

## **ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕР ПРИ АВАРИЯХ НА РАДИАЦИОННЫХ ОБЪЕКТАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*РУП «Научно-практический центр гигиены»*

---

*Рассмотрены критерии радиационной защиты населения, которые используются для оценки и категоризация опасностей радиационных объектов и установок в целях обеспечения надлежащего уровня их аварийной готовности к реагированию на прогнозируемые радиационные аварийные ситуации. Анализируются вопросы внедрения категорий аварийной готовности, разработанных МАГАТЭ, в систему готовности и реагирования на радиационные аварии Республики Беларусь. Показано, что категоризация аварийной готовности в зависимости от степени потенциальной радиационной опасности объекта является основой оптимизированного подхода и важным фактором, обеспечивающим достаточность планируемых мероприятий для защиты здоровья населения и персонала в случае радиационной аварии. На основе подходов, рекомендуемых МАГАТЭ, выполнена оценка опасности для здоровья и категорирование на этой основе радиационных объектов и установок, эксплуатируемых в Республике Беларусь. Для оценки опасности Белорусской АЭС (I категория аварийной*

готовности) использованы результаты собственных исследований по оценке последствий запроектных аварий на АЭС-2006, а также данные об аварии на ЧАЭС и АЭС «Фукусима-Даичи». Оценка потенциальной радиационной опасности при авариях на других установках (категории аварийной готовности III) выполнена с учетом данных о последствиях радиационных аварий, ранее происходивших в разных странах на аналогичных объектах.

**Ключевые слова:** радиационная защита; оценка опасности; категория аварийной готовности.

**L. F. Rozdylouskaya, E. V. Nikalaenka, S. I. Sychik**

### **ASSESSMENT OF HEALTH RADIATION HAZARDS AND OPTIMIZATION OF PROTECTION MEASURES IN THE EVENT OF RADIATION EMERGENCY AT THE RADIATION FACILITIES OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

*The study deals with the criteria for radiation protection of the public, which are used to assess and categorize the hazards of radiation facilities in order to ensure an adequate level of their preparedness and response to predicted radiation emergencies. The International Atomic Energy Agency (IAEA) recommended hazard assessment and the emergency preparedness categories to provide optimized graded approach to ensuring the sufficiency of the planned measures to protect the public and personnel in the event of a radiation emergency. Based on the IAEA approach, an assessment of the hazards and categorization of nuclear and radiation facilities operated in the Republic of Belarus have been carried out. To assess the hazard of the Belarusian NPP (the 1st emergency preparedness category), the results of the own studies on the evaluation of the consequences of beyond design basis accidents at NPP-2006, as well as the data on the accident at the Chernobyl NPP and the Fukushima-daichi NPP were used. The assessment of the potential radiation hazard in the case of accidents at other facilities (the 3d emergency preparedness category) was carried out based on the study of the consequences of radiation emergencies that previously occurred at the similar facilities in different countries.*

**Keywords:** radiation protection, hazard assessment, emergency preparedness category.

Опыт эксплуатации радиационных установок во всем мире показывает, что, несмотря на принимаемые меры совершенствования безопасности ядерных и радиационных объектов, остается вероятность возникновения аварийной ситуации в результате ядерной аварии, террористического акта или другого неожиданного происшествия с радиологическими последствиями. Авария на АЭС «Фукусима» продемонстрировала практическую невозможность предсказать заранее сочетание исходных событий, которые могут вызвать аварийную ситуацию, особенно в тех случаях, когда большое влияние оказывает человеческий фактор.

Отсюда следует необходимость для государств и радиационных объектов планировать и постоянно поддерживать мероприятия, обеспечивающие готовность к реагированию в случае радиационных аварий. Эти мероприятия должны соответствовать и быть достаточными для достижения цели аварийной готовности, которая в публикации серии безопасности МАГАТЭ [1] сформулирована как «обеспечение наличия в эксплуатирующей организации, а также на местном, региональном и национальном уровнях и, при необходимости, на международном уровне достаточного потенциала для осуществления эффективного реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации». Для достижения цели аварийной готовности необходим комплексный набор инфраструктурных элементов (кадровое обеспечение, оборудование и технические средства, нормативные и методические документы, планы и процедуры обучения, тренировки и учения и т. д.), создание и развитие которого требует существенных материальных и финансовых ресурсов.

