**Е. В. Попов¹, В. А. Пантелеев¹, М. Д. Сегаль¹, С. Л. Гаврилов¹,
В. А. Седнев², И. А. Лысенко²**

¹Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН,

²Академия ГПС МЧС России; e-mail: pant@ibrae.ac.ru)

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ РАДИАЦИОННОГО ХАРАКТЕРА

Приводится краткий обзор ряда информационно-моделирующих систем поддержки принятия решений, которые созданы и применяются в области реагирования на чрезвычайные ситуации радиационного характера. Приводятся некоторые проблемные вопросы и рассматривается возможность применения методов вероятностного анализа безопасности третьего уровня объектов использования атомной энергии (ВАБ-3 ОИАЭ) по принятию решений при радиационных авариях в целях защиты населения и окружающей среды.

Ключевые слова: информационно-моделирующие системы, безопасность, радиационная авария, радиоактивные вещества, чрезвычайная ситуация, вероятностный анализ безопасности.

Развитие *автоматизированных систем управления (АСУ)*, обеспечивающих эффективное реагирование на аварийные ситуации на *атомных электростанциях (АЭС)*, повлекло за собой создание *систем поддержки принятия решений (СППР)*, которые, являясь неотъемлемым элементом подобных АСУ, должны подчас в сложных условиях быстро меняющейся аварийной обстановки обеспечивать принятие правильного и своевременного решения на проведение мероприятий по аварийному реагированию. Эти решения должны быть адекватны существующему характеру угроз и не приводить к чрезмерным объёмам проводимых мероприятий и, как следствие, к ущербу, размер которого может быть значительно больше размера ущерба от аварии при верно принятом решении на реагирование.

При создании подобных СППР в их составе одним из функциональных блоков нередко применяют информационно-моделирующие системы. Своё применение СППР, использующие информационное моделирование, по праву находят и в области обеспечения безопасности населения при *чрезвычайных ситуациях (ЧС)* техногенного и природного характера.

Для анализа и выработки предложений для принятия решений по аварийному реагированию в СППР могут использоваться различные методы. К числу таких методов относятся: информационный поиск и интеллектуальный анализ данных; поиск знаний во внешних и внутренних базах данных; имитационное и когнитивное моделирование; эволюционные вычисления и генетические алгоритмы; ситуационный анализ и применение нейронных сетей; рассуждение на основе прецедентов. Если в основе работы СППР лежит информационно-моделирующие методы, то такие системы называются информационно-моделирующими системами поддержки принятия решений.

Для того, чтобы успешно осуществлять научно-техническую поддержку принятия решений, позволяющих обеспечивать защиту населения и территорий в случае возникновения ЧС радиационного характера, разработан и получил дальнейшее развитие комплекс программно-технических средств, включающий в себя информационную составляющую.

Данная важная для комплекса компонента включает в себя целый перечень баз данных. К числу таких баз относятся: базы данных по характеристикам территорий на которых располагаются **ядерно и радиационно опасные объекты (ЯРОО)**, в том числе, по транспортной и коммуникационной инфраструктуре на данных территориях, по населению, проживающему на данных территориях, по отдельным объектам окружающей среды; базы данных по основным характеристикам ЯРОО; базы данных по вероятным сценариям радиологических и радиационных аварий на этих территориях; базы данных по технической, правовой и нормативной документации. Кроме баз данных, программное обеспечение комплекса содержит банк электронных карт.

Оценка и прогнозирование чрезвычайных ситуаций радиационного характера производится с использованием программно-аппаратных средств, в которых реализованы модели процессов, отражающих распространение радиоактивных веществ в окружающей среде. Кроме того, оценка и прогнозирование подобных ЧС производится на основе результатов расчёта доз внутреннего и внешнего облучения персонала ЯРОО и населения, находящегося в районе ЧС. Созданные подобные программные средства широко используют современные ГИС-технологии, обеспечивающие широкие возможности для быстрого, наглядного и удобного конечным пользователям предоставления полученных результатов оценки и прогнозирования ЧС.

Анализ в области использования СППР для обеспечения безопасности в сфере применения человеком атомной энергии позволил выделить по группам ряд систем и сформулировать их некоторые особенности. СППР для реагирования на радиационные аварии существуют на всех АЭС. За рубежом подобные системы используются давно. Как правило, такая система разработана индивидуально для конкретной АЭС либо модифицирована под неё с учётом особенностей. К таким зарубежным системам можно отнести: ARAC (Atmospheric Release Advisory Capability), Модель II ASSA, систему MEPAS и др. [1]

