

БОЛЬШОЙ РАННИЙ АВАРИЙНЫЙ ВЫБРОС – ЧТО ЭТО ТАКОЕ И НУЖЕН ЛИ ОН В НОРМАХ РФ?

Любарский А.В.¹, Токмачев Г.В.¹, Михалев А.В.^{1,2}

¹АО «Атомэнергoproject»,
105082, г. Москва, ул. Бакунинская, д.7, стр. 1

²НИУ «МЭИ»,
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14, стр. 1



В федеральных нормах и правилах РФ представлено определение большого аварийного выброса, но отсутствует требование по оценке вероятности реализации раннего большого аварийного выброса (РБАВ). Этот показатель отражает риск ранних летальных исходов при аварии на атомной станции (АС) и является общепризнанным значимым показателем безопасности АС, используемым в ряде стран – членов МАГАТЭ, но игнорируемым в РФ. В статье проанализирована отечественная нормативная практика использования понятия большого аварийного выброса (БАВ) при проведении вероятностного анализа безопасности (ВАБ). Проведен анализ документов МАГАТЭ в части определения большого раннего и позднего выбросов и требований в части оценки риска для населения, проживающего в районе АС. Показано, что определение БАВ в российских ВАБ неполно, не соответствует определениям в стандартах и целям МАГАТЭ в области безопасности и требует уточнения и дополнения. По результатам анализа сформулировано определение позднего и раннего большого аварийных выбросов для использования в ВАБ в Российской Федерации и предложены возможные критерии их достижения как с учетом мер по защите населения, проживающего в пределах зоны планирования защитных мероприятий (ЗПЗМ), так и без них. Показаны подходы в ряде стран в части определения раннего и большого выброса, соответствующие в большей мере документам МАГАТЭ. Делается ряд важных выводов в части необходимости более детального определения БАВ, уточнения целевых вероятностных ориентиров (соответственно новым определениям) и уточнения дозовых критериев в российских нормативных документах и ВАБ. Предлагаемые изменения приведут к более реалистичной оценке риска населения и позволят использовать результаты ВАБ для оптимизации защитных действий.

Ключевые слова: большой аварийный выброс, ранний и поздний большой аварийный выброс, зона планирования защитных мероприятий, меры по защите населения, критерии, эвакуация.

Для цитирования: Любарский А.В., Токмачев Г.В., Михалев А.В. Большой ранний аварийный выброс – что это такое и нужен ли он в нормах РФ? // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2024. – № 4. – С. 81–94. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2024.4.07>

ВВЕДЕНИЕ

Ранний большой аварийный выброс (РБАВ) не определен в нормах Российской Федерации (РФ) [1–3]. В то же время в зарубежных нормах такой термин используется. Опыт проведения вероятностного анализа безопасности (ВАБ) уровня 2 и разработки на основании его результатов мероприятий по управлению тяжелыми авариями и мер по защите населения показывает необходимость введения такого термина. В статье проанализированы федеральные нормы и правила РФ, документы МАГАТЭ [4, 5] в части определения большого раннего выброса, критерии его достижения и возможное использование при планировании мер по защите населения. Предложены изменения определения большого аварийного выброса (БАВ) в российских ВАБ. Также в статье приведена краткая информация о подходах, разрабатываемых органом по ядерному регулированию Турецкой республики и ряде других стран к определению раннего и большого выбросов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БОЛЬШОГО АВАРИЙНОГО ВЫБРОСА (БАВ) В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НП-001-15 [1] определяет БАВ как «выброс радиоактивных веществ в окружающую среду при аварии на атомной станции (АС), при котором необходимо выполнение мер защиты населения на границе ЗПЗМ на начальном периоде аварии, установленной в соответствии с требованиями норм и правил по размещению АС и за ее пределами».¹

Предотвращаемые значения дозовых нагрузок, при которых требуются защитные меры для населения на начальном этапе развития тяжелых аварий в течение первых 10-ти суток, определяются согласно табл. 6.3 НРБ-99/2009 [2] (см. табл. 1 настоящей статьи) для уровня Б (без учета защитных мер). Эти критерии ограничены по расстоянию (не ниже границы ЗПЗМ) и по времени воздействия радиации (10 суток).

Следует отметить, что предотвращаемая доза – это прогнозируемая доза вследствие радиационной аварии, которая может быть предотвращена защитными мероприятиями, а доза, поглощенная в органе или ткани – величина энергии ионизирующего излучения, переданная определенному органу или ткани человеческого тела (Гр). Средняя доза равна полной энергии, переданной объему органа, деленной на массу этого объема ($\text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1} = 1 \text{ Гр}$).

В практике вероятностного анализа безопасности в РФ в качестве критерия достижения БАВ принято именно превышение этих доз на границе ЗПЗМ. Пункты 1.2.17 и 1.2.18 [1] устанавливают требования к вероятности превышения БАВ, а именно:

¹ Согласно [3], зона планирования защитных мероприятий (ЗПЗМ) – территория вокруг АС, в границах которой возможно радиационное воздействие при авариях и планируются мероприятия по защите населения на начальном периоде аварии на основе критериев для принятия неотложных решений в начальном периоде радиационной аварии, установленных в нормах радиационной безопасности.

