

УДК 614.876:001.57

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ПО ОЦЕНКЕ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ И ПРОГНОЗУ РАДИАЦИОННОГО РИСКА В АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ

Крюк Ю.Е., к.б.н., Кунец И.Е.

ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований –
«Сосны» НАН Беларуси,
e-mail: yu.kruk@gmail.com

Рассмотрена необходимость использования информационных систем для повышения готовности к аварийным ситуациям с источниками излучения. Приведены математические модели оценки доз облучения персонала и населения в различных типах аварийных ситуаций с источником ионизирующего излучения. С использованием объектно-ориентированной методологии выполнена разработка сложной системы посредством нотаций унифицированного языка моделирования, создана визуальная модель программного продукта, предназначенного для автоматизации проведения оценки доз облучения и прогнозирования риска ущерба здоровью работников и населения в различных аварийных ситуациях, связанных с источником радиоактивного излучения.

The need of the use of the information system for the rise in a radiological emergency preparedness was considered. The mathematic models of personnel and population exposure dose assessments in different types of emergency situations were given. The visual model of program product has been created by used object-oriented methodology with applying the notations of the unified modeling language for the automation of workers and population dose assessment and health risk prognosis in different emergency situations connected with radiation source.

(Поступила в редакцию 6 декабря 2010 г.)

ВВЕДЕНИЕ

В результате хозяйственной деятельности за последнее столетие человек создал искусственные источники радиоактивного излучения и научился обеспечивать радиационную безопасность в самых разных областях: на промышленных предприятиях, в медицинских учреждениях, учебных и научно-исследовательских институтах, при транспортировке ядерных и радиационных материалов, на установках ядерного топливного цикла.

Несмотря на все меры предосторожности, предусматриваемые при планировании и эксплуатации, полностью исключить возможность аварий и инцидентов с вовлечением источников ионизирующего излучения невозможно. Объективная реальность свидетельствует, что никакие объекты, использующие источники ионизирующего излучения, в принципе не могут быть абсолютно безопасными. Опасность – это внутреннее свойство источника, состоящее в потенциальной способности приносить вред здоровью людей и окружающей среде.

Последствия аварий с радиационными материалами могут быть чрезвычайно серьезными вплоть до смертельных исходов, особенно если с источниками обращались лица, не осведомленные о потенциальной опасности радиации или о радиоактивной природе источника. Пребывание рядом с высокоактивными источниками и приборами, применяемыми для промышленной радиографии, лучевой терапии, а также в стерилизационных отделениях, может привести к получению летальной дозы на все тело за несколько минут. Следствием аварий с такими источниками может быть и загрязнение, если повреждается сам источник.

Помимо внешнего облучения, поврежденные источники любого типа и величины могут служить причиной загрязнения людей и окружающей среды. В результате пожара или рассеивания под воздействием ветра или вентиляции радиоактивный материал может переноситься по воздуху. Последствиями могут быть тяжелые ожоги кожи и внутреннее загряз-

нение с серьезным исходом. Ситуация может усугубиться, если авария вовремя не обнаружена, и не предприняты адекватные меры. В аварийной ситуации на выработку управленческого решения по минимизации последствий накладываются жесткие требования ограниченности временных ресурсов, оправданности, оптимизации и гарантии безопасности. Одним из наиболее важных аспектов управления радиологической аварийной ситуацией является способность незамедлительно и адекватно определять потребность в проведении защитных мероприятий и осуществлять действия по защите населения и аварийных работников. При оценке радиологической аварии необходимо использовать всю доступную в данный момент существенную информацию. Этот процесс должен быть повторяющимся и динамичным, предусматривающим пересмотр стратегии реагирования по мере поступления более детализированной и полной информации.

Одним из требований обеспечения надежности функционирования опасных производств и технологий на объектах народного хозяйства является создание учебно-методической и материально-технической базы по подготовке производственного персонала. Для поддержки принятия управленческих решений в сложных условиях неопределенности используются программно-аппаратные комплексы. Использование таких комплексов в направлении оперативного решения задач обеспечивает возрастание профессионального уровня принимаемых решений. В том числе это обуславливается тем, что накопленные знания и опыт экспертов в предметной области становятся доступными лицам, принимающим решения.

