

Критерии радиологической приемлемости проектных аварий на атомных станциях

В статье обсуждается проблема выбора критериев радиологической приемлемости проектных аварий (ПА) на АС. Проведен сравнительный анализ указанных критериев, представленных в российских нормативных документах в области использования атомной энергии и стандартах МАГАТЭ. Отмечены дублирование и противоречия в их формулировках в нормативных документах различных ведомств. Особое внимание уделено критическому анализу и обоснованию отказа от использования критериев приемлемости ПА на АС, установленных в СП АС-03. Предложены формулировки рассматриваемых критериев, гармонизированные с современными рекомендациям МКРЗ и МАГАТЭ.

Ключевые слова: атомная станция, проектная авария, критерии приемлемости, критерии радиологической приемлемости, потенциальное облучение, доза облучения, радиационный риск.

Е.А.Иванов (АО «ВНИИАЭС», г.Москва), О.А.Кочетков (ФГБУ ГНЦ РФ ФМБЦ им.А.И.Бурназяна ФМБА России, г.Москва)

Тридцать лет отделяет мир от катастрофы на Чернобыльской АЭС (СССР, 1986). За прошедшее время сообщество ученых, конструкторов, проектировщиков, специалистов различного профиля, персонал атомных станций в России сделали много, чтобы подобная авария не повторилась. Вместе с тем, авария на АЭС «Фукусима-1» (Япония, 2011) подтвердила тезис о том, что полностью (гарантированно) исключить тяжелые аварии на современных АС не представляется возможным. Большие надежды возлагаются на ядерные реакторы нового поколения (Generation IV reactor). Они будут безопаснее современных реакторов, но не абсолютно безопасными. От разработчиков новых реакторов требуется значительно сократить все технологические риски. Предполагается, что авария на таком реакторе не должна приводить к появлению зоны отчуждения вокруг АС, эвакуации и отселению насе-

ления и иным негативным последствиям, имевшим место в результате аварии на АЭС «Фукусима-1» и, тем более, чернобыльской катастрофы. Ожидается, что большинство из этих проектов будут доступны для промышленного использования к 2030 году (хотя многие считают данный прогноз слишком оптимистическим).

Таким образом, актуальной проблемой в обозримом будущем

на всех этапах жизненного цикла АС является ограничение вероятности аварий и их последствий для персонала, населения и окружающей среды. В решении этой проблемы значимое место отводится концепции проектных аварий (ПА) и выбору для них критериев приемлемости, как радиологических, так и технических.

Согласно стандартам МАГАТЭ по безопасности [1-5] состояния

Табл. 1. Состояния атомной станции в стандартах МАГАТЭ по безопасности.

Эксплуатационные состояния		Аварийные условия			
Стандарты МАГАТЭ [1-4]					
НЭ	ожидаемые ННЭ	проектные аварии		запроектные аварии	
		*	ПА	без значительного повреждения активной зоны	тяжелые аварии
IAEA Specific Safety Requirements No. SSR-2/1 (Rev. 1), Vienna (2016) [5]					
НЭ	ожидаемые при эксплуатации события	проектные аварии	запроектные условия		
			без значительного повреждения топлива	с плавлением активной зоны	
* аварийные состояния, которые прямо не учитываются в проектных авариях, но охватываются ими.					

Табл.2. Определения состояний АС и отдельных терминов.