Таблица 1

Критерии для принятия неотложных решений в начальном периоде радиационной аварии

Защитные меры	Предотвращаемая доза за первые 10 дней, мГр			
	На тело		Щитовидная железа, легкие или кожа	
	Уровень А	Уровень Б	Уровень А	Уровень Б
Укрытие	5	50	50	500
Йодная профилактика:				
– взрослые	–	–	250*	2 500*
– дети	–	–	100*	1000*
Эвакуация	50	500	500	5000

* Только для щитовидной железы

• п. 1.2.17. «Целевыми ориентирами безопасности АС являются не превышение суммарной вероятности большого аварийного выброса для каждого блока АС на интервале в один год, равной $1E-7$ »;

• п. 1.2.18. «Если оценка вероятности большого аварийного выброса не подтверждает выполнение пункта 1.2.17 настоящих Общих положений, то в проекте АС необходимо предусмотреть дополнительные технические решения (включая специальные технические средства для управления запроектными авариями) с целью снижения вероятности возникновения аварий и ослабления их последствий».

Как видно из определения БАВ и требований п. 1.2.17 [1], использование критериев, приведенных в табл. 1 для уровня Б при анализе степени соответствия целевому ориентиру в ВАБ в РФ, корректно и полностью соответствует нормативным требованиям. Тем не менее возникает вопрос о достаточности такого определения БАВ и о корректности количественных вероятностных целях по безопасности, основанных на этом определении.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАННЕГО И БОЛЬШОГО ВЫБРОСОВ МАГАТЭ [4]

МАГАТЭ выделяет две категории выбросов: ранний выброс (Early Release) и большой выброс (Large Release).

По определению МАГАТЭ, ранний выброс – это выброс радиоактивных веществ, при котором меры защиты за пределами площадки АС необходимы, но маловероятно, что они будут полностью эффективны. Это определение более или менее понятно – если выброс достигает значений доз, при которых необходимо реализовать защитные меры за пределами площадки АС за время, в течение которого эти меры применить не реально, то такой выброс является ранним, например, выброс, при котором дозы на население достигают критических значений сразу после объявления аварийной ситуации. Эти дозы по расстоянию не ограничены.

Имеются следующие недостатки определения:

• не указано, какие эффекты должны учитываться (детерминированные или детерминированные и стохастические), например, в США цели по обеспечению здоровья, которые можно ассоциировать с определением раннего большого выброса, связаны только с детерминированными эффектами, при которых возникает быстрый летальный эффект для здоровья населения [6];

• время, в течение которого оцениваются последствия выброса, задано неявно.

По определению МАГАТЭ, большой выброс – это выброс радиоактивных веществ, при котором меры защиты за пределами площадки АС, ограниченные по времени и областям применения, недостаточны для защиты людей и окружающей среды. Определение сложное и позволяет широкую трактовку, в частности, в отношении ограничения по времени применения мер непонятно, рассматривается ли

- ограничение по времени менее заданного времени или не более;
- время, в течение которого должны быть реализованы меры, или длительность реализации мер;
- ограничение по длительности выброса.

Также в отношении ограничения по областям применения в определении непонятно, рассматривать ли

- меры в границах определенной территории;
- ограниченный набор защитных мер.

Немаловажным также является вопрос, в чем же заключается принципиальная разница между ранним и большим выбросом, в частности, будет ли выброс ранним, если для рассматриваемой ограниченной области при ограничении на время предусмотренные защитные меры недостаточны или их не предусмотрено вообще?

Следует отметить, что вероятностные цели (критерии) для раннего выброса, как правило, строже, чем для большого выброса.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАННЕГО И БОЛЬШОГО ВЫБРОСОВ В НОРМАХ РАЗНЫХ СТРАН

Для учета передового опыта национальных нормативных документов стран или содружеств стран в вопросах анализа радиационных аварий разумно обратиться к используемым ими терминам и установленным критериям.

В частности, требования европейских энергетических компаний к АС с легководными реакторами (EUR) предлагают следующие определения [7]:

- большой выброс – выброс, для которого внешние защитные меры, ограниченные по срокам и областям применения, являются недостаточными для защиты людей и окружающей среды;
- ранний выброс – выброс, который требует проведения защитных мероприятий вне площадки, однако их полная эффективность в установленный срок будет маловероятна.

При анализе нормативной документации США было выявлено однозначное определение только в отношении большого раннего выброса, которое может быть переведено как быстрый неконтролируемый выброс продуктов деления за пределы герметичной оболочки в окружающую среду, происходящий до эффективного осуществления мер реагирования на чрезвычайные ситуации и защитных мер за пределами площадки, при которой существует вероятность раннего вреда здоровью населения [8]. Определение БАВ хотя и не дано в явном виде, но очевидно, что предполагается выброс значительного количества радиоактивных материалов, а также необходимость применения мер по защите населения [9].

