

УДК: 621.039.566

DOI: 10.26277/SECNRS.2024.114.4.001

© 2024. Все права защищены.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ О МЕРАХ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ В СЛУЧАЕ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ: СМЕНА ПАРАДИГМЫ

Курындин А. В.*, канд. техн. наук (kuryndin@secnrs.ru),
Шаповалов А. С.* (shapovalov@secnrs.ru),
Иванов Е. А.*, канд. техн. наук (ivanov@secnrs.ru),
Кутьков В. А.**, канд. физ.-мат. наук (v.kutkov@ase-ec.ru)

Статья поступила в редакцию 6 сентября 2024 г.

Аннотация

Представлен обзор современной системы защиты населения в случае радиационной аварии, основанной на оценке опасности объекта использования атомной энергии (ОИАЭ) и соответствующей такой оценке стратегии защиты населения в случае радиационной аварии. Применение данного подхода не предполагает расчета доз облучения населения на начальном этапе принятия решения о защитных мерах, но требует оценки состояния ОИАЭ путем применения уровней действия в аварийной ситуации (УДАС) для распознавания и классификации аварийной ситуации на ОИАЭ. Применение УДАС исключает необходимость проведения на начальном этапе аварии расчета доз и их сравнения с общими критериями принятия мер защиты населения.

На начальном этапе аварийной ситуации решения принимаются исключительно на основании анализа состояния критических функций безопасности и (или) физических барьеров ОИАЭ, предотвращающих радиационное воздействие на людей и окружающую среду, а на более поздних этапах развития аварийной ситуации (после завершения формирования загрязнения территории вследствие атмосферного выброса) – на основании анализа результатов радиационного мониторинга окружающей среды с применением действующих уровней вмешательства (ДУВ).

Проанализирована действующая в настоящее время в Российской Федерации система защиты населения при радиационной аварии, использующая концепцию предотвращаемой дозы как основу для принятия решения по защите населения. Применение этой концепции требует расчета доз облучения населения на начальном этапе аварии, что в условиях запроектных аварий практически невозможно из-за отсутствия данных о характеристиках атмосферного выброса радиоактивных веществ.

Внедрение в отечественную практику системы защиты населения в случае радиационной аварии, основанной на оценке опасности ОИАЭ и применяющей оперативные триггеры – УДАС и ДУВ, – является необходимым этапом извлечения уроков из прошлых аварий на ОИАЭ.

► **Ключевые слова:** аварийная ситуация на атомной станции, аварийное планирование, аварийное реагирование, защита населения, действующие уровни вмешательства, уровни действия в аварийной ситуации.

* Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности», Москва, Россия.

** АО «Атомстройэкспорт», Москва, Россия.

CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR DECISION-MAKING ON PUBLIC PROTECTION MEASURES IN THE EVENT OF A RADIATION EMERGENCY: A PARADIGM SHIFT

Kuryndin A. V.*, Ph. D.,
Shapovalov A. S.*,
Ivanov E. A.*, Ph. D.,
Kutkov V. A.**, Ph. D.

The article was received by the editors' crew on September 6th, 2024.

Abstract

The review of the modern system for protecting the public in a radiation emergency is presented. The system is based on the assessment of the hazard of facilities and the corresponding strategy for the protection of the public in a radiation emergency. Application of this approach does not expect calculation of doses to the public at the initial phase of emergency to prove decision on protective actions, but it's required to assess the safety status of the facilities through the application of emergency action levels (EALs) to identify and classify an emergency. Use of EALs eliminates the need to calculate doses at the initial stage of an accident and compare them with general criteria for taking measures to protect the population.

At initial phase of the emergency decisions are made solely on the basis of the analysis of the state of critical safety functions and (or) physical barriers of the facility preventing radiation impact on people and the environment, and at later phases of the emergency development (after the completion of contamination of the territory due to the atmospheric release) – on the basis of analysis of the results of environmental radiation monitoring using the operational intervention levels (OILs).

The system for protecting the public in case of a radiation emergency based on the concept of avertable dose as a basis for making decisions on protective actions, currently in force in the Russian Federation, has been also reviewed. Application of this concept requires calculation of doses to the population at the initial phase of emergency to prove decision on protective actions, which in conditions of beyond design basis accident is almost impossible due to the lack of data on the characteristics of the atmospheric release of radioactive substances.

The introduction into domestic practice of a system for the protection of the public in the event of a radiation emergency, based on the hazard assessment of the facilities and applying operational triggers – EALs and OILs – is a necessary step in learning lessons from the past accidents.

► **Keywords:** *nuclear power plant emergency, emergency planning, emergency response, public protection, operational intervention levels, emergency action levels.*

* Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety, Moscow, Russia.

** Atomstroyexport JSC, Moscow, Russia.

Введение

Существующая в Российской Федерации система обеспечения аварийной готовности и реагирования на радиационные аварийные ситуации была сформирована на рубеже XXI века, учла уроки аварии на Чернобыльской АЭС (СССР, 1986 г.), но не претерпела достаточных изменений после аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи» (Япония, 2011 г.). Как следствие – эта система не вполне соответствует основным требованиям безопасности МАГАТЭ, выпущенным в 2014–2015 гг. [1, 2].

Этот факт нашел отражение в основах государственной политики [3], согласно которой к основным направлениям реализации государственной политики Российской Федерации в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности относятся совершенствование: нормативно-правовой базы в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности с учетом стандартов и рекомендаций международных организаций в области использования атомной энергии и мер обеспечения аварийной готовности и реагирования в случае радиационных аварий. В рамках данной статьи радиационная авария – это потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями работников (персонала), стихийными бедствиями или иными причинами, которая могла привести или привела к облучению людей выше установленных норм или радиоактивному загрязнению окружающей среды (ОС).

В этой связи актуальной проблемой является гармонизация национальных нормативно-правовых документов, регламентирующих процедуру принятия решений о мерах защиты (вмешательстве) в случае радиационной аварии, с современными нормами безопасности МАГАТЭ и рекомендациями Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ). Под вмешательством при этом понимается деятельность, направленная на снижение вероятности либо дозы, либо неблагоприятных последствий облучения населения при радиационных авариях, при обнаружении радиоактивных загрязнений объектов ОС или повышенных уровней природного облучения на территориях, в зданиях и сооружениях.

1. Подход к обоснованию мер защиты, принятый в Российской Федерации

Доза аварийного облучения населения за счет внешнего и внутреннего облучения не является величиной, которая может быть измерена. Вместе с тем меры защиты населения при аварии направлены на снижение дозы аварийного облучения. В связи с этим принятый в Российской Федерации подход к обоснованию мер защиты населения в случае радиационной аварии базируется на прогнозных расчетах (прогностическом математическом моделировании) дозы облучения населения в зависимости от основных действующих факторов (параметры источника, метеоусловия, особенности местности и др.) для сопоставления расчетных значений дозы с соответствующими критериями или уровнями вмешательства – уровнями радиационного фактора, при превышении которых следует проводить определенные защитные мероприятия, и оценки необходимости мер защиты.

Общие критерии для принятия мер защиты населения установлены в НРБ-99/2009 [4] в соответствии с Международными основными нормами безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучений МАГАТЭ 1996 г. [5] и Публикацией 63 МКРЗ 1993 г. [6] с целью предотвратить развитие детерминированных эффектов и уменьшить риск стохастических.

В соответствии с критериями НРБ-99/2009 [4] меры защиты населения от детерминированных эффектов базируются на прогнозируемой дозе. Прогнозируемая доза – та, которая, как ожидается, будет получена в том случае, если не проводятся никакие защитные действия или не принимаются никакие восстановительные меры. Так, в [4] указаны прогнозируемые уровни облучения (в терминах поглощенной дозы в органе или ткани за двое суток), при превышении которых возможны детерминированные эффекты и необходимо срочное вмешательство (меры защиты).

Меры защиты населения от стохастических эффектов, в соответствии с НРБ-99/2009 [4], базируются на предотвращаемой дозе для отдельных мер защиты (укрытие, йодная профилактика, эвакуация) и различных периодов радиационной аварии (первые десять суток, первый и последующие годы).

1.1. Концепция предотвращаемой дозы

Предотвращаемая доза является частью прогнозируемой дозы, которая может быть предотвращена защитными мероприятиями в случае радиационной аварии [4]. В [5] отмечается, что предотвращаемые дозы, указанные в уровнях вмешательства, относятся к средней величине по надлежущей выборке населения, а не к наиболее сильно облученным лицам. В [4] эта рекомендация МАГАТЭ [5] принята для укрытия и эвакуации, для йодной профилактики уровни вмешательства указаны отдельно для детей (критическая группа) и взрослых.

