

15. Dokukin M.E., Guz N.V., Gaikwad R.M., Woodworth C.D., Sokolov I. Cell Surface as a Fractal: Normal and Cancerous Cervical Cells Demonstrate Different Fractal Behavior of Surface Adhesion Maps at the Nanoscale // *Phys. Rev. Lett.* №107, 2011. 28-101p.

16. http://www.ifz.ru/uploads/media/20120209_lubushin.pdf (дата обращения 20.04.2019)

17. Ахметханов Р.С. Применение вейвлет-анализа и теории фракталов в исследовании изображений микрошлифов // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов.* № 3 (81), 2015. С. 31-37.

Сведения об авторе

Ахметханов Расим Султанович – заведующий лабораторией ИМАШ РАН, тел. 8(495)623-57-55, e-mail: mibsts@mail.ru

УДК 621.039

ПРОТИВОАВАРИЙНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И РЕАГИРОВАНИЕ – ПЯТЫЙ УРОВЕНЬ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ АЭС И РОЛЬ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ТРЕТЬЕГО УРОВНЯ (ВАБ-3)

Кандидат физ.-мат. наук *В.А. Пантелеев*, доктор техн. наук *М.Д. Сегаль*,
кандидат психол. наук *А.В. Симонов*

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН

Рассмотрены вопросы важности разработки эффективных планов аварийного реагирования, как пятого уровня глубокоэшелонированной защиты АЭС. Показаны возможности использования вероятностного анализа безопасности третьего уровня объектов использования атомной энергии при аварийном планировании и реагировании.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, радиационная авария, радиационный риск, информирование о риске, ВАБ-3, вероятностный анализ безопасности.

EMERGENCY PLANNING AND RESPONSE - THE FIFTH LEVEL THE DEFENSE IN DEPTH OF NPP AND THE ROLE OF THE PROBABILISTIC SAFETY ANALYSIS OF THE THIRD LEVEL (PSA Level 3)

Ph.D. (Phys.-Mat.) *V.A. Panteleev*, Dr. (Tech.) *M.D. Segal*,
Ph.D. (Psychol.) *A.V. Simonov*

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

The issues of the importance of developing effective emergency response plans, as the fifth level of in-depth defense of nuclear power plants, are considered.

The possibilities of using PSA Level 3 of nuclear facilities at emergency planning and response are shown.

Keywords: emergency situation, radiation accident, radiation risk, risk communication, PSA Level 3, probabilistic safety analysis.

Принятие обществом рисков, связанных с развитием атомной энергетики предполагает в числе других мер разработку эффективных планов аварийного реагирования, опирающихся, в том числе на вероятностные анализы безопасности ВАБ всех уровней. На российских атомных станциях (АС) должны проводиться вероятностные анализы безопасности 1-го (ВАБ-1) и 2-го уровня (ВАБ-3) [1]:

- Результатом ВАБ-1 является определение финальных состояний с повреждением источников радиоактивности и оценки значений вероятностей их реализации.
- Результатом ВАБ-2 является определение финальных состояний с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду и оценки вероятности их реализации.

Таким образом, результаты ВАБ-1 и ВАБ-2 напрямую не дают оценок количественных характеристик риска для населения и территорий вокруг АС от возможных аварий. Это является задачей вероятностного анализа безопасности третьего уровня — ВАБ-3 результатом, которого является определение количественных характеристик риска для населения и территории с учетом множественности возможных сценариев и условий распространения радиоактивных веществ в момент возможной аварии.

Необходимо отметить, что в документе МАГАТЭ [2] подчеркивается, что противоаварийное планирование, готовность, стратегию контрмер для защиты населения при аварии с выбросом радиоактивных веществ следует разрабатывать с использованием результатов ВАБ-3. Эти же результаты следует использовать для оценки относительной эффективности планируемого противоаварийного реагирования.

