

Радиационное воздействие аварии на АЭС «Фукусима-1» на окружающую среду и население и основанная на ее последствиях оценка радиационных рисков от запроектных аварий на АЭС с ВВЭР-1000

Описаны последствия радиационного воздействия аварии на АЭС «Фукусима-1» на окружающую среду и население, перечислены предпринятые контрмеры и действия по аварийно-муреагированию для населения.

Показана необходимость учета последствий аварий типа японской при оценке радиационных рисков от запроектных (тяжелых) авариях на АЭС с ВВЭР-1000.

Даны некоторые предложения, направленные на повышение безопасности действующих и будущих украинских АЭС.

Ключевые слова: АЭС «Фукусима-1», запроектная авария, радиационное воздействие, окружающая среда, население, радиационные риски, ВВЭР-1000.

С. В. Барбашев, В. И. Скалозубов

Радіаційний вплив аварії на АЕС «Фукусіма-1» на довкілля та населення й побудоване на її наслідках оцінювання радіаційних ризиків від позапроектних аварій на АЕС з ВВЕР-1000

Наведено опис наслідків радіаційного впливу аварії на АЕС «Фукусіма-1» на довкілля та населення, перелічено контрзаходи та дії з аварійного реагування для населення.

Показано необхідність урахування наслідків аварій японського типу в процесі оцінювання радіаційних ризиків від позапроектних (тяжких) аварій на АЕС з ВВЕР-1000.

Надано деякі пропозиції, що спрямовані на підвищення безпеки діючих та майбутніх українських АЕС.

Ключові слова: АЕС «Фукусіма-1», позапроектна аварія, радіаційний вплив, довкілля, населення, радіаційні ризики, ВВЕР-1000.

© С. В. Барбашев, В. И. Скалозубов, 2012

После землетрясения, происшедшего в Японии 11 марта 2011 г. и последовавшего за ним цунами, на АЭС «Фукусима-1» произошла серия аварий, вызванных выходом из строя систем охлаждения. В результате в окружающую среду было выброшено большое количество радиоактивных веществ. Радиационный фон в некоторых местах в районе расположения АЭС вырос до сотен микрозивертов в час, в тысячи раз превысив природный. Срочно были приняты меры защиты населения: проведены йодная профилактика и эвакуация людей с территории 20-километровой зоны вокруг АЭС.

Таким образом, аварию на АЭС «Фукусима-1» можно отнести к категории запроектных (тяжелых) аварий. 12 апреля 2011 г. Агентство по ядерной и промышленной безопасности Японии (NISA) объявило о присвоении аварии на АЭС «Фукусима-1» максимального — седьмого уровня по шкале INES.

Ход аварийных процессов и последующих за этим событий подробно описан как в средствах массовой информации, так и в научной литературе, поэтому в данной статье рассматриваться не будет. Здесь речь пойдет о последствиях радиационного воздействия аварии на окружающую среду и население, об аварийном реагировании по отношению к населению, предпринятых контрмерах и о том, что, с учетом уроков японской аварии, следует предпринять украинским специалистам для повышения безопасности действующих и будущих АЭС.

Считается, что авария на АЭС «Фукусима-1», стала следствием комбинаций маловероятных исходных событий, которые не были предусмотрены в проекте станции. Однако следует заметить, что согласно результатам анализа безопасности [1], проведенного еще в 1996 г. для всех АЭС Японии, потеря энергоснабжения и отказ подачи воды для блоков BWR-3 и BWR-4 являются высоковероятными событиями. С тех пор ни владельцы АЭС «Фукусима», ни чиновники надзорного органа, ни правительство Японии ничего не предприняли для устранения этой опасности, а ведь она могла быть предотвращена применением относительно недорогих мер.

Авария показала, что даже в такой технически и экономически высокоразвитой стране, как Япония, роль человеческого фактора при обеспечении безопасности на АЭС в должной мере не учитывалась, а культура безопасности еще не стала главным принципом при эксплуатации ядерно опасных объектов.

Источники поступления радионуклидов в окружающую среду с аварийной АЭС «Фукусима-1». По данным на 06.05.2011 г., полученным от Атомного промышленного форума Японии (JAIF), в результате взрывов водорода были повреждены гермооболочки контейнментов на блоке № 2 и, предположительно, на блоках №№ 1 и 3, а также здания реакторных отделений блоков №№ 1—4.

Кроме того, в результате отсутствия подачи охлаждающей воды в бассейнах выдержки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) предположительно была нарушена целостность топливных кассет, находящихся там.