NARAC (National Atmospheric Release Advisory Center – Национальный консультативный центр по атмосферным выбросам (США)) может моделировать процессы различных сценариев ЧС, в том числе: пожаров, промышленных и транспортных аварий, взрывов с **химически опасными веществами (ХОВ)** и **радиоактивными веществами (РВ)**, разливов ХОВ, аварий на АЭС и др. При выполнении прогнозов NARAC сотрудничает с правительственными учреждениями и научными лабораториями. **Программные средства (ПС)** NARAC включают в себя автономные инструменты моделирования ситуаций локального масштаба для персональных компьютеров конечных пользователей. Кроме того, они включают программное обеспечение, которое обеспечивает доступ к передовым инструментам моделирования и экспертным анализам

из данного Национального центра в LLNL [2]. Первоначальные автоматизированные 3D-прогнозы ЧС и предварительные рекомендации по действиям для аварийно-спасательных служб, а также информация для поддержки принятия решений руководителями могут быть получены уже через 10 мин. Через непродолжительное время могут последовать качественные уточнённые прогнозы, которые будут выполнены дежурными сотрудниками центра. Эти модельные прогнозы включают в себя трёхмерные пространственные и временные характеристики и параметры погодных условий, местности и объектов инфраструктуры территорий локального, регионального и глобального масштаба. Обмен метеоданными и прогнозами по состоянию океанов и атмосферы в режиме реального времени могут передаваться по резервным каналам связи, в том числе, и от силовых структур США. Кроме этого, такие прогнозы и метеоданные могут быть смоделированы с применением собственной прогностической модели. Для отображения прогнозов развития ЧС с затронутым ею количеством населения и подробными картами NARAC применяет достаточно простую в использовании *геоинформационную систему (ГИС)*. Сбор данных и передача информации производится с использованием различных способов связи, включая проводные, беспроводные и спутниковые сети.

WSPEEDI (Worldwide Version of System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information – Всемирная версия системы для прогнозирования экологической информации о чрезвычайных дозах (Япония)). Система прогнозирования последствий выброса РВ при аварийных ситуациях на АЭС была разработана Японским научно-исследовательским институтом атомной энергии. В основе модели воздушных потоков заложен принцип модели лагранжевых частиц. Рассеивание газа строится на принципах простой формулы скорости осаждения частиц. При прогнозировании метеоусловий используются статистические данные, которые получаются в результате длительного наблюдения за погодными условиями в рассматриваемых регионах. В системе WSPEEDI прогнозируемая доза облучения для персонала и населения оценивается с учётом характеристик и состояния ядерного источника энергии, продолжительности и величины выброса РВ, данных, полученных в результате радиационного мониторинга, метеоданных, прогноза скорости распространения выброса и т.д. [3]. Система WSPEEDI применяется как для исследовательских целей, так и для прогноза и анализа последствий в случае радиационных аварий и ядерных испытаний. Полученные WSPEEDI результаты предоставляются для реагирования и помощи в Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ).

RODOS (Realtime Online Decision Support System – Европейская система поддержки принятия решений в случае радиационных аварий) является СППР, функционирующей в режиме реального времени. Проект "RODOS" был начат в 1989 г. и расширялся в рамках 3-й, 4-й и 5-й программ Европейской комиссии. В данном проекте принимали непосредственное участие институты из двадцати стран Европейского союза, Восточной и Центральной Европы, а также республик СССР. В итоге плодотворных совместных усилий была создана комплексная СППР RODOS. В настоящее время данная система активно применяется в Европе.

Данная СППР обеспечивает согласованную поддержку принятия решений на всех этапах радиационной аварии. Она функционирует в национальных и региональных центрах ядерной аварийной ситуации. RODOS позволяет поддерживать принятие решений по введению широкого спектра мероприятий по реагированию на ЧС, таких как применение медицинских средств противорадиационной защиты, действия по укрытию и эвакуации населения, введение ограничений на распространение и потребление продуктов питания и сельскохозяйственной продукции, отселение, проведение дезактивации персонала и населения и т.д.

Система RODOS может применяться при выбросах РВ в атмосферу и в водную среду. Она позволяет обрабатывать большие объёмы разнородной информации, такие как метеоданные, данные по радиологии, экономические данные. Эта система включает в себя диагностическую модель ветрового поля (WFM). Структурно СППР RODOS состоит из 2-х подсистем. Первая подсистема обеспечивает анализ и оценку чрезвычайной ситуации, а вторая система обеспечивает обоснование и выбор эффективных мероприятий, направленных на реагирование на ЧС радиационного характера [4].

Система поддержки принятия решений для управления чрезвычайными ситуациями *ARGOS* (Дания, Канада и другие страны) используется для оценки последствий и поддержки принятия решений после ядерной, радиационной или химической опасности. Система ARGOS находится в эксплуатации или вводится в эксплуатацию в 8 европейских странах, а также в Канаде, Бразилии и Австралии. С момента выпуска из первоначальной версии система превратилась из простого приложения для представления данных в сложную платформу, которая объединяет данные радиологического мониторинга, модели рассеивания атмосферы и расчёт доз в пищевой цепи и городской среде [5]. В 2008 г. были завершены ряд крупных шагов по переводу ARGOS из радиологической системы в систему полного химического и биологического потенциала.