Однако до аварии на АЭС Фукусима развитию ВАБ-3 уделялось недостаточное внимание как в России, так и во всем мире, что объяснялось рядом причин, в том числе тем, что в результатах ВАБ-1 и ВАБ-2 непосредственно заинтересованы ядерные операторы и страховые компании, а ВАБ-3 касается внешних по отношению к АЭС эффектов, что снижало стимулы для проведения работ в этом направлении. Кроме того, тенденции повышения уровня безопасности для будущих АЭС (так называемые поколения III+, IV) позволяли надеяться на значительное снижение вероятности возникновения тяжелых аварий и крупных выбросов радиоактивных веществ, что также являлось фактором снижения интереса к ВАБ-3 и к вопросам аварийного планирования в целом [3, 4].

Авария на АЭС Фукусима показала, что вопросы аварийного планирования не могут быть второстепенными и им нужно уделять самое серьезное внимание [5].

В свете событий, происшедших на АЭС Фукусима, экспертная Европейская группа регуляторов в сфере ядерной безопасности 13 мая 2011 года согласовала методику проведения проверки АЭС на устойчивость к маловероятным кризисным событиям (стресс-тесты). В Европе стресс-тесты были выполнены на 145 реакторах в 14 государствах и подтвердили высокие стандарты безопасности. Вместе с тем, отмечено, что практически все европейские станции нуждаются в модернизации для повышения безопасности [6].

В России дополнительный анализ защищенности действующих российских АЭС от внешних природных и техногенных экстремальных воздействий, а также анализ готовности к управлению запроектными авариями, в том числе тяжелыми, был проведен в июне-августе 2011 года. Стресс-тесты показали, что все блоки действующих в России станций требуется

оснастить дополнительными средствами для организации нештатной схемы подачи воды в случае прекращения охлаждения активных зон, бассейнов выдержки и хранилищ ОЯТ [7].

В целях укрепления глобальной системы ядерной безопасности в июне 2011 года МАГАТЭ был принят план действий, давший государствам-участникам рекомендации, в частности, по следующим направлениям [8]:

- проведение оценки уязвимых мест в обеспечении безопасности АЭС в свете уроков, извлеченных из аварии на АЭС Фукусима;
- укрепление аварийной готовности и реагирования;
- обеспечение непрерывной защиты людей и окружающей среды от воздействия ионизирующих излучений в случае ядерной аварии;
- повышение прозрачности и эффективности информационного обеспечения и информационного взаимодействия и улучшение распространения информации.

Кардинальные изменения произошли по отношению к вопросам аварийного планирования. В европейских странах практически во всех случаях сценарии потенциальных аварий (соответственно и планы аварийного реагирования) основывались на предположении о непродолжительности выброса радионуклидов в окружающую среду (от нескольких часов до нескольких дней). Авария на АЭС Фукусима продемонстрировала возможность длительных выбросов радионуклидов в течение нескольких недель. Это привело к необходимости проверки стратегий защиты, включенных в аварийные планы, на возможность сокращения радиационных последствий аварии в случае долгосрочных выбросов [9-14].

В соответствии с НП-001-15 "Общие положения обеспечения безопасности атомных станций" [15] система технических и организационных мер по обеспечению безопасности атомных станций должна образовывать пять уровней глубокоэшелонированной защиты, из которых первые 4 касаются аспектов безопасности АЭС с уменьшением вероятности возникновения аварийных ситуаций и снижение величины выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду, включая:

- уровень 1 – определение условий размещения АЭС и предотвращение нарушений нормальной эксплуатации;
- уровень 2 – предотвращение проектных аварий системами нормальной эксплуатации;
- уровень 3 – предотвращение запроектных аварий системами безопасности;
- уровень 4 – управление запроектными авариями, в том числе предотвращение развития запроектных аварий и ослабление их последствий.

И только 5-й уровень предусматривает противоаварийное планирование и реагирование, включающее подготовку и осуществление планов мероприятий по защите персонала и населения на площадке АЭС и за ее пределами для минимизации возможных негативных последствий аварийной ситуации для окружающей среды и населения при тяжелых авариях.

