

УДК 624.9

*А. В. Калабурдин, В. А. Климова*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
a.calabourdin@gmail.com

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЁТА ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ РАДИОИЗОТОПОВ

*В работе представлено программное обеспечение для расчёта тепловыделения радиоизотопов, разработанное с использованием общепринятой расчётной методики и актуальных справочных данных. Описаны алгоритм, структура и функционал этого программного обеспечения.*

*Ключевые слова: остаточное тепловыделение; радиоактивные изотопы; радиоизотопные источники энергии; программное обеспечение.*

*A. V. Calaborudin, V. A. Klimova*

Ural Federal University, Ekaterinburg

## SOFTWARE FOR CALCULATION OF RADIOISOTOPE HEAT GENERATION

*The paper presents the software developed by authors for calculation of radioisotope heat generation employing conventional nuclear calculation methods and up-to-date nuclear data. The algorithm, structure, functionality and features of the software are described.*

*Key words: decay heat; radioisotopes; radioisotope energy sources; software.*

Необходимость в расчёте мощности тепловыделения для отдельных радиоизотопов и их сочетаний может возникнуть при оценке параметров хранения и транспортировки радиоактивных материалов (в том числе отработанного ядерного топлива) [1], при оценке параметров радиоизотопных термоэлектрических генераторов и в других задачах ядерной физики [2].

Для расчета этих характеристик можно использовать существующее программное обеспечение (ПО) и справочные пособия [1]. Однако такое ПО, часто, может быть громоздким, так как разрабатывается для расчёта целого комплекса теплофизических характеристик радиоактивных материалов и предназначается для использования в промышленных/научных организациях, что обуславливает известную труднодоступность такого ПО для выполнения задач в рамках университета. Что касается справочных пособий, то их основной недостаток заключается в сравнительно быстром устаревании [1]. Актуальная справочная информация может быть получена прежде всего с официальных Интернет-ресурсов МАГАТЭ [3], что-либо требует постоянного доступа в Интернет, либо сопряжено с неудобством ручного поиска данных в громоздких электронных таблицах.

Разработанное авторами и представленное в настоящей работе ПО (рис. 1) является простым и доступным инструментом расчёта мощности тепловыделения для отдельных радиоизотопов и их сочетаний. Вычисление осуществляется на основе методики расчёта тепловой мощности компонентов радиоизотопных термоэлектрических генераторов, используемой, например, в учебной программе “Nuclear Power Engineering” Иллинойского университета (США) [2]. Мощность тепловыделения рассчитывается следующим образом:

$$P = 1,6 \cdot 10^{-13} \cdot E \cdot A_0, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где  $E$  – энергия распада радиоизотопа, МэВ;  $A_0$  – активность радиоизотопа, Бк.

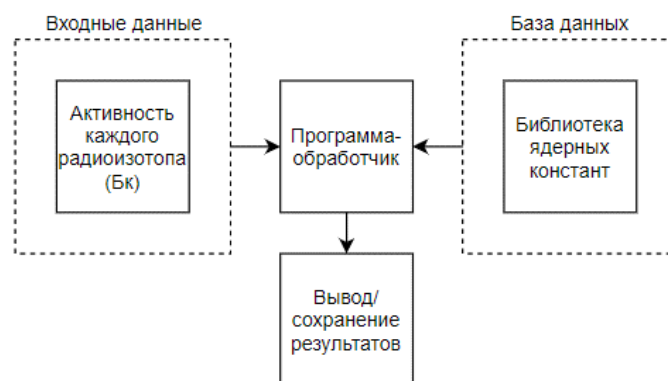
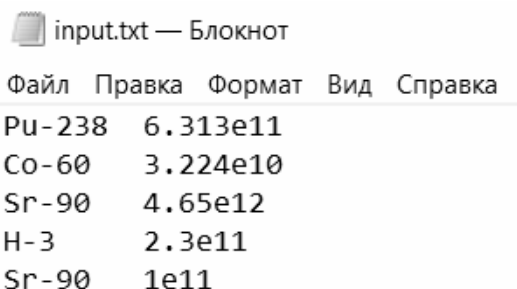


Рис. 1. Блок-схема разработанного авторами настоящей работы ПО

В данной версии ПО интерфейс является простым, примитивным и доступным. Ввод данных для программы осуществляется путём записи пользователем в текстовый файл с помощью стандартных встроенных в операционную систему текстовых редакторов (“Блокнот” и т. п.) названия радиоизотопа и его активности (в беккерелях) через пробел (рис. 2). Каждый радиоизотоп должен указываться с новой строки. Допускаются повторы – для набор одинаковых изотопов будет вычислена суммарная тепловая мощность. Запуск программы осуществляется двойным нажатием мыши на файл Launcher.bat в корневой директории ПО. Затем программа самостоятельно производит вычисления и сохраняет их в формате .txt в специальной папке, также находящейся в корневой директории ПО.