Проведённый анализ широкого спектра экспертных систем для поддержки принятия решений при ЧС показал, что в силу ряда причин отсутствует универсальная экспертная система в отношении ЧС радиационного характера. Отечественные экспертные системы и специализированные программные продукты, которые могут быть задействованы в системе реагирования на аварийные ситуации радиационного характера, имеют большой и разнообразный перечень от СППР при ЧС техногенного характера до специализированного программного обеспечения, ориентированного на решение конкретных специфических задач, зависящих от характера радиационной аварии. Причиной этому могут служить значительные различия в характере радиационных аварий по возможным масштабам, характеру выброса РВ, сложностям и особенностям протекающих физических процессов, масштабу и характеру последствий, а также невысокая вероятность возникновения подобной ЧС. Хотя эта вероят-

ность не должна снизить ответственное отношение к вопросам радиационного реагирования, так как масштабы возможных последствий подобных аварии при неправильном реагировании могут привести к очень значительному неоправданному ущербу и длительным негативным последствиям.

Комплекс прогнозирования ЧС "**Прогноз ЧС**", входящий в виде прикладной задачи в состав ГИС "Панорама" предназначен для выполнения автоматизированного прогнозного моделирования и оценки потенциальных последствий при возникновении ЧС, в том числе, при возникновении ЧС на **радиационно опасном объекте (РОО)**. С использованием "**Прогноз ЧС**" можно выполнять расчёты параметров поражающих факторов в результате ЧС на РОО и осуществлять построение вероятной зоны загрязнения РВ. Эта зона отражается на карте обстановки района ЧС условными обозначениями, принятыми в МЧС России. При проведении расчётов используются данные по погодным условиям, которые дополнительно могут быть введены оператором, проводящим расчёты [6].

В качестве яркого примера экспертной системы в области аварийного реагирования можно привести систему "**НОСТРАДАМУС**" (Система прогнозирования и анализа радиационной обстановки на ранней стадии аварии на АЭС). Данная система получила широкое применение в территориальных автоматизированных системах контроля радиационной обстановки (АСКРО). В системе "**НОСТРАДАМУС**" применяется лагранжева траекторная модель атмосферного переноса. В такой модели выброс РВ представлен в виде очень большого числа пробных точек. Каждая из этих точек движется со скоростью ветра в месте, где находится. Кроме того, каждая точка дополнительно испытывает случайные смещения, которые моделируются в соответствии с турбулентным рассеянием в атмосфере [7].

Возможности такой лагранжевой модели, в отличие от стандартных гауссовых методик, обеспечивают моделирование процесса переноса радиоактивных веществ до 100 км от места выброса. Так же возможности модели могут учитывать трёхмерную неоднородность ветрового поля, которая лежит в пределах атмосферного пограничного слоя. Кроме этого, они позволяют рассматривать источник выброса РВ произвольной конфигурации и формы, учитывать изменение параметров источника и метеорологических условий с течением времени, определять влияние подстилающей поверхности местности на процесс рассеивания, производить в ходе моделирования учёт дисперсного состава аэрозольных частиц, определять влияние осадков с интенсивностью, которая зависит от времени и координат.

Система "**НОСТРАДАМУС**" может быть использована для оценки рассеивания в атмосфере не только РВ, но и других веществ, таких как окислы азота, серы и других техногенных загрязняющих атмосферу веществ.

Существует целый ряд экспертных систем, направленных на решение отдельных специфических задач, которые можно рассматривать как специализированное программное обеспечение для прогнозирования, оценки обстановки и поддержки принятия решений при ЧС радиационного характера.

Компьютерная система оценки распространения радиоактивных загрязнений в морских течениях "**НЕПТУН**" создана для обеспечения проведения анализа безопасности ЯРОО, которые располагаются в районах базирования и утилизации атомных подводных лодок. Одной из особенностей этой системы является то, что используемая в ней модель учитывает характерные особенности рассеивания радиоактивной примеси в морской воде и переменчивость морских течений. Изменчивость морских течений может иметь краткосрочный характер, что частично связано с воздушными потоками над морской поверхностью, и она должна учитываться в процессе распространения загрязнений [8].

Компьютерная система прогнозирования радионуклидного загрязнения водоёмов "**КАССАНДРА**" предназначена для моделирования распространения и накопления радионуклидов в воде и донных отложениях рек и водоёмов, а также для расчёта и прогнозирования доз облучения населения. Она позволяет прогнозировать загрязнение воды и донных отложений в реках и водоемах, как в условиях нормальной эксплуатации АЭС, так и при возникновении радиационных аварий с различными сценариями их протекания. Также она позволяет рассчитывать дозы облучения населения от водопользования, отображать результаты расчёта в виде таблиц, графиков, а также на электронной карте с применением современных ГИС-технологий, хранить необходимые для расчётов данные о водных объектах и местном населении [9].