Мероприятия по защите населения должны, в частности, предусматривать [16]:

- оповещение органов управления РСЧС и населения о возможных угрозах ЧС, информирование о способах их предотвращения, о поведении в случае их возникновения и способах защиты;
- укрытие и/или эвакуацию населения, йодную профилактику, эвакуацию материальных и культурных ценностей из зон возможных опасностей с превышением допустимых уровней риска;
- меры по ограничению потребления сельскохозяйственной продукции, произведенной в загрязненных районах;
- ограничение допуска на загрязненную территорию;
- создание резервов финансовых и материальных ресурсов для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и обеспечения защиты населения.

При разработке планирующих документов проводятся расчеты, которые должны подтвердить практическую возможность реализации мероприятий, проводимых при аварийном реагировании и определить потребность сил и средств, а также обосновать временные регламенты действий. В ходе проведения расчетов за основу берутся мероприятия, которые необходимо провести при аварийном реагировании, определяется последовательность их проведения, рассчитываются объемы работ, необходимые трудозатраты в человеко-часах и машино-часах. Исходя из этого, определяются необходимые силы и средства. Если расчеты трудозатрат и потребность сил и средств производить для отдельных реперных аварий относительно несложно с методической точки зрения, используя простые математические зависимости и справочные данные (например [17]), то многовариантность развития аварийной ситуации учесть сложно, так как здесь присутствуют элементы неопределенности процессов развития и протекания аварии, обусловленные вероятностным характером совокупности многочисленных факторов, таких как длительность и зависимость выбросов от времени, изотопный состав, высота выбросов, погодные условия в моменты выбросов и т.д.

При этом в зависимости от варианта развития событий комплекс противоаварийных мероприятий и потребность в силах и средствах может существенно отличаться.

Как показал исторический опыт, все так называемые тяжелые аварии на АЭС и аварии с выбросом радиоактивных веществ на объектах использования атомной энергии развивались при существенной неопределенности прогнозов о времени и мощности выбросов радиоактивных веществ и возможных условий распространения выбросов в окружающей среде во время выброса. При заблаговременном планировании условия распространения радиоактивных веществ в атмосфере в принципе не могут быть заранее известны.

Это приводит к тому, что поддержка принятия заблаговременных и оперативных решений по защите населения и территорий без учета неопределенности условий развития аварии оказывается недостаточно обоснованной. Кроме того, при такой неопределенности оценок уровень реагирования по защите населения и территорий может быть, как недостаточным, так и избыточным. В обоих случаях это приведет к снижению эффективности мероприятий. Это положение подтверждено реальным опытом аварийного реагирования на такие крупные аварии с радиационным фактором, как Кыштымская авария 1957 г., авария на ЧАЭС 1986 г. и АЭС Фукусима-1 2013 г. [18, 19].

Проблема распространения информации о ЧС с радиационным фактором стояла чрезвычайно остро во время аварии на АЭС Фукусима. Сегодня очевидно, что в этой области необходимы значительные изменения. Достоверная и своевременная информация о происходящем нужна как для восстановления и сохранения доверия населения к атомной отрасли, так и для принятия эффективных мер защиты населения при авариях. Вместе с тем СМИ зачастую невольно или намеренно становятся усилителем восприятия уровня риска, а не средством отражения действительных событий и пропагандистом адекватных защитных действий. Поэтому противоаварийное планирование должно предусматривать соответствующие методы коммуникации для информирования общественности и СМИ о фактических уровнях риска [20].

Надежная коммуникационная программа должна обеспечивать наличие официальных каналов связи и управления для эффективного реагирования на ЧС и предотвращения любых искажений фактов. Более того, коммуникация должна осуществляться не только при возникновении ЧС. До широкой общественности необходимо эффективно доносить информацию о каждом решении по повышению безопасности атомных электростанций, о результатах проведенных тестов и учений по аварийной готовности, данные мониторинга радиационной обстановки и др. Эта деятельность должна быть направлена на повышение доверия общественности к организациям, ответственным за управление риском ядерных установок (операторы/регулирующие органы).