Чтобы избежать избыточных трат и сложных решений, МАГАТЭ рекомендует дифференцированный подход, [1, 2]

согласно которому мероприятия по обеспечению готовности и реагирования в случае радиационной аварии должны быть соразмерны опасности, которую радиационные объекты или деятельности с источниками ионизирующего излучения (далее – ИИИ) представляют для здоровья населения и персонала. Дифференцированный подход к требованиям по обеспечению аварийной готовности основывается на оценках опасности радиационных объектов и ИИИ для здоровья и категорировании выявленных опасностей по степени аварийной готовности.

В данной статье рассматриваются применяемые МАГАТЭ подходы к оценке опасностей радиационных объектов для здоровья и анализируются категории аварийной готовности наиболее значимых радиационных объектов на территории Республики Беларусь.

**Цель работы** – рассмотреть применение критериев радиационной защиты населения и других требований радиационно-гигиенических нормативов Республики Беларусь для оценки опасности для здоровья радиационных объектов, эксплуатируемых на территории Республики Беларусь. На базе выполненных оценок и подходов, рекомендуемых МАГАТЭ, выполнить категорирование ядерных и радиационных и установок по степени аварийной готовности, используя результаты собственных исследований и имеющиеся литературные данные о последствиях радиационных аварий, происходивших ранее на аналогичных установках в разных странах.

**Материалы и методы.** В настоящей работе рассматриваются подходы МАГАТЭ и методы, использованные авторами при разработке проекта Норм и правил по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Требования по ка-

тегоризации готовности к аварийному реагированию в случае радиационной аварийной ситуации».

**Результаты и обсуждение.** Обеспечение радиационной защиты населения и персонала в случае радиационной аварии обеспечивается комплексом обоснованных и оптимизированных мероприятий, позволяющих эффективно поддерживать готовность к осуществлению необходимых защитных мер и других мер реагирования в радиационной аварийной ситуации. Эти мероприятия и защитные меры должны быть соразмерны прогнозируемой опасности радиационного объекта или деятельности с ИИИ, наиболее значимой составляющей, которой является ущерб для здоровья. МАГАТЭ для целей радиационной защиты в случае радиационной аварии рассматривает те эффекты излучения на здоровье, развитие которых может привести к преждевременной смерти или существенному сокращению периода нормальной жизни [3]. Эти эффекты делятся на детерминированные эффекты и стохастические эффекты. Детерминированные эффекты возникают при облучении большими дозами и их развитие обусловлено массовой гибелью клеток, приводящей к потере структуры и функции органа или ткани. Существует пороговый уровень дозы, выше которого тяжесть проявления эффекта возрастает с увеличением дозы. Детерминированный эффект считается серьезным детерминированным эффектом, если он является смертельным или угрожающим жизни, или приводит к постоянному ущербу, снижающему качество жизни. В таблице 1 приведен перечень серьезных детерминированных эффектов, рассматриваемых как возможный результат внешнего или внутреннего облучения человека при оценке опасностей и последствий вызванных ими аварий [3, 4].

Таблица 1. Серьезные детерминированные эффекты

Эффект	Облучаемый орган или ткань
<b>Не фатальные детерминированные эффекты</b>	
Влажное отшелушивание кожи	Дерма кожи
Некроз мягких тканей	Мягкая ткань
Лучевая катаракта	Щитовидная железа
Гипотиреоз	
Острый радиационный тиреоидит	Яичники у женщин
Постоянная стерильность	Семенники у мужчин
Тяжелая задержка умственного развития	Зародыш или плод в период 8–25 недель внутриутробного развития
Пороки развития	
Тяжелая задержка физического развития	
Заметное уменьшение IQ	
<b>Фатальные детерминированные эффекты</b>	
Гематологический синдром	Красный костный мозг
Пневмония	Альвеоларно-интерстициальный отдел легких
Кишечный синдром	Тонкий кишечник
Гибель зародыша или плода	Зародыш или плод в течении всего периода внутриутробного развития