Файл	Правка	Формат	Вид	Справка
Pu-238	6.313e11			
Co-60	3.224e10			
Sr-90	4.65e12			
H-3	2.3e11			
Sr-90	1e11			

Рис. 2. Форма ввода данных пользователем ПО

База данных организована в формате JSON и содержит данные по энергии распада поддерживаемых программой изотопов (рис. 3), которые взяты с официального Интернет-ресурса МАГАТЭ [3]. Формат JSON, в сравнении с другими популярными форматами обмена данными (XML, CSV), является мощным, но компактным и лаконичным. Поэтому редактировать такую базу данных пользователь может сравнительно легко с помощью широкодоступных текстовых редакторов (“WordPad”, “Notepad++”).

Вывод данных и сохранение результатов осуществляются аналогично вводу, в виде текстового файла. Выводятся построчно наименования радиоизотопов, их активность, выдаваемая каждым из них тепловая мощность в ваттах, а также их суммарная тепловая мощность (рис. 4).

```

31     },
32     "Po-210" : {
33         "E,MeV" : 5.407
34     },
35     "Pu-238" : {
36         "E,MeV" : 5.593
37     },
38     "Am-241" : {
39         "E,MeV" : 5.637
40     },
41     "Cm-242" : {
42         "E,MeV" : 6.215
43     },
44     "Cm-244" : {
45         "E,MeV" : 5.901
46     }
47 }

```

Рис. 3. Фрагмент базы данных ПО с параметрами радиоизотопов

Программа реализована на языке Java, который является мощным инструментом для создания разнообразных кроссплатформенных приложений. Были использованы стандартные библиотеки Java, а также популярная библиотека Processing. В качестве IDE была использована IntelliJ IDEA. Фрагмент исходного кода программы представлен на рис. 5.

output.txt — Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

```

Pu-238 -- Activity: 6.313E11 Bq; -- Power(gross): 0.564937744 Watts(th)
Co-60 -- Activity: 3.224E10 Bq; -- Power(gross): 0.0145570048 Watts(th)
Sr-90 -- Activity: 4.65E12 Bq; -- Power(gross): 0.40622400000000003 Watts(th)
H-3 -- Activity: 2.3E11 Bq; -- Power(gross): 2.208E-4 Watts(th)
Sr-90 -- Activity: 1.0E11 Bq; -- Power(gross): 0.008736 Watts(th)
Total Power(gross): 0.9946755488 Watts(th)

```

Рис. 4. Формат вывода и сохранения данных программой

```

JSONObject json;
HashMap<String, Double> inputTable = new HashMap<>();
double powerGrossTotal = 0;
List<String> outputList = new ArrayList<>();
json = loadJSONObject(new File( pathname: "data/IsoBase.json"));

String[] lines = loadStrings(new File( pathname: "input-output/input.txt"));
for (int i = 0 ; i < lines.length; i++) {
    String[] sublines = lines[i].split( regex: "[ ]+");
    double activity = Double.parseDouble(sublines[1]);
    inputTable.put(sublines[0], activity);
    JSONObject isotopeJSON = json.getJSONObject(sublines[0]);
    Double energyJSON = isotopeJSON.getDouble( key: "E,MeV");
    double powerGross = 1.6e-13*energyJSON*activity;
    powerGrossTotal = powerGrossTotal + powerGross;
    outputList.add(sublines[0] + " -- Activity: " + inputTable.get(sublines[0]) + " Bq;"
        + " -- Power(gross): " + powerGross + " Watts(th)");
}

```

Рис. 5. Фрагмент исходного кода ПО

Для работы представленного ПО необходимо наличие установленной программы Java Runtime Environment (JRE), которая является минимальной реализацией виртуальной машины Java, необходимой для исполнения Java-приложений. JRE распространяется бесплатно и может быть скачана с официального сайта компании Oracle.

В дальнейшем планируется организовать представленное в работе ПО в виде самодостаточного пакета, который автоматически устанавливал бы всё необходимое сопроводительное ПО без необходимости доступа к интернету и имел бы более доступный и удобный для пользователя интерфейс. Также планируется расширить базу поддерживаемых программой радиоизотопов и функционал программы на основе анализа запросов пользователей.

#### Список использованных источников

1. Курбатова М. В. «Калькулятор радиационных и теплофизических характеристик ОЯТ», реализующий методы и подходы РБ-093-14 // Ядерная и радиационная безопасность. 2016. № 4. С. 19–32.
2. Nuclear, Plasma And Radiation Science I / M. Ragheb. Urbana : University of Illinois at Urbana-Champaign, 2018. 1099 p.
3. Live Chart of Nuclides [Электронный ресурс]. URL: <https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html> (дата обращения: 20.11.2018).