Возвращаясь к проблеме противоаварийного планирования нельзя не отметить важное обстоятельство - на протяжении практически всего периода развития атомной энергетики и ядерных технологий основное внимание и основные финансовые ресурсы направлялись на усиление и увеличение надежности инженерных физических барьеров безопасности. Развитию пятого барьера безопасности – аварийному реагированию за пределами промплощадки объекта использования атомной энергии, не уделялось, и до сих пор не уделяется должного внимания и материальных ресурсов. При этом, как показал реальный опыт преодоления последствий тяжелых аварий, социально-экономический ущерб от этих аварий намного превосходит прямой ущерб непосредственно от аварии. Специалистами отмечается, что для обеспечения эффективной защиты населения и территорий при радиационных авариях с выходом радиоактивных веществ в окружающую среду необходимо повысить значимость пятого уровня глубокоэшелонированной защиты и усилить научно-техническую поддержку лиц, принимающих решения [21].

Решение этой задачи видится в развитии и внедрении методологии вероятностного анализа безопасности третьего уровня – ВАБ-3. Методология ВАБ-3 направлена на получение количественных характеристик риска для населения и территорий, что позволяет оптимизировать противоаварийные планы, материальные ресурсы, в том числе силы и средства, которые необходимо задействовать при угрозе возникновения и ликвидации последствий ЧС радиационного характера, эвакуационные мероприятия и т.д. [22].

Ниже приведены примеры результатов модельных расчетов при запроектной аварии на АЭС по методологии ВАБ-3, которые показывают ее возможности в задачах аварийного планирования и реагирования.

Для расчетов использовались оценки характеристик выброса радиоактивных веществ, сформировавших северо-западных след при аварии на АЭС «Фукусима-1» [23]. Вероятностные условия распространения примесей в атмосфере и распределение населения вокруг АЭС принимались соответствующими условиям АЭС «Фукусима-1». Расчеты проводились при вероятности аварии – 1,0. Модельные расчеты были проведены с использованием методических подходов и расчетной программы, разработанной в ИБРАЭ РАН.

В табл. 1 приведены рассмотренные модельные варианты эвакуации населения по кольцевым зонам вокруг АЭС.

Таблица 1

Варианты эвакуации населения

Вариант	Зона				
	0-5 км	5-10 км	10-20 км	20-30 км	30-50 км
Без контрмер	нет	нет	нет	нет	нет
1	да	да	да	да	да
2	да	да	да	да	нет
3	да	да	да	нет	нет
4	да	да	нет	нет	нет
5	да	нет	нет	нет	нет

На рис. 1 приведены дополнительные функции распределения случайной величины¹ коллективных эффективных доз за 10 дней $E_{p(10)}$ после начала выброса радиоактивных веществ в атмосферу при вариантах по зонам эвакуации при времени за-

¹ Дополнительная функция распределения случайной величины определяется как $1 - F(x)$, где $F(x)$ – функция распределения случайной величины.

вершения эвакуации 4 ч. нормированные на максимальную коллективную дозу при отсутствии контрмер.

На рис. 2 приведена эффективность вариантов эвакуации по критериям коллективной эффективной дозы за 10 сут после начала выброса $Ef_i = 1 - Ep_{(10)i} / Ep_{(10)0}$, где $Ep_{(10)i}$ – коллективная доза при реализации i -о варианта контрмеры (согласно табл. 1), $Ep_{(10)0}$ – коллективная доза без контрмер (Вариант 0). Ef приведены для разных величин, характеризующих вероятностное распределение $Ep_{(10)}$: Df_{AV} – математическое ожидание; $Df_{0,01}$ – величина превышаемая с вероятностью не более 0,01; $Df_{0,001}$ – величина превышаемая с вероятностью не более 0,001; Df_{MAX} – максимальная величина расчетной оценки.