Аналогичным образом дает определения различным категориям выбросов международная группа исследователей по вероятностному анализу безопасности в [10].

Эти термины, а также определения, данные МАГАТЭ, объединяют два критерия:

- временной критерий, заложенный в их формулировке – временная зависимость приводит к однозначному разделению между категориями выброса;

• критерий определения большого выброса. В большинстве стран выброс категоризируется как большой в случае выхода в атмосферу радиоактивных материалов в количестве, превышающем установленные нормы.

Используемые в практике подавляющего большинства стран термины различных категорий выбросов сформулированы таким образом, чтобы решать задачу оценки вероятности выхода радиоактивных продуктов деления за пределы герметичной оболочки в количествах, превышающих допустимые², без оценки радиационных последствий для населения в районе АЭС. Фактически данный подход ограничен только технологическими аспектами проектирования и эксплуатации энергоблока АС и не требует оценки рисков негативных радиационных последствий для населения, вносимых размещением АС на определенной территории. Эта задача решается в рамках ВАБ уровня 2, но при этом в качестве метрики риска ВАБ уровня 2 устанавливается вероятность реализации большого аварийного выброса (раннего, либо без указания времени выброса, как в современных нормах РФ [1]), сформулированного как превышение допустимого количества определенных изотопов (как правило, I-131 и Cs-137). Нормативное требование по оценке риска получения установленной дозы облучения среди населения (это могут быть либо смертельные уровни дозовых нагрузок, либо приводящие к тяжелым последствиям для организма) в настоящее время установлено только в нескольких странах. Для оценки вероятности превышения этого уровня требуется выполнение ВАБ уровня 3. В частности, допустимые уровни риска получения установленного уровня дозовой нагрузки в Великобритании и Аргентине представлены на рис. 1, 2, при этом время, в течение которого достигается эта нагрузка, не регламентируется.

Можно утверждать, что в настоящее время, несмотря на наличие принятого на международном уровне определения большого раннего выброса, реальных критериев достижения этого выброса (с указанием дозовых нагрузок и времени их достижения) не сформулировано ни в одной стране.

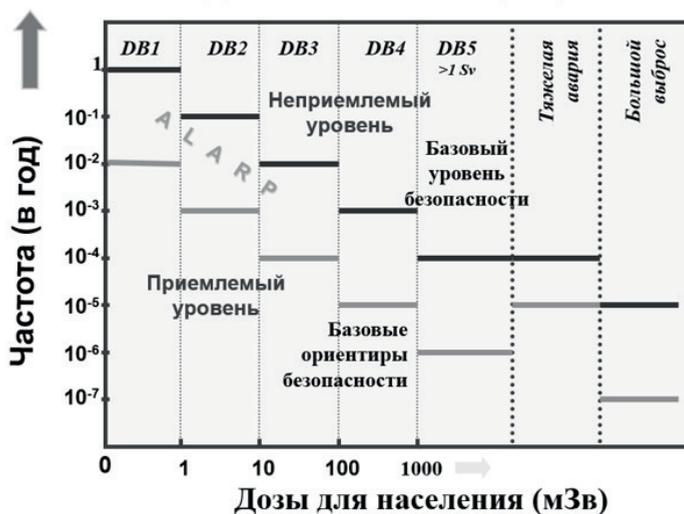


Рис. 1. Критерии риска на основе дозовых нагрузок для ВАБ уровня 3 в Великобритании

² При этом допустимое количество и состав выброшенных изотопов варьируется между странами

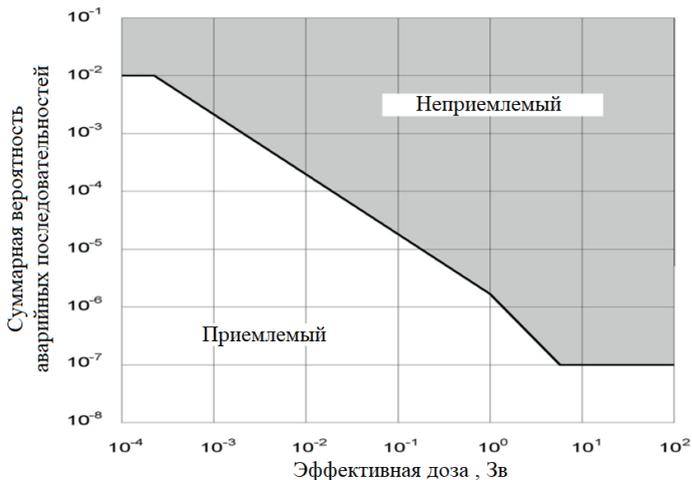


Рис. 2. Критерии риска на основе дозовых нагрузок для ВАБ уровня 3 в Аргентине

ВОПРОСЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ БАВ В РОССИЙСКИХ ВАБ

Определение БАВ (в ВАБ) в РФ формально удовлетворяет определению большого выброса МАГАТЭ, а именно:

- ограничение по времени – меры не реализуются в течение 10-ти суток;
- ограничение по области применения – рассматривается только территория на границе и за пределами ЗПЗМ;
- защитные меры, реализуемые за пределами ЗПЗМ, явно недостаточны для защиты людей и окружающей среды.