Целью представленного научного исследования являлась разработка программного приложения по оценке доз облучения и прогнозу риска ущерба здоровью аварийных работников и населения в различных аварийных ситуациях, связанных с источником.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На первом этапе разработки программного приложения проводится исследование предметной области и определяются функции, которые должны выполняться создаваемым программным продуктом: выбираются методология оценки доз облучения в различных радиологических аварийных ситуациях и оптимальная модель прогнозируемого риска.

По результатам выполненного анализа предметной области для реализации необходимых функций в качестве основы проектирования создают концептуальную модель программного средства.

Концептуальная модель представляет собой результат абстрагирования описанной предметной области для ее реализации в процессе проектирования программного средства. Использование модели при проектировании дает возможность не только представить себе и описать будущий продукт, но и испытать его виртуальный (модельный) аналог до того, как дефекты проектирования проявятся в оригинале.

Для обеспечения снижения трудоемкости процесса разработки и вероятности возникновения ошибок в качестве инструмента моделирования программных продуктов используется объектно-ориентированная технология, в основе которой лежит объектный подход. В этом случае процесс моделирования предполагает возможность визуализации и документирования этапов разработки в нотациях унифицированного языка моделирования UML [2, 3].

Унифицированный язык моделирования Unified Modeling Language (язык UML) предлагает набор нотаций, позволяющих проводить всесторонний анализ сложных систем как с технической точки зрения, так и с точки зрения выполняемых функций. Язык UML упрощает процесс моделирования, снижает его стоимость и повышает эффективность [3].

В синтаксисе UML все представления о модели фиксируются в виде специальных графических конструкций – диаграмм: диаграмма вариантов использования, диаграмма классов, диаграммы поведения (диаграмма состояния, диаграмма деятельности), диаграммы взаимодействия (диаграмма последовательности, диаграмма кооперации), диаграммы реализации (диаграмма компонентов).

Визуальное моделирование в UML можно представить, как некоторый процесс поровневого спуска от наиболее общей и абстрактной концептуальной модели исходной системы к логической, а затем к физической модели соответствующей информационной системы.

На поддержку UML как языка моделирования сложных систем ориентировано средство CASE-технологий – Rational Rose, поддерживающее все этапы объектно-ориентированного анализа и проектирования программного продукта, которые определены в спецификации UML [4]. Любые модели, создаваемые с помощью данного средства, являются взаимосвязанными: модель анализа, модель проектирования, функциональная модель, модель базы данных, модель компонентов и модель физического развертывания системы. Основным способом моделирования в среде Rational Rose является создание диаграмм и спецификаций, определяющих логическую и физическую структуры модели программного продукта, ее статические и динамические аспекты.

АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

В ситуации аварии с источником ионизирующего излучения оценка доз облучения, полученных аварийными работниками и населением, должна проводиться, как только аварийная ситуация стабилизирована и действия по изъятию источника завершены [1]. Облучение человека может быть внешним или внутренним. При этом пути облучения могут быть разными. Внешнее облучение может быть обусловлено прямым излучением от источника, от содержащихся в воздухе радионуклидов (иммерсия или облучение от шлейфа), от радионуклидов, выпавших на землю или осевших на одежду или кожу человека. Внутреннее облучение может быть, во-первых, результатом попадания радиоактивного материала через дыхательные пути непосредственно из шлейфа или ресуспендированного материала с загрязненных поверхностей, во-вторых, результатом перорального поступления загрязненных продуктов питания и воды, и в-третьих, – результатом попадания радионуклидов внутрь организма через открытые раны.

Общая эффективная доза рассчитывается с учетом всех основных путей облучения человека во время аварии:

$$E_T = E_{ext} + E_{inh} + E_{ing}, \quad (1)$$

где E_T – общая эффективная доза;

E_{ext} – эффективная доза от внешнего облучения;

E_{inh} – ожидаемая эффективная доза от ингаляции;

E_{ing} – ожидаемая эффективная доза от перорального поступления.