Одним из существенных недостатков принятой концепции является то, что в случае превышения всех уровней вмешательства защитные действия (укрытие, йодная профилактика и эвакуация) должны быть осуществлены независимо (по отдельности), без учета их возможного сочетания друг с другом. Такое вмешательство может быть избыточным, если отказ от проведения одной из обязательных мер защиты (в отношении которой превышен уровень вмешательства) не повлияет на оценку предотвращаемой дозы по всем путям облучения в результате сочетания других мер защиты.

Концепция предотвращаемой дозы играет ключевую роль в процессе принятия решений о вмешательстве с целью уменьшить риск стохастических эффектов, так как прогнозные оценки этой величины непосредственно используются в качестве основания для оперативных защитных действий в случае радиационной аварии.

Применение концепции предотвращаемой дозы, при всей ее теоретической обоснованности и привлекательности, крайне затруднительно на практике, что подтверждается опытом участия функциональной подсистемы контроля за ядерно- и радиационно опасными объектами в противоаварийных тренировках (ПАТ) эксплуатирующих организаций в области использования атомной энергии [7].

Это во многом объясняет тот факт, что до настоящего времени отсутствует официальная методика и (или) компьютерный код для расчета этой величины.

В общем случае для оценки предотвращаемой дозы в реальных условиях требуется оперативно и должным образом учитывать большой объем разнородной информации и исходных данных (параметры источника, метеоусловия, необходимое время для расчета и согласования результатов расчета дозы облучения населения, подготовки согласованных рекомендаций и принятия решений

о вмешательстве, координации аварийного реагирования) с целью обеспечения согласованности действий эксплуатирующей организации, федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и организаций, направленных на предупреждение чрезвычайных ситуаций, ослабление и ликвидацию последствий радиационно опасных ситуаций [8]. Необходимо также учитывать возможную задержку в проведении защитных действий и любые другие факторы, которые могут влиять на проведение и (или) снижать эффективность этих действий. Высокая неопределенность в исходных данных может приводить к неприемлемо большим (в несколько порядков) неопределенностям в оценках предотвращаемой дозы. Ситуация в известной степени упрощается, когда в качестве предотвращаемой дозы может быть принята прогнозируемая доза. Это обоснованно, если вмешательство применяется и завершается до начала облучения населения. Такая гипотеза обычно принимается при проведении различного рода ПАТ, но очень редко встречается на практике.

1.2. Прогностическое моделирование как инструмент обоснования вмешательства

Оценки прогнозируемой дозы (нескорректированные на результаты радиационного мониторинга на местности после аварийного выброса) также характеризуются очень большой (порядок и более) неопределенностью [9, 10].

Радиоактивные выбросы, при которых требуется осуществление защитных действий за пределами площадки объекта использования атомной энергии (ОИАЭ), непредсказуемы [11]. Оперативный персонал может прогнозировать повреждение топлива до того, как оно произойдет, но не способен предсказать время, масштаб, радиоизотопный состав, эффективную высоту и продолжительность наиболее крупных выбросов [12], при которых потребуются срочные защитные действия за пределами площадки объекта. Оперативный персонал не всегда с самого начала распознает или понимает тяжесть аварии, даже при наличии бесспорных признаков, указывающих на тяжесть события [13].

Крупный аварийный выброс может продолжаться в течение нескольких дней, что приводит к очень сложной картине выпадений за пределами площадки объекта и формированию дозы облучения населения. Следовательно, невозможно эффективно использовать результаты прогностического мате-

матического моделирования для принятия решения о необходимости срочных защитных мер, которые, с целью наибольшей эффективности, должны быть приняты до выброса или вскоре после него.

Иначе говоря, методология принятия решений о вмешательстве на базе такого прогностического моделирования (без учета результатов радиационного мониторинга в ОС) несостоятельна.

Это можно проиллюстрировать на примерах аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-Дайичи» [11]. В ходе развития этих аварий масштаб, мощность и состав, длительность и эффективная высота радиоактивных выбросов не были предсказаны, выбросы происходили в течение периодов продолжительностью от нескольких дней до нескольких недель. В обоих случаях параметры источника приходилось оценивать путем решения обратной задачи исходя из результатов радиационного мониторинга на местности после выброса. Более того, оценки масштаба выбросов пересматривались впоследствии в течение более года после данных аварий по мере появления новых данных [13, 14].

В этом отношении примечательно, как обосновывалось вмешательство во время аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи». Подходы к обоснованию решений по неотложным мерам защиты населения в случае радиационной аварии в Российской Федерации и Японии во многом совпадали и базировались на оценке прогнозируемой дозы для населения, полученной с помощью различных компьютерных программ, рассчитывающих дозу облучения населения на основе параметров выброса в атмосферный воздух и метеоусловий. В Японии для этого использовали компьютерную систему поддержки принятия решений SPEEDI (System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information) [13, 15]. Система SPEEDI разработана в Японии после аварии на АЭС “Three Mile Island” (США, 1979 г.). На создание системы потрачено около ¥12,4 млрд [15]. Для определения номенклатуры и масштаба вмешательства результаты расчетов SPEEDI должны были сравниваться с критериями принятия решений [16]. Такой подход не соответствовал действовавшим на тот момент требованиям безопасности МАГАТЭ, согласно которым решения по неотложным защитным мерам для населения на ранней стадии развития аварии должны были приниматься исходя из нарушения критических функций безопасности (КФБ) [17].

Несмотря на то, что SPEEDI хорошо прогнозировала радиационные последствия аварий в ходе противоаварийных тренировок на АЭС, в условиях реальной аварии эта система поддержки принятия решений оказалась бесполезной. В ходе реагирования на реальную аварию оказалось невозможным оценить параметры источника выброса и определить исходные данные для SPEEDI. Результаты расчетов по SPEEDI, хотя бы приблизительно описывающие реальную картину радиоактивного загрязнения территории вокруг АЭС «Фукусима-Дайичи», были обнародованы только спустя два месяца после аварии. По итогам их сравнения с данными радиационного мониторинга ОС Управление по ядерному надзору (NRA) Японии приняло решение прекратить использование SPEEDI и других подобных кодов для принятия решений о защите населения во время аварии на АЭС [15, 16].

Решения об эвакуации и укрытии вынужденно принимались не на основе результатов прогностического моделирования, как было запланировано, а исходя из нарушения КФБ (прекращение охлаждения активной зоны ядерного реактора), то есть в соответствии с требованиями МАГАТЭ [17] и японского Закона об обеспечении аварийной готовности 1999 г. [18].

Изучение уроков аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи» показало, что только благодаря следованию международным требованиям к реагированию на радиационные аварии в Японии удалось избежать жертв среди населения в результате облучения [19, 20]. Радиус зоны планируемой эвакуации населения вокруг АЭС «Фукусима-Дайичи» была равен 10 км. Фактический радиус зоны эвакуации составил 20 км. При этом при проведении срочной незапланированной эвакуации в период с 12 по 15 марта 2011 г. из зоны радиусом от 10 до 20 км более 50 пожилых людей, находившихся в медицинских учреждениях, погибли от переохлаждения, обезвоживания и ухудшения состояния здоровья, то есть от причин, не связанных с радиационным воздействием. Таким образом, проведение срочной незапланированной эвакуации не обошлось без пострадавших [21], что подчеркивает опасность неподготовленной эвакуации для уязвимых групп населения.

К настоящему времени опыт аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи» в части принятия решений о вмешательстве не в полной мере нашел отражение в нормативно-правовых документах Российской Федерации [19, 20].

1.3. Двухуровневая концепция

Еще одной принципиальной особенностью подхода к принятию решения о вмешательстве в Российской Федерации является двухуровневая концепция.

Принятие решений о мерах защиты населения в случае радиационной аварии проводится на основании сравнения предотвращаемой дозы с уровнями А и Б, приведенными в таблицах 6.3–6.4 [4]. Уровни А и Б для принятия решений об ограничении потребления загрязненных пищевых продуктов в первый год после аварии, в зависимости от содержания в них радионуклидов, приведены в таблице 6.5 [4].

В соответствии с п. 6.7 [4], если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием:

- не превосходит уровень А, то вмешательство не обосновано;
- достигает и превосходит уровень Б, то вмешательство необходимо;
- превосходит уровень А, но не достигает уровня Б, то решение о выполнении мер защиты предлагается принимать по принципам обоснования и оптимизации с учетом конкретной обстановки и местных условий.

Иначе говоря, в процессе подготовки и принятия решений о вмешательстве предлагается решать оптимизационную задачу с целью установления некоего оптимизированного уровня вмешательства X , находящегося между уровнями А и Б.