В Программный прогностический модуль "**TRACE**" входит расчётный модуль "**VOYAGE+**", который создан на основе атмосферной модели, предназначенной для расчёта распространения залповых выбросов РВ в атмосфере и для оценки воздействия таких выбросов РВ на население и окружающую среду [10].

Методика, используемая в прогностическом модуле "**TRACE**", позволяет рассчитывать дозы облучения людей в условиях нормальной эксплуатации объектов атомной энергетики и при радиационной аварии в случае выброса радиоактивных веществ. В прогностическом модуле "**TRACE**" содержится база данных по радионуклидам. Она представляет собой базу данных по дозовым коэффициентам, которые учитывают пути воздействия на конкретный человеческий орган для каждого из этих радионуклидов. Указанная база данных совместима с базой данных, которая применяется в комплексе "**НОСТРАДАМУС**".

Прогностический модуль "**TRACE-MI**" предназначен для экспресс-анализа *радиационной обстановки (РО)* в результате аварийного выброса РВ в атмосферу. Он позволяет провести экспресс-оценку возможных доз для персонала предприятия и населения, а также создать тематические карты РО для поддержки принятия решений по реагированию на аварийную ситуацию и обеспечить подготовку различных отчётных документов по установленным формам.

Пакет прикладных программ "**ДИАНА 2.0**" создан для оперативной оценки и прогнозирования РО на территориях, которые подверглись радиоактивному загрязнению. Данный пакет программ обеспечивает расчёт мощности эффективной дозы и мощности эквивалентных доз в девяти основных органах

и тканях человека, который находится на открытой местности, на произвольный момент времени и с учётом естественного радиационного фона. Применяемые в программах произвольный радионуклидный состав выпадений РВ и различные модели заглупления источника излучения в почве, дают возможность оперативно смоделировать реальные условия облучения. Данный пакет программ также позволяет проводить расчёты с учётом возраста и пола человека [11]. В "ДИАНА 2.0" в основе алгоритма расчёта использован метод хорд. Данный метод позволяет приближенно производить расчёт характеристик поля фотонного излучения в антропоморфном гетерогенном фантоме тела человека.

Геоинформационная система мониторинга параметров и анализа распространения опасных веществ в окружающей среде "**ГИСМАР**" предназначена для обеспечения оперативного контроля радиационных (химических, метеорологических) параметров на контролируемой территории, экспресс-оценки возможного загрязнения окружающей среды при выбросах в атмосферу РВ или ХОВ, представления необходимой для аварийного реагирования справочной информации [12]. Программное приложение "Автоматизированное рабочее место эксперта", которое входит в ГИСМАР, обеспечивает поддержку функционирования экспертов кризисных центров территориальных и функциональных подсистем РСЧС как на объектовом, так и на федеральном уровнях. Приложение также позволяет осуществлять оперативный обмен данными и результатами расчётов между экспертами различных кризисных центров в целях совместной подготовки рекомендаций по мерам защиты населения в случае радиационной аварии или аварии с выходом ХОВ в окружающую среду. Также это приложение обеспечивает экспресс-оценку РО и расчёт дозовых нагрузок на население при радиационных авариях на ЯРОО, а также при перевозке ядерно- и радиационно-опасных грузов. Для проведения расчётов используется модуль, в котором реализована модель атмосферного переноса Гаусса. ГИСМАР так же позволяет оценивать распространение ХОВ в атмосфере при авариях на химически опасных объектах и при перевозке химически опасных грузов, обмениваться результатами расчёта и исходными данными для расчёта между экспертами различных кризисных центров, предоставлять оперативные данные параметров радиационного, химического, метеорологического мониторинга и результаты прогноза развития аварийной ситуации на картах.

Компьютерная система "**RECASS**" создана для поддержки принятия решений в задачах радиоэкологического анализа и прогностических оценок радиоактивного загрязнения окружающей среды в случае радиационной аварии. В основе данной системы, которая построена по модульному принципу, лежат модули STAMP и RIMPUFF. В модуле STAMP реализована модель атмосферной диффузии и расчёта доз облучения по стандартным методикам. А в модуле RIMPUFF реализована мезомасштабная модель атмосферной диффузии, которая разработана в национальной лаборатории RISO (Дания). Данная модель атмосферной диффузии предназначена для прогноза распространения загрязненной примеси при выбросах РВ от одного или нескольких источников переменной мощности.