Там, где имеются прямые средства для оценки дозы, в первую очередь – прямо показывающие индивидуальные дозиметры внешнего облучения, их следует применять. В то же время в реальной аварийной ситуации такие приборы часто оказываются недоступны или требуется определенное время для получения данных.

Разрабатываемый программный модуль предназначен для реализации различных методов расчета дозы, мощности дозы и прогноза риска здоровью по семи основным типам радиологических аварий:

- с точечным источником;
- в случае линейного источника и утечки радиоактивного материала (на небольшом участке);
- загрязнения почвы;
- загрязнения кожи;
- ингаляции;
- перорального поступления;
- иммерсии в воздухе.

При наличии информации, характеризующей источник радиации или радиоактивный материал, модуль планируется использовать как инструмент для разработки рекомендаций по защитным мероприятиям на ранней стадии аварийной ситуации.

В качестве математических моделей для проведения расчетов оценок доз облучения по семи типам аварий используются общие инструкции оценки и реагирования на радиологические аварийные ситуации [1].

В случае аварии с точечным источником с известной активностью оценка эффективной дозы на определенном расстоянии от источника выполняется согласно следующему уравнению:

$$E_{ext} = \frac{A \cdot CF_6 \cdot T_e \cdot (0,5)^{\frac{d}{d_{1/2}}}}{X^2} \quad (2)$$

где A – активность источника, кБк;

T_e – продолжительность облучения, ч;

CF_6 – коэффициент перехода для радионуклида (справочное значение), (мЗв/ч)/(кБк);

X – расстояние от точечного источника, м;

$d_{1/2}$ – коэффициент половинного ослабления для радионуклида от свинца, железа, воздуха, воды, бетона (справочное значение), см;

d – толщина экрана, см.

Для аварии с линейным источником внешняя эффективная доза оценивается следующим образом:

$$E_{ext} = \frac{\pi \cdot CF_6 \cdot T_e \cdot A}{X} \quad (3)$$

где A – активность источника на расстоянии 1 м, кБк;

X – расстояние от линейного источника, м.

В случае утечки доза облучения от радиоактивного пятна рассчитывается по формуле:

$$E_{ext} = 2\pi \cdot CF_6 \cdot A \cdot T_e \cdot \ln \frac{X^2 \cdot R^2}{X^2} \quad (4)$$

где A – активность пятна, кБк;

R – радиус пятна, м;

X – расстояние от центра пятна, м.

На основании полноценной информации о концентрации радионуклидов на почве эффективная доза оценивается следующим образом:

$$E_{ext} = \sum_{i=1}^n \bar{O}_i \cdot CF_i \quad (5)$$

где \bar{O}_i – средняя концентрация выпадений на почве радионуклида i [кБк/м²];

CF_i – эффективная доза на единицу выпадений для радионуклида i ; включает дозу внешнего облучения и ожидаемую эффективную дозу от ингаляции за счет ресуспендирования оставшихся в почве радионуклидов на загрязненной территории на протяжении данного периода (справочное значение), (мЗв/ч)/(кБк/м²);

n – число радионуклидов.

Ожидаемая эффективная доза от ингаляции рассчитывается согласно (6), а от перорального поступления в соответствии с формулой (7):

$$E_{inh} = \sum_{i=1}^n \bar{O}_i \cdot CF_i \cdot T_e \quad (6)$$

где \bar{O}_i – средняя концентрация радионуклида i в воздухе, кБк/м³;

CF_i – ожидаемая эффективная доза от ингаляции загрязненного воздуха в течение 1 ч (справочное значение), (мЗв/ч)/(кБк/м³).

$$E_{ing} = \sum_{i=1}^n \bar{O}_{f,i} \cdot U_f \cdot DI_{f,i} \cdot CF_i \quad (7)$$

где $\bar{O}_{f,i}$ – средняя концентрация радионуклида i в продукте f после обработки или в почве кБк/кг;

U_f – масса продукта f , потребляемая данной группой населения ежедневно;

CF_i – ожидаемая эффективная доза от перорального поступления на единицу поступления радионуклида i (справочное значение), (мЗв/ч)/(кБк);

$DI_{f,i}$ – сроки поступления, дни.