Возникают следующие вопросы к определению БАВ в российских ВАБ:

- как учитываются защитные меры, чтобы предотвратить достижение «критических» доз внутри ЗПЗМ, достаточны ли они; ограничение вероятности «критического» выброса за пределами ЗПЗМ не гарантирует, что внутри ЗПЗМ население будет защищено;
- какие эффекты следует учитывать (детерминированные или стохастические)? Дозы (см. табл. 1) оцениваются в Гр, что является признаком детерминированных эффектов (поглощенная доза), но должны также учитываться стохастические эффекты.

Согласно основополагающему документу МАГАТЭ [5], фундаментальная цель безопасности АС – защитить население и окружающую среду от вредного воздействия ионизирующего излучения. Один из принципов безопасности (принцип 6) – меры по контролю радиационного риска должны обеспечить любому индивидууму отсутствие недопустимого риска тяжелых последствий. В п. 3.26 [5] говорится об оптимизации защиты и ограничении доз и риска для индивидуумов, необходимых для достижения желаемого уровня безопасности.

Возникает основной вопрос: позволяет ли определение БАВ (в ВАБ) в нормах РФ [1, 2] выполнить п. 3.26 [5] в части «... оптимизации защиты...» с целью снижения риска для индивидуумов, необходимого для достижения желаемого уровня безопасности?

Ожидаемый ответ – нет, так как для населения, проживающего в ЗПЗМ, не ограничен риск от выбросов, которые могут привести к раннему детерминированному эффекту, и от выбросов, которые могут привести к стохастическим (долговременным) вредным эффектам (см. табл. 1). Очевидно, что снижение радиационного риска, в первую очередь, связа-

но с эффективностью защитных мер – чем раньше будут инициированы меры, тем более вероятно их успешная реализация и тем более эффективна защита от превышения критических доз для населения. Определение БАВ, принятое в российских ВАБ, не учитывает защитные меры и, следовательно, не позволяет их учесть при оценке вероятности БАВ, в частности, не включает в рассмотрение ЗПЗМ, в которой, собственно, и предусмотрена реализация защитных мер. При оценке предотвращаемых доз в табл. 1 меры по защите населения не учитываются как внутри, так и вне ЗПЗМ.

Следовательно, выполнение или невыполнение целевого ориентира по БАВ в российских ВАБ не позволяет обосновать защищенность населения, проживающего в ЗПЗМ, как от детерминированных, так и от стохастических эффектов; не позволяет определить эффективность защитных мер и способы повышения эффективности и надежности реализации защитных мер.

Примечание: сомнение снимается, если в пределах ЗПЗМ население не проживает. В этом случае выполнение целевого ориентира по БАВ действительно гарантирует отсутствие недопустимого риска тяжелых последствий аварий на АС для всего населения, проживающего в районе АС. Проблемы в том, что

- отсутствие населения внутри ЗПЗМ не имеет физического смысла (нельзя планировать защитные меры для населения в зоне, где населения нет);
- ЗПЗМ без населения не может быть большой по размерам, а значит, выполнение целевого ориентира из пп. 1.2.17, 1.2.18 [1] на его границах и вне их практически невозможно³.

ОПЫТ АГЕНТСТВА ПО ЯДЕРНОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ ТУРЦИИ

Полезно обратиться к опыту Турецкой республики, где сооружается АС «Аккую» по российскому проекту. Лицензионная база проекта включает в себя турецкие, российские и международные нормы. Агентство по ядерному регулированию (АЯР) Турецкой республики делает сейчас попытку установить критерии или целевые ориентиры по вероятности РБАВ и ПБАВ для Турецкой Республики, основываясь на определении раннего и большого выброса в [4], положениях нормативного документа [9] и проекта нормативного документа [10].

В настоящее время этот процесс не завершен, понятия РБАВ и ПБАВ в турецких нормативных документах [13, 14] нет, но обсуждаются следующие определения:

- РБАВ – выброс, при котором внутри зоны превентивных мер нарушается дозовый критерий 0,1 Гр для плода или 1 Гр для костного мозга, или внутри зоны планирования защитных мер нарушается дозовый критерий 100 мЗв на все тело за период менее 10-ти часов с момента объявления аварийной ситуации;
- ПБАВ – выброс, приводящий к нарушению дозового критерия 100 мЗв на все тело вне зоны планирования защитных мер за период менее семи суток с момента объявления аварийной ситуации.