При заданной характеристике вероятностного распределения $Ep_{(10)}$ из анализа данных отображаемых на рис. 1, 2 можно количественно определить наиболее эффективные варианты контрмер.

На рис. 3 приведена эффективность эвакуации в течении 4 ч после начала выброса по критериям коллективной эффективной дозы за 10 сут после начала выброса в зависимости от радиуса зоны эвакуации $Ef(r) = 1 - Ep_{(10)}(r) / Ep_{(10)0}$. Анализ данных показанных на рис. 3 позволяет сделать выводы об относительной эффективности контрмеры эвакуация в зависимости от времени по выбранным характеристикам вероятностного распределения $Ep_{(10)}$.

Результаты, представленные на рис. 1, 2, 3 демонстрируют некоторые возможности методологии ВАБ-3 по количественной оценке эффективности вариантов контрмер с учетом вероятностной природы последствий аварии. При реальном планировании может быть рассмотрено существенно большее количество вариантов контрмер по охвату территории, времени реализации и комбинации контрмер и др. для выбора оптимального варианта на основе количественных оценок их эффективности. Кроме этого кроме величины коллективной дозы в качестве критерия масштабов последствий могут быть рассмотрены характеристики загрязнения территорий радиоактивными выпадениями, а так же числа людей для которых необходимо проведение контр мер в соответствии с принятыми уровнями вмешательства.

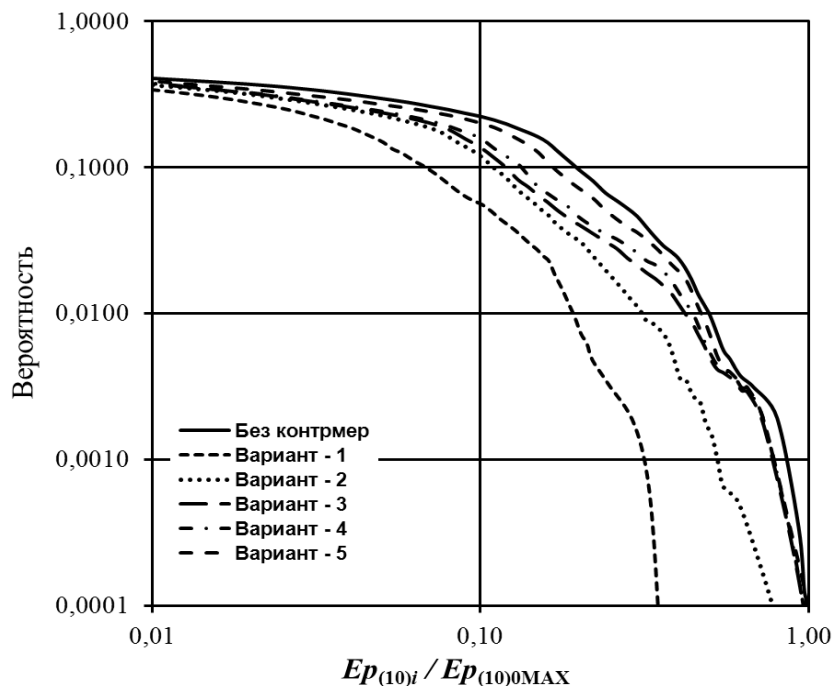


Рис. 1. Вероятностное распределение коллективных эффективных доз за 10 дней после начала выброса для вариантов эвакуации