Программное средство "*SULTAN*" разработано для оперативного прогнозирования РО за пределами АЭС в случае радиационной аварии на ней в целях обоснования решений о проведении незамедлительных защитных действий в условиях минимальных исходных данных о выбросе и метеоусловиях [13]. ПС "*SULTAN*" позволяет определить ожидаемую поглощенную дозу на щитовидную железу за счёт вдыхания радиоизотопов йода для различных возрастных групп населения и персонала, которые могут находиться на территории промплощадки и в санитарной защитной зоне объекта; прогнозируемую дозу внешнего облучения человека от проходящего радиоактивного облака, временную зависимость мощности дозы внешнего излучения от выпадений РВ на местности, дозу внешнего облучения человека от выпадений РВ на местности в зависимости от времени, которое прошло с момента выброса РВ, площадные и линейные характеристики областей на местности, нахождение человека на которых потребует принятия экстренных мер защиты, в зависимости от соответствующих уровней вмешательства.

Программное средство "*ДОЗА*" используется для расчёта доз облучения населения при радиационных авариях на АЭС с выбросом РВ в окружающую атмосферу.

Данное программное средство позволяет рассчитать дозы внешнего облучения от радионуклидов, которые находятся в радиоактивном облаке и на поверхности земли и внутреннего облучения от радионуклидов, которые попадают в организм человека с вдыхаемым воздухом, а также при употреблении продуктов питания. При создании ПС "*ДОЗА*" была использована методика, позволяющая проводить: расчёты распространения РВ в окружающей среде, для выполнения которых используются модели статистической гауссовой теории атмосферной диффузии, а также классификации категорий устойчивости атмосферы при некотором допущении, что подстилающая поверхность земли считается плоскостью с различными типами шероховатости; расчёт доз внешнего облучения человека от радиоактивного облака и поверхности земли; расчёт доз внутреннего облучения человека при употреблении продуктов питания и при дыхании, основанный на использовании коэффициентов перехода по пищевым цепочкам; базы данных по дозовым коэффициентам.

"3D динамическая модель атмосферного переноса загрязняющей примеси в городских условиях" была разработана в результате работ по проблемам, связанным с оценкой, предупреждением и уменьшением прямых, а также косвенных потерь в ситуациях, связанных с радиологическим терроризмом.

В данной динамической модели с использованием современных ГИС-технологий и систем автоматизированного проектирования реализованы подходы и технологии трёхмерного моделирования промплощадок и сооружений ЯРОО и районов городской застройки для задач планирования и управления аварийными ситуациями радиационного характера. Кроме того, в данном программном обеспечении реализована модель, описывающая процессы, происходящие при рассеянии РВ в населённом пункте и, в первую очередь, в городе при умышленной акции распыления радиоактивных веществ [14].

Проведенный анализ экспертных систем, применяемых в области реагирования на ЧС радиационного характера, позволил определить ряд особенностей и проблемных вопросов, ориентированных на применение методов, реализация которых обеспечивала бы развитие в рассмотренной области в целях совершенствования систем защиты населения и территорий.

Одним из проблемных вопросов является сложность получения оперативных прогнозов развития ЧС и многовариантных прогнозов результатов реагирования на данную ЧС в зависимости от принимаемых мер в условиях ограниченного времени. В связи с этим, зачастую на начальном этапе затруднён выбор наиболее рационального варианта решения по реагированию на ЧС радиационного характера. В подобных ситуациях для принятия эффективных решений необходимо привлечение высококвалифицированных специалистов узкого профиля, что не всегда выполнимо в условиях дефицита времени. Это определяет необходимость создания в данной сфере широкого ряда экспертных систем для поддержки принятия решений в ходе аварийного реагирования, направленных на решение специфических задач.

Наряду с этим, проведенный анализ аварий с радиационным фактором показал, что аварии, как правило, развиваются при существенной неопределённости прогнозов времени начала выброса РВ, мощности выбросов РВ и возможных условий распространения этих выбросов в окружающей среде.

Поддержка принятия решений на проведение противоаварийных мероприятий, в том числе, по защите населения без учёта неопределенности условий развития аварии оказывается недостаточно обоснованной, соответственно, объём проводимых мероприятий по защите населения и территорий может быть недостаточным или избыточным. В обоих случаях это приводит к снижению эффективности проводимых мероприятий, излишнему ущербу и материальным затратам.

Особенно важна научно-техническая поддержка принятия решений в начальный период радиационной аварии. Этот период характеризуется наибольшей неопределенностью прогнозов последствий аварии по сравнению с более поздними её стадиями. И именно в начальный период аварии своевременное проведение обоснованных мероприятий по защите населения будет иметь наибольшую эффективность.