Как известно, оптимизация – процесс нахождения экстремума (глобального максимума или минимума) определенной (целевой) функции или выбора наилучшего (оптимального) варианта из множества возможных. Для решения оптимизационной задачи необходимо определить:

- целевую функцию;
- множество допустимых решений для целевой функции;
- критерий оптимизации.

К настоящему времени методика решения указанной оптимизационной задачи (определение оптимизированного уровня X) отсутствует в нормативных правовых и методических документах Российской Федерации, равно как и упоминание в открытых публикациях о попытках решения такой задачи.

Таким образом, требование [4] о поиске оптимизированного уровня вмешательства в условиях радиационной аварии носит декларативный, практически невыполнимый характер. В этих условиях трудно представить, чтобы лицо, принимающее

решение, приняло ответственность за такое решение. На практике перед лицом, принимающим решение, стоит дилемма: ориентироваться на уровень А или Б? Любое решение будет подвергнуто критике как необоснованное. В частности, ориентация на уровень Б, скорее всего, вызовет негативную реакцию и судебные иски со стороны населения, так как трудно (либо невозможно) будет доказать, что вмешательство до достижения этого уровня в текущих условиях неоптимально и необоснованно. Ориентация на уровень А способна также вызвать негативную реакцию и судебные иски со стороны части населения, так как приведет к вмешательству, которого можно было бы избежать при соблюдении *«принципов обоснования и оптимизации с учетом конкретной обстановки и местных условий»*. Кроме того, в этом случае затраты на вмешательство будут максимально возможными, что также может потребовать объяснений.

Таким образом, можно заключить, что принятая в настоящее время в Российской Федерации в соответствии с устаревшими рекомендациями МАГАТЭ [5] и МКРЗ [6] концепция предотвращаемой дозы как основа для вмешательства при авариях практически неприменима. В рамках ПАТ эксплуатирующей организации предотвращенная доза заменяется прогнозируемой, без достаточных обоснований, например без учета задержки в проведении защитных мер. Кроме того, для сокращения временных затрат на принятие решений уровни А или Б в условиях ПАТ *«назначаются»* в качестве основы для принятия решений.

Неопределенность результатов расчета дозиметрических величин на основе прогностического математического моделирования (без учета результатов радиационного мониторинга в ОС после выброса) может составлять несколько порядков, и, как правило, при проведении ПАТ не оценивается. В [11] справедливо отмечается, что прогнозируемая доза не может использоваться в качестве основания для оперативных действий с целью обоснования вмешательства в случае радиационной аварии. Двухуровневая концепция также не выдерживает критики. Дальнейшее использование этой концепции сомнительно. На практике уровень А или Б директивно принимается как критерий вмешательства, о случаях определения, даже в условиях ПАТ, уровня X по *«принципам обоснования и оптимизации с учетом конкретной обстановки и местных условий»* авторам неизвестно.

К существенным недостаткам данного подхода следует отнести также отказ от рассмотрения

сочетания мер защиты друг с другом с целью минимизации вмешательства (исключения избыточности) без потери его эффективности.

Таким образом, актуальность смены действующей парадигмы принятия решений о вмешательстве в случае радиационной аварии продиктована не только поставленной в основах государственной политики [3] задачей гармонизации существующего в Российской Федерации подхода с рекомендациями международных организаций, но и невозможностью ее практического применения в условиях аварий.

2. Современный подход к обоснованию вмешательства

В соответствии с Рекомендациями МКРЗ 2007 г. [22] и стандартами безопасности МАГАТЭ 2014 и 2015 гг. [1, 2] международные требования сфокусированы на создании и развитии государственной оптимизированной стратегии защиты населения в ситуации аварийного облучения на стадии планирования с целью избежать детерминированных эффектов и снизить вероятность стохастических эффектов.

Ситуация аварийного облучения является одной из трех ситуаций облучения, рассмотрение которых, согласно общим требованиям безопасности МАГАТЭ [1], необходимо и достаточно для обеспечения радиационной защиты и безопасности источников излучения:

1. ситуация планируемого облучения – ситуация облучения, которая возникает в результате запланированной эксплуатации источника или запланированной деятельности, приводящей к облучению от источника;

2. ситуация аварийного облучения – ситуация облучения, которая возникает в результате аварии, злоумышленного действия или другого непредвиденного события и которая требует немедленных действий в целях недопущения или уменьшения неблагоприятных последствий;

3. ситуация существующего облучения – ситуация облучения, в которой облучение уже существует в тот момент, когда необходимо принимать решение о введении требуемого контроля.

2.1. Стратегия защиты

Разработка стратегии защиты включает следующие этапы [1, 2]:

1) Устанавливается референтный уровень (RL), выраженный через остаточную дозу (доза, получение которой ожидается после прекращения применения

или после принятия решения о неприменении защитных мер), как правило, равную годовой эффективной дозе в диапазоне от 20 до 100 мЗв [22], с учетом всех путей облучения. Стратегия защиты включает планирование остаточных доз на разумно достижимом низком уровне ниже RL , причем эта стратегия оптимизируется. Референтный уровень должен использоваться совместно с целями аварийного реагирования. Стратегия защиты, при внедрении которой не произойдет снижения остаточных доз ниже RL , должна быть отвергнута уже на стадии планирования;

2) Рассматривается стратегия защиты как совокупность мер, которые необходимо принять с целью избежать или свести к минимуму возникновение серьезных детерминированных эффектов и снизить риск стохастических эффектов. Детерминированные эффекты оцениваются на основе новой нормируемой дозиметрической величины – относительной биологической эффективности взвешенной поглощенной дозы в ткани или органе (далее – ОБЭ-взвешенной поглощенной дозы) [1, 2]; стохастические эффекты в ткани или органе – на основе эквивалентной дозы; ущерб, связанный с возникновением стохастических эффектов у облученного населения, оценивается на основе эффективной дозы;

3) На основе проведенной общей оптимизации стратегии защиты с использованием референтного уровня для остаточной дозы как ограничителя в [1, 2] определены общие радиологические критерии для принятия защитных и других мер реагирования, выраженные в терминах прогнозируемой или полученной дозы.

В [1, 2] приведены общие критерии для доз, получаемых в течение короткого периода времени, при которых предполагается, что защитные и другие меры реагирования будут предприняты при любых обстоятельствах с целью предотвращения или сведения к минимуму тяжелых детерминированных эффектов. Общие критерии устанавливаются в терминах ОБЭ-взвешенной поглощенной дозы в органе или ткани на уровнях, которые приближаются к дозовым порогам развития серьезных детерминированных эффектов при остром облучении. Ожидается, что при превышении этих уровней вероятность развития тяжелого детерминированного эффекта в облученном органе или ткани превысит 5 % [23, 24], что неприемлемо.

В [1, 2] приводится ряд общих критериев для защитных и других мер аварийного реагирования, принимаемых в аварийной ситуации облучения, с целью снижения риска стохастических эффектов,

которые соответствуют референтному уровню остаточной дозы, равному 100 мЗв за первый год, и указаны детали, касающиеся конкретных защитных действий и других мер реагирования, принимаемых в различные периоды времени после начала аварии.

Значения критериев, предназначенных для ограничения риска развития стохастических эффектов, приняты равными нижней границе дозы облучения лиц из группы численностью более 100 000 человек, при которой в такой группе теоретически можно обнаружить дополнительные случаи раковых заболеваний, вызванные облучением [24, 25]. Если доза облучения лиц из группы любой численности не превысит указанных уровней, будет теоретически невозможно с применением современных научных методов доказать наличие в ней превышения фоновых уровней онкологической заболеваемости и смертности, обусловленного воздействием радиации [26].

В случае превышения общих критериев защитные действия и другие меры реагирования осуществляются по отдельности или в сочетании друг с другом.

Указанные выше общие критерии заменяют систему общих уровней вмешательства, которые были рекомендованы ранее в [5, 6] и до настоящего времени применяются в Российской Федерации в НРБ-99/2009 [4];

4) Согласно [2] общие радиологические критерии являются основой для разработки оперативных критериев, обеспечивающих инициирование различных частей плана аварийных мероприятий, главным образом для начальной фазы.

2.2. Оперативные критерии

К действующим (оперативным) критериям относятся уровни действия в аварийной ситуации (УДАС), действующие уровни вмешательства (ДУВ), наблюдаемые признаки и индикаторы условий на месте события [2].

На рисунке наглядно представлена система общих и оперативных критериев [27], на основе которых принимаются решения о вмешательстве в ситуации аварийного облучения.

УДАС – конкретные, заранее определенные критерии наблюдаемых условий, которые используются для определения, принятия и установления класса аварийной ситуации на ОИАЭ до или во время выброса на основе результатов мониторинга состояния КФБ и физических барьеров, предотвращающих радиационное воздействие на людей и ОС.