В определениях используется следующие термины:

- зона планирования защитных мер – территория вокруг ядерной установки, где проводятся необходимые мероприятия для защитных действий при аварийной ситуации, выпол-

³ Малые размеры ЗПЗМ, по сути, приводят к тому, что любая тяжелая авария с разрушением герметичной оболочки приводит к БАВ. Учитывая то, что, согласно нормам РФ [7], АС проектируется на сейсмическое воздействие с повторяемостью 10 000 лет (с учетом сейсмических запасов при проектировании с повторяемостью порядка 100 000 лет), гарантировать выполнение целевого ориентира по БАВ 1.Е–7 за год представляется нереальным ни для одной АС в РФ.

няемые на основании условий установки и результатов мониторинга окружающей среды, для уменьшения риска стохастического эффекта за пределами ядерной установки и для предупреждения детерминированного эффекта при аварийной ситуации;

- зона превентивных мер – территория вокруг ядерной установки, на которой проводятся мероприятия, касающиеся защитных действий при аварийной ситуации, выполняемых до распространения радиоактивных веществ или сразу после него на основании условий установки для уменьшения риска тяжелого детерминированного эффекта за пределами установки в случае возникновения аварийной ситуации.

При формулировании определений предполагается, что за 10 часов защитные меры внутри зоны превентивных мер и зоны планирования защитных мер могут быть реализованы; началом реализации защитных мер может быть потеря основных функций безопасности активных систем.

Следует отметить, что обсуждаемые определения не включают в понятие РБАВ и ПБАВ выбросы, приводящие к нарушению дозового критерия 100 мЗв на все тело внутри зоны планирования защитных мер за период до семи суток с момента объявления аварийной ситуации. Собственно, это и является единственным, но важным отличием от определения, предлагаемого для ПБАВ в данной статье, в котором для ЗПЗМ (исключая санитарно-защитную зону) дозовые нагрузки предлагается также нормировать, но рассчитывать с учетом мер по защите населения.

Тем не менее, подход, обсуждаемый в АЯР, представляется важным шагом в сторону обеспечения выполнения требования п. 3.26 [5].

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИЗМЕНЕНИЮ

В статье [12] уже были предложены как определения, так и подходы к формированию вероятностных целевых ориентиров для раннего и большого выброса:

- ранний большой аварийный выброс – это выброс радиоактивных продуктов в окружающую среду в количествах, потенциально приводящих к высокой вероятности быстрого летального исхода для наиболее уязвимого представителя населения, проживающего в районе АС, за время, недостаточное для организации защиты населения в условиях, при которых происходит рассматриваемый выброс;

- поздний большой аварийный выброс – выброс радиоактивных продуктов в окружающую среду в количествах, потенциально приводящих к высокой вероятности летального исхода для наиболее уязвимого представителя населения, проживающего в районе АС.

Первое определение представляется достаточно полным и коррелирует с определением раннего выброса, приведенного в [3].

Однако предлагаемые в [12] критерии в части дозовых нагрузок требуют серьезных обоснований и исследований. Поэтому в качестве критерия РБАВ в настоящее время представляется разумным использовать дозовые нагрузки, приведенные в табл. 6.1 из [2] (см. табл. 2 настоящей статьи). При этом оцениваются только детерминированные эффекты, приводящие к немедленным негативным серьезным последствиям (смерти). Зона, в которой оценивается вероятность РБАВ – вся область вокруг АС за исключением санитарно-защитной зоны.

В таблице 2 приводятся дозовые критерии поглощенной в течение первых двух суток дозы, приводящей к детерминированным эффектам, при которых требуется немедленное вмешательство. Эти критерии не ограничены по расстоянию, но ограничены по времени.

Таблица 2

Прогнозируемые уровни облучения, при которых необходимо срочное вмешательство

Орган или ткань	Поглощенная доза в органе или ткани за 2 сут., Гр
Все тело	1
Легкие	6
Кожа	3
Щитовидная железа	5
Хрусталик глаза	2
Гонады	3
Плод	0,1

Важно отметить, что в практике ВАБ в РФ данные критерии не используются при определении БАВ.

Что касается определения позднего большого аварийного выброса (ПБАВ) в [8], то его разумно уточнить с целью большего соответствия определению из [3]. Предлагается следующее определение ПБАВ: выброс радиоактивных продуктов в окружающую среду в количествах, потенциально приводящих к высокой вероятности отложенных негативных последствий для здоровья наиболее уязвимого представителя населения, проживающего в районе АС, с учетом мер, реализуемых для защиты населения в условиях, при которых происходит рассматриваемый выброс.

В качестве критерия ПБАВ предлагается разумным использовать дозовые нагрузки, количественно равные приведенным в табл. 1:

- для ЗПЗМ (исключая санитарно-защитную зону) дозовые нагрузки рассчитываются с учетом мер по защите населения;
- за пределами ЗПЗМ дозовые нагрузки рассчитываются без учета мер по защите населения;
- дозовые нагрузки, используемые в качестве критерия ПБАВ, предлагается оценивать в Зв (эффективная доза) для оценки стохастических эффектов, приводящих к отложенным негативным последствиям (онкологические заболевания и т.п.).