Из информации Токийского Центра ВАО АЭС за период с 23 по 27 мая 2011 г. стало известно, что специалисты эксплуатирующей АЭС «Фукусима-1» компании «Токио Electric Power Co» (TEPCO), проанализировав данные расчета по модели аварии, пришли к выводу, что, вероятно, в корпусах реакторов на блоках №№ 1, 2 и 3 имеются

отверстия шириной до 10 см, которые могли образоваться в результате плавления ТВС уже в первые часы аварии. Это объясняет большое количество радиоактивной воды, обнаруженной за пределами реакторной установки (РУ), что обуславливало большие уровни радиации вне контайнмента. Так, мощность дозы облучения от поверхности воды, которая накопилась в турбинных отделениях блоков, составляла на 29.03.2011 г. для блоков №№ 1—4, соответственно, 60 мЗв/ч, больше 1000 мЗв/ч, 750 мЗв/ч и 0,5 мЗв/ч. Высокий уровень радиации на блоке № 2 можно связать с непосредственным контактом воды и расплавленно-го топлива, что свидетельствует в пользу предположения о нарушении целостности оболочки реактора.

Анализируя динамику уровня внутреннего давления в контайнменте после землетрясения, специалисты ТЕРСО выдвинули предположение о том, что отверстие шириной до 3 см могло образоваться на блоке № 3 через 18 ч после землетрясения и увеличиться до 10 см через 50 ч.

Японское агентство по атомной энергии в начале июня 2011 г. опубликовало первый официальный доклад, посвященный аварии на АЭС «Фукусима-1» [2]. Согласно ему, утечка в первую неделю после аварии была вдвое больше, чем сообщалось ранее. Там же было сказано, что расплавление топливных стержней в реакторе № 1 произошло спустя 10 ч, а в реакторах №№ 2 и 3 — спустя, соответственно, 79 и 80 ч после аварии.

Таким образом, источниками поступления радионуклидов с АЭС «Фукусима-1» в окружающую среду с большой вероятностью стали поврежденные реакторы блоков №№ 1—3 и бассейны с ОЯТ, которые находились в разрушенных зданиях реакторного отделения. В окружающую среду (по предварительным оценкам ТЕРСО) за один месяц, прошедший после аварии (до 13.04.2011 г.), объем выброса радиоактивного йода-131 с АЭС составил 105 ТБк, а объем выброса цезия-137 — 104 ТБк [3].

Для сравнения. При пожаре активной зоны уран-графитового реактора в Селафилде (октябрь 1957 г., Уиндсейл, Великобритания) в окружающую среду через трубу было выброшено около 750 ТБк йода-131 [4]. В результате аварии на АЭС Три Майл Айленд (март 1979 г., штат Пенсильвания, США) за пределы оболочки реактора вышло около 0,6 ТБк радиоактивного йода и 400 ТБк криптона-85 [4]. При аварии на Чернобыльской АЭС суммарная активность веществ, выброшенных в окружающую среду, составила, по разным оценкам, до $14 \cdot 10^6$ ТБк, в том числе $1,8 \cdot 10^6$ ТБк йода-131, $0,085 \cdot 10^6$ ТБк цезия-137, $0,01 \cdot 10^6$ ТБк стронция-90, $0,003 \cdot 10^6$ ТБк изотопов плутония, на долю инертных газов приходилось около 50 % суммарной активности [5].

По данным NISA выброс радиации на АЭС в определенный момент достигал 10^4 ТБк/с. Предположительно, в настоящее время уровень выбросов составляет 1,0 ГБк/ч [6].

7 июня 2011 г. NISA озвучило новые данные об уровне радиоактивного загрязнения окружающей среды, который наблюдался в первую неделю после аварии на АЭС «Фукусима-1» [7]: с 11 по 16 марта суммарный выброс радионуклидов составил $770 \cdot 10^3$ ТБк. Согласно прежним оценкам, объем выбросов за этот период составил $370 \cdot 10^3$ ТБк. Кроме того, по оценке NISA, расплавление активной зоны в начальный период происходило быстрее, чем предполагалось ранее.

По оценкам ТЕРСО, опубликованным 3 июня 2011 г., на АЭС «Фукусима-1» скопилось свыше 105 тыс. тонн воды, содержание радионуклидов в которой составляет порядка $720 \cdot 10^3$ ТБк. По состоянию на 9 августа 2011 г. на площадке

станции, даже после дезактивации, все еще находилось порядка 120 тыс. тонн загрязненной воды [8].

Кроме того, стало известно, что эксперты из японского университета Канадзавы выявили наличие радиоактивных изотопов плутония в почве вблизи АЭС [9]. Это также может свидетельствовать о разрушении корпуса одного из реакторов (или нескольких) и подтверждает тот факт, что температура внутри реактора в июне все еще оставалась критической.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что авария на АЭС «Фукусима-1» по своим радиационным последствиям всё-таки несравнима с Чернобыльской: общий объем радиационного выброса с АЭС «Фукусима-1» по предварительным оценкам, сделанным в конце мая 2011 г., составляет около 15 % выброса Чернобыльской аварии за тот же промежуток времени [7].