К стохастическим эффектам излучения относятся радиогенные раки и наследуемые заболевания. В соответствии с «линейной беспороговой» гипотезой развития радиогенных стохастических эффектов, впервые сформулированной Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ) в 1977 году [5], для целей обеспечения радиационной безопасности предполагается, что эти эффекты могут возникать при облучении любыми дозами с вероятностью, пропорциональной дозе. На современном уровне развития радио-

биологии выявить дополнительное число радиогенных раков в облученной популяции можно только с помощью радиационно-эпидемиологического исследования. В табл. 2 приведены те стохастические эффекты, вероятность развития которых целесообразно учитывать при реагировании на радиационные аварии [3].

Таблица 2. Стохастические эффекты при аварийном облучении

Эффект	Облучаемый орган или ткань
Рак щитовидной железы	Щитовидная железа
Лейкемия	Красный костный мозг
Раки в целом	Все органы, учтенные в алгоритме определения эффективной дозы

Облучение человека в области больших доз оценивается путем сравнения индивидуальной дозы с величиной пороговой дозы, характеризующей возникновение серьезных детерминированных эффектов. В качестве пороговой была принята величина ОБЭ-взвешенной дозы облучения органа или ткани, при получении которой рассматриваемый эффект теоретически может возникнуть у 5 % облученных людей.

Облучение человека в области средних доз оценивается путем сравнения эквивалентной дозы внешнего облучения или ожидаемой эквивалентной дозы внутреннего облучения с величиной эквивалентной дозы, характеризующей теоретическую возможность достоверного обнаружения стохастических эффектов излучения в когорте из 100 000 облученных [3]. Согласно такому подходу, при рассмотрении числа смертных случаев от раков всех локализаций обнаружить наличие среди них случаев, связанных с облучением теоретически возможно, если при равномерном внешнем облучении средняя доза облучения в такой облученной группе превышает 100 мГр.

В соответствии с международными требованиями система аварийной готовности и реагирования должна обеспечивать своевременное осуществление необходимых и обоснованных защитных мер, обеспечивающих для населения и персонала: (1) предотвращение развития серьезных детерминированных эффектов; и (2) минимизацию риска развития стохастических эффектов в результате аварийного облучения.

**Критерии для принятия защитных мер в случае радиационной аварии.** На основе современных знаний относительно детерминированных и стохастических эффектов МАГАТЭ разработаны модели оценки радиогенных рисков и критерии, позволяющие обосновать меры защиты населения и персонала от рисков развития детерминированных и стохастических эффектов, связанных с внешним и внутренним облучением при радиационной аварии.

Критерии, предназначенные для оценки развития серьезных детерминированных эффектов с примерами защитных действий и других мер реагирования для предотвращения или сведения к минимуму вероятности возникновения этих эффектов у населения, приведены в табл. 3. Ожидается, что при превышении этих критериев вероятность развития серьезного детерминированного эффекта превысит 5 % [6], что рассматривается как неприемлемое.

Критерии, направленные на ограничение риска стохастических эффектов базируются на концепции остаточной дозы – дозы, которая будет получена в первый год после аварии с учетом внедрения защитных мероприятий. Современная стратегия защиты населения в случае радиационной аварии состоит в планировании остаточных доз на разумно достижимом низком уровне ниже референтного (контрольного) уровня, который устанавливается в диапазоне от 20 мЗв до 100 мЗв. На основе итогов оптимизации стратегии защиты разрабатываются общие критерии реагирования для конкрет-

Таблица 3. Общие критерии для доз острого облучения, при которых предполагается, что защитные меры и другие меры реагирования будут предприняты при любых обстоятельствах с целью предотвращения или сведения к минимуму серьезных детерминированных эффектов