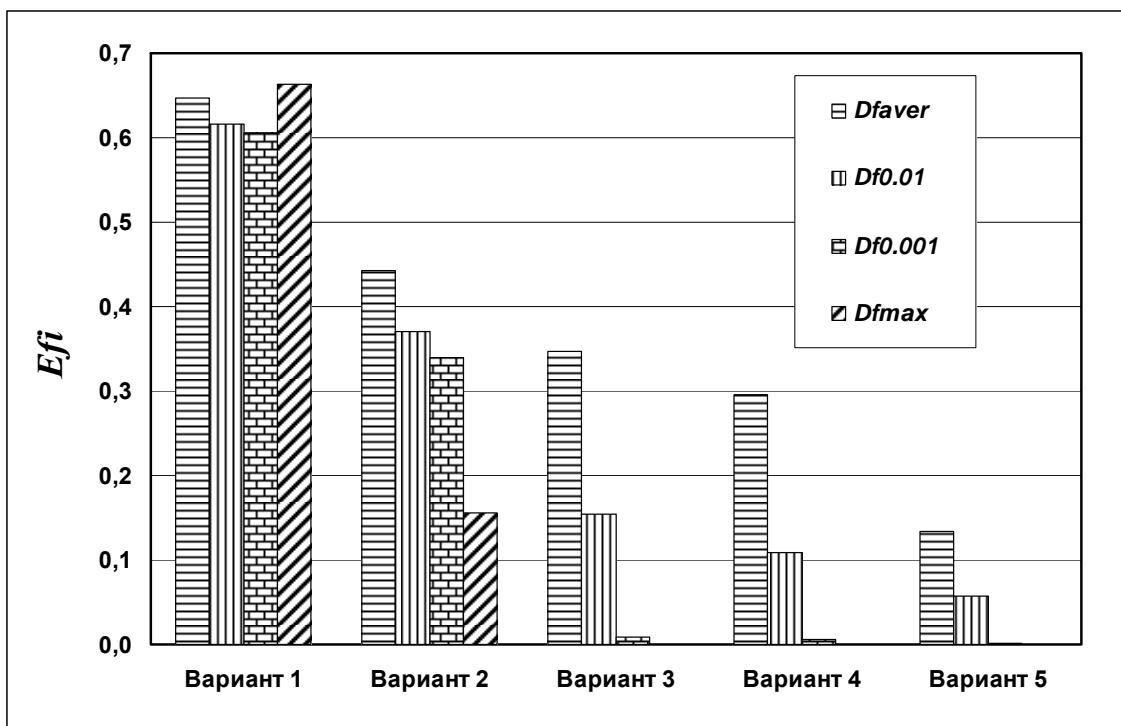


Рис. 2. Относительная эффективность вариантов эвакуации по критериям коллективной эффективной дозы за 10 суток после начала выброса