НП-001-15 [6]	Стандарты МАГАТЭ [1-4]
Нормальная эксплуатация (НЭ) – эксплуатация АС в определенных проектом АС эксплуатационных пределах и условиях.	Нормальная эксплуатация – эксплуатация в установленных эксплуатационных пределах и условиях.
Нарушения нормальной эксплуатации АС (ННЭ) – нарушение в работе АС, при котором произошло отклонение от установленных эксплуатационных пределов и (или) условий. При этом могут быть нарушены и другие установленные проектом АС пределы и (или) условия, включая пределы и (или) условия безопасной эксплуатации*.	Ожидаемые нарушения нормальной эксплуатации – отклонение от процесса НЭ, возникновение которого предполагается хотя бы один раз за срок службы установки, но которое в виду мер, предусмотренных проектом, не вызывает существенных повреждений устройств, важных для безопасности, и не приводит к проектным авариям.
Проектная авария (ПА) – авария, для которой в проекте АС определены исходные события и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие при независимом от исходного события отказе одного из элементов систем безопасности, учитываемом в проекте АС, или при одной, независимой от исходного события, ошибке персонала ограничение ее последствий установленными для таких аварий пределами.	Проектная авария – аварийные условия, с учетом которых проектируется станция в соответствии с установленными проектными критериями и при которых повреждение топлива и выбросы радиоактивных веществ находятся в разрешенных (санкционированных) пределах.
Максимальный проектный предел повреждения твэлов (МПППТ) – допустимые значения параметров и характеристик твэлов в условиях проектных аварий, превышение которых может приводить к разрушению твэлов (НП-082-07 [7]).	–
Запроектная авария (ЗПА) – авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами элементов систем безопасности сверх единичного отказа, реализацией ошибочных решений персонала.	Запроектная авария – аварийные условия, более тяжелые, чем проектная авария. В [5] термин запроектная авария заменен термином запроектные условия – аварийные условия, которые не учитываются в отношении ПА, но которые учитываются в процессе проектирования установки в соответствии с методологией на основе наилучших оценок и при которых выбросы радиоактивного материала удерживаются в рамках допустимых пределов. Запроектные условия могут включать условия тяжелых аварий).
Тяжелая авария – запроектная авария с повреждением твэлов выше максимального проектного предела.	Тяжелая авария – аварийные состояния, более тяжелые, чем проектная авария, которые вызывают значительные повреждения активной зоны реактора.
Защитные системы (элементы) безопасности – системы (элементы) безопасности, предназначенные для исполнения функции по предотвращению или ограничению повреждения ядерного топлива, оболочек твэлов, оборудования и трубопроводов, содержащих радиоактивные вещества.	Система безопасности – система, важная для безопасности, предусмотренная для обеспечения безопасного останова реактора, обеспечения отвода остаточных энерговыделений от активной зоны или для ограничения последствий ожидаемых ННЭ или ПА.
Критерии безопасности – значения параметров и (или) характеристики АС, в соответствии с которыми обосновывается ее безопасность и которые установлены нормативными документами либо в проекте АС. Критерии безопасности, установленные в проекте АС, не должны противоречить требованиям нормативных документов.	Критерии приемлемости – предписанные границы значения функционального индикатора или индикатора состояния, используются для оценки способности конструкции, системы или элемента выполнять свою проектную функцию.
*Степень выхода АС за границы, установленные для НЭ эксплуатационными условиями и пределами, не определена.	

атомной станции делятся на эксплуатационные состояния и аварийные условия (табл.1). Эксплуатационные состояния включают нормальную эксплуатацию (НЭ), а также ожидаемые нарушения нормальной эксплуатации (ННЭ). Аварийные условия охватывают проектные аварии (ПА) и условия запроектных аварий (ЗПА). В [5] термин «запроектная авария» заменен термином «запро-

ектные условия». Российская классификация состояний АС отличается от приведенной в стандартах МАГАТЭ [1-5] тем, что в НП-001-15 [6] термином «нарушение нормальной эксплуатации» обозначен выход АС за границы, установленные для НЭ эксплуатационными пределами и условиями.

Определения состояний АС в НП-001-15 и стандартах МАГАТЭ приведены в табл.2.

Во всех состояниях станции должно обеспечиваться выполнение трех фундаментальных функций безопасности АС: а) управление реактивностью; б) отвод тепла от реактора и бассейна выдержки топлива и в) локализация радиоактивного материала, защита от излучения и контроль за плановыми радиоактивными выбросами, а также ограничение аварийных радиоактивных выбросов [5].

Табл.3. Возможная связь состояний атомной станции с критериями приемлемости [2].