ДУВ – установленные уровни измеряемой величины, которые соответствуют общему радиологическому критерию, обычно выражают в единицах мощности дозы, объемной активности радионуклидов в воздухе, удельной активности радионуклидов в пробах ОС, пищевых продуктах или воде. ДУВ применяются немедленно и непосредственно (без проведения дальнейшей оценки) после завершения выброса для определения надлежащих защитных мер на основе результатов радиационного мониторинга ОС.

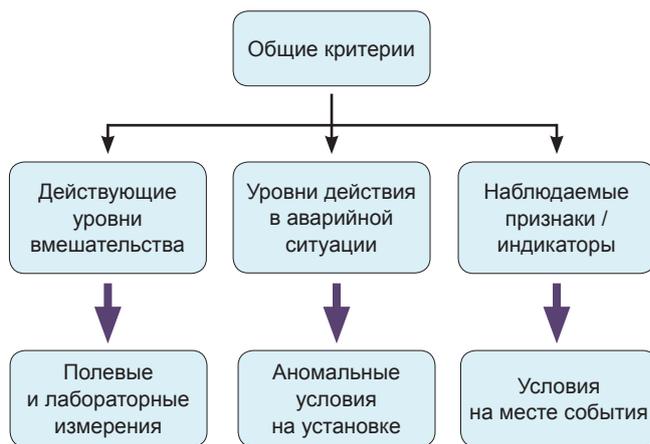


Рис. Система общих и действующих (оперативных) критериев
[Fig. System of general and acting (operational) criteria]

Согласно [2] номенклатура и значения УДАС и ДУВ должны быть определены на стадии проектирования ОИАЭ. Сценарии и примеры расчета УДАС и ДУВ приведены, соответственно, в [11] и [27–30].

Заранее устанавливаются механизмы пересмотра ДУВ в аварийной ситуации с учетом получения новой информации о радиоактивном загрязнении ОС [28].

2.3. Опасность ОИАЭ и необходимая категория его аварийной готовности

Согласно [2] необходимо выявлять и оценивать опасности, связанные с ОИАЭ или видами деятельности в пределах или за пределами границ государства, с тем чтобы создать основу для разработки мероприятий по обеспечению аварийной готовности и реагирования. Оценка опасностей проводится с целью определения событий и связанных с ними территорий, для которых в пределах государства могут потребоваться защитные и другие меры реагирования, а также меры, которые будут эффективными для смягчения последствий таких

событий [2]. Эти мероприятия по обеспечению аварийной готовности должны быть соразмерны выявленным опасностям и потенциальным последствиям аварийных ситуаций.

МАГАТЭ в [2] устанавливает пять категорий аварийной готовности (КАГ) ОИАЭ и видов деятельности, каждой из которых соответствует специфическая группа радиологических опасностей (последствий аварийных ситуаций), которые создают основу для дифференцированного подхода при разработке обоснованных и оптимизированных мероприятий по обеспечению аварийной готовности и реагирования.

Первые три категории (КАГ I, КАГ II и КАГ III) охватывают стационарные ОИАЭ. Качественные критерии отнесения ОИАЭ к определенной категории даны в [2], количественные критерии – в [31].

КАГ I соответствует максимальному уровню аварийной готовности. КАГ I устанавливается для ОИАЭ, для которых постулируются (или на аналогах которых случались) аварийные ситуации, способные привести к серьезным детерминированным эффектам излучения за пределами площадки, которые оправдывали бы применение предупредительных срочных или ранних защитных и других мер реагирования. К таким аварийным ситуациям относятся аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-Дайичи». Обе аварии отнесены к уровню 7 по шкале INES [32].

КАГ II устанавливается для ОИАЭ, для которых постулируются (или на аналогах которых случались) аварийные ситуации, неспособные привести к серьезным детерминированным эффектам излучения за пределами площадки, но оправдывающие принятие срочных, ранних или других защитных мер за пределами площадки для достижения целей аварийного реагирования.

КАГ III устанавливается для ОИАЭ, для которых постулируются аварийные ситуации, при которых принятие защитных и других мер реагирования за пределами объекта не является оправданным.

КАГ IV устанавливается для территорий, на которых может осуществляться деятельность и (или) действия, способные привести к аварийной ситуации, при которой возможны серьезные детерминированные эффекты в непредвиденном месте и которая может послужить основанием для принятия защитных и других мер для достижения целей аварийного реагирования. Примером такой деятельности служит транспортирование радиоактивных материалов, а также злонамеренная деятельность с источником излучения и радиоактивным материалом. Этой категории соответствует необходимый

минимальный уровень аварийной готовности в каждой стране, поскольку повсюду должна быть обеспечена защита от незаконного использования источников излучения в преступных целях.

КАГ V устанавливается для территорий в пределах зон и расстояний аварийного планирования ОИАЭ, отнесенных к КАГ I или КАГ II, но расположенных в другом государстве. Эта категория адекватно отражает опасности, связанные с трансграничным загрязнением ОС, подобным происшедшему вследствие аварии на Чернобыльской АЭС.

2.4. Концепция классификации аварийных ситуаций

Для создания эффективной стратегии защиты населения в ситуации аварийного облучения в условиях ограниченной информации необходима оперативная идентификация события на основе системы классификации аварийных ситуаций.

Система классификации аварийных ситуаций основывается на результатах оценки категории опасности ОИАЭ [2].

Согласно [2] аварийная ситуация на ОИАЭ из КАГ I классифицируется как (таблица № 1 [2]):

- предупреждение об опасности;
- аварийная ситуация на установке;
- аварийная ситуация на территории площадки;
- общая аварийная ситуация.

Оперативные критерии для классификации должны включать УДАС и другие наблюдаемые условия и признаки условий на объекте и (или) на площадке или за ее пределами. Система классификации аварийных ситуаций должна быть установлена с целью предоставления возможности скорейшего распознавания аварийной ситуации и начала эффективного реагирования на территории площадки и за ее пределами с учетом неопределенности имеющейся информации.

«Предупреждение об опасности» имеет место в случае незначительного нарушения КФБ и физических барьеров, не выходящего за рамки проектной аварии. При объявлении этого состояния должны быть незамедлительно приняты меры, направленные на оценку и смягчение потенциальных последствий события и повышение готовности организации управления аварийными ситуациями на площадке объекта.

«Аварийная ситуация на установке» имеет место в случае нарушения КФБ и физических барьеров, могущих привести к серьезным детерминированным эффектам излучения у персонала установки объекта.

Таблица № 1

Аварийная ситуация и различные уровни реагирования
Emergency and corresponding level of response

Класс аварийной ситуации	Действия на территории площадки	Действия за пределами территории площадки
Предупреждение об опасности	Наблюдение и управление ожидаемыми при эксплуатации событиями	Нет действий
Аварийная ситуация на установке	Управление проектными и запроектными авариями без плавления топлива, а также принятие защитных мер на установке	Нет действий
Аварийная ситуация на территории площадки	Управление запроектными авариями и принятие защитных мер	Подготовка к принятию срочных защитных мер
Общая аварийная ситуация	Управление тяжелыми запроектными авариями и принятие защитных мер	Принятие срочных защитных мер

При ее установлении будет оправдано принятие защитных мер на уровне отдельного подразделения объекта, например хранилища свежего топлива, но принятие защитных мер на остальной площадке и за ее пределами не оправдано.

«Аварийная ситуация на площадке» имеет место в случае частичного нарушения КФБ и физических барьеров, могущего привести к серьезным детерминированным эффектам излучения на территории площадки объекта. При ее установлении должны быть незамедлительно приняты меры с целью смягчения последствий аварийной ситуации и защиты людей на площадке, а при ее объявлении – для повышения готовности к принятию защитных и других мер реагирования за пределами площадки, если это обосновано при наблюдаемых условиях, сравнении надежных оценок и (или) результатов контроля на объекте с УДАС и радиационного мониторинга в ОС с ДУВ.

«Общая аварийная ситуация» имеет место в случае полного нарушения КФБ и физических барьеров, могущего привести к серьезным детерминированным эффектам излучения и на территории площадки объекта, и за ее пределами. При ее установлении необходимо немедленное принятие мер с целью смягчения последствий аварийной ситуации и защиты людей на площадке. При ее объявлении необходимо незамедлительное (в пределах одного часа [11]) принятие предупредительных срочных защитных мер за пределами площадки с целью избежать или свести к минимуму детерминированные эффекты и срочных защитных мер, чтобы снизить риск стохастических эффектов. Срочные защитные меры эффективны в течение часов или первых суток после начала облучения, а предупреди-

тельные срочные защитные меры принимаются до или вскоре после выброса радиоактивных веществ или облучения на основе создавшейся обстановки [2].