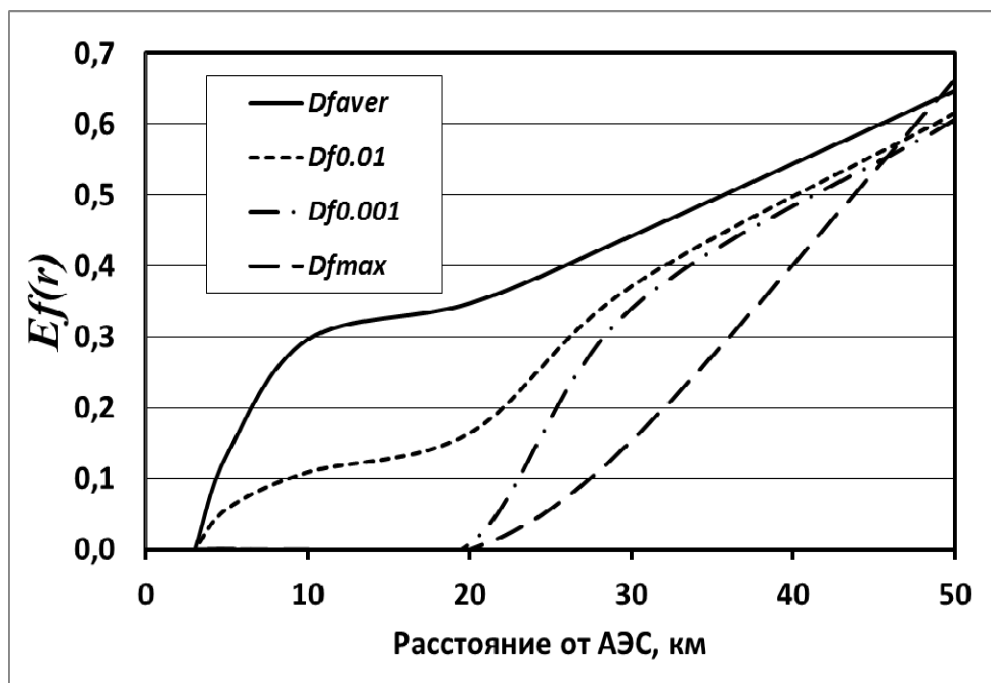


Рис. 3. Относительная эффективность эвакуации в зависимости от размера зоны эвакуации вокруг АЭС при ее завершении в течении 4 часов после начала выброса по критерию коллективной эффективной дозы за 10 сут.

Заключение

Ключевым вопросом развития ядерной энергетики является её безопасность, поэтому после аварии на АЭС Фукусима во всем мире резко ужесточены требования по безопасности АЭС. Реализация Плана действий МАГАТЭ по ядерной безопасности позволила в глобальном масштабе повысить эффективность глубокоэшелонированной защиты, нарастить потенциал в плане аварийной готовности и реагирования, обеспечить более высокий уровень защиты людей и окружающей среды от ионизирующих излучений. Адекватная оценка общественностью радиационных рисков должна обеспечиваться проведением перманентной информационной деятельности по предоставлению СМИ и населению доступной технической информации о преимуществах ядерной энергетики, особенностях радиационного воздействия и сравнение его с другими техногенными рисками.

Для уменьшения эффектов масштабирования социально-экономических последствий радиационных аварий и оптимизации решений по привлечению сил и средств проведения противоаварийных мероприятий, необходимо развивать научно-техническую поддержку принятия решений по защите населения, то есть пятый уровень глубокоэшелонированной системы защиты АЭС.

Одной из важных научных составляющих этого уровня является методология ВАБ-3, основной задачей которой является количественное определение критериев риска, непосредственно характеризующих возможные последствия аварии и вероятность их реализации для населения и территорий с учетом особенностей объекта, распределения населения и объектов инфраструктуры в местах их расположения и, что также немаловажно, повышения возможностей по быстрой реализации противоаварийных мероприятий.

Резюмируя, необходимо еще раз подчеркнуть, что повышение эффективности принятия решений, обеспечение принципа достаточности мероприятий по реагированию на ЧС радиационного характера и, как следствие многократное снижение возможных неоправданно больших затрат на предупреждение, локализацию и ликвидацию последствий ЧС радиационного характера, будет достигаться за счет усиления научно-технической поддержки, в том числе с использованием методологии ВАБ-3.

Литература

1. РБ-032-04 «Основные рекомендации по выполнению вероятностного анализа безопасности атомных станций», Ростехнадзор. - 2004.
2. NS-G-1.2 «Оценка безопасности и независимая проверка для атомных электростанций», МАГАТЭ. - 2004.
3. Арутюнян Р.В., Пантелеев В.А., Сегаль М.Д. Состояние разработки вероятностного анализа безопасности третьего уровня (ВАБ-3) для объектов использования атомной энергии. — Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2016, № 2, с. 49—57.
4. Kirchsteiger C. Current practices for risk zoning around nuclear power plants in comparison to other industry sectors, — Journal of Hazardous Materials. - 2006, т. 136, № 3, С. 392—397.
5. Авария на АЭС "Фукусима-Дайити". Доклад генерального директора, — МАГАТЭ. - 2015.
6. Conclusion of the EU Nuclear Stress Test: Comments on Results and Interpretations, — Atw-International Journal for Nuclear Power. - 2013, Т. 58, № 4, с. 239.
7. Национальный доклад Российской Федерации ко второму внеочередному совещанию договаривающихся сторон конвенции о ядерной безопасности. ФБУ «НТЦ ЯРБ», М. - 2012, 139 с.
8. Конференция МАГАТЭ по ядерной безопасности на уровне министров 20-24 июня 2011 года, Вена, Австрия. - 2011.
9. Assessment of Dose and Risk for Public from Potential Exposure Using WinMACCS and JRODOS Codes, SpringerLink. - 2018.