Общие критерии		Примеры защитных мер и других мер реагирования
Внешнее острое облучение (<10 ч)		Если прогнозируется получение дозы:
AD ( $\Delta$ ) костный мозг <sup>a</sup>	1 Гр	немедленно принять предупредительные защитные меры (даже в трудных условиях) для удержания доз ниже общих критериев обеспечить информирование и предупреждение населения провести срочную дезактивацию
AD Плод	0,1 Гр	
AD ткань <sup>b</sup>	25 Гр на глубине 0,5 см	
AD кожа <sup>c</sup>	10 Гр на площади 100 см <sup>2</sup>	

Примечание. <sup>a</sup> – AD<sub>костный мозг</sub> представляет среднюю ОБЭ-взвешенную поглощенную дозу во внутренних органах или тканях (например, костный мозг, лёгкие, тонкий кишечник, гонады, щитовидную железу) и хрусталике глаза от облучения в инородном поле сильно проникающего излучения; <sup>b</sup> – доза, полученная на площади 100 см<sup>2</sup> на глубине 0,5 см ниже поверхности тела тканью в результате тесного контакта с радиоактивным источником (например, в результате ношения источника в руках или в кармане); <sup>c</sup> – доза на площади 100 см<sup>2</sup> дермы (структур кожи на глубине 40 мг/см<sup>2</sup> (или 0,4 мм) под поверхностью кожи).

Таблица 4. Общие критерии для защитных действий и других мер реагирования, принимаемых в ситуациях аварийного облучения с целью снижения риска стохастических эффектов

Общие критерии		Примеры защитных действий и др. медреагирования
Эквивалентная доза щитовидной железы	50 мЗв в первые 7 дней	Йодное блокирование щитовидной железы
Эффективная доза	100 мЗв в первые 7 дней	Укрытие; эвакуация, дезактивация; ограничение потребления загрязнённых пищевых продуктов, молока и воды; контроль радиоактивного загрязнения; информационно-разъяснительная работа среди населения
Эквивалентная доза на плод	100 мЗв в первые 7 дней	
Эффективная доза	100 мЗв за год	Временное переселение; дезактивация; замена загрязнённых пищевых продуктов, молока и воды на чистые; информационно-разъяснительная работа среди населения
Эквивалентная доза на плод	100 мЗв за весь период внутриутробного развития	

Таблица 5. Категории аварийной готовности МАГАТЭ

Категория I	
Установки (радиационные объекты), для которых прогнозируются (или на аналогах которых случались) аварийные ситуации (включая маловероятные запроектные аварии), которые могут привести к превышению общих критериев для доз острого облучения (табл. 3) и развитию серьезных детерминированных эффектов за пределами площадки. В условиях аварии, подобной Чернобыльской, такие дозы за пределами площадки могут быть получены в течение нескольких часов. Для объектов этой категории, наряду с другими мерами аварийного реагирования, требуется планирование, и обеспечение готовности к применению предупредительных срочных защитных мер за пределами площадки, которые должны осуществляться до начала или в течение первого часа после выброса радиоактивного материала	(1) Реакторы с уровнем мощности свыше 100 МВт (тепл.); (2) установки, на которых может храниться недавно выгруженное отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) с суммарной активностью Cs <sup>137</sup> более 1E+17 Бк; (3) установки с общим количеством радиоактивного материала, способного к рассеянию, величина ID которого превышает значение 10000
Категория II	
Установки (радиационные объекты), для которых прогнозируются (или на аналогах которых случались) аварийные ситуации, которые за пределами площадки могут привести к дозам облучения, превышающим общие критерии реагирования в таблице. Для защиты населения от неприемлемых уровней облучения при этом уровне дозы на установках категории II требуется планирование, и обеспечение готовности к применению срочных защитных мер за пределами площадки или ранних защитных мер. Для установок категории II обеспечение к готовности применения за пределами площадки предупредительных срочных защитных мер не требуется	1) установки и (или) отдельные участки, на которых может храниться недавно выгруженное ОЯТ, требующее активного охлаждения; 2) установки, обладающие потенциалом неконтролируемой критичности и находящиеся на расстоянии менее 500 м от границы промплощадки; 3) установки с общим количеством радиоактивного материала, способного к рассеянию, величина ID которого 100 ≤ ID < 10000
Категория III	
Установки (радиационные объекты), для которых последствия прогнозируемых аварийных ситуаций ограничивается площадкой (территорией) установки, в пределах которой может потребоваться проведение защитных мер и других противоаварийных мероприятий	1) установки, обладающие потенциалом при потере экранирования давать мощность воздушной кермы прямого излучения свыше 100 мГр/ч на расстоянии 1 м; 2) установки с потенциалом неконтролируемой критичности, на расстоянии более 500 м от границы промплощадки; 3) реакторы с уровнем мощности, меньшим или равным 2 МВт (тепл.); 4) установки с радиоактивным материалом, способным к рассеянию, величина ID которого 0,01 ≤ ID < 100



