

УДК 614.876:355.58
МРНТИ 81.93.15

С. Д. Шарипханов

*ТОО «Казахстанский научно-исследовательский, обучающий центр гражданской
защиты и охраны труда», Астана, Казахстан*

РАЗРАБОТКА РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ УГРОЗ ПРИ ВОЗМОЖНЫХ РАДИАЦИОННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Аннотация. В статье разработан прикладной риск-ориентированный подход к оценке радиационных рисков при возможных авариях на атомных электростанциях, ориентированный на задачи системы гражданской защиты. Предложен алгоритм оценки радиационной обстановки, обеспечивающий переход от исходных данных мониторинга к формализованной классификации уровней радиационного риска. Разработана авторская шкала уровней радиационного риска, увязанная с типовыми мерами реагирования органов гражданской защиты. Методика предназначена для поддержки управленческих решений на этапах предварительного прогнозирования и оперативного реагирования при радиационных чрезвычайных ситуациях и может применяться при ограниченном объеме исходных данных.

Ключевые слова: радиационная чрезвычайная ситуация, оценка радиационных рисков, гражданская защита, атомная электростанция, алгоритм оценки риска, шкала уровней риска, управленческое решение, реагирование на чрезвычайные ситуации.

Обеспечение устойчивости функционирования системы гражданской защиты основывается на анализе последствий возможных внешних воздействий на объекты критической инфраструктуры. К таким факторам относятся природные и техногенные чрезвычайные ситуации, а также иные факторы, способные привести к нарушению штатных условий эксплуатации потенциально опасных объектов. В случае реализации подобных воздействий на атомные электростанции возможны аварийные ситуации с радиационными последствиями, требующие своевременной оценки обстановки и принятия управленческих решений в целях защиты населения и территорий [1].

Существующие нормативные и методические подходы в области радиационной безопасности преимущественно сосредоточены на контроле уровней облучения и соблюдении предельных доз, что ограничивает их применимость для оперативного управления в условиях динамично развивающейся радиационной обстановки. Для системы гражданской защиты ключевое значение имеют не только количественные показатели воздействия, но и своевременная классификация степени угрозы, зонирование территорий и выбор адекватных мер реагирования.

Целью настоящей статьи является разработка прикладного алгоритма оценки радиационных рисков при авариях на атомных электростанциях, ориентированного на задачи системы гражданской защиты. В рамках исследования предлагается риск-ориентированный подход, обеспечивающий формализацию результатов оценки радиационной обстановки и их интерпретацию в виде управленческих решений, применимых на этапах прогнозирования и оперативного реагирования.

Место оценки радиационных рисков в системе гражданской защиты. Оценка радиационных рисков является ключевым элементом обеспечения готовности системы гражданской защиты к реагированию на радиационные ЧС. В отличие от задач радиационной безопасности, ориентированных на контроль дозовых нагрузок, система гражданской защиты использует результаты оценки радиационной обстановки для обоснования управленческих решений, связанных с защитой населения, обеспечением безопасности персонала и координацией действий сил реагирования.

Для органов управления гражданской защитой принципиальное значение имеет оперативная интерпретация данных радиационного мониторинга в форме, позволяющей своевременно определить степень угрозы, масштабы возможного воздействия и приоритеты реагирования. В этом контексте оценка радиационных рисков выступает не самостоятельной аналитической процедурой, а инструментом поддержки принятия решений, обеспечивающим переход от измеряемых параметров радиационной обстановки к практическим мерам реагирования [2].

Отсутствие унифицированных прикладных моделей оценки радиационных рисков, ориентированных на задачи гражданской защиты, приводит к разрыву между результатами мониторинга и процессом управления в условиях ЧС. Устранение данного разрыва требует применения риск-ориентированных подходов, обеспечивающих классификацию уровней угрозы и формирование согласованных алгоритмов реагирования органов и сил гражданской защиты.

Методологическая основа оценки радиационных рисков. Методологическая основа оценки радиационных рисков при авариях на атомных электростанциях базируется на риск-ориентированном подходе, предполагающем интеграцию вероятностных характеристик аварийных сценариев и возможных последствий радиационного воздействия. Такой подход обеспечивает формирование комплексной оценки угрозы, релевантной для задач гражданской защиты.