Радиационные уровни на площадке АЭС «Фукусима-1» и вне ее. С первых дней аварии специалисты эксплуатирующей организации (ТЕРСО), NISA, Токийского центра ВАО АЭС, Министерства здравоохранения, труда и социального обеспечения Японии, Министерства образования, культуры, спорта, науки и технологий и других японских организаций, а также эксперты из МАГАТЭ начали контролировать уровни радиации около АЭС «Фукусима-1» и за ее пределами, информируя общественность не только в своей стране, но и за ее пределами.

Об уровне объективности предоставляемой информации в настоящее время имеются различные мнения. Например, из информации, полученной 5 апреля 2011 г. от JAIF, стало известно, что правительство Японии удерживало от широкого распространения данные, полученные до 16 марта с помощью специальной компьютерной программы SPEEDI. Эти данные свидетельствовали о высоком уровне радиационного загрязнения окружающей среды за пределами 30 км от АЭС «Фукусима-1» в северо-западном и юго-восточном направлениях. Уровни радиации мощностью более 100 мкЗв/ч могли иметь место в некоторых районах вне 30-километровой зоны, где люди находились практически под открытым небом 24 ч в сутки с 12 по 24 марта, т. е. уровень излучения в 100 раз превышал лимит, установленный международной организацией по радиационной защите. Однако Комиссия по ядерной безопасности не подтверждает прогноз компьютерной программы, так как согласно ее данным на тот момент уровень утечки радиоактивных веществ нельзя было точно определить.

Действительно, получаемые из Японии данные крайне разноречивы и не систематизированы, поэтому строить, опираясь на них, достоверные прогнозы нельзя. Тем не менее, проследить тенденции в изменении радиационной обстановки в регионе расположения АЭС можно на основе информации о развитии событий на АЭС «Фукусима-1», которую регулярно предоставляли с 12 марта и до конца мая 2011 г. на своих сайтах Государственная инспекция ядерного регулирования Украины и ГП НАЭК «Энергоатом», а также на основе сообщений МАГАТЭ, ТЕРСО, NISA, JAIF и других организаций. Приведем некоторые данные информационных материалов этих организаций во временной последовательности со дня аварии.

Уровень радиационного фона возле АЭС «Фукусима-1» и за пределами 30-километровой зоны до 16 марта 2011 г. хоть и повышался, однако оставался ниже уровня, требующего принятия мер защиты. Опасности для здоровья населения он не представлял.

23 и 24 марта 2011 г. мощность дозы γ -излучения на границе площадки составляла от 229,4 (возле Главных ворот, 1,0 км на юго-запад от АЭС) до 2015,0 мкЗв/ч (возле админздания, 0,5 км на северо-запад от АЭС).

В море на расстоянии 3,3 км от АЭС концентрация радиоактивных изотопов йода-131, цезия-134 и цезия-137 в два-три раза превышала допустимые уровни.

В 75-километровой зоне от АЭС в некоторых населенных пунктах 10 префектур из 48 выявлены факты превышения цезия-137 и йода-131 в питьевой воде, молоке, овощах. Потребление в пищу этих продуктов было временно запрещено.

Измерения содержания радиоактивного йода в организме 1080 детей из префектуры Фукусима в возрасте до 15 лет, выполненные в июле 2011 г., показали такие же результаты: следы радиоактивных веществ были выявлены в щитовидной железе у 45 % исследованных детей, при этом средняя доза облучения составила 0,04 мкЗв/ч, а максимальная из выявленных — 0,1 мкЗв/ч [10]. (Установленная японским правительством норма — 0,2 мкЗв/ч).

Министерство сельского хозяйства Японии проинформировало, что сельскохозяйственные животные находятся на сезонном стойловом содержании и употребляют в пищу сухие корма, не загрязненные в результате аварии. Фермерам рекомендованы дополнительные меры по защите животных от попадания радионуклидов с пищей и водой.

В связи с продолжающимся загрязнением морской воды введен запрет на промышленный лов рыбы и другую хозяйственную деятельность в море на территории радиусом 40 км от АЭС.

16 и 17 апреля 2011 г. в 45 из 47 префектур Японии мощность дозы гамма-излучения находилась на уровне природного фона и составляла от 0,05 до 0,1 мкЗв/ч. В то же время, в префектуре Фукусима максимальная мощность дозы составляла до 20,0 мкЗв/ч, в префектуре Ибараки — 1,4 мкЗв/ч.