Частота, (реактор-год) ⁻¹	Характеристика	Состояние АС	Критерий приемлемости
$10^{-2}-1$	ожидаемые события (на протяжении всего жизненного цикла АС)	нарушения нормальной эксплуатации	без дополнительного повреждения топлива
$10^{-4}-10^{-2}$	возможные события (вероятность выше, чем 1 % на протяжении всего жизненного цикла АС)	проектные аварии	без радиологического воздействия за пределами закрытой зоны
$10^{-6}-10^{-4}$	маловероятные события (вероятность ниже, чем 1 % на протяжении всего жизненного цикла АС)	запроектные аварии	радиологические воздействия вне закрытой зоны в установленных пределах
$<10^{-6}$	весьма маловероятные события	тяжелые аварии	требуется аварийное реагирование

Для всего диапазона эксплуатационных состояний и аварийных условий составляется полный перечень постулируемых исходных событий, обеспечивающий проведение полного анализа поведения станции, и устанавливаются основные (базовые) критерии безопасности и (или) критерии приемлемости (приемочные критерии) с целью достижения соответствующего уровня безопасности. Критерии для каждого состояния станции должны быть определены с учетом того, что часто возникающие состояния станции должны иметь незначительные радиологические последствия или не иметь их вообще, а состояния станции, которые могут привести к серьезным последствиям, должны иметь весьма низкую частоту возникновения [2,5].

В табл.3 в качестве примера приведена связь состояний АС с критериями приемлемости этих состояний.

При изменениях условий эксплуатации АС (повышение мощности, переход на топливо с более глубоким выгоранием, переход к удлиненным топливным циклам, продление сроков эксплуатации) необходимо подтвердить соответствие критериям приемлемости [2].

Для различных состояний атомной станции устанавливаются граничные значения индивидуального радиационного риска для персонала и населения.

В НРБ-99/2009 [8] в условиях нормальной эксплуатации источников ионизирующего излучения установлены следующие пределы индивидуального пожизненного риска от техногенного облучения в течение года:

- персонал - $1 \cdot 10^{-3}$;
- население - $5 \cdot 10^{-5}$.

При воздействии на население нескольких техногенных источников устанавливаются допустимые уровни радиационного воздействия для каждого источника [8].

Согласно СП АС-03 [9] индивидуальный пожизненный радиационный риск для населения от облучения в течение года не должен превышать $1,25 \cdot 10^{-5}$ ($5 \cdot 10^{-6}$) в условиях нормальной эксплуатации АС, введенной в эксплуатацию до (после) 2001 г.

В настоящее время благодаря технически достигнутому уровню безопасности этот риск для населения при нормальной эксплуатации АС АО «Концерн Росэнергоатом» является безусловно приемлемым (менее 10^{-6}) [9,10].

Одной из целей при проектировании и эксплуатации АС является предотвращение или, если этого не удастся достичь, ограничение вероятности возникновения на АС аварий (аварийных условий) и их радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду.

В проекте АС должны быть предусмотрены меры, благодаря которым характеристики потенциального облучения¹⁾ не будут превышать приемлемых пределов и будут поддерживаться на разумно достижимом низком уровне [4].

В НРБ-99/2009 [8] при обосновании защиты от источников потенциального облучения установлены следующие граничные значения обобщенного риска (произведение вероятности события, приводящего к облучению, и вероятности смерти, связанной с облучением):

- персонал – $2 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹;
- население – $1 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹.

В [11] обобщенный риск потенциального облучения населения при эксплуатации российских АС оценивается равным $R = 5 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹, то есть вблизи граничного значения.

Из представленных выше данных следует, что радиационный риск для населения в районе рас-

¹⁾ потенциальное облучение – облучение, которое возможно в результате аварии или события, либо последовательности событий, которые могут произойти, но не являются неизбежными [17,18].

Табл.4. Критерии радиологической приемлемости проектных аварий на АС.