С учетом (1)–(7) для выполнения расчетов входными данными являются:

- дата;
- расстояние;
- продолжительность облучения;
- средняя концентрация радионуклидов в воздухе;
- концентрация радионуклидов в воздухе;
- продолжительность ингаляции;
- концентрация радионуклидов в продуктах питания, воде или молоке;
- время перорального поступления.

Для оценки радиационного риска используем модель, предложенную Научным комитетом ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) [6] и распространенную МАГАТЭ для оценки риска при профессиональном облучении [7].

Согласно данной модели избыточный относительный радиационный риск можно представить как функцию от дозы и возраста облучения работника:

$$ERR = \beta \cdot D \cdot \exp(\alpha \cdot (g - 25)) \quad (8)$$

где g – возраст при облучении, лет;

D – доза облучения, мЗв;

α , β – эмпирические коэффициенты, зависящие от типа и локализации рака и пола работника [6].

Для оценки влияния полученного облучения на здоровье работника используют понятие атрибутивного или обусловленного риска AR [6]:

$$AR = \frac{ERR}{1 + ERR} \times 100\% \quad (9)$$

Оценка данного параметра представляет собой степень риска ущерба здоровью, выраженную в процентах и зависящую от величины полученной дозы для данного работника.

Результатом анализа аварийной радиологической ситуации должны быть оценка эффективной дозы и величина атрибутивного риска для каждого работника.

Следовательно, основными задачами модуля по оценке доз облучения и прогнозу риска ущерба здоровью аварийных работников и населения являются:

- регистрация аварийной ситуации;
- расчет эффективной дозы/ожидаемой эффективной дозы по одному из 7 типов аварии;
- расчет общей эффективной дозы и коэффициента риска;
- просмотр аварийной ситуации (вывод оценок доз облучения, просмотр подробной информации по оценкам);
- формирование отчета по результатам оценки доз облучения и коэффициентов риска;
- хранение информации об аварийной ситуации;
- обеспечение работы со справочной информацией (редактирование справочников радионуклидов, пунктов).

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА

Для отображения функционирования проектируемого приложения и его взаимодействия с внешним миром пользователя используется исходное концептуальное представление, т. е. диаграмма вариантов использования (рис. 1).

