response and Lessons Learnt, OECD 2013, NEA № 7161.*
15. *Bezzubtsev V.S.* Lessons from the accident at the nuclear power plant "Fukushima-Daiichi" and the regulation of nuclear and radiation safety / Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision. - Moskva: FBU «NTC YRB», 2012. (Rus)
16. *Chernikov O.G.* Changes in Emergency Management at Russian NPPs taken after the accident at the nuclear power plant "Fukushima". – Moskva: Rosenergoatom, 2013. (Rus)
17. *Safety* of power unit of VVER-TOI at initial events and refuses, taking place on AES «Fukusima». it is the International forum of «ATOMEKSPO 2011»: «Development of atomic energy: pause or continuation» . – Moskva: CVZ «Maneg», on June, 6 - 8, 2011. (Rus)
18. *Reconstruction* at the Paks NPP to prevent and reduce the impact of severe accidents // Eygemann Gabor, Dobo Natalia. - Paks., 2013. (Rus)
19. *State Scientific Institution "Joint Institute for Power and Nuclear Research - Sosny"/ National Academy of Sciences of Belarus.* Newsletter // *Nuclear Energy Series. Fukushima nuclear power plant № 4-5.* - 2011. - P. 5 - 6. (Rus)
20. *Augustine Alonso, Asmolov Vladimir, Birkhoffer et al.* NEVER AGAIN: Proposals for achieving the most important goal of nuclear safety // *Index bezopasnosti.* – 2011. - Vol. 17, No. 3 (98). - P. 99 - 100. (Rus)
21. *The accident* at the nuclear power plant "Fukushima" and its consequences // *Mission ROTOBO:5-13 .10.11.* (Rus)
22. *Zykov I.A., Harbuz Y.A., Zelentsova S.O., Romanova O.B.* Analysis of the publications of the accident at the NPP "Fukushima" in the media // *Radiatsionnaja Higiena.* – 2011. - Vol. 4, № 3. – P. 43. (Rus)
23. *About* leaks of contaminated water and safety marine products / Department of Fisheries of Japan. - October, 2013. (Rus)

Надійшла 13.05.14
Received 13.05.14