В международной практике ключевые принципы оценки радиационных рисков сформированы в рекомендациях ICRP и стандартах IAEA, где особое внимание уделяется этапности реагирования, зонированию территорий и увязке уровней воздействия с защитными мерами [3]. Методология вероятностного анализа безопасности (PRA), применяемая в ядерной энергетике, обеспечивает формализацию сценариев аварий и их ранжирование с учётом неопределённости исходных данных [4].

В обобщённом виде радиационный риск (1) R в рамках настоящего исследования рассматривается как функция вероятности реализации аварийного сценария P и тяжести последствий радиационного воздействия D [5]:

$$R = f(P, D)$$

При этом конкретные зависимости параметров не задаются, поскольку методика ориентирована на классификацию уровня угрозы и поддержку управленческих решений в системе гражданской защиты.

В рамках настоящего исследования указанные подходы используются как методическая база и адаптируются к задачам системы гражданской защиты. Акцент делается на прикладную интерпретацию результатов оценки радиационной

обстановки, позволяющую классифицировать уровни радиационного риска и формировать согласованные меры реагирования.

Предлагаемая методология ориентирована на использование данных радиационного мониторинга и не требует применения специализированных расчётных комплексов. Это обеспечивает возможность её применения как на этапе предварительного прогнозирования радиационных последствий, так и в ходе оперативного реагирования.

Алгоритм оценки радиационных рисков при радиационных чрезвычайных ситуациях. Алгоритм оценки радиационных рисков при радиационных ЧС предназначен для поэтапной обработки информации о радиационной обстановке и формирования управленческих решений в системе гражданской защиты. Алгоритм ориентирован на практическое применение в условиях ограниченного объёма исходных данных и динамичного развития радиационной обстановки.

Общая логика предлагаемого алгоритма оценки радиационных рисков представлена на рисунке 1.

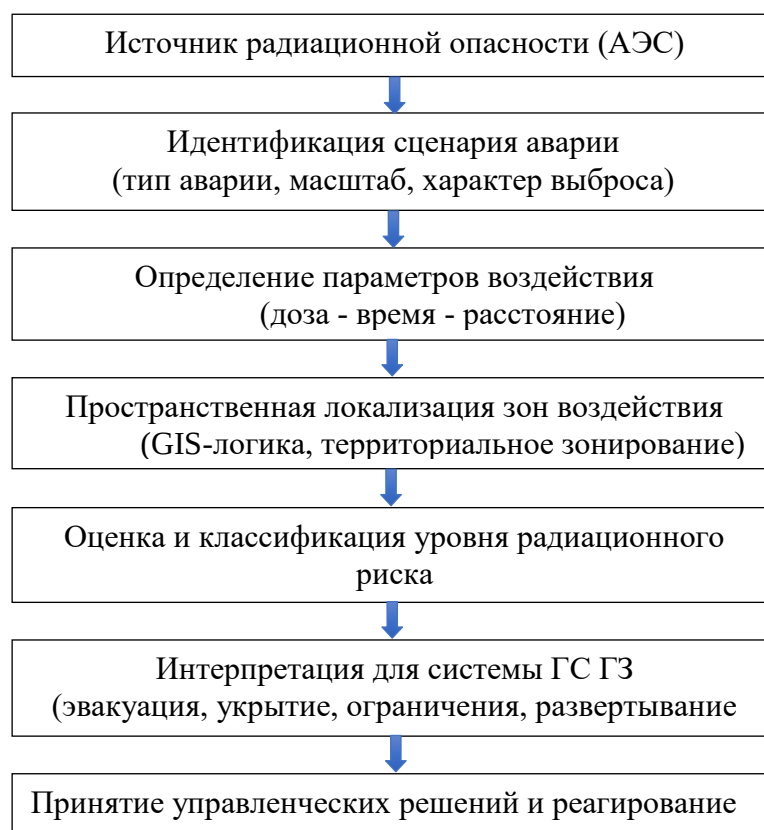


Рисунок 1 - Алгоритм оценки радиационных рисков ЧС при авариях на атомных электростанциях для системы гражданской защиты

На первом этапе осуществляется идентификация сценария радиационной ЧС на основе данных радиационного мониторинга, информации о состоянии объекта и метеорологических условий. Цель этапа заключается в предварительной классификации типа аварийной ситуации и определении потенциального характера радиационного воздействия.

На втором этапе выполняется оценка исходных параметров радиационной обстановки, включая пространственные и временные характеристики распространения радионуклидов. Полученные данные используются для предварительного зонирования территории по степени потенциального воздействия.