Документ	Критерии приемлемости
Документы Ростехнадзора	
НП-001-15 [6]	1.2.1. АС удовлетворяет требованиям безопасности, если соблюдаются следующие условия: радиационное воздействие АС на персонал, население и окружающую среду при НЭ и ННЭ до ПА включительно не приводит к превышению установленных доз облучения персонала и населения, нормативов по выбросам и сбросам; радиационное воздействие АС на персонал, население и окружающую среду ограничивается при ЗПА; ограничивается вероятность возникновения на АС аварий.
НП-032-01 [13] *	3.3.1. ... при проектных авариях прогнозируемые дозы облучения населения на границе санитарно-защитной зоны и за ее пределами не должны превышать значений, требующих принятия решений о мерах защиты населения в случае радиационной аварии с радиоактивным загрязнением территории.
Государственные санитарные правила и нормативы	
СП СЗЗ и ЗН-07 [4] **	4.3.3. При проектировании новых радиационных объектов должны быть предусмотрены технические системы безопасности, обеспечивающие отсутствие необходимости проведения мер защиты населения в случае проектной аварии на радиационном объекте I категории.
СП АС-03 [9]	5.24. На АС, проекты которых утверждены до введения в действие НРБ-99, последствия проектной радиационной аварии по величинам выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду не должны приводить к дозам облучения населения, требующим принятия обязательных мер по его защите в начальном периоде радиационной аварии, т.е. дозы облучения лиц из населения не должны превышать верхний уровень значений (уровень Б), регламентированный таблицей 6.3 НРБ-99. 5.25. На АС, проекты которых утверждены после введения в действие НРБ-99, последствия проектной радиационной аварии по величинам выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду не должны приводить к дозам облучения лиц из населения, требующим принятия любых мер по его защите в начальном периоде радиационной аварии, т.е. дозы облучения лиц из населения не должны превышать нижний уровень значений (уровень А), регламентированный таблицей 6.3 НРБ-99.
Стандарты МАГАТЭ	
Глоссарий [1]	... повреждение топлива и выбросы радиоактивного материала находятся в разрешенных (санкционированных) пределах.
Специальное руководство по безопасности SSG-2 [2]	... без радиологического воздействия за пределами закрытой зоны.
Руководство по безопасности, NS-G-1.13 [4]	Для проектных аварий требуется, чтобы за пределами площадки имело место лишь незначительное радиологическое воздействие. Определение незначительного радиологического воздействия может быть дано национальным регулирующим органом.
Примечание: * требования установлены к АС с реакторами всех типов, размещаемых после 30.04.2002; ** требования установлены к радиационным объектам, проекты которых утверждены после 01.11.2007.	

Табл.5. Оценки соответствия критериев приемлемости проектных аварий на АС, принятых в различных документах.

Документ	НП-001-15	НП-032-01	СП СЗЗ и ЗН-07	СП АС-03	Стандарты МАГАТЭ
НП-001-15	+	-	-	-	+
НП-032-01	-	+	+	-	-
СП СЗЗ и ЗН-07	-	+	+	-	-
СП АС-03	-	-	-	+	-
Стандарты МАГАТЭ	+	-	-	-	+
Примечание: "+" критерии совпадают; "-" критерии различаются.					

положения АС в основном определяется потенциальным облучением.

Следовательно, актуальной задачей является обоснованное (с учетом экономических, соци-

ально-экономических факторов, общественного мнения) снижение риска потенциального облучения населения, проживающего в районе расположения АС.

Для поддержания риска потенциального облучения R на приемлемом уровне требуются, как правило, чрезвычайно большие затраты на проектирование, соору-

жение и модернизацию защитных систем (элементов) безопасности, вообще не участвующих в нормальной эксплуатации АС [12]. Одним из путей снижения оценки этого риска является повышение эффективности таких систем безопасности (либо при проектировании, либо при модернизации), в результате чего будет достигнуто снижение частоты и/или радиологических последствий аварий. Это, в свою очередь, позволит соблюдать более ограничительные критерии приемлемости для принятого перечня ПА (на основе постулируемых исходных событий), либо расширить исходный перечень ПА за счет обоснованного перевода части ЗПА в ПА при сохранении ранее установленных критериев приемлемости, либо сделать и то, и другое одновременно, если позволяют условия.

В НП-082-07 [7] установлен критерий приемлемости повреждения ядерного топлива при ПА на АС – максимальный проектный предел повреждения твэлов (табл.2). В проектах реакторных установок (РУ) и АС должно быть показано, что для ПА с наиболее тяжелыми последствиями не превышает МПППТ. Для остальных ПА проектные пределы повреждения твэлов должны устанавливаться проектом РУ и иметь значения, меньшие МПППТ.