После установления и объявления класса аварийной ситуации эксплуатирующей организацией ОИАЭ организация управления аварийными ситуациями за пределами площадки объекта инициирует незамедлительное исполнение защитных и иных мер реагирования, предусмотренных аварийным планом в случае аварийной ситуации данного класса.

Во всех случаях, кроме события «Общая аварийная ситуация», защитные и другие меры реагирования вне площадки инициируются, как правило, в результате радиационного мониторинга ОС при надлежащем учете состояния аварийного ОИАЭ.

В Российской Федерации в наибольшей степени установленной МАГАТЭ классификации аварийных ситуаций соответствует разбиение возможных аварий на исследовательских ядерных установках (ИЯУ) на три типа:

1. локальную, последствия которой ограничиваются одним помещением (зданием);
2. местную, последствия которой ограничиваются территорией санитарно-защитной зоны;
3. общую, последствия которой распространяются за пределы санитарно-защитной зоны [33].

Так, в [33] установлены требования к действиям персонала и срокам их выполнения при ликвидации последствий аварии на ИЯУ. При этом указанные требования к действиям дифференцированы в зависимости от типа аварии и категории потенциальной радиационной опасности [34] и должны устанавливаться в Плане мероприятий по защите персонала в случае аварии на ИЯУ.

Прослеживается определенное соответствие между УДАС и пределами безопасной эксплуатации, под которыми понимаются установленные проектом АЭС/ИЯУ/объекта ядерного топливного цикла значения параметров технологического процесса, отклонения от которых могут привести к аварии [35–37]. Основное различие в том, что УДАС устанавливаются для уровней характеристик установок, выходящих далеко за пределы нормальной эксплуатации.

2.5. Концепция зон и расстояний аварийного планирования за пределами площадки

В дополнение к системе классификации аварийных ситуаций на подготовительном этапе должны быть заранее определены зоны и расстояния аварийного планирования за пределами площадки [11, 31]. Это делается для обеспечения оперативной реализации эффективных мер по защите населения и других мер реагирования, которые должны соответствовать уровню опасности. В общем случае необходимо определить следующие четыре зоны:

1. предупредительных мер;
2. планирования срочных защитных мер;
3. расширенного планирования;
4. планирования мер в отношении пищевых продуктов и товаров.

Описание указанных зон и расстояний приводится в [11], там же указаны предлагаемые в качестве первого приближения их размеры (таблица № 2).

Расчет размеров этих зон и расстояний проведен для условий постулированной тяжелой запроектной аварии на АЭС с реакторной установкой мощностью 3 000 МВт (тепл.) в предположении выброса в атмосферу не более 10 % продуктов деления,

накопленных в активной зоне ядерного реактора, в течение 10 ч после его останова. Такая авария соответствует уровню 6 по шкале INES [32].

Вопросы зонирования территории вокруг ОИАЭ в Российской Федерации на этапе аварийного планирования рассмотрены в [38–41].

Согласно [2, 11, 31] размеры зон и расстояний аварийного планирования определяются на стадии проекта в результате оценки степени опасности ОИАЭ и определения необходимой категории его аварийной готовности.

Оценка последствий постулированной тяжелой запроектной аварии, способной привести к «Общей аварийной ситуации» на АЭС с реакторной установкой мощностью 3 000 МВт (тепл.) [31], показывает, что, в случае непринятия защитных и других мер реагирования, следует ожидать следующие уровни облучения населения:

1. На территории зоны предупредительных мер в радиусе около 3 км от энергоблока АЭС доза прогнозируемого облучения населения при прохождении облака выброса может превысить:

- уровень ОБЭ-взвешенной поглощенной дозы в красном костном мозге, равный 1 Гр;
- уровень ОБЭ-взвешенной поглощенной дозы облучения плода или эмбриона, равный 1 Гр, что может привести к серьезным детерминированным эффектам у отдельных лиц из населения [24];

2. На территории зоны планирования срочных защитных мер в радиусе около 25 км от энергоблока АЭС доза прогнозируемого облучения населения в первые семь дней может превысить уровень:

- эффективной дозы, равный 100 мЗв;
- эквивалентной дозы облучения плода или эмбриона, равный 100 мЗв, что может привести

Таблица № 2

**Предлагаемые размеры зон и расстояний для аварийного планирования
Proposed zone sizes and distances for emergency planning**

Зона или расстояние аварийного планирования	Мощность реактора более 1 000 МВт (тепл.)	Мощность реактора от 100 до 1 000 МВт (тепл.)
Максимальный радиус зоны предупредительных мер, км	3–5	
Максимальный радиус зоны планирования срочных защитных мер, км	15–30	
Расстояние (радиус области) расширенного планирования, км	100	50
Расстояние (радиус области) планирования мер в отношении пищевых продуктов и товаров, км	300	100

к детектируемому увеличению заболеваемости раком у жителей данной территории [24];

3. На территории зоны расширенного планирования в радиусе около 50 км от энергоблока АЭС доза прогнозируемого облучения населения в течение первого года может превысить уровень:

- эффективной дозы, равный 100 мЗв;
- эквивалентной дозы облучения плода или эмбриона, равный 100 мЗв,

что может привести к заметному увеличению заболеваемости раком у жителей данной территории [24].

Таким образом, распознавание класса аварийной ситуации на АЭС на основании анализа состояния КФБ и физических барьеров, предотвращающих радиационное воздействие на людей и ОС с применением УДАС, делает возможным получить исходные данные для оценки уровней облучения населения в первые часы развития аварии на АЭС. По мере получения результатов радиационного мониторинга ОС и применения ДУВ качество этих оценок может быть улучшено [11, 28, 29].

3. Роль прогностического математического моделирования

В основе современной парадигмы принятия решений в ситуации аварийного облучения лежит факт отсутствия достоверной информации о параметрах аварийного выброса в момент принятия первоначального решения о защитных и иных мерах реагирования за пределами объекта [2, 11]. В этой ситуации результаты прогностического математического моделирования нельзя использовать как инструмент прямого действия при обосновании вмешательства путем сравнения результатов прогностических расчетов, не опирающихся на результаты радиационного мониторинга в ОС, с общими радиологическими критериями. Причина такого отказа подробно обсуждалась выше. В этом принципиальное отличие современного международного подхода от ранее принятого [5, 6] и действующего в настоящее время в Российской Федерации [4].

Вместе с тем роль прогностического моделирования в задаче принятия решений о вмешательстве в ситуации аварийного облучения достаточно велика. Оно выполняет роль связующего звена между общими радиологическими критериями и действующими (оперативными) критериями (УДАС и ДУВ) на этапе аварийного планирования.

Результаты прогностического моделирования также используются при исследовании опасности

объекта для оценки его категории аварийной готовности и расчета размеров зон и расстояний аварийного планирования на стадии проекта радиационного объекта.

Важную роль может играть прогностическое моделирование и после получения результатов радиационного мониторинга в ОС. Путем последовательного решения обратной задачи (оценка параметров источника), а затем решения прямой задачи (расчета функционалов радиоактивного загрязнения ОС) возможно получение вполне достоверной картины облучения населения на расстояниях в десятки километров от аварийной АЭС, для которых еще некоторое время будет отсутствовать репрезентативная информация для принятия решений о вмешательстве.

Заключение

В статье дан детальный анализ двухуровневой концепции предотвращаемой дозы как основы для принятия решений по защите населения в случае радиационной аварии, действующей в настоящее время в Российской Федерации [2].

Показаны проблемы практической применимости данной концепции, связанные с ее теоретическими положениями, которые более чем за четверть века не претерпели существенных изменений, даже с учетом уроков аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи», что позволяет утверждать, что она не в полной мере соответствует современным международным требованиям [19, 20].

Представлен краткий обзор современной системы защиты населения в случае радиационной аварии [1, 2], основанной на оценке опасности ОИАЭ и соответствующей такой оценке стратегии защиты населения в случае аварии. Основным элементом системы защиты является референтный уровень годовой эффективной дозы, играющий роль критерия успешного завершения защитных действий, и обусловленные им общие критерии, выраженные в виде прогнозируемой или полученной дозы, которые необходимы для создания стратегии защиты, соответствующей принятому референтному уровню. На основе этих общих критериев формулируются и заранее устанавливаются оперативные критерии, обеспечивающие инициирование различных частей плана аварийных мероприятий, главным образом для начальной фазы – УДАС и ДУВ, которые определяются на стадии проектирования ОИАЭ.

