

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.942

Шамына  
Артем Юрьевич

Модели и алгоритмы распространения радионуклидов в окружающей среде в  
результате радиационных аварий

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание академической степени  
магистра технических наук

по специальности 1-40 80 05 – Математическое и программное обеспечение  
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Научный руководитель  
Лапицкая Н.В.  
кандидат технических наук,  
доцент

Минск 2019

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мире растет число объектов, на которых возможны аварии или инциденты с потенциальной опасностью выхода загрязняющих веществ в окружающую среду. Ввиду того, что происшествия на подобных объектах всегда сопровождаются угрозой жизни и здоровью человека, а также большим материальным ущербом существует потребность создания систем моделирования подобных происшествий на различных этапах развития аварийной ситуации.

Особый интерес для анализа представляют ситуации, когда имеется дефицит исходных данных для моделирования, что характерно для начальной стадии развития аварийного инцидента. Вместе с этим на данной стадии требуется принятие управленческих решений, которые должны минимизировать негативные последствия. Стоит подчеркнуть, что в этом случае особую значимость приобретает время принятия решения, т.к. от этого будет напрямую зависеть величина ущерба.

Моделирование распространения загрязняющих веществ в окружающей среде является трудоемкой задачей, т.к. для этого требуется большое число исходных параметров и расчетов, интерпретация полученных результатов, визуализация и т.д. Поэтому наиболее привлекательным становится реализация соответствующего программного комплекса, использование которого позволяет свести к минимуму время принятия управленческого решения в текущей ситуации.

Исходя из личных интересов автора диссертации, а также высокой актуальности выбранного направления исследования для РБ, было принято решение исследовать модели переноса поллютантов на примере моделирования распространения радиоактивных веществ в окружающей среде при радиационных авариях.

В ходе исследования были проанализированы используемые аналитические модели в этой области, а также программные средства для моделирования, которые используют эти модели. Были рассмотрены документы, которые регламентируют требования к подобным моделям и программным средствам на различных уровнях: от локального до глобального.

После анализа и выбора типа модели для исследования были сформулированы идеи по улучшению существующих моделей. Улучшенная модель была положена в основу реализации программного средства для моделирования переноса радиоактивных веществ и поддержки принятия управленческого решения на раннем этапе развития аварийной ситуации.

Следует подчеркнуть, что благодаря выбранной тематике исследования имеется возможность рассмотреть модель переноса поллютантов в атмосфере как одно из звеньев сквозного моделирования в разработанном программном средстве. Например, в качестве входных параметров могут выступать результаты моделирования изотопного и фракционного состава выброса, а также метеорологической обстановки. В свою очередь результаты моделирования переноса радиоактивных веществ в атмосфере могут выступать входными параметрами для дозиметрических моделей, ГИС-систем, систем поддержки принятия решений и т.д.

Разработанное в рамках исследования программное средство может быть применено при организации системы надзора и мониторинга вокруг АЭС, кризисных центрах МЧС, а также при разработке обоснования санитарных зон вокруг РОО.

## **Цель и задачи исследования**

*Цель* диссертационной работы – провести анализ применяемых моделей и алгоритмов, которые используются при прогнозировании распространения радионуклидов в окружающей среде, лежащих в основе созданных СППР для аварийных ситуаций на ПОО. На основе проведенного анализа предложить варианты улучшения существующих моделей и их программных реализаций, создать соответствующее ПС и произвести его кросс-верификацию и апробацию.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ моделей прогнозирования распространения радионуклидов в окружающей среде.
2. Ознакомиться с документами, которые регламентируют требования к подобным моделям и программным средствам.
3. На основе сравнительного анализа предложить обоснованные улучшения существующих моделей.
4. Реализовать предложенные модели и провести экспериментальные исследования на основе накопленных данных, а также произвести сравнение работы с существующими средствами прогнозирования.