ных защитных действий и других мер, выраженные в виде прогнозируемой дозы или полученной дозы.

В таблице 4 приведен ряд общих критериев реагирования (ОКР), выраженных посредством прогнозируемой дозы в отсутствие мер защиты, которые соответствуют референтным (контрольным) уровням (в виде остаточной дозы) в диапазоне от 20 мЗв до 100 мЗв, с примерами мер реагирования для защиты населения от увеличения риска стохастических эффектов излучения [6].

Категории аварийной готовности, установленные МАГАТЭ. Общие критерии реагирования создают основу для оценки опасностей и их ранжирования по категориям в зависимости от уровня аварийной готовности, необходимого и достаточного для защиты населения и персонала от рисков проявления детерминированных и стохастических эффектов. Требования МАГАТЭ устанавливают пять категорий аварийной готовности (далее – категории), для установок (категории 1–3), видов практической деятельности (категория 4) и территорий (категория 5) [1].

Из описания категорий I–III в таблице 5 следует, что основными критериями категоризации по уровню аварийной готовности являются постулируемые последствия возможного аварийного облучения для здоровья населения и характер (уровень) защитных мер, необходимых для предотвращения или смягчения этих последствий в соответствии с установленными общими критериями реагирования.

Если на установке хранится или используется легко диспергируемый радиоактивный материал (порошки, газы и жидкости), ориентировочным количественным критерием отнесения установки к определенной категории является индекс опасности ID, который для смеси радионуклидов равен:

$$ID = \sum_i A_i / D_{2,i},$$

где  $A_i$  – активность i-го радионуклида;  $D_{2,i}$  – характеристика опасности i-го радионуклида в диспергируемой форме, определенная в [4].

Категорирование на основе этих критериев установок I–III в таблице 5 демонстрирует уменьшающиеся уровни опасности установок с понижающимся уровнем требований, предъявляемых к мерам по обеспечению аварийной готовности и реагирования. В соответствии с требованиями МАГАТЭ эти меры должны быть оптимизированы и соразмерны установленной категории опасности.

Анализ категорий аварийной готовности в Республике Беларусь. Санитарными нормами и правилами Республики Беларусь [7] установлены ОКР, которые соответствуют референтным (контрольным) уровням (в виде остаточной дозы) в диапазоне от 20 мЗв до 100 мЗв и аналогичны критериям, установленным требованиями МАГАТЭ. Эти критерии и требования МАГАТЭ, представленные в предыдущем разделе (таблица 5), были использованы для оценки опасностей и определения категорий наиболее значимых радиационных объектов на территории Республики Беларусь.