В табл.4 приведены критерии радиологической приемлемости проектных аварий на АС, установленные в нормативных документах в области использования атомной энергии [6,9,13,14] и стандартах МАГАТЭ [1,2,5].

Из анализа табл.4 можно заключить, что критерии приемлемости ПА на АС в:

- стандартах МАГАТЭ совпадают;
- документах Ростехнадзора различаются, при этом критерий

Табл.6. Критерии для принятия неотложных решений в начальном периоде радиационной аварии [8].

Меры защиты	Предотвращаемая доза за первые 10 суток, мГр			
	На все тело		Щитовидная железа, легкие, кожа	
	Уровень А	Уровень Б	Уровень А	Уровень Б
Укрытие	5	50	50	500
Йодная профилактика: взрослые	–	–	250 ¹⁾	2500 ¹⁾
дети	–	–	100 ¹⁾	1000 ¹⁾
Эвакуация	50	500	500	5000

¹⁾ только для щитовидной железы.

Табл.7. Критерии для принятия решений об отселении и ограничении потребления загрязненных пищевых продуктов [8].

Меры защиты	Предотвращаемая эффективная доза, мЗв	
	Уровень А	Уровень Б
Ограничение потребления загрязненных пищевых продуктов и питьевой воды	5 за первый год 1/год в последующие годы	50 за первый год 10/год в последующие годы
Отселение	1000 за все время отселения	

Табл.8. Уровни вмешательства по предотвращаемой дозе¹⁾ в случае радиационной аварии, мЗв.

Меры защиты	Общие оптимизированные уровни вмешательства [15]	Вмешательство почти всегда оправдано [16]
Укрытие (менее 2 суток)	10	50
Йодная профилактика	100 ²⁾	500 ²⁾
Эвакуация (менее 7 суток)	50	500 5000 ³⁾
Временное переселение: для начала для прекращения	30 в месяц 10 в месяц	–
Переселение на постоянное жительство	1000 ⁴⁾	1000 ³⁾ (или 100 в первый год)

¹⁾ относятся к средней величине по надлежащей выборке населения, а не к критической группе, при этом прогнозируемые дозы для критической группы не должны превышать уровней облучения, при которых возможны серьезные детерминированные эффекты; ²⁾ эквивалентная доза в щитовидной железе; ³⁾ эквивалентная доза в коже; ⁴⁾ прогнозная оценка дозы в течение жизни.

в НП-001-15 имеет значительно более ограничительный характер, чем в НП-032-01;

- НП-001-15 и стандартах МАГАТЭ, в части ограничения выбросов радионуклидов в окружающую среду, практически совпадают;
- НП-032-01 и СП С33 и ЗН-07 практически совпадают;
- СП С33 и ЗН-07 и СП АС-03 различаются, при этом критерий

в первом документе имеет более ограничительный характер, чем во втором;

- СП АС-03 различаются в зависимости от даты утверждения проекта АС (до или после введения в действие НРБ-99) в 10 раз;
- СП АС-03 установлены только для начального периода радиационной аварии;
- СП АС-03 значительно (на один–два порядка) менее ограни-

Табл.9. Общие критерии для защитных действий и других мер реагирования, принимаемых в ситуациях аварийного облучения с целью снижения риска стохастических эффектов [18].

Общие критерии		Примеры защитных действий и других мер реагирования
Прогнозируемая доза, превышающая приводимые ниже общие критерии: предпринять срочные защитные действия и другие меры реагирования		
Эквивалентная доза в ЩЖ	50 мЗв в первые 7 дней	Йодное блокирование щитовидной железы ¹⁾
Эффективная доза Эквивалентная доза облучения плода	100 мЗв в первые 7 дней 100 мЗв в первые 7 дней	Укрытие; эвакуация; дезактивация; ограничение потребления загрязненных пищевых продуктов, молока и воды; контроль радиоактивного загрязнения; информационно-разъяснительная работа среди населения
Прогнозируемая доза, превышающая приводимые ниже общие критерии: предпринять защитные действия и другие меры на раннем этапе реагирования		
Эффективная доза Эквивалентная доза облучения плода	100 мЗв в год 100 мЗв за весь период внутриутробного развития	Временное переселение; дезактивация; замена загрязненных пищевых продуктов, молока и воды на чистые; информационно-разъяснительная работа среди населения
¹⁾ в качестве срочной защитной меры предписывается йодное блокирование щитовидной железы (ЩЖ): а) если облучение обусловлено радиоизотопами йода; б) до или вскоре после выброса радиоизотопов йода; с) только в течение короткого периода времени после поступления радиоизотопов йода в организм.		

