

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
РЕСПУБЛИКАНСКОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»
ФИЛИАЛ «ИНСТИТУТ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИИ»

УДК 577.4:579.81:791:43

Харченко Артём Алексеевич

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДЛЯ РАСЧЁТА ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
БИОКИНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

**Работа, представленная на XIX конференцию-конкурс
НАОКР молодых ученых и специалистов
Национального ядерного центра Республики Казахстан
(инженерно-техническая)**

Руководитель: Жамалдинов Фаиль Фиргатович,

И.о. начальника лаборатории ЯФМА ОАИ ИРБЭ НЯЦ РК

г. Курчатов 2020 г.

АВТОР

Харченко Артём Алексеевич,

инженер Лаборатории ядерно-физических методов анализа

Отдела аналитических исследований

филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» НЯЦ РК,

1990 года рождения,

образование:

высшее (НИИ Томский Политехнический Университет), 2013 г.

специальность – «инженер химик-технолог»;

работает в ИРБЭ НЯЦ РК с 2017 г.,

общий стаж работы 7 лет.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

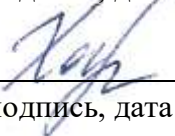
И.о. начальника лаборатории
ЯФМА ОАИ ИРБЭ РГП НЯЦ РК



Жамалдинов Ф.Ф.

подпись, дата

Инженер лаборатории
ЯФМА ОАИ ИРБЭ РГП НЯЦ РК



Харченко А.А.

подпись, дата

Харченко А.А.
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДЛЯ РАСЧЁТА ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
БИОКИНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Работа, представленная на XIX конференцию-конкурс
НИОКР молодых ученых и специалистов
Национального ядерного центра Республики Казахстан
от филиала «ИРБЭ» РГП «НЯЦ РК»

071100, г. Курчатов, ул. Бейбіт атом 2,
тел.: 8(722-51) 3-34-13; 2-59 (вн.)
факс: 8(722-51) 3-28-06
E-mail: Kharchenko@nnc.kz

РЕФЕРАТ

Конкурсная работа содержит 7 страниц, 3 изображений.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Одним из важных видов деятельности Института радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра Республики Казахстан (ИРБЭ НЯЦ РК) является контроль доз внутреннего облучения персонала и населения.

Определение доз внутреннего облучения у обследуемых лиц сводится к измерениям на счетчике излучения человека (СИЧ), а так же к определению активности радионуклидов в биосубстратах человека для дальнейшего расчета дозы внутреннего облучения.

В основе подобных расчетов лежат биокинетические модели радионуклидов и модели пищеварительного и респираторного трактов. На основе табулированных значений скоростей перехода между отдельными камерами биокинетических моделей строится система дифференциальных уравнений (СДУ), решения которой представляют собой функции изменения активности радионуклида в отдельных органах или тканях, и функции выведения с мочой или калом.

На рисунке 1 представлен пример системы дифференциальных уравнений первого порядка, которая описывает изменение активности урана в различных органах и тканях с течением времени. Всего система включает 21 уравнение. Система уравнений составлена в программе Wolfram Mathematica версии 11.3.

Структура приведенной СДУ зависит от множества факторов таких как: путь поступления радионуклида, путь выведения радионуклида, размер частиц, вид поступления (хроническое/разовое), тип растворимости радионуклида и вид деятельности человека. При изменении хотя бы одного фактора возникает необходимость составлять новую систему дифференциальных уравнений, удовлетворяющую новым условиям. Кроме того, почти для каждого радионуклида существует собственная биокинетическая модель, а с изменением модели меняется и система дифференциальных уравнений.

Составление подобных СДУ весьма трудоёмкий процесс, т.к. каждое уравнение в системе составляется вручную (включая подстановку коэффициентов), а если

принять во внимание человеческий фактор, то процесс подготовки новой СДУ занимает весьма продолжительное время.

```

DSolve[{a1'[t] == -1 x a1[t], a2'[t] == -90 x a2[t] - 100 x a2[t] + 0.03 x a8[t] + 10 x a10[t] - 10 x a7[t],
...
}

```

Рисунок 1 – пример системы дифференциальных уравнений первого порядка.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка программного обеспечения (ПО), которое позволит значительно сократить время обработки расчетов доз внутреннего облучения с использованием биокинетических моделей для сотрудников Лаборатории ядерно-физических методов анализа Отдела аналитических исследований ИРБЭ РГП НЯЦ РК и других заинтересованных специалистов. Кроме того, по завершении разработки будут оформлены авторские права на разрабатываемое программное обеспечение, а так же не стоит забывать про потенциал для коммерциализации данного ПО.

ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ (ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ)

1. Формирование встроенной базы данных (БД) констант для исключения необходимости поиска и подстановки констант вручную;
2. Разработка компилятора системы дифференциальных уравнений, преобразующего параметры поступления и выведения биокинетической модели для данного радионуклида в СДУ;
3. Тестирование выходных данных компилятора в среде Wolfram Mathematica (или аналогичной);

4. Разработка собственного либо интеграция с готовыми решениями для работы с системами дифференциальных уравнений;
5. Тестирование разработанной/интегрированной среды для решения систем дифференциальных уравнений при помощи среды Wolfram Mathematica (или аналогичной);
6. Соединение базы данных констант, компилятора и системы решений в единое приложение.
7. Тестирование рабочей версии ПО.

НОВИЗНА РАЗРАБОТКИ

Существуют уже готовые программные решения для расчета доз внутреннего облучения с использованием биокинетических моделей, но, стоит учитывать, что данный вид ПО весьма специализирован и либо не имеется в свободном доступе, либо цены на его приобретение весьма и весьма высоки. Кроме того, все варианты, представленные на рынке – зарубежные и требуют знания тематических понятий и категорий на иностранном языке, что не всегда удобно.

Разрабатываемое программное обеспечение будет первым русскоязычным ПО подобного рода и, возможно, первым ПО подобного рода на рынке СНГ.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

Разрабатываемое программное обеспечение избавит пользователя от просмотра больших массивов справочной информации, от настройки разрозненного ПО, а так же избавит от необходимости заниматься выкопировкой констант из справочных таблиц в СДУ.

Сотрудникам Лаборатории ядерно-физических методов анализа и другим заинтересованным специалистам будет достаточно настроить все необходимые параметры в интуитивно понятном интерфейсе разрабатываемого ПО и получить на выходе либо готовую систему дифференциальных уравнений, либо ее решение.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРА

Разработка структуры приложения. Обработка и формирование БД констант. Разработка интерфейса программы. Разработка алгоритмов компилятора СДУ. Тестирование компилятора систем дифференциальных уравнений.

СТЕПЕНЬ ЗАВЕРШЁННОСТИ

Сформирована база данных констант основных (с точки зрения дозовых нагрузок) радионуклидов. Разработан пилотный вариант интерфейса программы. Разработана пробная сборка компилятора СДУ. Ведётся тестирование и доработка компилятора систем дифференциальных уравнений. Ведется разработка программного решения для обработки систем дифференциальных уравнений первого порядка.

Когда тестирование компилятора СДУ будет окончено, ПО будет внедрено в Лаборатории ядерно-физических методов анализа, т.к. автоматическое составление

систем дифференциальных уравнений уже позволит облегчить и ускорить работу сотрудников лаборатории. Планируемая дата внедрения компилятора – лето 2020 г.

Планируемая дата завершения проекта – конец 2020 г. - начало 2021 г.

ОПИСАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

1. ФОРМИРОВАНИЕ ВСТРОЕННОЙ БД КОНСТАНТ

Основным источником информации для формирования БД с константами является база данных Международной Комиссии по Радиологической защите (МКРЗ):

- содержит данные по скоростям переходов для 101 радионуклида;
- БД МКРЗ представлена в виде отдельного программного обеспечения;
- Интерфейс ПО позволяет изменять параметры поступления и вид деятельности человека для выбора подходящих констант;
- Структура базы данных МКРЗ исключает возможность реверсивного программирования;

В связи с отсутствием возможности реверсивного программирования для БД МКРЗ, все константы из базы данных переносятся в собственную БД автора вручную (Рисунок 2). Сформированы базы данных констант для основных (с точки зрения дозовых нагрузок) радионуклидов, таких как ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$.

U-235, adult member of the public
 Inhalation of particulate aerosol: AMAD = 1.000 micron, absorption Type F, f1 = 0.02
 Highest committed equivalent dose coefficient: Bone Surface, 9.0E-06 Sv/Bq
 Remainder formulation: default

Time after intake	1 day	7 days	30 days	1 year	5 years
Adrenals	7.8E-10	2.8E-09	8.1E-09	2.0E-08	4.7E-08
Bladder Wall	1.5E-09	3.6E-09	9.0E-09	2.0E-08	4.8E-08
Bone Surface	8.0E-08	4.5E-07	9.3E-07	2.1E-06	4.0E-06
Brain	7.8E-10	2.8E-09	8.0E-09	1.9E-08	4.7E-08
Breast	7.7E-10	2.8E-09	8.0E-09	1.9E-08	4.7E-08
GI-Tract					
Esophagus	7.8E-10	2.8E-09	8.0E-09	1.9E-08	4.7E-08
St Wall	8.8E-10	2.9E-09	8.1E-09	2.0E-08	4.7E-08
SI Wall	1.0E-09	3.1E-09	8.3E-09	2.0E-08	4.7E-08
ULI Wall	2.0E-09	4.5E-09	9.7E-09	2.1E-08	4.8E-08
LLI Wall	2.1E-09	7.8E-09	1.3E-08	2.4E-08	5.2E-08
Colon	2.1E-09	5.9E-09	1.1E-08	2.3E-08	5.0E-08
Kidneys	1.0E-07	6.2E-07	1.3E-06	1.7E-06	2.3E-06
Liver	2.4E-09	1.4E-08	3.2E-08	1.1E-07	3.8E-07
Muscle	7.8E-10	2.8E-09	8.0E-09	1.9E-08	4.7E-08
Ovaries	7.9E-10	2.8E-09	8.1E-09	1.9E-08	4.7E-08
Pancreas	7.8E-10	2.8E-09	8.0E-09	1.9E-08	4.7E-08
Red Marrow	7.8E-09	4.3E-08	9.2E-08	2.3E-07	4.6E-07
Respiratory Tract					
ET Airways	1.9E-09	4.5E-09	9.7E-09	2.1E-08	4.8E-08
Lungs	1.4E-08	1.6E-08	2.1E-08	3.2E-08	6.0E-08
Skin	7.8E-10	2.8E-09	8.0E-09	1.9E-08	4.7E-08
Spleen	7.8E-10	2.8E-09	8.0E-09	1.9E-08	4.7E-08
Testes	7.8E-10	2.8E-09	8.0E-09	1.9E-08	4.7E-08