10. Dvorzhak A., Mora J. C., Robles B. Probabilistic risk assessment from potential exposures to the public applied for innovative nuclear installations // Reliability Engineering & System Safety. - 2016, T. 152, с. 176—186.
11. Sunarko, Su'ud Z. Probabilistic Assessment of Severe Accident Consequence in West Bangka, — 1-st International Conference on Energy Sciences (ICES); Bandung Inst Technol F. M., Nat Sci P. D., t. 877: Journal of Physics Conference Series, Bandung, INDONESIA. - 2016.
12. Peltonen T., Gering F., Arnold K., Duranova T., Bujan A., Duran J., Bohun L., Montero M., Trueba C. Emergency preparedness for long lasting releases - assessment of radiological consequences, — Radioprotection. - 2016, T. 51, № HS2, p. S79—S81.
13. Gering F., Gerich B., Arnold K., Peltonen T., Duranova T., Bujan A., Duran J., Bohun L., Montero M., Trueba C., Puijker L., Twenhofel C., de Vries H. Emergency preparedness for long lasting releases - overview and conclusions, — Radioprotection. - 2016, T. 51, № HS2, p. S63—S65.
14. Bujan A., Duranova T., Duran J., Bohun L., Gering F., Arnold K., Gerich B., Montero M., Trueba C., Peltonen T. Emergency preparedness for long lasting releases - source terms, — Radioprotection. - 2016, T. 51, № HS2, p. S67-S71.
15. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии "Общие положения обеспечения безопасности атомных станций" (НП-001-15), — Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 декабря 2015 г., № 522.
16. Управление рисками техногенных катастроф и стихийных бедствий (пособие для руководителей организаций). Монография. Под общей редакцией Фалеева М.И./ РНОАР. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). - 2016, 270 с.
17. Методические рекомендации по расчету сил и средств для ликвидации последствий радиационных аварий (МР-РС), – М.: ЦСИ МЧС России. - 2000.
18. Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и др. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры, М.: ИздАТ. - 2001, 752 с.
19. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Боровой А.А., Велихов Е.П. Системный анализ причин и последствий аварии на АЭС Фукусима-1, — ИБРАЭ РАН. М. - 2018, 408 с.
20. Pineda-Solano A. L., Carreto-Vazquez V. H., Mannan M. S. The Fukushima Daiichi Accident and its Impact on Risk Perception and Risk Communication // Lp2013 - 14th Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Vols I and II. - 2013, T. 31, с. 517—522.
21. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Линге И.И. и др. Уроки Чернобыля и Фукусимы: Актуальные проблемы совершенствования системы защиты населения и территорий при авариях на АЭС. — Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2016, Том 61, № 3, с. 36—51.
22. Арутюнян Р.В., Пантелеев В.А., Сегаль М.Д., Чернов С.Ю. О значимости разработки методологического аппарата вероятностного анализа безопасности третьего уровня (ВАБ-3) для объектов использования атомной энергии. — Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2015, № 2, с. 91—99.
23. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Припачкин Д.А. и др. Оценка выброса радионуклидов при аварии на АЭС «Фукусима-1» (Япония) 15 марта 2011. — Атомная энергия, т. 112, вып. 3, 2012, с. 159—163.

Сведения об авторах

Пантелеев Владимир Александрович — старший научный сотрудник Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЭ РАН), (495) 955 22 14, e-mail: pant@ibrae.ac.ru

Сегаль Михаил Давыдович — ведущий научный сотрудник ИБРАЭ РАН, (495) 955 22 14, e-mail: nag@ibrae.ac.ru;

Симонов Александр Васильевич — заведующий отделом ИБРАЭ РАН, тел. (495) 955 23 37, e-mail: sim@ibrae.ac.ru