К категории I в соответствии с требованиями МАГАТЭ относится строящаяся Белорусская АЭС. Станция строится по проекту «АЭС-2006», который обеспечивает создание АЭС поколения 3+ с дополнительными средствами в системе безопасности (воздушный пассивный отвод тепла) и средствами управления запроектными авариями (двойная защитная гермооболочка, ловушка расплава топлива). «Проект соответствует принципу 1 Венского заявления о ядерной безопасности от 09.02.2015: «проектирование, выбор площадки и строительство атомных электростанций должно иметь целью предотвращение аварий, а при возникновении аварии – уменьшение возможных выбросов радионуклидов, приводящих к долгосрочному загрязнению за пределами площадки, и недопущение столь крупных радиоактивных выбросов, что в связи с ними могут потребоваться долго-

срочные защитные меры и действия». Выполненные собственные исследования по оценке различных сценариев максимально проектных и запроектных радиационных аварий на АЭС-2006 показывает, что при тяжелой запроектной аварии на Белорусской АЭС с реактором ВВЭР-1200 не ожидается детерминированных эффектов, как среди населения, так и среди персонала, но критерии реагирования для предотвращения стохастических эффектов могут быть превышены за пределами площадки АЭС.

Максимальное значение прогнозируемой общей эффективной дозы облучения населения за первый год после запроектной аварии для населения за пределами площадки составит 140 мЗв на расстоянии 2 км от АЭС и превысит критерий для проведения таких защитных мероприятий как временное переселение, дезактивация, завоз чистых пищевых продуктов и воды и информирование населения. При этом прогнозируемая эффективная доза на расстоянии 3 км составит 90 мЗв/год. В результате временное переселение, дезактивация, завоз чистых пищевых продуктов и воды может рекомендоваться в радиусе до 3 км от точки выброса. ОКР будут превышены на площадке и за ее пределами, при этом максимальные прогнозируемые дозы облучения составят: доза облучения щитовидной железы за 7 дней – 790 мГр на расстоянии 1 км от АЭС, доза облучения красного костного мозга за 10 ч, 195 мГр – 0,5 км, общая эффективная доза облучения за 7 дней – 140 мЗв за год, и 610 мЗв – 0,5 км. В результате потребуются проведение следующих защитных мер.

предупредительные защитные меры для населения на площадке (при наихудших сценариях с осадками) – укрытие либо эвакуация населения, находящегося на расстоянии до 1 км от точки выброса;

блокирование щитовидной железы населения в пределах 10–15 км;

временное переселение, дезактивация, завоз чистых пищевых продуктов и воды и информирование населения, проживающего в радиусе до 3 км.

Хотя вероятность такой тяжелой аварии весьма незначительна и не превышает  $10^{-7}$  1/лет, однако, создавая систему готовности и реагирования на радиационные аварии на АЭС, требуется учитывать последствия радиационных аварий на других АЭС и предусмотреть радиационную защиту персонала и населения от детерминированных и стохастических эффектов.

Другие радиационно опасные установки, подлежащие категорированию по уровню аварийной готовности, представлены в таблице 6 с описанием опасности, которую они представляют для населения и персонала.

Четыре ядерных установки в таблице 6 используются ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» НАН Беларуси и расположены на его территории. При оценке опасности этих установок анализировались последствия для населения и персонала возможных аварийных ситуаций, включая запроектные аварии: несанкционированное введение положительной реактивности вследствие наложения нескольких отказов или ошибок персонала; полное прекращение внешнего электроснабжения с отказом локализирующей системы или ошибками персонала по ее управлению.

Оценка последствий всех аварийных ситуаций, включая аварию, обусловленную реализацией максимально возможного эффективного коэффициента размножения нейтронов ( $\max k_{эфф}$ ), показала отсутствие вероятности облучения населения за пределами площадки дозами, превышающими ОКР для инициирования срочных защитных действий, установленных в приложение 19 к Гигиеническому нормативу «Критерии оценки радиационного воздействия» [7]. Облучение персонала, работающего на установке, возможно в слу-