Третий этап предусматривает оценку уровня радиационного риска путём сопоставления вероятности реализации аварийного сценария и тяжести возможных последствий. Результаты данного этапа формируют основу для классификации уровня угрозы в соответствии с предлагаемой моделью.

На четвёртом этапе осуществляется интерпретация результатов оценки радиационного риска в интересах органов управления гражданской защитой. Определяются приоритеты реагирования, допустимые режимы работы аварийно-спасательных подразделений и необходимость применения защитных мер для населения и персонала.

Заключительный этап алгоритма направлен на корректировку управленческих решений по мере уточнения информации о радиационной обстановке. Это обеспечивает адаптацию мер реагирования к изменяющимся условиям и повышает устойчивость управления при развитии радиационной чрезвычайной ситуации.

Предварительная модель классификации уровней радиационного риска. Предварительная модель классификации уровней радиационного риска предназначена для формализации результатов оценки радиационной обстановки и их унифицированной интерпретации в системе гражданской защиты. Модель ориентирована на практическое применение и обеспечивает переход от количественных параметров радиационного воздействия к качественной оценке степени угрозы, понятной для органов управления и сил реагирования на ЧС.

Предлагаемая шкала уровней радиационного риска, таблица 1, разработана на основе синтеза международных принципов радиационной безопасности и риск-ориентированного подхода, изложенных в рекомендациях ICRP, стандартах IAEA и методологии PRA [6]. В отличие от нормативных классификаций, ориентированных преимущественно на дозиметрические показатели, данная шкала имеет прикладную направленность и предназначена для поддержки управленческих решений в системе гражданской защиты. Авторская новизна модели заключается в формировании уровней риска и их прямой увязке с типовыми мерами реагирования, адаптированными к условиям Республики Казахстан.

Таблица 1 – Шкала уровней радиационного риска и типовые меры реагирования системы гражданской защиты

Уровень риска	Характеристика радиационной обстановки	Потенциальные последствия	Типовые меры ГС ГЗ
1	2	3	4
Низкий	Фоновое или незначительное превышение, локальный характер	Отсутствие значимых последствий	Мониторинг, информирование
Умеренный	Ограниченное превышение, кратковременное воздействие	Возможное воздействие на чувствительные группы	Усиленный контроль, готовность сил

продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Повышенный	Устойчивое превышение, расширение зоны воздействия	Риск для населения и персонала	Ограничение доступа, укрытие
Высокий	Значительное превышение, неблагоприятные условия	Угроза здоровью, необходимость защиты	Частичная эвакуация, развертывание сил
Критический	Масштабное загрязнение, длительное воздействие	Тяжёлые последствия, системный ущерб	Полная эвакуация, режим ЧС

Шкала уровней радиационного риска и соответствующие типовые меры реагирования разработаны на основе (рисунок 2) международных научных и нормативных подходов, адаптированных к задачам системы гражданской защиты Республики Казахстан. Методическую основу модели составляют рекомендации ICRP (публикации 109 и 111), стандарты и руководства IAEA, риск-ориентированный подход NRC (PRA), а также анализ национальной практики органов гражданской защиты.



Рисунок 2 - Формирование авторской шкалы уровней радиационного риска для системы гражданской защиты

Каждому уровню радиационного риска в модели сопоставляется типовой набор управленческих и защитных мер, реализуемых в системе гражданской защиты. Это обеспечивает функциональную связь между результатами оценки радиационной обстановки и практическими действиями органов управления, включая зонирование территорий, выбор режимов защиты населения, порядок привлечения сил и средств, а также требования к безопасности персонала и аварийно-спасательных подразделений. В результате классификация уровней риска приобретает прикладной характер и используется как инструмент поддержки принятия управленческих решений.

Предлагаемая модель классификации отличается возможностью применения при ограниченном объёме исходных данных и не требует использования сложных специализированных расчётных комплексов. Это позволяет применять её как на этапе предварительного прогнозирования радиационных последствий, так и в ходе оперативного реагирования на радиационные ЧС, обеспечивая устойчивость управленческих решений в условиях неопределённости и динамичного развития радиационной обстановки.

Возможности практического применения методики. Предлагаемая методика оценки радиационных рисков ориентирована на практическое применение в системе

гражданской защиты и может использоваться при планировании и реализации мероприятий по предупреждению и ликвидации радиационных ЧС. Методика обеспечивает поддержку управленческих решений на различных этапах реагирования, включая предварительное прогнозирование, оперативное управление и корректировку мер защиты по мере уточнения радиационной обстановки.