Уровни дозы облучения на границе площадки АЭС и за ее пределами в период с 18 марта по 15 апреля 2011 г. приведены на рис. 1—3.

В конце мая Министерство науки и технологий Японии сообщило о высоком уровне радиации, выявленном на дне Тихого океана в 300 км от аварийной АЭС: исследования показали наличие изотопов йода и цезия в морской воде вдоль побережья, уровни которых превышали норму в сотни раз (Комерсантъ-Украина, № 131 от 26.08.2011).

Начали проявлять себя меры, предпринятые для ликвидации аварии, которые обусловили общее уменьшение уровня фона и радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды на площадке АЭС и за ее пределами. Однако 1 августа 2011 г. в СМИ появилась информация о том, что между энергоблоками №№ 1 и 2 АЭС уровень излучения резко вырос до 10 Зв/ч. О причинах этого факта не сообщается.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что в результате аварии на АЭС «Фукусима-1» уровни радиоактивного загрязнения окружающей среды, начиная с 16 марта 2011 г., превышали (местами значительно) природные (фоновые) и предельно допустимые значения для населения не только на границе площадки АЭС, но и за пределами 30-километровой зоны. В настоящее время радиационная обстановка в результате предпринимаемых мер начала улучшаться.

В начальный период аварии очень своевременными оказались меры радиационной защиты населения, пред-

принятые японскими властями. Во-первых, уже 11 марта 2011 г. было объявлено об аварии и эвакуации всех жителей, проживающих в пределах трехкилометровой зоны АЭС, 12 марта — об эвакуации жителей 10-километровой, а затем и 20-километровой зоны, всего — более 185 тыс. человек. С 16 марта была проведена йодная профилактика среди эвакуированных и объявлено о запрещении приема в пищу молока, зеленых овощей (лук, шпинат и др.), ограничении потребления водопроводной и питьевой воды.

Перечисленные меры позволили уменьшить дозу облучения населения в несколько раз и тем самым снизить вероятность возникновения онкологических заболеваний в будущем. Конкретную цифру назвать сейчас невозможно из-за отсутствия соответствующей информации. Однако, исходя из анализа данных по ликвидации последствий на Чернобыльской АЭС [11], можно предположить, что в результате предпринятых японскими властями мер, дозовые нагрузки на население были снижены не менее чем в 4–5 раз.

Заметим, что несвоевременно проведенная йодная профилактика, отсутствие запрета на потребление свежего молока, молочных продуктов и некоторых овощей, а также замалчивание Чернобыльской аварии на протяжении наиболее решающих для осуществления защитных мер дней привели к тому, что на загрязненных территориях в щитовидной железе детей и взрослых были сформированы биологически значимые дозы, приведшие к резкому увеличению частоты раковых заболеваний [11].

Печальный опыт Чернобыльской аварии по применению защитных мер для населения Японии в значительной мере был учтен. Тем не менее, портал «Око планеты» (<http://oko-planet.su>) 27 августа 2011 г. сообщил, что радиационный фон внутри 20-километровой зоны на ряде участков превышает норму (1,0 мЗв/год) от 100 до 500 раз, поэтому, по мнению экспертов, некоторые районы вокруг аварийной АЭС станут пригодными для проживания не ранее, чем через 20 лет.

Трансграничный перенос радионуклидов в результате аварии на АЭС «Фукусима-1»: уровни концентрации радиоактивного йода в Украине. Через шесть дней после аварии на АЭС ее последствия начали ощущать на себе жители других стран. Метеорологические особенности в районе расположения Японских островов таковы, что весной ветер направлен в основном в сторону Американского континента. Поэтому уже с 18 по 22 марта 2011 г. на западном побережье Канады в атмосфере были обнаружены радионуклиды йода-131 ($0,00055\text{--}0,00363\text{ Бк/м}^3$) и цезия-137 ($0,00115\text{--}0,0095\text{ Бк/м}^3$). Начиная с 22 марта, йод-131 начал регистрироваться и в Украине. Так, результаты измерений концентрации йода-131 в воздухе г. Киева (рис. 4), выполненных Украинским научно-исследовательским гидрометеорологическим институтом в период с 22.03.2011 г. по 05.04.2011 г., указывают на резкий скачок до уровня $5,9\cdot 10^{-3}\text{ Бк/м}^3$ (29.03.2011 г.), а затем падение до $2,3\cdot 10^{-3}\text{ Бк/м}^3$. (В соответствии с НРБУ-97 допустимый уровень йода-131 в атмосферном воздухе для населения составляет $4,0\text{ Бк/м}^3$).

Дополнительное содержание изотопов цезия-137 в воздухе от аварийной АЭС «Фукусима-1» в Украине установить невозможно из-за наличия на значительной территории цезия-137 чернобыльского происхождения.