Преимуществами предлагаемых изменений являются следующие: обеспечение высокого уровня безопасности для всего населения в районе АС, а не только проживающего за пределами ЗПЗМ, и возможность разработки эффективных мер по защите населения, обеспечивающих выполнение целевых ориентиров ВБАВ и ПБАВ.

На рисунке 3 показаны временные интервалы, важные для оценки располагаемого времени для организации мер по защите населения при тяжелой аварии.

Время T_{ij} до объявления эвакуации в населенном пункте J при аварии I можно оптимизировать путем поиска значения T_{ij} , при котором принимает минимальное значение функционал, интегрально описывающий потери, связанные со своевременной эвакуацией (или не эвакуацией) населения населенного пункта J при сценарии аварии I с учетом возможности восстановления функции безопасности до принятия решения об эвакуации при обеспечении выполнения целевых ориентиров по РБАВ и ПБАВ:

$$F[Pr(T_{0i} + T_{ri}), P(T_{ij} + T_{эj} < T_{kij})],$$

где $Pr(T_{0i} + T_{ri})$ – вероятность восстановления функции безопасности за время до начала выхода продуктов деления в окружающую среду; $P(T_{ij} + T_{эj} < T_{kij})$ – вероятность того, что

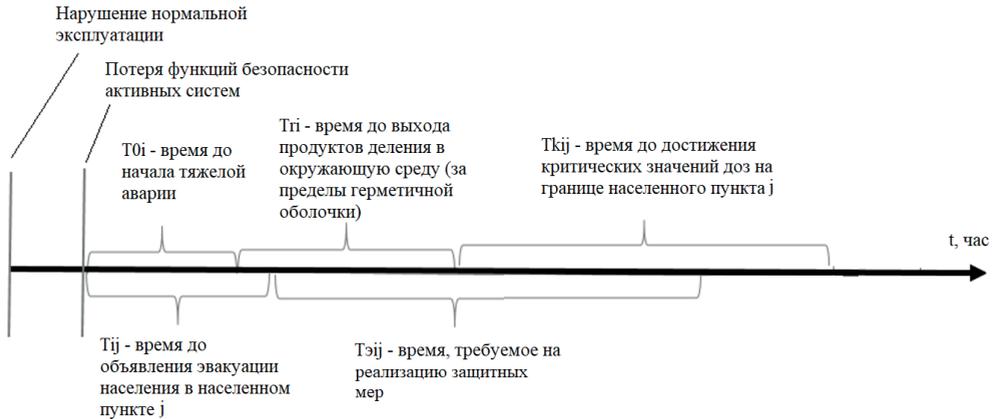


Рис. 3. Временные интервалы, важные для оценки располагаемого времени для организации мер по защите населения при тяжелой аварии

защитные меры для населения будут реализованы до момента достижения критических дозовых нагрузок.

Что касается самих целевых ориентиров по вероятности РБАВ и ПБАВ, то представляется разумным использовать подход и значения, предложенные в [12], а именно, следует установить два вероятностных целевых ориентира:

- $5,0E-7$ в год для РБАВ;
- $2,0E-6$ в год для ПБАВ.

Выводы

На основании информации, представленной в данной статье, а также с учетом [6], можно сделать следующие выводы.

1. Определение БАВ в российских нормах и правилах неполно и требует уточнения и дополнения. В частности, необходимо ввести определение РБАВ, расширить определение ПБАВ и определить реалистичные и обоснованные вероятностные целевые ориентиры соответственно новым определениям.

2. Учитывая, что изменение норм и правил является трудным и долгим процессом, представляется разумным проверить предложения, сформулированные в данной статье в ВАБ действующих и проектируемых АС;

3. Следует обратить внимание на опыт АЯР Турции в части формулирования определения раннего и большого выброса. В то же время следует учесть неполноту определений, не позволяющую оценить риск переоблучения населения, проживающего в ЗРЗМ.

Предлагаемые изменения приведут к более реалистичной оценке риска населения и позволят использовать результаты ВАБ для оптимизации защитных действий.

Можно сделать еще несколько важных выводов, влияющих на всю систему обоснования допустимости риска эксплуатации АС в России.

1. Выполняемые в настоящее время в РФ ВАБ ограничены уровнем 2 ВАБ, целью которого является обеспечение надежного выполнения первых четырех уровней глубокоэшелонированной защиты [1], в первую очередь, за счет оптимизации проектов блоков АС и выбора границы ЗПЗМ. Эта задача остается неизменной.

2. Внедрение в практику регулирования предложений, сформулированных в статье, приведет к необходимости выполнения ВАБ уровня 3, который учитывает и аспекты, связанные с пятым уровнем глубокоэшелонированной защиты [1], что потребует не только разработки соответствующего программного обеспечения, но и совершенствования нормативной базы в области ВАБ в РФ.