Исходя из этого, для уменьшения эффекта масштабирования последствий радиационных аварий и оптимизации решений по привлечению сил и средств для проведения противоаварийных мероприятий, необходимо развивать научно-техническую поддержку принятия решений по защите территорий и населения, в том числе, методологию вероятностного анализа безопасности третьего уровня (ВАБ-3), основной задачей которой является количественное определение критериев риска, непосредственно характеризующих возможные последствия аварии для населения и территорий и вероятность их реализации с учётом особенностей объекта, распределения населения и объектов инфраструктуры в местах их расположения и, что также немаловажно, повышения возможностей по быстрой реализации противоаварийных мероприятий. При этом инструментом в такой научно-технической поддержке может стать соответствующая экспертная система, основанная на анализе риска.

Необходимо отметить, что на сегодняшний день отсутствуют комплексные *информационно-моделирующие системы поддержки принятия решений, (ИМСППР)*, которые учитывали бы сложный междисциплинарный характер задачи и охватывали всё многообразие процессов и явлений, способствующих повышению защиты населения от радиационных аварий для задач заблаговременного планирования аварийного реагирования. Существующие информационно-моделирующие системы ориентированы, прежде всего, на решение оперативных задач при возникновении ЧС или анализу ограниченного перечня типовых ЧС

В настоящее время начаты работы по созданию концепции такой системы, определению перечня вовлеченных дисциплин, включая важнейшие вопросы, не нашедшие своего отражения в разработанных системах, как оптимизация сил и средств, коммуникация между объектами использования атомной энергии, средствами массовой информации, общественностью и населением, проблемы приемлемого риска и так далее.

Проведение этих работ предполагает разработку моделей, методик, алгоритмов и комплексов программных средств для анализа опасностей, оценки риска и прогнозирования последствий аварий на *объектах использования атомной энергии (ОИАЭ)*. Целью является создание алгоритмов анализа, оценки и выдачи рекомендаций лицам, принимающим решения по вопросам планирования размещения ОИАЭ, аварийному планированию и аварийному реагированию в случае возникновения ЧС на ОИАЭ.

Основная трудность здесь связана с необходимостью построения сложного обобщенного критерия (функции полезности). Такой критерий должен синтезировать по многим показателям качества рассматриваемые альтернативные целевые функции задачи и выражать собой степень достижения конечной цели.

Важным результатом проведенного анализа является то, что лица, которые принимают решения по аварийному реагированию, должны быть ориентированы не на формальное решение стоящих перед ними проблем, а прежде всего, на защиту общечеловеческих ценностей – жизни, здоровья, безопасных условий проживания и др.

Сущность такого подхода заключается в применении не только формального экономического расчёта затрат и получаемой экономии средств, но также в учёте влияния на достижение цели неформальных факторов, которые могут иметь решающее значение.

Методология принятия решений по реагированию на ЧС радиационного характера должна быть направлена на предотвращение технократических иллюзий.

Важнейшее место при создании ИМСППР отводится методологии вероятностного анализа безопасности 3-го уровня (ВАБ-3), которая позволяет получать количественные критерии риска при угрозе возникновения или возникновении ЧС радиационного характера, что даёт реальную возможность принимать оптимальные, научно обоснованные решения по защите населения и территорий [15].