Аналогичные измерения проводились на постах АСКРО, установленных в 30-километровых зонах наблюдения АЭС Украины с 28 марта по 15 апреля 2011 г., когда концентрация изотопа йода-131 в атмосферном воздухе снизилась до уровня чувствительности измерительных приборов.

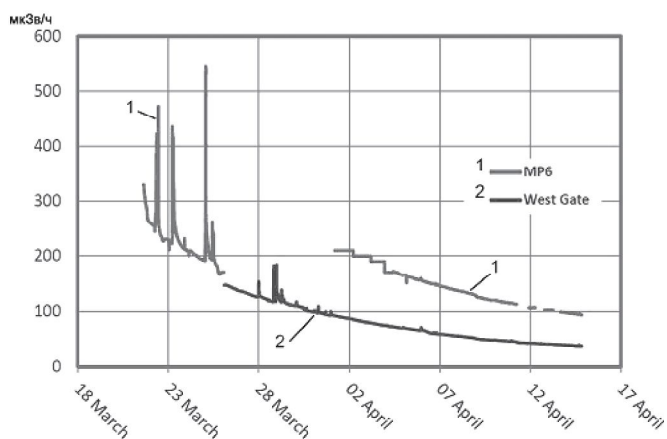


Рис. 1. Уровень дозы облучения на границе площадки АЭС «Фукусима-1»

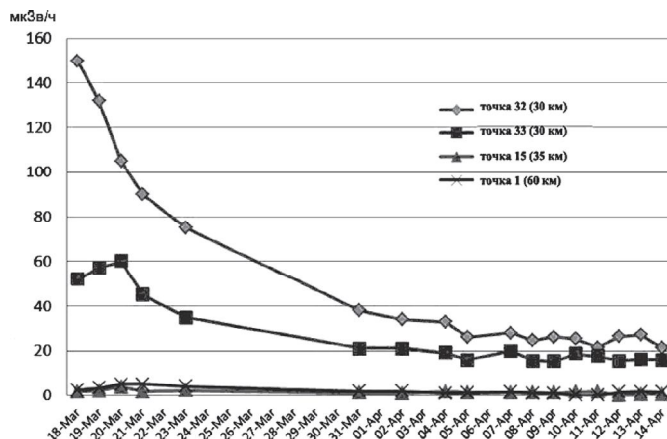


Рис. 3. Уровень дозы облучения за пределами площадки АЭС «Фукусима-1»

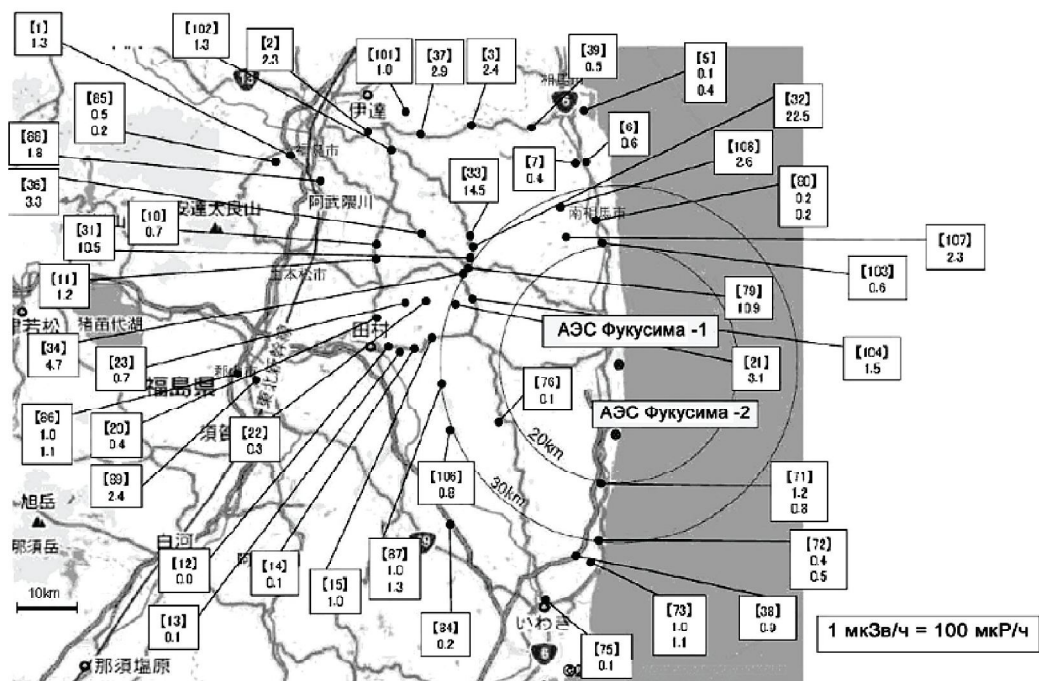


Рис. 2. Уровень дозы облучения возле АЭС «Фукусима-1» 15.04.2011 г., мкЗв/ч (в квадратных скобках указаны номера пунктов контроля)