Результаты оценки радиационного риска могут использоваться для обоснования зонирования территорий, выбора режимов защиты населения, определения допустимых условий работы аварийно-спасательных подразделений и планирования привлечения сил и средств. Это позволяет обеспечить согласованность действий органов управления и повысить эффективность реагирования при развитии радиационной ЧС.

В качестве демонстрационного примера применения методики рассматривается развитие радиационной ЧС, при которой на ранней стадии фиксируется превышение фоновых показателей при неопределённости масштабов воздействия. Органы управления гражданской защитой на основе данных радиационного мониторинга и метеорологической обстановки осуществляют первичную классификацию уровня радиационного риска и зонирование территории. По мере уточнения информации выполняется корректировка уровня риска и принимаются управленческие решения по ограничению доступа, защите населения и определению режимов работы аварийно-спасательных подразделений [7].

Методика может применяться в процессе подготовки планов реагирования, проведения учений и обучения персонала органов и сил гражданской защиты. Простота применения и ориентация на использование доступных данных обеспечивают возможность её внедрения в практику органов управления без существенных организационных и технических затрат.

Перспективы дальнейших исследований. Дальнейшее развитие предлагаемой методики оценки радиационных рисков связано с расширением её прикладных возможностей и углублением научной проработки отдельных элементов. Одним из перспективных направлений является интеграция методики с геоинформационными системами и моделями распространения радионуклидов, что позволит повысить точность пространственной интерпретации уровней радиационного риска.

Важным направлением дальнейших исследований является верификация и уточнение модели классификации уровней радиационного риска на основе сценарного анализа и результатов учений, а также её адаптация к различным типам радиационно-опасных объектов. Это позволит расширить область применения методики и повысить её универсальность.

Отдельное направление исследований связано с разработкой инструментов автоматизации оценки радиационных рисков и поддержки принятия решений для органов управления гражданской защитой. Реализация указанных направлений создаёт основу для формирования более комплексных научно-технических решений в области предупреждения и ликвидации радиационных ЧС [8].

Выводы. В статье разработан прикладной риск-ориентированный подход к оценке радиационных рисков при авариях на атомных электростанциях, ориентированный на задачи системы гражданской защиты. Предложены алгоритм оценки радиационных рисков и предварительная модель классификации уровней

риска, обеспечивающие формализацию результатов оценки радиационной обстановки и их интерпретацию в виде управленческих решений.

Научная новизна работы заключается в трансформации международных принципов радиационной безопасности и методологии вероятностного анализа в инструмент поддержки принятия решений, адаптированный к условиям и практике Республики Казахстан. Разработанная шкала уровней радиационного риска обеспечивает прямую увязку результатов оценки с типовыми мерами реагирования органов гражданской защиты.

Практическая значимость результатов заключается в возможности применения методики на этапах предварительного прогнозирования и оперативного реагирования при радиационных ЧС. Предложенный подход может использоваться при планировании мероприятий гражданской защиты, проведении учений и обучении персонала, а также служить методической основой для дальнейших исследований и разработок в области обеспечения радиационной безопасности и защиты населения.

Статья подготовлена в рамках инициативной НИР № 0126РКИ0011, зарегистрированной в ИС АО «НЦГНТЭ», финансируемой ТОО «КазНИОЦ ГЗиОТ».