Литература

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности с учётом риска возникновения природных и техногенных катастроф. М.: МГФ "Знание", 1999. 672 с.
2. John S. Nasstrom, Gayle Sugiyama, Ronald L. Baskett, Shawn C. Larsen, Michael M. Bradley. The National Atmospheric Release Advisory Center (NARAC) Modeling and Decision Support System for Radiological and Nuclear Emergency Preparedness and Response // Int. J. Emergency Management. 2007. Vol. 4. No. 3. 32 p.
3. Chino M., Ishikawa H., Yamazawa H. SPEEDI and WSPEEDI: Japanese emergency response systems to predict radiological impacts in local and workplace areas due to a nuclear accident // Radiation protection and dosimetry. 1993. Vol. 50. No. 1-2. Pp. 145-152.
4. Raskob W., Ehrhardt J. The RODOS System: decision support for nuclear off-site emergency management in Europe // Radiation Protection Dosimetry. 1997. Vol. 73. No. 1. Pp. 35-40. DOI: 10.1093/oxfordjournals.rpd.a032160.
5. Hoe S., McGinnity P., Charnock T., Gering F., Schou Jacobsen L. H., Havskov Sorensen J., Astrup P. ARGOS Decision Support System for Emergency Management // In Proceedings (online) Argentine Radiation Protection Society. 2009. 11 p. http://orbit.dtu.dk/files/3924948/Hoe_paper.pdf.
6. Геоинформационная система "Карта 2005. Версия 12" (ГИС "Панорама х64"). Прикладные задачи. Прогноз чрезвычайных ситуаций. ПАРБ.00046-03 98 13.
7. НОСТАДАМУС. Компьютерная система прогнозирования и анализа радиационной обстановки на ранней стадии аварии на АЭС. М.: ИБРАЭ РАН, 2001.
8. Программный комплекс "Нептун" для моделирования распространения радионуклидов в морской (океанической среде). <http://www.ibrae.ac.ru/contents/953/>
9. Крылов А. Л., Носов А. В., Киселев В. П., Жилина Н. И., Казаков С. В. Компьютерное моделирование последствий поступления радиоактивных веществ в поверхностные водоёмы // Известия РАН. Энергетика. 2004. № 3. С. 74-81.
10. Программное средство TRACE. <http://www.ibrae.ac.ru/contents/951/>
11. Программно-технический комплекс ТКЦ ИБРАЭ РАН. Компьютерные системы оценки доз внутреннего и внешнего излучения. Модели "Диана и Поле". 27 с. http://www.ibrae.ac.ru/docs/ТКС/tkcrus_sq.pdf.
12. Акимова И. Г., Антоний Е. В., Кириллина И. Е., Ларин А. П., Меркушов В. П., Огарь П. В., Степанова П. В., Финкельштейн П. М. Геоинформационная система мониторинга параметров и анализа распространения опасных веществ в окружающей среде // Труды ИБРАЭ РАН. Вып. 15: Развитие систем аварийного реагирования и радиационного мониторинга. 2013. С. 191-207.
13. Программное средство "SULTAN" оперативного прогнозирования радиационной обстановки за пределами станции в случае аварии на АЭС. М.: Росэнергоатом, 2000.
14. Отчёт о деятельности РАН в 2007 году. Основные результаты исследований РАН, готовые к практическому применению. М., 2008. 26 с.
15. Арутюнян Р. В., Пантелеев В. А., Сегаль М. Д., Панченко С. В. Вероятностный анализ безопасности третьего уровня ВАБ-3 как этап повышения безопасности АЭС // Атомная энергия. Т. 123. № 6. 2017. С. 344-349.

Материал поступил в редакцию 9 октября 2018 г.

Для цитирования: Попов Е. В., Пантелеев В. А., Сегаль М. Д., Гаврилов С. Л., Седнев В. А., Лысенко И. А. Анализ информационно-моделирующих систем поддержки принятия решений при реагировании на чрезвычайные ситуации радиационного характера // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 2 (84). – 2019. – С. 119-131. DOI: 10.25257/TTS.2019.2.84.119-131.

*E. V. Popov, V. A. Panteleev, M. D. Segal, S. L. Gavrilov,
V. A. Sednev, I. A. Lysenko*

ANALYSIS OF INFORMATION AND MODELING SYSTEMS TO SUPPORT DECISION-MAKING IN RESPONDING TO RADIATION EMERGENCIES

A brief overview of a number of information and modeling decision support systems that are created and used in the field of response to radiation emergencies is given. The review presents foreign and domestic decision support systems. Narac (National Atmospheric Release Advisory Center), WSPEEDI (Worldwide Version of System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information), RODOS (Realtime Online Decision Support System) are considered as examples of foreign systems. The features of these systems and their functionality are briefly considered. The review analysis of domestic systems, which allow modeling the processes occurring at radiation accidents for different conditions and for different environments, is given. Reviewed: "the Complex of forecasting of emergency situations, Forecast of emergencies, System forecasting and analysis of the radiation situation at the NPP NOSTRADAMUS", "computerized system for assessment of radioactive contamination in the marine currents NEPTUNE", "Computer system for prediction of radionuclide contamination of water reservoirs CASSANDRA", "Prognostic module TRACE-MI" and other systems.

According to the results of the analysis in the field problematic issues were identified. One of the problematic issues is that it is difficult to choose the most rational solution for responding to a radiation emergency at the initial stage of a radiation accident. This necessitates the establishment, use and improvement of various decision support systems. Such systems should be task-oriented and consider different conditions. The possibility of application of methods of probabilistic safety analysis of the third level of objects of use of atomic energy on decision-making at radiation accidents for the purpose of protection of the population and environment is considered.

Key words: information modeling systems, safety, radiation accident, radioactive substances, emergency situation, probabilistic safety analysis.