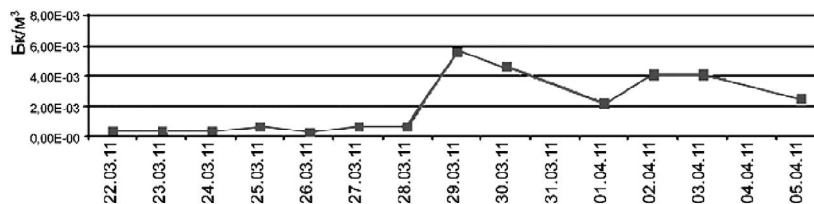


Рис. 4. Концентрация йода-131 в воздухе г. Киева по результатам измерений Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института в период с 22 марта по 5 апреля 2011 г.

Наибольшее значение концентрации йода-131, обнаруженное в районах расположения АЭС, находилось на уровне $5,4 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³ (01.04.2011 г., Южно-Украинская АЭС).

К сожалению, проследить за изменением концентрации наиболее биологически значимых радионуклидов, каковыми являются йод-131 и цезий-137, на всей территории Украины было невозможно из-за отсутствия в стране государственной системы радиационного контроля, о необходимости создания которой уже многие годы говорят ученые. Возможно, принятое в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1» решение СНБОУ, направленное на повышение уровня радиационной безопасности в стране, поможет решить эту проблему.

Радиационные риски от аварий на АЭС с ВВЭР-1000. Авария на АЭС «Фукусима-1» доказывает необходимость пересмотра сложившихся и закрепленных нормативными и регулируемыми документами подходов к оценке воздействия АЭС на окружающую среду при аварийных ситуациях на них, особенно при запроектных (тяжелых) авариях (ЗПА, ТА).

Подтверждают правоту данного предложения и результаты анализа ТЭО строительства блоков №№ 2—4 на Хмельницкой АЭС (ХАЭС), точнее, его части, содержащей ОВОС — оценку воздействия на окружающую среду (<http://www.хаес.org.ua/index-ua.html>. Раздел «Вплив АЕС на довкілля та його охорона»).

Напомним, что в основу проекта энергоблока № 2 ХАЭС (далее — ХАЭС-2) положена унифицированная РУ ВВЭР-1000 типа В-320, а на блоках №№ 3 и 4 планируется установить РУ типа В-392Б, которая содержит ряд дополнительных систем, предназначенных для повышения безопасности и надежности АЭС, например пассивные системы безопасности.

В ОВОС ХАЭС-2 в качестве ЗПА рассматривается авария, вызванная обесточиванием из-за проектного землетрясения с последующим отказом источников аварийного электроснабжения, которая имеет наибольший вклад в частоту расплавления активной зоны. Вероятность реализации такой аварии оценивается величиной около 10^{-5} 1/(реактор-год).

В сценарии такой аварии, подробно описанной в томе 3 ОВОС ХАЭС-2, предусматривается, что электроснабжение будет восстановлено через 62–63 ч. При этом плавление активной зоны, которое охватывает 10 % топливной загрузки, прекратится. Выброс радиоактивных изотопов в окружающую среду будет обуславливаться негерметичностью контейнмента и давлением в нем. При этом возможность разрушения корпуса реактора и контейнмента не рассматривается.

При такой ЗПА выход из контейнмента биологически наиболее опасных радионуклидов за 10 ч составит, Бк: йода-131 — около $8,0 \cdot 10^{12}$, цезия-137 — $1,5 \cdot 10^{12}$, стронция-90 — $1,0 \cdot 10^{12}$, т. е. около 10 ТБк.

В ОВОС ХАЭС-2 рассматривается еще один вариант ЗПА — 100 %-ное плавление топлива в активной зоне, вызванное аварией с малой течью (Ду < 100 мм) с отказом системы аварийного охлаждения активной зоны высокого и низкого давления (САОЗ ВД и НД). Вероятность такой аварии оценивается величиной $5 \cdot 10^{-7}$ 1/(реактор-год).

При оценке выхода активности консервативно было принято, что избыточное давление в контейнменте существует 24 ч. При этом интегральный выход биологически значимых радионуклидов в окружающую среду составит, Бк: йода-131 — около $2,0 \cdot 10^{13}$, цезия-137 — $3,0 \cdot 10^{14}$, стронция-90 — $2,5 \cdot 10^{13}$, т. е. от 20 до 300 ТБк.