Для создания эффективной стратегии защиты населения в случае радиационной аварии необходима

оперативная идентификация события на основе системы классификации аварийных ситуаций. Оперативные критерии для классификации должны включать УДАС и другие наблюдаемые условия и признаки условий на ОИАЭ и (или) на площадке или за ее пределами. Система классификации аварийных ситуаций должна быть установлена с целью предоставления возможности скорейшего начала эффективного реагирования с учетом неопределенности имеющейся информации. После установления и объявления класса аварийной ситуации организация управления аварийными ситуациями за пределами площадки объекта инициирует незамедлительное исполнение защитных и иных мер реагирования, предусмотренных планами защиты персонала и населения в случае радиационной аварии применительно к условиям аварийной ситуации данного класса.

Ключевое отличие в рассмотренных подходах к принятию решений о вмешательстве состоит в отсутствии необходимости проводить во время аварии расчет дозиметрических величин и их сравнение с общими радиологическими критериями. Решения принимаются исключительно на основании анализа состояния КФБ и физических барьеров, предотвращающих радиационное воздействие на людей и ОС с применением УДАС до или во время выброса продуктов деления в атмосферу, и анализа результатов радиационного мониторинга ОС с применением ДУВ после завершения формирования загрязнения территории вследствие атмосферного выброса. Во всех случаях, кроме события «Общая аварийная ситуация», вмешательство вне площадки инициируется по результатам радиационного мониторинга в ОС при надлежащем учете состояния аварийного ОИАЭ.

В дополнение к системе классификации аварийных ситуаций на подготовительном этапе должны быть заранее определены зоны и расстояния аварийного планирования за пределами площадки [18]. Это делается для первоначальной оценки уровней облучения населения и обеспечения оперативной

реализации эффективных мер по защите населения и других мер реагирования, которые должны соответствовать уровню опасности ОИАЭ.

В статье также обсуждена роль и область применения прогностического математического моделирования при принятии решений в случае радиационной аварии. Прогностическое моделирование является связующим звеном между общими радиологическими критериями, с одной стороны, и действующими (оперативными) критериями (УДАС, ДУВ), с другой. Результаты прогностического моделирования также используются для расчета и обоснования размеров зон и расстояний аварийного планирования (устанавливаются в проекте ОИАЭ). Важную роль может играть прогностическое математическое моделирование и после получения результатов радиационного мониторинга в ОС в случае крупной аварии. Путем последовательного решения обратной задачи оценки параметров источника, а затем расчета функционалов радиоактивного загрязнения ОС возможно получение картины облучения населения на расстояниях в десятки километров от аварийного ОИАЭ.

Показано [40], что переход к современным стандартам принятия решений по защите населения в случае радиационной аварии требует коренного пересмотра нормативно-правовой базы Российской Федерации (в первую очередь Федерального закона «О радиационной безопасности населения» [42], Норм радиационной безопасности [4]), который характеризуется низкими темпами реализации. Этот факт, в частности, негативно влияет на эффективность проводимых ПАТ (в части подготовки решений о вмешательстве) как важного механизма повышения готовности эксплуатирующей организации к действиям в аварийных ситуациях.

В заключение представляется целесообразным предложить использовать материалы и выводы настоящей статьи для актуализации нормативно-правовой базы системы обеспечения аварийной готовности и реагирования в соответствии с Основами государственной политики [3].

Литература

1. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности: Общие требования безопасности / Серия норм безопасности МАГАТЭ № GSR Part 3. – Вена: МАГАТЭ, 2015, русское издание (английское издание – 2014 г.).
2. Готовность и реагирование в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации: Общие требования безопасности / Серия норм безопасности МАГАТЭ № GSR Part 7. – Вена: МАГАТЭ, 2016, русское издание (английское издание – 2015 г.).

3. Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: Указ Президента Российской Федерации от 13.10.2018 № 585.

4. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 № 47.

5. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения / Серия изданий по безопасности, № 115. – Вена: МАГАТЭ, 1997, русское издание (английское издание – 1996 г.).

6. ICRP Publication 63. Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency. – Annals of the ICRP, Vol. 22, No. 4, Pergamon Press, Oxford, 1993.

7. Курындин А. В., Сорокин Д. В., Шаповалов А. С., Поляков Р. М., Пипченко Г. Р., Курбонмаматов А. Ш. Научно-техническая поддержка органа регулирования по вопросам аварийной готовности // Ядерная и радиационная безопасность. 2022. № 2 (104). С. 62–75. DOI: 10.26277/SECNRS.2022.104.2.004.

8. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Положение о порядке объявления аварийной обстановки, оперативной передачи информации и организации экстренной помощи атомным станциям в случаях радиационно опасных ситуаций (НП-005-16): утв. приказом Ростехнадзора от 24.02.2016 № 68. С. 46–51.

9. Хамаза А. А., Курындин А. В., Строганов А. А., Шаповалов А. С. Современные подходы к оценке радиационных последствий аварий, сопровождающихся выбросом радиоактивных веществ. Уроки аварии на АЭС «Фукусима-Дайичи» // Ядерная и радиационная безопасность. 2012. Спец. выпуск.

10. Курындин А. В., Шаповалов А. С., Орлов М. Ю., Тимофеев Н. Б., Шкляев Н. А. Метод подтверждения достоверности результатов радиационного контроля выбросов радиоактивных веществ // Высшая школа: научные исследования / Материалы Межвузовского международного конгресса (Москва, 30 мая 2024 г.). Том 1. – М.: Изд-во Инфинити, 2024. С. 103–112.

11. Меры по защите населения в случае тяжелой аварийной ситуации на легководном реакторе / Серия Аварийная готовность и реагирование EPR-NPP Public Protective Actions 2013. – Вена: МАГАТЭ, 2015, русское издание (дата вступления в силу: май 2013 г.).

12. US Nuclear Regulatory Commission, State-of-the-Art Reactor Consequence Analysis (SOARCA): Report NUREG-1935, Draft for Comment USNRC, Washington, DC, 2012.

13. Авария на АЭС «Фукусима-Дайичи»: доклад генерального директора. – Вена: МАГАТЭ, 2015.

14. Международный чернобыльский проект: оценка радиологических последствий и защитных мер: доклад Международного консультативного комитета. – М: ИздАт, 1991.

15. Gov't OKs use of SPEEDI data for local bodies' nuclear evacuations. The Mainichi, March 12, 2016.

16. Hirano M. New Framework for Emergency Preparedness and Response in Japan: International Experts Meeting on Assessment and Prognosis in Response to a Nuclear or Radiological Emergency. URL: <http://www-pub.iaea.org/iaeametings/IEM9p/Opening/Hirano.pdf> (дата обращения: 08.10.2024).

17. Готовность и реагирование в случае ядерной и радиационной аварийной ситуации: Требования / Серия изданий МАГАТЭ по безопасности № GS-R-2. – Вена, МАГАТЭ, 2004, русское издание (английское издание – 2002 г.).

18. Act No. 156 of December 17, 1999. Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness. With revisions of Act No. 118 of 2006. Japan, 1999.

19. Заключение РНКРЗ по докладам Кутькова В. А. «Международные требования по радиационной защите персонала и населения в ситуации аварийного облучения» и Иванова Е. А. «Подходы к обоснованию вмешательства в начальный период радиационной аварии на АЭС АО «Концерн Росэнергоатом» и их соответствие международным требованиям»: материалы Российской научной комиссии по радиологической защите // Радиация и риск, том 21, № 4, 2012. С. 5–6.

20. Кутьков В. А., Ткаченко В. В. Авария на АЭС Фукусима-Дайичи как стресс-тест для национальной системы защиты населения при тяжелой аварии на атомной станции // Известия вузов / Сер.: Ядерная энергетика. 2016. № 4. С. 67–77.

21. Hasegawa A., Tanigawa K., Yabe H., Maeda M., Shigemura J., Chhem R. K. (2015). Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima. *The Lancet*, No. 386, pp. 479–488.

22. Рекомендации 2007 г. Международной комиссии по радиационной защите. Публикация 103 МКРЗ / под общ. ред. М. Ф. Киселёва и Н. К. Шандалы; пер. с англ. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009 (русское издание публикации МКРЗ – 2007 г.).

23. Опасные количества радиоактивного материала (D-величины) / Серия «Аварийная готовность и реагирование» № IAEA-EPR-D-Values 2006. – Вена: МАГАТЭ, 2010 (русское издание публикации МАГАТЭ – 2006 г.).

24. Кутьков В. А., Ткаченко В. В., Романцов В. П. Радиационная защита персонала организаций атомной отрасли: уч. пос. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011.

25. McKenna T., Vilar Welter P., Callen J., Martincic R., Dodd B., and Kutkov V. (2015). Tools for placing the radiological health hazard in perspective following a severe emergency at a light water reactor (LWR) or its spent fuel pool. *Health Physics*, No. 108, pp. 15–31.