References

1. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements Part 3. Vienna, IAEA, 2014. Available at: <https://www.iaea.org/publications/8930/radiation-protection-and-safety-of-radiation-sources-international-basic-safety-standards>
2. OECD Nuclear Energy Agency. Risk-informed decision making for nuclear emergency preparedness // Nuclear Engineering and Design. – 2014. – Vol. 273. – P. 1–10. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2014.02.019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2014.02.019>
3. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 111: Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident, *Annals of the ICRP*, 2009, Vol. 39, No. 3. Available at: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20111>
4. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Probabilistic Risk Assessment (PRA) in Nuclear Power Plant Safety. – Washington, DC: NRC. Available at: <https://www.nrc.gov/about-nrc/regulatory/risk-informed/pr.html>
5. Kaplan S., Garrick B. J. On the quantitative definition of risk. *Reliability Engineering & System Safety*, 1981, Vol. 1, No. 1, P. 11–27. DOI: 10.1016/0143-8174(81)90005-0.
6. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 109: Application of the Commission's Recommendations to Emergency Exposure Situations. *Annals of the ICRP*. 2009, Vol. 39, No. 1. Available at: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20109>
7. Shariphanov S. D., Kusainov A. B., Al'menbaev M. M., Zaharov I. A., Kasym K. Zh. Algoritmicheskij podhod k primeneniyu robototekhnicheskikh sredstv v sisteme grazhdanskoj zashchity pri avariyaх na ob'ektah atomnoj energetiki. *Razvitie gosudarstvennoj sistemy grazhdanskoj zashchity v usloviyah sovremennyh vyzovov i ugroz*: sb. mater. Mezhdunar. nauch. konf. Astana: Nacional'nyj universitet oborony, 2025, S. 17–21.
8. International Atomic Energy Agency. Use of Mobile Robots for Radiological Hazard Assessment and Monitoring: IAEA-TECDOC-1806. Vienna, IAEA, 2016. Available at: <https://www.iaea.org/publications/11073/use-of-mobile-robots-for-radiological-hazard-assessment-and-monitoring>

С. Д. Шәріпханов

*«Азаматтық қорғау және еңбекті қорғау саласындағы Қазақстандық ғылыми-зерттеу,
оқыту орталығы» ЖШС, Астана, Қазақстан*

МҮМКІН БОЛАТЫН РАДИАЦИЯЛЫҚ СИПАТТАҒЫ ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАР КЕЗІНДЕ ҚАУІП-ҚАТЕРЛЕРДІ БАҒАЛАУҒА АРНАЛҒАН ТӘУЕКЕЛГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН АЛГОРИТМДІ ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Мақалада атом электр станцияларындағы ықтимал авариялар кезінде радиациялық тәуекелдерді бағалаудың азаматтық қорғау жүйесінің міндеттеріне бағытталған қолданбалы, тәуекелге негізделген тәсілі әзірленді. Радиациялық жағдайды бағалау алгоритмі ұсынылып, ол мониторингтің бастапқы деректерінен радиациялық тәуекел деңгейлерін формалдандырылған жіктеуге көшуге мүмкіндік береді. Азаматтық қорғау органдарының типтік әрекет ету шараларымен үйлестірілген радиациялық тәуекел деңгейлерінің авторлық шкаласы әзірленді. Әдістеме радиациялық сипаттағы төтенше жағдайлар кезінде алдын ала болжау және жедел әрекет ету кезеңдерінде басқарушылық шешімдерді қолдауға арналған және бастапқы деректер көлемі шектеулі жағдайларда қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: радиациялық сипаттағы төтенше жағдай, радиациялық тәуекелдерді бағалау, азаматтық қорғау, атом электр станциясы, тәуекелді бағалау алгоритмі, тәуекел деңгейлерінің шкаласы, басқарушылық шешімдер, төтенше жағдайларға әрекет ету.

S. D. Sharipkhanov

LLP «Kazakhstan Scientific research and training Center in the field of civil Defense and labor protection», Astana, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF A RISK-ORIENTED ALGORITHM FOR THREAT ASSESSMENT IN POTENTIAL RADIOLOGICAL EMERGENCIES

Abstract. The article develops an applied risk-oriented approach to assessing radiation risks associated with possible accidents at nuclear power plants, oriented toward the tasks of the civil protection system. An algorithm for assessing the radiological situation is proposed, providing a transition from initial monitoring data to a formalized classification of radiation risk levels. An original scale of radiation risk levels has been developed and linked to standard response measures of civil protection authorities. The methodology is intended to support managerial decision-making at the stages of preliminary forecasting and operational response to radiological emergencies and can be applied under conditions of limited initial data availability.

Keywords: radiological emergency; radiation risk assessment; civil protection; nuclear power plant; risk assessment algorithm; risk level scale; managerial decision-making; emergency response.

Сведения об авторах / Information about the authors

Шарипханов Сырым Дюсенгазиевич – доктор технических наук, ассоциированный профессор (доцент), ведущий научный сотрудник ТОО «Казахстанский научно-исследовательский, обучающий центр в области гражданской защиты и охраны труда», Астана, Казахстан. E-mail: shsyrym@rambler.ru

Syrym D. Sharipkhanov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, leading researcher of the Kazakhstan Scientific Research and Training Center in the field of Civil Protection and Labor Protection LLP, Astana, Kazakhstan. E-mail: shsyrym@rambler.ru