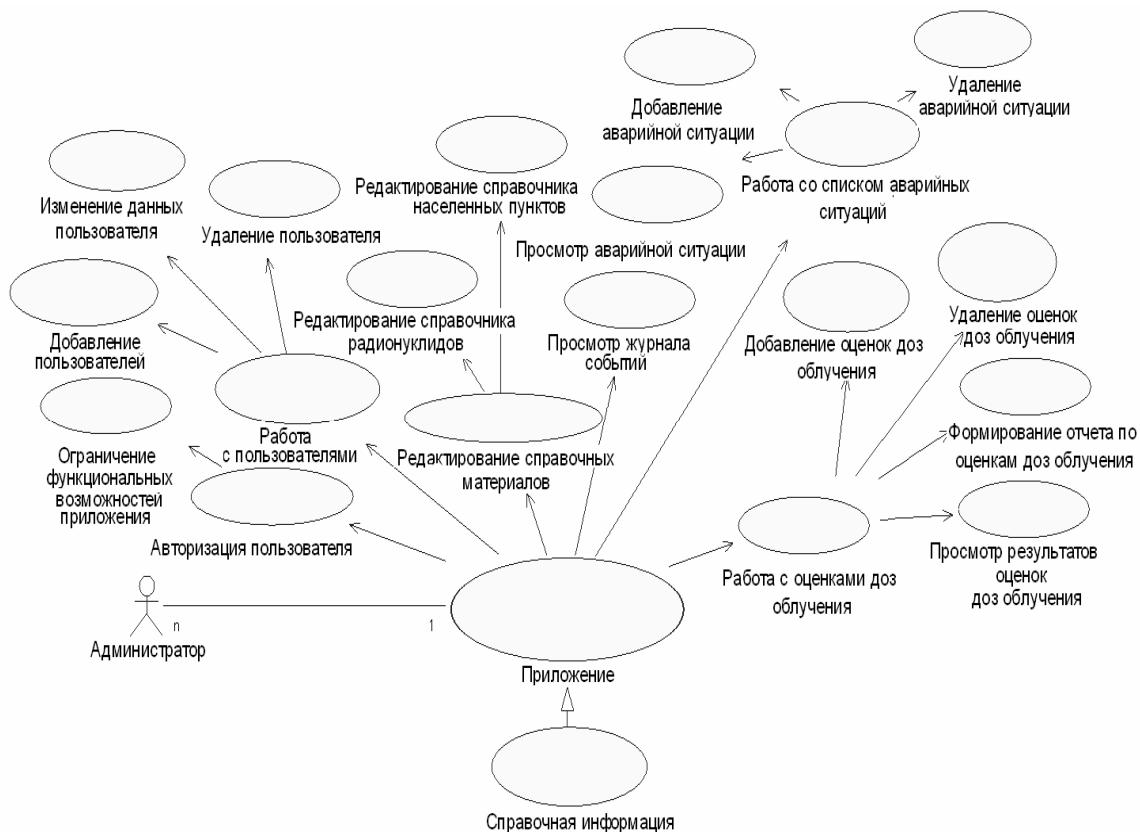


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования продукта

Прецеденты, представленные на диаграмме вариантов использования, полностью соответствуют реализации стоящих перед разрабатываемым программным средством задач.

Для создания конкретной физической системы необходимо реализовать все элементы логического представления в конкретные материальные сущности. В языке унифицированного моделирования UML для физического представления моделей систем используются диаграммы реализации, которые включают в себя две отдельные канонические диаграммы: диаграмму компонентов и диаграмму развертывания.

Диаграмма компонентов описывает особенности физического представления системы и позволяет определить архитектуру разрабатываемой системы, установив зависимости между программными компонентами, в роли которых может выступать исходный, бинарный и исполняемый код.

Компонентами системы, проектирование которых предполагает использование модульной структуры организации кода, будут реализовываться основные функции программного средства.

Модуль работы с аварийными ситуациями предусматривает возможность выбора типа аварии, регистрации необходимой информации по аварийной ситуации. Выполнение расчетов доз облучения в зависимости от выбранного типа аварии предусматривается модулем работы с оценками. Модуль расчета общей эффективной дозы и коэффициентов риска позволит проводить интегрированную оценку для сравнения с установленными уровнями применения защитных мероприятий. Модуль работы со справочниками позволит осуществлять просмотр основной нормативной и физической информации. Для обеспечения возможности сбора, хранения, просмотра и передачи данных в модели продукта предусматривается база данных – один из необходимых компонентов (рис. 2). Обеспечение доступа к базе данных осуществляется с использованием соответствующего модуля.