чительные, чем в документах Ростехнадзора и стандартах МАГАТЭ.

Оценки соответствия критериев приемлемости ПА на АС, принятых в различных документах, приведены в табл.5.

Представляется целесообразным обратить особое внимание на критерии приемлемости проектных аварий на АС, установленные в СП АС-03 [9], так как именно они в наибольшей степени отличаются от всех рассмотренных выше критериев и вызывают наибольшие споры и возражения в среде специалистов.

В [9] в качестве критериев приемлемости ПА на АС приняты критерии для принятия неотложных решений в начальном периоде радиационной аварии, установленные в НРБ-99/2009 [8].

Принятый в НРБ-99/2009 подход к принятию решений о вмешательстве в случае радиационной аварии (табл. 6 и 7) в основном соответствует рекомендациям Публикации 63 МКРЗ [15] и международным основным нормам безопасности (BSS) [16] (табл.8) и базируется на концепции предотвращаемой дозы.

К особенностям требований по ограничению радиационных последствий проектных аварий на АС, установленных в СП АС-03, следует отнести следующие условия.

1) Предел радиационных последствий проектных аварий установлен различным для проектов АС в зависимости от времени их утверждения (до или после введения в действие НРБ-99). Это приводит к тому, что, при прочих равных условиях, приемлемые выбросы для проектных аварий, в зависимости от даты утверждения проекта АС, различаются в 10 раз (табл.6). При прочих равных условиях, доза облучения населения прямо пропорциональна выбросу. Следовательно, может создаться ложное представление, что в случае проектной аварии защита населения, проживающего в районах «старой» и «новой» АС, будет осуществляться исходя из дозовых критериев, отличающихся на порядок!

При этом масштаб и объем вмешательства (площадь территории вмешательства; число подвергшихся вмешательству лиц; финансовые и материальные затраты и др.) могут отличаться на несколько порядков.

2) Ограничиваются последствия ПА только в начальный период аварии (первые 10 суток после аварии).

Оба эти требования не выдерживают критики. Действительно, фактическое вмешательство в жизнедеятельность населения в случае аварии не будет определяться датой утверждения проекта АС. В соответствии с п.6.7 НРБ-99/2009 [8] «... Если предотвращаемое защитным мероприятием облучение превосходит уровень А, но не достигает уровня Б, решение о выполнении мер защиты принимается по принципам обоснования и оптимизации с учетом конкретной обстановки и местных условий».

Отсутствие обоснованности вмешательства в начальный период аварии не гарантирует, что оно не потребует в последующем (например, в первый месяц или год после аварии).

В настоящее время в рекомендациях МКРЗ [17] и новых BSS [18] сформулирована новая глобальная стратегия радиационной защиты, в основу которой положена концепция остаточной дозы – дозы, которая будет получена в

первый год после аварии с учетом внедрения защитных стратегий. Ожидаемые остаточные дозы с учетом всех путей облучения сравниваются с референтным уровнем при проведении предварительной оценки приемлемости варианта защитной стратегии.

Стратегия защиты состоит в планировании остаточных доз на разумно достижимом низком уровне ниже референтного (контрольного) уровня, причем эта стратегия оптимизируется. Стратегия защиты, при внедрении которой не произойдет снижения остаточной дозы ниже референтного уровня, должна быть отвергнута уже на стадии планирования.

Уровни предотвращаемой дозы (табл.8), которые были рекомендованы в Публикации 63 МКРЗ [15] и BBS-96 [16] для оптимизации отдельных защитных мероприятий, сохраняют свою полезность в качестве основы для разработки обобщенной стратегии защиты в ситуациях аварийного облучения.