26. Sources and effects of ionizing radiation, report to the General Assembly (with scientific annexes), volume II, Scientific Annex G. Biological effects at low radiation doses. New York: UN, 2000.

27. Критерии для использования при обеспечении готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации. Общее руководство по безопасности / Серия норм безопасности МАГАТЭ № GSG-2. – Вена: МАГАТЭ, 2012 (русское издание публикации МАГАТЭ – 2011 г.).

28. Operational Intervention Levels for Reactor Emergencies and Methodology for Their Derivation / Emergency Preparedness Series EPR NPP OILs. – Vienna: IAEA, 2017 (английское издание).

29. McKenna T., Kutkov V., Vilar Welter P., Dodd B., and Buglova E. (2013). Default operational intervention levels (OILs) for severe nuclear power plant or spent fuel pool emergencies. *Health Physics*, No. 104, pp. 459–470.

30. Спиридонов С. И., Микаилова Р. А., Фесенко С. В. Оценка уровней оперативного вмешательства для защиты населения на основе сценариев аварий на российских АЭС // *Радиация и риск*. 2023. Том 32. № 1. С. 36–47.

31. Меры по обеспечению готовности к ядерной или радиологической аварийной ситуации: Руководство по безопасности / Серия норм безопасности МАГАТЭ № GS-G-2.1. – Вена: МАГАТЭ, 2016, русское издание (английское издание – 2007 г.)

32. ИНЕС: Международная шкала ядерных и радиологических событий / Руководство для пользователей. – Вена: МАГАТЭ, 2010, русское издание (английское издание – 2008 г.).

33. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Требования к содержанию плана мероприятий по защите персонала в случае аварии на исследовательских ядерных установках (НП-075-19): утв. приказом Ростехнадзора от 14.05.2019 № 181.

34. Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 № 40 (с изм. и дополн. от 16.09.2013).

35. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (НП-001-15): утв. приказом Ростехнадзора от 17.12.2015 № 52.

36. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности исследовательских ядерных установок (НП-033-11): утв. приказом Ростехнадзора от 30.06.2011 № 348.

37. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (ОПБ ОЯТЦ) (НП-016-05): утв. приказом Ростехнадзора от 02.12.2005 № 11.

38. Типовое содержание плана защиты населения в случае аварии на радиационном объекте: утв. Министром по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий 19.03.2006.

39. Курындин А. В., Сорокин Д. В., Шаповалов А. С., Шарафутдинов Р. Б., Иванов Е. А. О необходимости совершенствования подходов к установлению зон противоаварийного планирования объектов использования атомной энергии // *Ядерная и радиационная безопасность*. 2021. № 3 (101). С. 26–33.

40. Иванов Е. А., Косов А. Д., Илларионенкова Д. В. Проблемы аварийного зонирования территории вокруг АЭС // АНРИ. 2016. № 4 (87). С. 2–6. DOI: 10.26277/SECNRS.2021.101.3.003.
41. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Минимизация радиационных последствий для населения и персонала при ликвидации последствий аварий на энергоблоках атомных электростанций разных типов. Методика оптимизации мер по защите населения и территорий (РБ-094-14): утв. приказом Ростехнадзора от 19.03.2014 № 107.
42. О радиационной безопасности населения: Федер. закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ.

References

1. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements Part 3, Safety Standard Series No. GSR Part 3. Vienna: IAEA, 2014.
2. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. General Safety Requirements Part 7, Safety Standard Series No. GSR Part 7. Vienna: IAEA, 2015.
3. Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 13.10.2018 No. 585 “Ob utverzhdenii Osnov gosudarstvennoi politiki v oblasti obespecheniya yadernoi i radiatsionnoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii na period do 2025 goda i dal'neishuyu perspektivu” [Decree of the President of the Russian Federation of 13.10.2018 No. 585 “On approval of the fundamentals of state policy in the field of nuclear and radiation safety of the Russian Federation for the period until 2025 and further perspective”]. 2018.
4. Sanitarniye pravila i normativy SanPiN 2.6.1.2523-09 “Normy radiacionnoy bezopasnosti” (NRB-99/2009) [Sanitary rules and regulations SanPiN 2.6.1.2523-09 “Radiation safety standards” (NRB-99/2009)]. 2009.
5. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safe Handling of Radiation Sources, IAEA Safety Series No. 115. Vienna: IAEA, 1997.
6. ICRP Publication 63. Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency. – Annals of the ICRP, Vol. 22, No. 4, Pergamon Press, Oxford, 1993.
7. Kuryndin A. V., Sorokin D. V., Shapovalov A. S., Polyakov R. M., Pipchenko G. R., Kurbonmamadov A. Sh. (2022). Nauchno-tekhnicheskaya podderzhka organa regulirovaniya po voprosam avariinoi gotovnosti [Scientific and technical support of the regulatory body on the issues of emergency preparedness]. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' – Nuclear and Radiation Safety Journal, No. 2 (104), pp. 62–75. [in Russian]. DOI: 10.26277/SECNRS.2022.104.2.004.
8. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi ehnergii “Polozhenie o poryadke ob'yavleniya avariinoi obstanovki, operativnoi peredachi informatsii i organizatsii ehkstreynoi pomoshchi atomnym stantsiyam v sluchayakh radiatsionno-opasnykh situatsii” (NP-005-16) [Federal rules and regulations in the field of atomic energy use “Provision for the procedure of announcement of emergency, prompt information communication and arrangement for emergency assistance to nuclear power plants in case of radiation-hazardous situations” (NP-005-16)]. 2016.
9. Khamaza A. A., Kuryndin A. V., Stroganov A. A., Shapovalov A. S. (2012). Sovremennye podkhody k otsenke radiatsionnykh posledstviy avarii, soprovozhdayushchikhsya vybrosom radioaktivnykh veshchestv. Uroki avarii na AEHS “Fukusima-Daiichi” [Modern approaches to assessment of radiation consequences of accidents accompanied by release of radioactive substances. Lessons of the accident at “Fukushima-Daiichi NPP”]. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' – Nuclear and Radiation Safety Journal. Special issue, pp. 46–51. [in Russian].
10. Kuryndin A. V., Shapovalov A. S., Orlov M. Yu., Timofeev N. B., Shklyaev N. A. (2024). Metod podtverzhdeniya dostovernosti rezul'tatov radiatsionnogo kontrolya vybrosov radioaktivnykh veshchestv [Method of confirmation of reliability of the results of radiation control of radioactive substances emissions]. Vysshaya shkola: nauchnye issledovaniya – Higher school: scientific research. Materials of the Interuniversity international congress (Moscow, May 30, 2024). Volume 1. – Moscow: Infiniti publishing house, pp. 103–112. [in Russian].
11. Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor, Emergency Preparedness and Response Series No. EPR NPP Public Protective Actions 2013. Vienna: IAEA, 2013.
12. US Nuclear Regulatory Commission, State-of-the-Art Reactor Consequence Analysis (SOARCA): Report NUREG-1935, Draft for Comment USNRC, Washington, DC, 2012.