Таблица 6. Установки категории аварийной готовности III в Республике Беларусь

Установки	Описание опасности	
	За пределами площадки	На площадке
Название и параметры		
Критический стенд «Гиацинт», мощность 0 кВт	Отсутствует вероятность облучения в дозах, превышающих ОКР для срочных защитных мер	При авариях с возникновением критичности существует вероятность превышения ОКР для предупредительных срочных защитных мер. Дозы, превышающие ОКР для предотвращения серьезных детерминированных эффектов, могут быть также получены в результате пожара или взрыва (ингаляционное облучение), или при потере экранирования (прямое облучение).
Критический стенд «Кристалл», мощность 0 кВт		
Подкритический стенд (ПКС) «Ялина», мощность 0 кВт		
Гамма-установка УГУ-420, Биологическая защита: вода, бетон. Проектная загрузка $15,5 \times 10^{15}$ Бк Со-60 Загрузка на 01.05.15 $6,5 \times 10^{15}$ Бк Со-60 (828 ИИИ)	Отсутствует вероятность облучения в дозах, превышающих ОКР для срочных защитных мер	Дозы, превышающие ОКР для предотвращения серьезных детерминированных эффектов, могут быть получены в случае утери контроля над ИИИ или в результате грубого нарушения требований радиационной и технической безопасности. При облучении неэкранированным ИИИ локальная доза может быть получена в течение нескольких минут
Гамма-установка «Пепел» Проектная загрузка $15,5 \times 10^{15}$ Бк Со-60 (800 000 Ки); Загрузка на 01.05.15 $6,5 \times 10^{15}$ Бк Со-60 (130 Ки)		
Установки дистанционной лучевой терапии высоко- и среднетозовой брахитерапии. Радиоизотоп Со-60, активности: от $5,27 \times 10^{10}$ Бк до $5,44 \times 10^{14}$ Бк		

чае отказа оборудования (средств контроля), нарушения эксплуатационных регламентов, ошибок персонала и несоблюдения требований безопасности при выполнении экспериментов. Случаи получения персоналом острых лучевых поражений и смертельных доз при авариях на установках с критичностью известны в прошлом: 1945, 1946 и 1952 гг. в США, 1958 г. в Югославии, 1983 г. в Аргентине, 1997 г. в Российской Федерации и др. На этом основании опасность этих ядерных установок следует отнести к категории 3.

Две мощных облучательных гамма-установки УГУ-420 и «Пепел» используются преимущественно для стерилизации медицинских изделий и обработки лекарственного сырья с целью уменьшения микробной обсемененности. Установка УГУ-420 (эксплуатируется с 1968 г.) расположена на площадке ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» НАН Беларуси, является установкой с водной защитой, в настоящее время в облучателе загружено 828 источников  $^{60}\text{Co}$ , активностью  $5,5 \times 10^{13}$  Бк каждый. Установка «Пепел» эксплуатируется РУП «Несвижский завод медицинских препаратов» с 1984 г., является установкой с сухой защитой, в которой для защиты от гамма-излучения облучателя используется бетон. В обеих установках облучатели перемещаются из положения хранения к объекту облучения и обратно.

Радиационные аварии возможны при нарушении технологического цикла облучательного процесса, отказе блокировочных и сигнализационных систем, нарушении требований радиационного контроля. Анализировались ситуации внешних и внутренних пожаров в помещениях установки, затопление помещений и утечка воды из бассейна хранения облучателя установки с водной защитой (УГУ-420). В результате таких аварий вероятность облучения населения за пределами контролируемой территории установки отсутствует, хотя может возникнуть необходимость в принятии срочных защитных мер и других противоаварийных мероприятий для защиты работников на площадке.

На промышленных облучательных установках происходили крупные аварии, приводившие к серьезным последствиям для здоровья или смертельным случаям в нескольких странах, в том числе в Италии в 1975 году, Норвегии в 1982 году, Сан-Сальвадоре в 1989 году, Израиле в 1990 году, Китае в 1990 и 1992 году [8]. В большинстве случаев главной причиной облучения высокими дозами было нахождение

вблизи неэкранированного облучателя вследствие грубого нарушения персоналом установки регламентов безопасного ведения работ и отказа устройств безопасности установки. В 1991 году эти нарушения привели к облучению оператора установки «Пепел» дозой 11–18 Гр с фатальным исходом [9].