*Объектом* исследования выступает программное обеспечение систем прогнозирования распространения радионуклидов в окружающей среде

*Предметом* исследования являются модели и алгоритмы, которые используются в системах моделирования для аварийных ситуаций, связанных с выбросом загрязняющих веществ в окружающую среду.

Основной *гипотезой*, положенной в основу диссертационной работы, является возможность использования программной реализации улучшенной локальной модели распространения загрязняющих веществ в окружающей среде для поддержки принятия экспертного решения в первые часы развития аварийной ситуации на ПОО, когда существует дефицит данных активных измерений и значений наиболее критических параметров для более сложных моделей.

## **Апробация результатов диссертации**

Материалы, положенные в основу работы, докладывались и обсуждались на Международной конференции «Мониторинг техногенных и природных объектов» (Минск, Беларусь, 2017), Международной научно-практической конференции «Безопасность человека и общества» (Минск, 2017 и 2018), а также на национальном семинаре МАГАТЭ «Организация надзора и системы радиационно-гигиенического мониторинга вокруг АЭС».

## **Опубликованность результатов диссертации**

По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ в сборниках материалов международных научных конференций. Из них 1 работа в сборнике трудов и материалов международной конференции ИТС-2018 БГУИР, 2 работы в сборнике материалов Международной очной научно-практической конференции «Безопасность человека и общества: совершенствование системы реагирования и управления защитой от чрезвычайных ситуаций» и 2 работы в сборниках трудов и материалов научных конференций БГУИР.

## **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложений. В первой главе представлен анализ предметной области, выявлены основные существующие проблемы в рамках тематики исследования, показаны направления их решения. Вторая глава посвящена описанию и анализу моделей распространения радионуклидов в окружающей среде. В третьей главе предложена разработка программной реализации системы принятия управленческого решения на базе локальной модели переноса загрязняющих веществ в атмосфере. В четвертой главе проведена кросс-верификация разработанного программного средства, проведено сравнение с аналогами.

Общий объем диссертации – 103 страницы. Работа содержит 32 формулы, 18 рисунков, 5 таблиц. Библиографический список включает 32 наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении сделан обзор значения систем поддержки принятия решения в системах аварийного реагирования и мониторинга и было акцентировано внимание на актуальности эксплуатации подобных систем на потенциально опасных объектах и в кризисных центрах с целью минимизации последствий аварий, связанных с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду.

В первой главе сделан обзор существующих систем моделирования переноса радиоактивных веществ в окружающей среде и основанных на результатах этого моделирования систем поддержки принятия решения. Обзор был произведен для программных комплексов, которые эксплуатируются в РБ: JRODOS и RECASS NT. Данные программные комплексы были проанализированы с точки зрения локального переноса (на расстояния не более 30 км от источника выброса), что соответствует выбранной тематике исследования. В ходе проведенного анализа были выявлены преимущества и недостатки данных комплексов.

Во второй главе был выполнен обзор нормативно-правовой базы РБ в области обеспечения радиационной безопасности населения при радиационных инцидентах на ПОО. Был произведен анализ моделей атмосферного переноса загрязняющих веществ, а также обоснован выбор Гауссовой модели и предложен способ ее модификации. Также были рассмотрены дозиметрические модели, которые позволяют производить оценку необходимости проведения защитных мероприятий согласно нормативным требованиям. Выполненный обзор позволяет сделать вывод о целесообразности автоматизации процесса моделирования по рассмотренной цепочке моделей.

В третьей главе рассмотрены этапы разработки программного средства, которое позволяет провести апробацию измененной Гауссовой модели и решить конкретные практические задачи. Описаны основные этапы разработки и функциональность каждого из модулей. Широко освещены подготовка и импорт исходных данных для моделирования. Реализованное программное средство может использоваться для проведения исследований в данной области благодаря гибкой реализации и потенциальной возможности внесения изменений в процесс моделирования.

В четвертой главе описаны экспериментальные исследования. Проведена кросс-верификация разработанного программного средства, выполнено сравнение с аналогами. Также были рассмотрены результаты моделирования аварийных ситуаций. Эти результаты были проинтерпретированы и им была дана оценка с точки зрения последствий.