В ТЭО сооружения энергоблоков №№ 3, 4 Хмельницкой АЭС в качестве определяющей ЗПА выбрана авария, вызванная двусторонним гильотинным разрывом главного циркуляционного контура (ГЦК) Ду 850 с отказом активных САОЗ и работоспособной спринклерной системой. Данная ЗПА характеризуется высокой динамикой протекания и отсутствием эффективных мер по управлению аварией с целью недопущения перехода ее в аварию с тяжелым повреждением активной зоны реактора. Она имеет частоту реализации $5,4 \cdot 10^{-9}$, что в соответствии с ОПБУ АС-2008 и Требованиями к оценке безопасности АС-2010 позволяет не рассматривать ее при оценке выброса. Однако для учета всех наиболее пессимистических вариантов такая авария была рассмотрена как консервативное допущение.

При этом все нуклиды выходят в паровоздушное пространство под гермооболочкой, а выброс в окружающую среду определяется ее неплотностью и временем существования в ней повышенного давления. Так как утечка мала, количество радионуклидов под оболочкой определяется радиоактивным распадом, осаждением на ее стенках и уносом спринклерной системой. В такой ситуации при режиме 4-годовой кампании выброс основных дозообразующих нуклидов в окружающую среду составит для йода-131 около $2,0 \cdot 10^{13}$ Бк, цезия-137 — $4,5 \cdot 10^{10}$ Бк, стронция-90 — $4,1 \cdot 10^9$ Бк, т. е. от 10^{-3} до 20 ТБк.

Расчеты показывают, что риск стохастических последствий от ЗПА для ХАЭС-2 в случае 10 % расплавления топлива на границе 30-километровой зоны составляет около $8,0 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹, а в случае 100 % плавления — около $3,0 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹.

При рассматриваемой ЗПА на ХАЭС-3 и ХАЭС-4 риск стохастических последствий на границе 30 км составит около 10^{-6} год⁻¹.

Таким образом, полный риск, рассчитываемый как произведение вероятности аварии на риск стохастических последствий от нее [12], на границе 30-километровой зоны равен, 1/(реактор-год):

$$\begin{aligned} \text{для ХАЭС-2 (10 \%)} &= 10^{-5} \cdot 8,0 \cdot 10^{-5} \approx 10^{-9}; \\ \text{для ХАЭС-2 (100 \%)} &= 5 \cdot 10^{-7} \cdot 3,0 \cdot 10^{-4} \approx 10^{-10}; \\ \text{для ХАЭС-3, 4} &= 5,4 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{-6} \approx 10^{-15}. \end{aligned}$$

Рассматриваемые ЗПА обуславливают следующие эффективные дозы в ранней фазе аварии на границе 30-километровой зоны (без контрмер), Зв:

$$\begin{aligned} \text{для ХАЭС-2 (10 \%)} &= 5,2 \cdot 10^{-5}; \\ \text{для ХАЭС-2 (100 \%)} &= 1,2 \cdot 10^{-4}; \\ \text{для ХАЭС-3, 4} &= 3,4 \cdot 10^{-6}. \end{aligned}$$

Сравнение суммарного количества выброшенных в окружающую среду радионуклидов при 10 % и 100 % плавлении активной зоны показывает превалирование изотопов радиоактивного йода. Поэтому актуальной является оценка доз начального периода аварии, особенно дозовая нагрузка на щитовидную железу.

Доля выброса от содержания биологически значимых радионуклидов йода-131, цезия-137 и стронция-90 в реакторах ВВЭР-1000, значения которого взяты из [1], для всех рассматриваемых случаев возникновения ЗПА на ХАЭС-2, 3, 4 составляет в среднем $10^{-5} \div 10^{-4}$ %, что совпадает с данными, приведенными в [1] для реакторов типа РWR. Однако, приняв во внимание последствия аварии на АЭС «Фукусима-1», заключающиеся в расплавлении активной зоны реактора, нарушении целостности гермооболочки и корпуса реактора, результаты оценки радиационного воздействия ХАЭС-2 на окружающую среду и население в случае возникновения на станции

ЗПА типа японской могут быть совершенно иными. Такая аварийная ситуация может стать возможной, если в результате каких-либо внешних или внутренних причин произойдет нарушение работоспособности систем электро- и водоснабжения, в том числе резервных, которые нельзя будет восстановить в течение двух — двух с половиной суток. Если вероятность этой гипотетической ЗПА, как следует из [1], [13], оценить величиной 10^{-7} , а выброс радионуклидов в окружающую среду из потерявших целостность реактора и контейнмента принять равным 10—15 % (как на АЭС «Фукусима-1») всей радиоактивности в активной зоне реактора ВВЭР-1000 (приблизительно $10^{18} \div 10^{19}$ Бк) [1], то получим, что мощность дозы для населения, проживающего на загрязненной территории вблизи АЭС, может достичь 10 мкЗв/ч, а эффективная доза за один год пребывания на этой местности с учетом всех путей поступления радионуклидов — 10^3 мЗв [14]. Это значит, что радиационный риск для населения может достичь уровня приемлемого риска (10^{-5} в год), т. е. более чем на четыре порядка больше рассчитанного для ВВЭР-1000 второго поколения. Для блоков с РУ В-392Б радиационные риски будут, вероятно, на несколько порядков меньшими при условии, если пассивные системы безопасности останутся в результате аварии в работоспособном состоянии.