13. The “Fukushima-Daiichi” Accident. Report by the IAEA Director General with six printed parts and five supplementary CD-ROMs. IAEA: Vienna, 2015.
14. The International Chernobyl Project Technical Report, IAEA, Vienna, 1991.
15. Gov't OKs use of SPEEDI data for local bodies' nuclear evacuations. The Mainichi, March 12, 2016.
16. Hirano M. New framework for emergency preparedness and response in Japan: International experts meeting on assessment and prognosis in response to a nuclear or radiological emergency. URL: <http://www-pub.iaea.org/iaeameetings/IEM9p/Opening/Hirano.pdf> (reference date: 08.10.2024).
17. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-2. Vienna: 2002.
18. Act No. 156 of December 17, 1999. Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness. With revisions of Act No. 118 of 2006, Japan, 1999.
19. Zaklyuchenie RNKRZ po dokladam Kut'kova V. A. “Mezhdunarodnye trebovaniya po radiatsionnoi zashchite personala i naseleniya v situatsii avariinogo oblucheniya” i Ivanova E. A. “Podkhody k obosnovaniyu vmeshatel'stva v nachal'nyi period radiatsionnoi avarii na AEHS AO “Kontsern Rosehnergoatom” i ikh sootvetstvie mezhdunarodnym trebovaniyam” [Conclusion of RNRCP on the reports by V. A. Kutkov “International requirements for radiation protection of personnel and population in the situation of emergency exposure” and E. A. Ivanov “Approaches to justification of intervention in the initial period of radiation accident at NPP of Rosenergoatom JSC and their compliance with international requirements”]. Proceedings of the Russian scientific commission on radiological protection. Radiatsiya i risk – Radiation and risk, Vol. 21, No. 4, 2012, pp. 5–6. [in Russian].
20. Kutkov V. A., Tkachenko V. V. (2016). Avariya na AEHS Fukusima-Daiiti kak stress-test dlya natsional'noi sistemy zashchity naseleniya pri tyazheloi avarii na atomnoi stantsii [Accident at Fukushima-Daiiti NPP as a stress-test for the national system of population protection in case of a severe accident at a nuclear power plant]. Izvestiya vuzov. Yadernaya ehnergetika – Izvestiya vuzov. Nuclear power engineering. No. 4, pp. 67–77. [in Russian].
21. Hasegawa A., Tanigawa K., Yabe H., Maeda M., Shigemura J., Chhem R. K. (2015). Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima. The Lancet, No. 386, pp. 479–488.
22. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Ann ICRP 37 (2-4), Elsevier, 2007.
23. Dangerous Quantities of Radioactive Material, Emergency Preparedness and Response Series No. EPR D-VALUES 2006. Vienna: IAEA, 2006.
24. Kutkov V. A., Tkachenko V. V., Romantsov V. P. Radiatsionnaya zashchita personala organizatsii atomnoi otrasli [Radiation protection of nuclear industry organizations personnel]. Uchebnoe posobie – Textbook. Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2011. [in Russian].
25. McKenna T., Vilar Welter P., Callen J., Martincic R., Dodd B., and Kutkov V. (2015). Tools for placing the radiological health hazard in perspective following a severe emergency at a light water reactor (LWR) or its spent fuel pool. Health physics, No. 108, pp. 15–31.
26. Sources and effects of ionizing radiation, report to the General Assembly (with scientific annexes), Vol. II, Scientific Annex G. Biological effects at low radiation doses. New York: UN, 2000.
27. Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GSG-2. Vienna: IAEA, 2011.
28. Operational Intervention Levels for Reactor Emergencies and Methodology for Their Derivation, Emergency Preparedness Series No. EPR NPP OILs 2017. Vienna: IAEA, 2017.
29. McKenna T., Kutkov V., Vilar Welter P., Dodd B., and Buglova E. (2013). Default operational intervention levels (OILs) for severe nuclear power plant or spent fuel pool emergencies. Health physics, No. 104, pp. 459–470.
30. Spiridonov S. I., Mikailova R. A., Fesenko S. V. (2023). Otsenka urovnei operativnogo vmeshatel'stva dlya zashchity naseleniya na osnove stsensariiev avarii na rossiiskikh AEHS [Estimation of operational intervention levels for population protection based on accident scenarios at Russian NPPs]. Radiatsiya i risk – Radiation and risk, Vol. 32, No. 1, pp. 36–47. [in Russian].
31. Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1. Vienna: IAEA, 2007.

32. INES: The International Nuclear and Radiological Event Scale User's Manual. 2008 Edition. Vienna: IAEA, 2009.
33. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi ehnergii "Trebovaniya k sodержaniyu plana meropriyatii po zashchite personala v sluchae avarii na issledovatel'skikh yadernykh ustanovkakh" (NP-075-19) [Federal rules and regulations in the field of atomic energy use "Requirements for the content of the personnel protection action plan in case of an accident at research nuclear facilities" (NP-075-19)]. 2019.
34. Sanitarniye pravila i normativy SP 2.6.1.2612-10 "Osnovnyye sanitarnye pravila obespecheniya radiatsionnoi bezopasnosti" (OSPORB-99/2010) [Sanitary rules and regulations SP 2.6.1.2612-10 "Basic sanitary rules for ensuring radiation safety" (OSPORB-99/2010)]. 2010.
35. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi ehnergii "Obshchie polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnykh stantsii" (NP-001-15) [Federal rules and regulations in the field of atomic energy use "General provisions for ensuring safety of nuclear power plants" (NP-001-15)]. 2015.
36. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi ehnergii "Obshchie polozheniya obespecheniya bezopasnosti issledovatel'skikh yadernykh ustanovok" (NP-033-11) [Federal rules and regulations in the field of atomic energy use "General provisions for ensuring safety of research nuclear installations" (NP-033-11)]. 2011.
37. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi ehnergii "Obshchie polozheniya obespecheniya bezopasnosti ob"ektov yadernogo toplivnogo tsikla (OPB OYATTS)" (NP-016-05) [Federal rules and regulations in the field of atomic energy use "General provisions for ensuring safety of nuclear fuel cycle facilities" (NP-016-05)]. 2005.
38. Tipovoe sodержanie plana zashchity naseleniya v sluchae avarii na radiatsionnom ob"ekte [Model content of the plan for protection of the population in case of an accident at a radiation facility]. 2006.
39. Kuryndin A. V., Sorokin D. V., Shapovalov A. S., Sharafutdinov R. B., Ivanov E. A. (2021). O neobkhodimosti sovershenstvovaniya podkhodov k ustanovleniyu zon protivoavariinogo planirovaniya ob"ektov ispol'zovaniya atomnoi ehnergii [On the need to improve approaches to the establishment of emergency planning zones of nuclear facilities]. *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' – Nuclear and Radiation Safety Journal*, No. 3 (101), pp. 26–33. [in Russian]. DOI: 10.26277/SECNRS.2021.101.3.003.
40. Ivanov E. A., Kosov A. D., Illarionenkova D. V. (2016). Problemy avariinogo zonirovaniya territorii vokrug AEHS [Problems of emergency zoning of the territory around NPP]. *ANRI – ANRI*, No. 4 (87), pp. 2–6. [in Russian]. DOI: 10.26277/SECNRS.2021.101.3.003.
41. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi ehnergii "Minimizatsiya radiatsionnykh posledstviy dlya naseleniya i personala pri likvidatsii posledstviy avarii na ehnergoblokakh atomnykh ehlektrostantsii raznykh tipov. Metodika optimizatsii mer po zashchite naseleniya i territorii" (RB-094-14) [Safety guide in the field of atomic energy use "Minimization of radiation consequences for population and personnel during elimination of accidents at power units of different types of nuclear power plants. Methodology for optimization of measures to protect population and territories" (RB-094-14)]. 2014.
42. Feder. zakon ot 09.01.1996 No. 3-FZ "O radiacionnoy bezopasnosti naseleniya" [Federal law of 09.01.1996 No. 3-FZ "On radiation safety of population"]. 1996.

Сведения об авторах

Курындин Антон Владимирович, руководитель отделения ядерной и радиационной безопасности, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Шаповалов Альберт Сергеевич, начальник отдела аварийной готовности и радиационной защиты отделения ядерной и радиационной безопасности, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Иванов Евгений Анатольевич, главный научный сотрудник отдела аварийной готовности и радиационной защиты отделения ядерной и радиационной безопасности, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

Кутьков Владимир Анатольевич, главный эксперт Управления развития ядерной инфраструктуры АО «Атомстройэкспорт» (127434, Москва, Дмитровское ш., д. 2, стр. 1).

Authors credentials

Kuryndin Anton Vladimirovich, Head of Nuclear and Radiation Safety Department, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140), e-mail: kuryndin@secnrs.ru.

Shapovalov Albert Sergeevich, Head of Division of Emergency Preparedness and Radiation Protection of Nuclear and Radiation Safety Department, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8 bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140), e-mail: shapovalov@secnrs.ru.

Ivanov Evgeny Anatolievich, Chief Scientific Researcher of Division of Emergency Preparedness and Radiation Protection of Nuclear and Radiation Safety Department, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8 bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow, 107140), e-mail: ivanov@secnrs.ru.

Kutkov Vladimir Anatol'evich, Chief expert, Department of Nuclear Infrastructure Development, Atomstroyexport JSC (2, bld. 1, Dmitrovskoe hw., Moscow, 127434), e-mail: v.kutkov@ase-ec.ru.

Для цитирования

Курындин А. В., Шаповалов А. С., Иванов Е. А., Кутьков В. А. Концептуальные основы принятия решений о мерах защиты населения в случае радиационной аварии: смена парадигмы // Ядерная и радиационная безопасность. 2024. № 4 (114). С. 5–23. DOI: 10.26277/SECNRS.2024.114.4.001.

For citation

Kuryndin A. V., Shapovalov A. S., Ivanov E. A., Kutkov V. A. (2024). Kontseptual'nye osnovy prinyatiya reshenii o merakh zashchity naseleniya v sluchae radiatsionnoi avarii: smena paradigmy [Conceptual framework for decision-making on public protection measures in the event of a radiation emergency: a paradigm shift]. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' – Nuclear and Radiation Safety Journal, No. 4 (114), pp. 5–23. [in Russian]. DOI: 10.26277/SECNRS.2024.114.4.001.