Литература

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (НП-001-15). Ростехнадзор России, 2015. – 55 стр. Электронный ресурс: https://docs.secnrs.ru/documents/nps/%D0%9D%D0%9F-001-15/%D0%9D%D0%9F-001-15_conv.pdf?ysclid=lyef47jzg0309692107 (дата обращения: 4.07.2023).
2. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009, утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 7 июля 2009 г. № 47. Электронный ресурс: <https://base.garant.ru/4188851/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 04.07.2023).
3. Размещение атомных станций. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности НП-032-01. Утверждены постановлением Госатомнадзора России от 8 ноября 2001 г. № 10. Электронный ресурс: https://nrs-journal.ru/upload/iblock/b5b/np-032-01_20.pdf?ysclid=lyef0jzk76851263593 (дата обращения: 04.07.2023).
4. IAEA Nuclear Safety and Security Glossary. Last Modified: 15 April 2024. Электронный ресурс: <https://vocabulary.iaea.org/iaea-safety-glossary.html> (дата обращения: 04.07.2023).
5. основополагающие принципы безопасности. Серия норм безопасности МАГАТЭ No. SF-1, 2007. Электронный ресурс: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1273_web.pdf (дата обращения: 04.07.2023).
6. Safety Goals for the Operations of Nuclear Power Plants; Policy Statement; Correction and Republication, 51 FR 30028; USA Federal Register, Vol. 51, No 162, August 21, 1986 Электронный ресурс: https://archives.federalregister.gov/issue_slice/1986/8/21/30025-30043.pdf#page=4 (дата обращения: 04.07.2023).
7. European Utility Requirements for LWR Nuclear Power Plants (EUR). Volume 1, 2, Revision E, EUR Organisation, 2016. Электронный ресурс: <https://europeanutilityrequirements.eu/fr/eur-document-volume-1> (дата обращения: 04.07.2023).
8. ASME/American Nuclear Society, «Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications,» ASME/ANS RA-Sa-2009, March 2009. Электронный ресурс: <https://www.nrc.gov/docs/ML0928/ML092870592.pdf> (дата обращения: 05.11.2024).
9. NUREG/CR-1585 Revision 1, Guidance on the Treatment of Uncertainties Associated with PRAs in Risk-Informed Decision making, Final Report. USNRC, 2017, Washington, DC. Электронный ресурс: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1855/r1/index.html> (дата обращения: 04.07.2023).
10. NEA/CSNI/R(2009)16 Probabilistic Risk Criteria and Safety Goals. Nuclear Energy Agency. Committee on the Safety of Nuclear Installations, 2009. Электронный ресурс: <https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2021-12/csni-r2009-16.pdf> (дата обращения: 05.11.2024).
11. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций НП-031-01. Утверждены постановлением Госатомнадзора России от 19 октября 2001 г. № 9. Электронный ресурс: <https://docs.cntd.ru/document/1200035149> (дата обращения: 04.07.2023).
12. Любарский А.В., Токмачев Г.В., Михалев А.В., Кузьмина И.Б. К вопросу определения и практического применения вероятностных показателей безопасности, относящихся к большому аварийному выбросу. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2024. – № 1. – С. 59–73. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2024.1.05>
13. Turkey's National Radiation Emergency Response Plan, URAP, TAEK, Ankara, 2015.

14. Yeşil S., Gökeri G. On-site emergency planning and response approach for nuclear power plants. // Turkish Journal of Nuclear Science. – 2018. – Cilt. 30. – No. 2. Электронный ресурс: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/607728> (дата обращения: 04.07.2023).

Поступила в редакцию 25.08.2024

Авторы

Любарский Артур Вадимович, начальник управления, к.т.н.,

E-mail: Lyubarskiy_AV@aep.ru

Токмачев Геннадий Владимирович, главный специалист, к.т.н.,

E-mail: Tokmachev_GV@aep.ru

Михалев Александр Витальевич, аспирант,

E-mail: Mikhalev_AV@aep.ru

UDC 621.039.58

Large Early Accidental Release – What Is It and Is It Needed in RF Standards?

Lyubarskiy A.V.¹, Tokmachev G.V.¹, Mikhalev A.V.^{1,2}

¹Atomenergoproekt JSC,

1 Bldg., 7 Bakuninskaya St., 105082 Moscow, Russia

²National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,

14 Bldg., 1 Krasnokazarmennaya St., 111250 Moscow, Russia

Abstract

The federal norms and regulations of the Russian Federation provide a definition of a large accidental release, but there are no requirements for assessing the probability of a large early accidental release (LER). This indicator reflects the risk of early fatalities in a nuclear power plant accident and is a generally recognized significant indicator of nuclear power plant safety, used in a number of IAEA member countries, but ignored in the Russian Federation. The article analyzes the domestic regulatory practice of using the concept of a LER when conducting a probabilistic safety assessment (PSA). An analysis of IAEA documents was carried out regarding the definition of large early and late releases and requirements for assessing the risk of the population living in the area of the nuclear power plant. It is shown that the definition of LER in Russian PSA is incomplete, does not correspond to the definitions in IAEA standards and safety goals and requires clarification and addition. Based on the results of the analysis, a definition of large late and early accidental releases was formulated for use in PSA in the Russian Federation and possible criteria for their achievement were proposed both with and without measures to protect the population living within the protective action planning zone. The article shows the approaches of the Turkish Republic in terms of determining early and large releases, which are more consistent with IAEA documents. The article makes a number of important conclusions, regarding the need for a more detailed definition of LER, clarification of target probabilistic guidelines (according to new definitions) and clarification of dose criteria in Russian regulatory documents and PSA. The proposed changes will lead to a more realistic assessment of the population's risk and will allow the results of the PSA to be used to optimize protective actions.