Таким образом, учитывая последствия аварии на АЭС «Фукусима-1», авторы считают, что при разработке мер по управлению ЗПА (ТА) на АЭС с РУ ВВЭР-1000 необходимо перечень исходных событий ТА расширить.

Метод идентификации перечней исходных событий тяжелых аварий, учитывающий предысторию развития запроектных аварийных последовательностей и состояние систем на момент начала тяжелой аварии, описан в статье, которая будет опубликована в следующем выпуске журнала.

Выводы

В результате аварии на АЭС «Фукусима-1» уровни радиационного загрязнения окружающей среды в районе расположения станции превышали природные (фоновые) и предельно допустимые значения для населения не только на границе площадки АЭС, но и за пределами 30-километровой зоны.

Радиационное воздействие на окружающую среду и население АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 в случае возникновения на них ЗПА типа японской может коренным образом отличаться от представляемого в ОВОС этих станций. Расчеты показывают, что радиационный риск для населения в такой ситуации может достичь уровня приемлемого риска (10^{-5} в год), т. е. более чем на четыре порядка больше рассчитанного для ВВЭР-1000 типа В-320.

Авария на АЭС «Фукусима-1»:

доказывает необходимость пересмотра сложившихся и закрепленных нормативными и регулирующими документами подходов к оценке воздействия АЭС на окружающую среду при аварийных ситуациях на них, особенно при запроектных (тяжелых) авариях;

дает основание говорить о том, что при разработке мер по управлению ЗПА (ТА) на АЭС с РУ ВВЭР-1000 перечень исходных событий ТА необходимо расширить.

Список использованной литературы

1. Вероятностный анализ безопасности атомных станций: Уч. пособие / В. В. Бегун, О. В. Горбунов, И. Н. Каденко и др. — К.: Випол, 2000. — 568 с.
2. Опубликован первый официальный доклад об аварии на АЭС Фукусима-1. — UA InterRight, 07.06.11.
3. Последствия аварии на АЭС «Фукусима-1» не превзойдет последствия Чернобыля. — Nuclear.Ru, 14.04.2011.
4. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними / Ключников А. А., Пазухин Э. М., Шигера Ю. М., Шигера В. Ю. — К.: ИПБ АЭС НАН Украины, 2005. — 487 с.
5. Википедия. Авария на Чернобыльской АЭС. — [http://ru.wikipedia.org/wiki/ Чернобыльская авария](http://ru.wikipedia.org/wiki/Чернобыльская_авария).
6. Представлен новый план снижения уровня радиационных выбросов на АЭС «Фукусима-1». — Nuclear.Ru, 17.08.2011.
7. NISA изменило оценку объемов выбросов на начальном этапе аварии на АЭС «Фукусима-1». — Nuclear.Ru, 07.06.2011.
8. ТЕРСО: Компания может не уложиться в сроки второго этапа восстановления работ. — Nuclear.Ru, 17.08.2011.
9. Близ «Фукусимы-1» нашли плутоний// Интернет газета Дни.ру. — <http://www.dni.ru/society/2011/6/6/213448.html>.
10. У половинки детей из Фукусимы нашли в организме радиоактивные вещества. — Подробности.ua, 05.07.2011.
11. Чернобыльская катастрофа: эффективность мер защиты населения, опыт международного сотрудничества / Б. С. Пристер, Р. М. Алексахин, В. Г. Бебешко и др.; Под ред. Б. С. Пристера. — К.: Центр технической информации «Энергетика и электрификация», 2007. — 64 с.
12. Публикация 46 МКРЗ. Принципы радиационной защиты при удалении твердых радиоактивных отходов. — М., 1988.
13. Скалозубов, В. И. Основы управления запроектными авариями с потерей теплоносителя на АЭС с ВВЭР: Монография / В. И. Скалозубов, А. А. Ключников, В. Н. Колыханов. — Чернобыль: ИПБ АЭС НАН Украины, 2010. — 400 с.
14. Гусев, Н. Г. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник / Н. Г. Гусев, В. А. Беляев. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.

Получено 31.08.2011.