В медицинских учреждениях Республики Беларусь для целей диагностики и лучевой терапии используется более 30 установок, содержащих Со-60 в диапазоне активностей от  $5,27 \times 10^{10}$  до  $5,44 \times 10^{14}$  Бк. Опубликованы данные о нескольких десятках аварий, которые на аналогичных установках в разных странах привели к серьезным последствиям для здоровья персонала и пациентов или летальным исходам. Причиной около 30 % таких аварий было неисправное оборудование [10], более 50 % аварий произошло из-за ошибочных действий персонала (ошибки дозиметрии, метрологической аттестации, программного обеспечения и пр.). При авариях облучению высокими дозами подвергались персонал и пациенты, а вероятность облучения населения за пределами кабинета лучевой терапии отсутствовала. Анализ последствий запроектных аварий для таких установок не проводился, однако по аналогии с оценками, сделанными для облучательных промышленных установок, можно заключить, что в случае пожара или взрыва, а также других событий, которые могут привести к разрушению установки, дозы облучения населения за пределами контролируемой территории не превысят ОКР для принятия срочных защитных мер. Поэтому с точки зрения категорирования по уровню аварийной готовности, опасности медицинских облучательных установок могут быть отнесены к категории III.

Отдельного рассмотрения требуют аварийные ситуации с потерянными, или украденными медицинскими ИИИ, поскольку в этом случае имеется вероятность летального облучения лиц из населения. Опасность таких ситуаций для здоровья, а также аварийных ситуаций, возникающих при транспортировке ИИИ, в соответствии с категоризацией МАГАТЭ соответствует категории аварийной готовности IV, которая подробно рассматривается в [10].

Таким образом, выполнение требования МАГАТЭ об оценке опасности и категорировании радиационных объектов по степени аварийной готовности способствует внедрению дифференцированного подхода и разработке оптимизированных и обоснованных мер защиты населения в случае рад аварии. Радиационно гигиенические нормы Республи-

## □ Оригинальные научные публикации

ки Беларусь в области защиты населения при радиационной аварии соответствуют международным нормам, установленным МАГАТЭ, и основные проблемы категорирования объектов по степени аварийной готовности на данный момент обусловлены отсутствием результатов оценки их радиационной безопасности, включая данные о прогнозируемой дозовой нагрузке населения при радиационной аварии. Для новых радиационных объектов и установок, планируемых для ввода в эксплуатацию в Республике Беларусь, категория аварийной готовности должна устанавливаться на этапе их проектирования.

### Литература

1. *Готовность и реагирование в случае ядерной или радиационной ситуации Общие требования безопасности № GSR Part 7*, Международное агентство по атомной энергии, Вена, 2016.
2. *Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности № GSR Part 3*, Международное агентство по атомной энергии. – Вена, 2015.
3. *Development of extended framework for emergency response criteria*. IAEA TECDOC-1432. – Vienna, IAEA, 2004.
4. *Dangerous quantities of radioactive material (D-values). EPR-D-Values*. – Vienna: IAEA, 2006.

5. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 26. Ann ICRP. – Oxford, UK: Pergamon Press, 1977. – Vol. 1, № 3.

6. *Критерии для использования при обеспечении готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации. Общее руководство по безопасности № GSG-2*, Международное агентство по атомной энергии. – Вена, 2012.

7. *Гигиенический норматив. Критерии оценки радиационного воздействия: утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 28 дек. 2012 г., № 213 // Радиационная гигиена: сб. норм. док.* – Минск: РЦГЭиОЗ, 2013. – С. 35–167.

8. *Уроки реагирования на радиационные аварийные ситуации (1945–2010 годы): EPR-Lessons Learned 2012 / Международное агентство по атомной энергии.* – Вена, 2013.

9. *International Atomic Energy Agency, The Radiological Accident in the irradiated facility in Nesvizh*, IAEA, Vienna, 1996

10. *Николаенко, Е. В., Роздяловская Л. Ф., Сычик С. И., Кадацкая М. М., Дорина А.П., Бабич Е.А. Научный анализ аварийных ситуаций с медицинскими источниками ионизирующего излучения // Здоровье и окружающая среда [Электронный ресурс]: сб. науч. тр.* – Минск: Республиканская научная медицинская библиотека, 2015.