Keywords: large accidental release, early and late large accidental release, protective action planning area, measures to protect the population, criteria, evacuation.

For citation: Lyubarskiy A.V., Tokmachev G.V., Mikhalev A.V. Large Early Accidental Release – What Is It and Is It Needed in RF Standards? *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2024, no. 4, pp. 81–94. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2024.4.07> (in Russian).

References

1. General provisions for ensuring the safety of nuclear power plants (NP-001-15). Rostechndzor of Russia, 2015. 55 p. Available at: https://docs.secncrs.ru/documents/nps/%D0%9D%D0%9F-001-15/%D0%9D%D0%9F-001-15_conv.pdf?ysclid=lyef47jzg0309692107 (accessed Jul. 04, 2023) (in Russian).
2. Radiation safety standards NRB-99/2009, approved by Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated July 7, 2009 No. 47. Available at: <https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2021-12/csni-r2009-16.pdf> (accessed Jul. 04, 2023) (in Russian).
3. Siting of nuclear power plants. Main criteria and requirements for ensuring safety NP-032-01 Approved by Resolution of the Gosatomnadzor of Russia dated November 8, 2001 No. 10. Available at: https://nrs-journal.ru/upload/iblock/b5b/np-032-01_20.pdf?ysclid=lyef0jzk76851263593 (accessed Jul. 04, 2023) (in Russian).
4. IAEA Nuclear Safety and Security Glossary. Last Modified: April 15, 2024. Available at: <https://vocabulary.iaea.org/iaea-safety-glossary.html> (accessed Jul. 04, 2023).
5. Fundamental safety principles. IAEA Safety Standard Series No. SF-1, 2007. Available at: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1273_web.pdf (accessed Jul. 04, 2023).
6. Safety Goals for the Operations of Nuclear Power Plants; Policy Statement; Correction and Republication, 51 FR 30028; USA Federal Register, 1986, vol. 51, no. 162. Available at: https://archives.federalregister.gov/issue_slice/1986/8/21/30025-30043.pdf#page=4 (accessed Jul. 04, 2023).
7. European Utility Requirements for LWR Nuclear Power Plants (EUR). Volume 1, 2, Revision E, EUR Organization, 2016. Available at: <https://europeanutilityrequirements.eu/fr/eur-document-volume-1> (accessed Jul. 04, 2023).
8. ASME/American Nuclear Society, «Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications.» ASME/ANS RA-Sa-2009, March 2009. Available at: <https://www.nrc.gov/docs/ML0928/ML092870592.pdf> (accessed Nov. 05, 2024).
9. NUREG/CR-1585 Revision 1, Guidance on the Treatment of Uncertainties Associated with PRAs in Risk-Informed Decisionmaking, Final Report. USNRC, 2017, Washington, DC. Available at: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1855/r1/index.html> (accessed Jul. 04, 2023).
10. NEA/CSNI/R(2009)16 Probabilistic Risk Criteria and Safety Goals. Nuclear Energy Agency. Committee on the Safety of Nuclear Installations, 2009. Available at: <https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2021-12/csni-r2009-16.pdf> (accessed Nov. 05, 2024).
11. Design standards for earthquake-resistant nuclear power plants NP-031-01. Approved by Resolution of the Gosatomnadzor of Russia dated October 19, 2001, no. 9. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200035149> (accessed Jul. 04, 2023) (in Russian).
12. Lyubarskiy A.V., Tokmachev G.V., Mikhalev A.V., Kuzmina I.B. About Definition and Practical Application of Probabilistic Safety Indicators Related to Large Accidental Release. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2024, no. 1, pp. 59–73. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2024.1.05> (in Russian).
13. Turkey's National Radiation Emergency Response Plan. URAP, TAEK, Ankara, 2015.
14. Yeşil S., Gökeri G. On-site emergency planning and response approach for nuclear power plants. *Turkish Journal of Nuclear Science*. 2018, cilt. 30, no. 2. Available at: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/607728> (accessed Jul. 04, 2023).

Authors

Artur V. Lyubarskiy, Head of Division, Cand. Sci. (Engineering),

E-mail: Lyubarskiy_AV@aep.ru

Gennady V. Tokmachev, Chief Expert, Cand. Sci. (Engineering),

E-mail: Tokmachev_GV@aep.ru

Aleksandr V. Mikhaley, PhD student,

E-mail: Mikhaley_AV@aep.ru