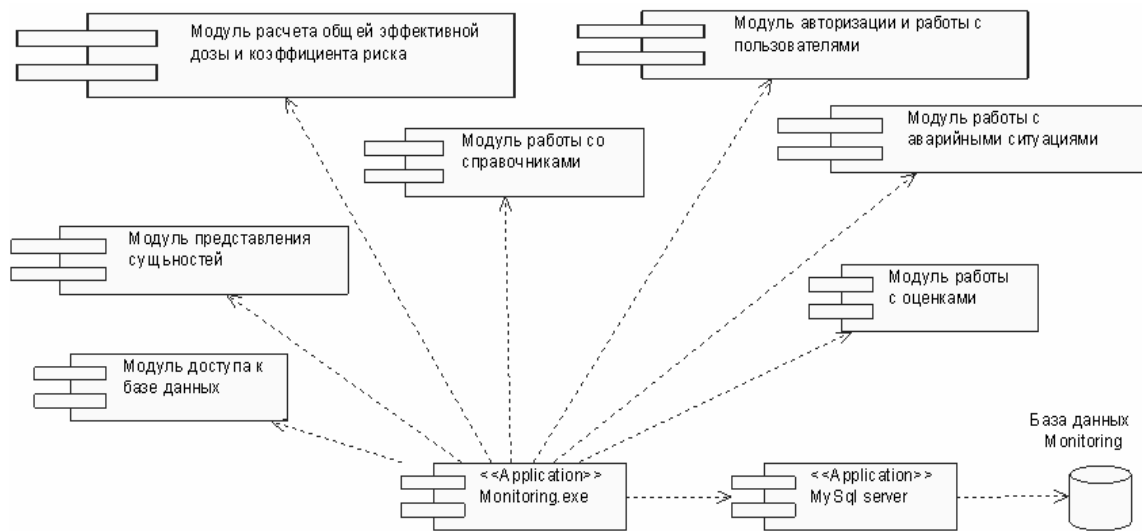


Рисунок 2 – Диаграмма компонентов

Физическое представление о проектируемом программном продукте не может быть полным, если отсутствует информация о том, на какой платформе и на каких вычислительных средствах он реализован. Для представления общей конфигурации и топологии программного продукта используем диаграмму развертывания (рис. 3).

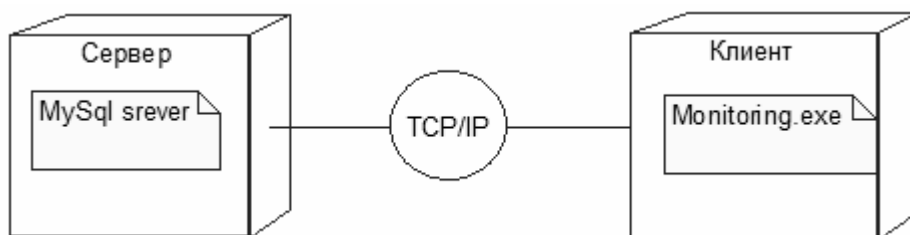


Рисунок 3 – Диаграмма развертывания

На диаграмме представлено распределение компонентов по отдельным узлам системы. Как видно из рис. 3, программный продукт смоделирован как клиент-серверное приложение, в котором пользовательский интерфейс и прикладная логика запросов образуют уровень на клиентском компьютере, а сервис обработки запросов данных предоставляется системой управления базами данных (СУБД) - MySQL. MySQL – быстрая, надежная, открыто распространяемая система управления базами данных, функционирующая по модели «клиент-сервер» [5]. СУБД управляет одной или несколькими базами данных. В MySQL для каждой базы данных создается отдельный каталог, в данном случае используемый в качестве внутреннего сервера автономного приложения. Средством для обмена данными между клиентом и сервером является протокол TCP/IP.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе научного исследования решена задача моделирования и проектирования программного приложения по оценке доз облучения и прогнозу риска ущерба здоровью аварийных работников и населения в различных аварийных ситуациях, связанных с источником. Выполнен анализ предметной области, позволивший определить требования к программному средству, описать входные и выходные данные, процесс их математического преобразования. С использованием объектно-ориентированной методологии разработки сложных систем и CASE-средства Ration Rose создана визуальная модель программного продукта, предназначенного для автоматизации проведения оценки доз облучения и прогноза риска ущерба здоровью работников и населения в различных аварийных ситуациях, связанных с источником радиоактивного излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Общие инструкции оценки и реагирования на радиологические аварийные ситуации : технический доклад № 1162. – Вена : МАГАТЭ, 2004. – 196 с.
2. Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений / Г. Буч ; пер. с англ. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2008. – 720 с.
3. Боггс, У. UML и Rational Rose® 2002 /У. Боггс, М. Боггс. ; пер. с англ. – М. : Издательство «ЛЮРИ», 2004. – 509 с.
4. Вендров, А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем / А.М. Вендров. – М. : «Финансы и статистика», 1998. – 176 с.
5. Дюбуа, П. MySQL / П. Дюбуа : пер. с англ. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2004. – 1056 с.
6. Effects and Risk of Ionizing Radiation : report to the General Assembly / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – New York : UN, 1994. – 272 p.
7. IAEA TECDOC. Methods for estimating the probability of cancer from occupational radiation exposure: TECDOC-870. – Vienna : IAEA, 1996. – 55 p.