На основе итогов оптимизации стратегии защиты и с использованием референтного уровня разрабатываются общие критерии для конкретных защитных действий и других мер, выраженные в виде прогнозируемой дозы или полученной дозы. В случае превышения общих критериев эти защитные действия и другие меры осуществляются по отдельности или в сочетании друг с другом.

В табл.9 приведен ряд общих критериев (выражаемых посредством прогнозируемой дозы в отсутствие мер защиты) для использования в стратегии защиты, которые соответствуют референтным (контрольным) уровням (в виде остаточной дозы) в диапазоне от 20 мЗв до 100 мЗв, с примерами защитных действий и других мер реагирования [18].

В настоящее время актуальным является вопрос радикального пересмотра раздела 6 НРБ-99/2009 [8] с целью гармонизации с глобальной стратегией радиационной защиты в ситуациях аварийного облучения, представленной в Публикации 103 МКРЗ [16] и в новых международных основных стандартах безопасности МАГАТЭ (2014) [17].

Перспектива такого пересмотра лишает всякого смысла критерии, установленные в пп. 5.24 и 5.25 СП АС-03.

В зависимости от выбранных целей и исходя из требований Норм радиационной безопасности к радиационной защите персонала и населения в различных ситуациях облучения, с учетом международной практики и современных рекомендаций МКРЗ [17] и МАГАТЭ [1,2,5,18] устанавливаются критерии радиологической приемлемости ПА на АС.

При таком подходе существует достаточно большое число возможных вариантов критериев приемлемости для ПА.

На основе принятых критериев приемлемости для заданного перечня ПА устанавливаются требования к техническим системам безопасности при проектировании и модернизации АС.

При этом следует понимать, что, в общем случае, чем более ограничительными являются принятые критерии приемлемости, тем выше (при постулированном перечне ПА) стоимость сооружения (модернизации) АС.

Согласно рекомендациям МАГАТЭ [2], небесспорным, по нашему мнению, критерии радиологической приемлемости для ПА можно дополнять критериями, относящимися к тяжелым авариям (ограничение частоты повреждения активной зоны ядерного реактора, частоты крупного выброса на ранней стадии аварии,

выбросов конкретных радионуклидов (например, ^{137}Cs), вероятности сценариев, требующих вмешательства за пределами площадки и др.).

С нашей точки зрения, представляется целесообразным установить следующие критерии радиологической приемлемости ПА на АС:

- значения прогнозируемой дозы облучения населения при ПА на АС не должны превышать значений, требующих защитных действий и других мер реагирования в соответствии с Нормами радиационной безопасности;
- значения обобщенного риска потенциального облучения персонала и населения при эксплуатации АС не должны превышать соответствующих граничных значений обобщенного риска, установленных Нормами радиационной безопасности.

Первое условие является специфическим детерминированным критерием радиологической приемлемости ПА на АС. Второе – критерием приемлемости риска потенциального облучения (в том числе от ПА) при эксплуатации АС.

Соблюдение критериев приемлемости следует подтверждать при подаче заявок на получение лицензий на различных этапах жизненного цикла АС.

Выводы.

1. Необходимо исключить дублирование и противоречия при установлении критериев радиологической приемлемости проектных аварий на АС России в нормативных документах различных ведомств.

2. Следует придать бóльшую четкость и устранить противоречия в этих критериях в документах Ростехнадзора (НП-001-15 и НП-032-01).

3. Представляется целесообразным установить следующие

радиологические критерии приемлемости проектных аварий на АС:

– прогнозируемые дозы облучения населения при ПА на АС не должны превышать значений, требующих защитных действий и других мер реагирования в соответствии с Нормами радиационной безопасности;

– значения обобщенного риска потенциального облучения персонала и населения при эксплуатации АС не должны превышать соответствующих граничных значений обобщенного риска, установленных Нормами радиационной безопасности.

4. Требуется радикальная переработка раздела 6 НРБ-99/2009 в

соответствии с глобальной стратегией радиационной защиты населения в ситуациях аварийного облучения, разработанной в Публикации 103 МКРЗ (2007) и в новых международных основных стандартах безопасности МАГАТЭ (2014).