References

1. *Bezopasnost' Rossii. Pravovye, social'no-ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Regional'nye problemy bezopasnosti s uchytom riska vozniknoveniya prirodnyh i tekhnogennyh katastrof* [Safety of Russia. Legal, socio-economic and scientific and technical aspects. Regional security problems, taking into account the risk of natural and man-made disasters]. Moscow, MGF "Znanie" Publ., 1999, 672 p.
2. John S. Nasstrom, Gayle Sugiyama, Ronald L. Baskett, Shawn C. Larsen, Michael M. Bradley. The National Atmospheric Release Advisory Center (NARAC) Modeling and Decision Support System for Radiological and Nuclear Emergency Preparedness and Response. *Int. J. Emergency Management*, 2007, vol. 4, no. 3, 32 p.
3. Chino M., Ishikawa H., Yamazawa H. SPEEDI and WSPEEDI: Japanese emergency response systems to predict radiological impacts in local and workplace areas due to a nuclear accident. *Radiation protection and dosimetry*, 1993, vol. 50, no. 1-2, pp. 145-152.
4. Raskob W., Ehrhardt J. The RODOS System: decision support for nuclear off-site emergency management in Europe. *Radiation Protection Dosimetry*, 1997, vol. 73, no. 1, pp. 35-40. DOI: 10.1093/oxfordjournals.rpd.a032160.
5. Hoe S., McGinnity P., Charnock T., Gering F., Schou Jacobsen L. H., Havskov Sorensen J., Astrup P. ARGOS Decision Support System for Emergency Management. *In Proceedings (online) Argentine Radiation Protection Society*, 2009, 11 p. Available at: http://orbit.dtu.dk/files/3924948/Hoe_paper.pdf.

6. *Geoinformacionnaya sistema "Karta 2005. Versiya 12" (GIS "Panorama h64"). Prikladnye zadachi. Prognoz chrezvychajnyh situacij. PARB.00046-03 98 13* [Geographic information system "Map 2005. Version 12" (GIS "Panorama x64"). Applied tasks. Forecast emergencies. PARB.00046-03 98 13].

7. *NOSTADAMUS. Komp'yuternaya sistema prognozirovaniya i analiza radiacionnoj obstanovki na rannej stadii avarii na AES* [NOSTADAMUS. A computer system for forecasting and analyzing the radiation situation at an early stage of an accident at a nuclear power plant]. Moscow, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, 2001.

8. *Programmnyj kompleks "Neptun" dlya modelirovaniya rasprostraneniya radionuklidov v morskoy (okeanicheskoj srede)* [Software package "Neptune" for modeling the spread of radionuclides in the marine (oceanic environment)]. Available at: <http://www.ibrae.ac.ru/contents/953/>

9. Zhilina N. I., Kazakov S. V., Kiselev V. P., Krylov A. L., Nosov A. V. Computer modeling of consequences of radioactive substances into surface water objects. *Izvestiya RAN. Energetika / Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering*, 2004, no. 3, pp. 74-81 (in Russian).

10. *Programmnoe sredstvo TRACE* [Software tool TRACE]. Available at: <http://www.ibrae.ac.ru/contents/951/>

11. *Programmno-tehnicheskij kompleks TKC IBRAE RAN. Komp'yuternye sistemy ocenki doz vnutrennego i vneshnego izlucheniya. Modeli "Diana i Pole"* [Software and hardware complex TKTS IBRAE RAN. Computer systems for assessing doses of internal and external radiation. Models "Diana and Field"]. 27 p. Available at: http://www.ibrae.ac.ru/docs/TKC/tkcrus_sq.pdf.

12. Akimova I. G., Antonij E. V., Kirillina I. E., Larin A. P., Merkushov V. P., Ogar' P. V., Stepanova P. V., Finkel'shtejn P. M. *Geoinformacionnaya sistema monitoringa parametrov i analiza rasprostraneniya opasnyh veshchestv v okruzhayushchej srede* [Geoinformation monitoring system parameters and analysis of the distribution of hazardous substances in the environment]. *Trudy IBRAE RAN. Vyp. 15: Razvitie sistem avarijnogo reagirovaniya i radiacionnogo monitoring / Proceedings of Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences. Issue 15: Emergency response and radiation monitoring systems development*, 2013, pp. 191-207.

13. *Programmnoe sredstvo "SULTAN" operativnogo prognozirovaniya radiacionnoj obstanovki za predelami stancii v sluchae avarii na AES* [Software "SULTAN" operational forecasting of the radiation situation outside the station in the event of an accident at a nuclear power plant]. Moscow, Rosenergoatom Publ., 2000.

14. *Otchyot o deyatel'nosti RAN v 2007 godu. Osnovnye rezul'taty issledovanij RAN, gotovye k prakticheskomu primeneniyu* [Report on the activities of the RAS in 2007. The main results of research RAS, ready for practical application]. Moscow, 2008, 26 p.

15. Arutyunyan R. V., Panteleev V. A., Segal M. D., Panchenko S. V. Probabilistic Safety Analysis of the Third Level (PSA Level 3) as an Element of the Evolution of NPP Safety Improvement Work. *Atomnaya energiya / Nuclear energy*, vol. 123, no. 6. 2017, pp. 344-349 (in Russian).

For citation: Popov E. V., Panteleev V. A., Segal M. D., Gavrilov S. L., Sednev V. A., Lysenko I. A. Analysis of information and modeling systems to support decision-making in responding to radiation emergencies. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 2 (84), 2019, pp. 119-131 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2019.2.84.119-131.