Рисунок 2 – пример базы данных МКРЗ для ^{235}U .

2. РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ КОМПИЛЯТОРА СДУ

На данный момент разработан пилотный вариант компилятора системы дифференциальных уравнений, который пока работает лишь для ограниченного числа биокинетических моделей (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$). Интерфейс программы представлен на рисунке 3.

Тестирование ведется путём сопоставления данных на выходе компилятора СДУ с уже имеющимися системами дифференциальных уравнений составленными ранее вручную.

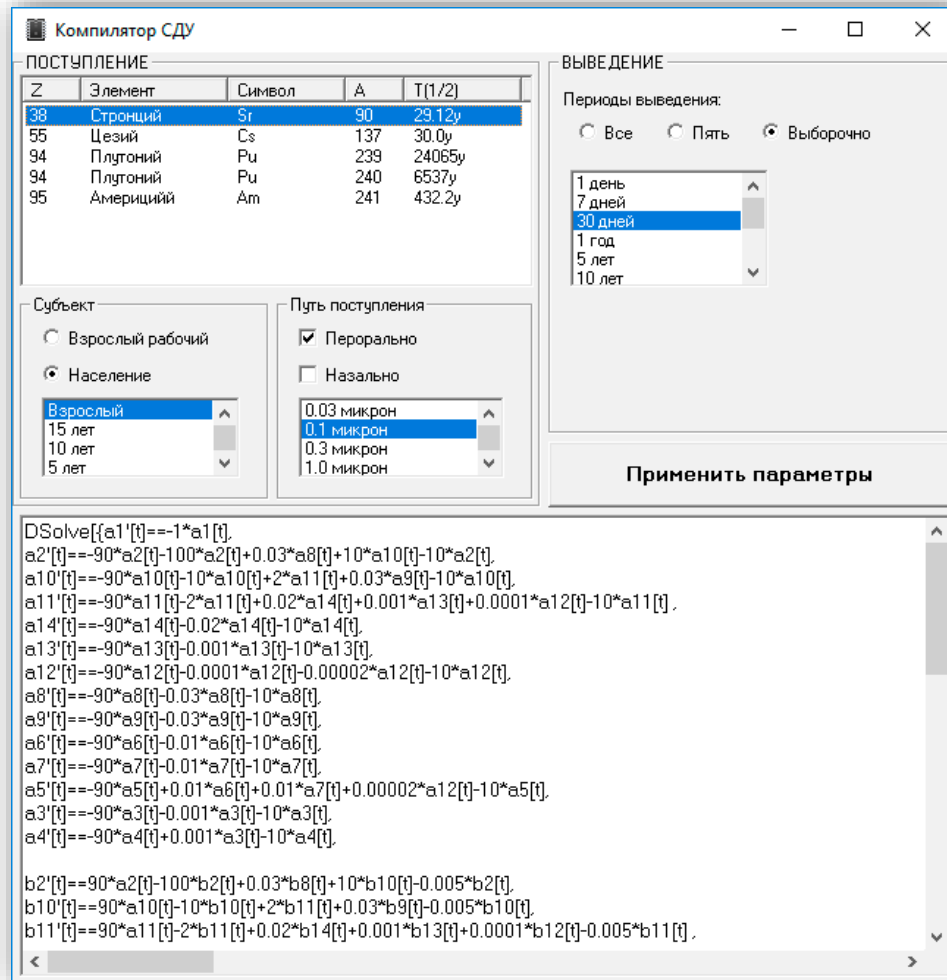


Рисунок 3 – пилотный вариант интерфейса разрабатываемой программы.

3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СДУ

В настоящий момент принято решение использовать язык программирования Python и подключаемые к нему модули SciPy и NumPy для интеграции с разрабатываемым программным обеспечением, т.к. они (модули) позволяют решать системы дифференциальных уравнений первого порядка с достаточно хорошим приближением.

Тестирование результатов решения СДУ будет производиться посредством сличения с результатами других программных сред для решения дифференциальных уравнений.