Литература

1. Международное агентство по атомной энергии. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты. Издание 2007 года, МАГАТЭ, Вена, 2007.
2. Международное агентство по атомной энергии. Детерминистический анализ безопасности атомных электростанций. Специальное руководство МАГАТЭ по безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № SSG-2. МАГАТЭ, Вена, 2004.
3. Международное агентство по атомной энергии. Пределы и условия для эксплуатации и эксплуатационные процедуры для атомных электростанций. Руководство по безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № NS-G-2.2. МАГАТЭ, Вена, 2004.
4. Международное агентство по атомной энергии. Аспекты радиационной защиты при проектировании атомных электростанций. Нормы МАГАТЭ по безопасности. Руководство по безопасности, № NS-G-1.13. МАГАТЭ, Вена, 2008.
5. International Atomic Energy Agency, Safety of nuclear power plants: design, IAEA Safety Standards, Specific Safety Requirements No SSR-2/1 (Rev. 1), Vienna, 2016.
6. НП-001-15. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций.
7. НП-082-07. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций.
8. СП 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).
9. СанПиН 2.6.1.24-03. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03).
10. Иванов Е.А., Полянцева С.С., Пырков И.В., Шестаков Ю.М. Перспектива повышения радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций ОАО «Концерн Росэнергоатом». Статья в сб. статей «Атомные электрические станции России. XX лет ОАО «Концерн Росэнергоатом». Под общ. ред. Асмолова В.Г. ОАО «Концерн Росэнергоатом», М., 2012.
11. Болдырев В.М., Иванов Е.А., Хамьянов Л.П. Количественная оценка риска в ядерной энергетике. Атомная энергия, 1990, т.68, вып.5.
12. Либманн Ж. О ядерной безопасности. Институт по ядерной и радиационной безопасности (IPSN), перевод: А.Габар, технический редактор: И.В.Терехов, 1997.
13. НП-032-01. Размещение атомных станций. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности (введены в действие с 30.04.2002).
14. СП 2.6.1.2216-07. Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения радиационных объектов. Условия эксплуатации и обоснования (СП СЗЗ и ЗН-07).
15. International Commission on Radiological Protection, Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency, ICRP Publication No.63, Ann. ICRP 22 (4), Pergamon Press, Oxford, 1993.
16. Международное агентство по атомной энергии. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения, Серия изданий МАГАТЭ по безопасности №115. МАГАТЭ, Вена, 1997.
17. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the ICRP, Publication 103, Ann. ICRP 37 (2-4), Pergamon Press, Oxford, 2007.
18. International Atomic Energy Agency, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards, General Safety Requirements Part 3, No. GSR Part 3, Vienna, 2014.

Radiological Criteria of Acceptability of Design Accidents at NPP

Ivanov Evgeny (Joint stock company "All-Russian Research Institute" for Nuclear Power Plants Operation" (VNIIAES), Moscow, Russia),

Kochetkov Oleg (FSBI RF SRC Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of RF Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia)

Abstract. The article discusses the issue of radiological criteria choice of design accident acceptability at NPP. The comparative analysis has been made of the above criteria set forth in the RF regulatory documents in the field of nuclear energy use and IAEA standards. There are redundancy and discrepancies found in the wording of the regulatory documents issued by different authorities. The emphasis is on the critical analysis and justification of refusal to use the design accident acceptability criteria at NPP, specified in Sanitary Regulations of NPP Design and Operation SP AS-03. The wording of the reviewed criteria is suggested that is in line with the up-to-date recommendations of ICRP (International Commission on Radiological Protection) and IAEA.

Key words: nuclear power plant, design accident, criteria of acceptability, radiological acceptance criteria, potential exposure to radiation, radiation dose, radiation risk.

Е.А.Иванов (к.т.н., с.н.с., зам.дир.) – АО «ВНИИАЭС», г.Москва; О.А.Кочетков (к.т.н., с.н.с., зав.лаб.) – ФГБУ ГНЦ РФ ФМБЦ им.А.И.Бурназяна ФМБА России, г.Москва.

Контакты: тел.: +7 (495) 372-36-01; e-mail: ivanov@vniiaes.ru, shablja@1system.ru.