В заключении приведены основные достигнутые результаты в ходе работы над диссертацией и возможные будущие шаги, направленные на дальнейшие исследования в данной области. Также были предложены возможные улучшения полученного в ходе работы программного средства с точки зрения практического использования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы над магистерской диссертацией была глубоко изучена проблематика исследования: нормативно-правовая база в области обеспечения радиационной безопасности населения в РБ, проектные описания АЭС, физические процессы, происходящие при аварийных ситуациях, моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосфере и др. Также были изучены аналоги

После изучения Гауссовой модели атмосферного переноса было предложено отказаться от точности источника и прийти к учету начального размера облака РВ. Проведенная верификация реализованного на основе изменённой модели переноса программного средства показала состоятельность данного подхода.

При работе над диссертацией и сборе информации проводились консультации с экспертами в данной области. Автор диссертации был участником многочисленных мероприятий, посвященных теме исследования, где была возможность получить экспертную оценку проводимой работе, а также советы по дальнейшему направлению исследований.

Большое внимание уделялось технической стороне реализации программного средства. В частности, был применен модульный подход при реализации некоторых подсистем разработанного средства моделирования, что позволило получить большую гибкость в выборе источников информации, а также выделить разработанные модули в самостоятельные средства, которые решают конкретные практические задачи.

Результаты, полученные в ходе исследования, могут быть использованы как для проведения исследований в данной области, так могут стать и частью системы аварийного реагирования при эксплуатации АЭС. Имеется перспектива интеграции данного средства моделирования с системами наблюдения (например, АСКРО) для уточнения начальных параметров моделирования. Кроме этого, имеется возможность импорта результатов моделирования исходного изотопного состава и удельных активностей радионуклидов из соответствующих систем.

Важной особенностью полученных результатов является то, что при минимуме изменений данная система моделирования может использоваться при прогнозировании атмосферного переноса других веществ благодаря параметризации диффузных свойств.

Данная работа имеет большой потенциал для дальнейших исследований в проблемной области и для расширения функциональности созданного программного средства. Возможны улучшения в части скорости проводимых вычислений, использования других моделей и оптимизации реализованных.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1] Шамына, А. Ю. Геоинформационная система для оценки уровня радиоактивного загрязнения / А. Ю. Шамына, А. Д. Ардяко // Компьютерные системы и сети: материалы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23 – 27 апреля 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2018. – С. 120 – 121.

[2] Шамына, А. Ю. Программное средство для моделирования распространения радионуклидов в окружающей среде на основе гауссовой модели / А. Ю. Шамына, А. Д. Ардяко // Информационные технологии и системы 2018 (ИТС 2018) = Information Technologies and Systems 2018 (ITS 2018) : материалы международной научной конференции, Минск, 25 октября 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2018. – С. 182 - 183.

[3] Шамына А. Ю. Разработка геоинформационной системы для прогнозирования распространения радионуклидов в окружающей среде / А. Д. Ардяко, Лабоха А.К, А. Ю. Шамына // Безопасность человека и общества: совершенствование системы реагирования и управления защитой от чрезвычайных ситуаций: сб. материалов II Международной очной научно-практической конференции. - Минск: УГЗ, 2018. - 199 - 200 с.

[4] Шамына А. Ю. Разработка геоинформационной системы для оценки уровня радиоактивного загрязнения территории/ А. Д. Ардяко, А. Ю. Шамына // Безопасность человека и общества: совершенствование системы реагирования и управления защитой от чрезвычайных ситуаций: сб. материалов I Международной очной научно-практической конференции. - Минск: УГЗ, 2017. - 150 - 151 с.

[5] Шамына, А. Ю. Модели и алгоритмы распространения радиоактивных веществ в окружающей среде/ А. Ю. Шамына // Компьютерные системы и сети: материалы 55-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22 – 26 апреля 2019г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2019. – С. 166– 167.