

УДК 004.942:519.6

В.М. ЛАЗУРИК, Ю.А. ШАПТАЛА, САЛАХ САВАН
Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина**ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ ПО
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ, ПОЛУЧЕННЫМ МЕТОДОМ
ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КЛИНА**

Разработано программное обеспечение на базе двухпараметрической подгонки полупэмпирической модели дозы электронного излучения к результатам измерений, выполненных методом дозиметрического клина. Реализованы программные сервисы для эффективной обработки экспериментальных данных.

Ключевые слова: глубинное распределение дозы, двухпараметрическая подгонка, сервисы

В.М. ЛАЗУРИК, Ю.А. ШАПТАЛА, САЛАХ САВАН
Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна, Україна**ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОНІВ ПО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМ
ДАНИМ, ОТРИМАНІМ МЕТОДОМ ДИЗИМЕТРИЧНОГО КЛИНУ**

Розроблене програмне забезпечення на базі двопараметричної підгонки напівемпіричної моделі дози електронного випромінювання до результатів вимірювань, виконаних методом дозиметричного клину. Реалізовані програмні сервіси для ефективної обробки експериментальних даних.

Ключові слова: глибинний розподіл дози, двопараметрична підгонка, сервіси

V.M. LAZURIK, Ju.A. SHAPTALA, SALAH SAWAN
V.N. Karasin Kharkiv National University**SOFTWARE DEVELOPMENT FOR DETERMINING OF THE ELECTRON ENERGY FROM THE
EXPERIMENTAL DATA OBTAINED BY THE DOSIMETRIC WEDGE METHOD**

The software based on the two-parameter fitting semi-empirical model to experimental data obtained by dosimetric werge is developed. Software services for the processing of experimental data are implemented.

Key words: depth dose distribution, two-parameter fitting, services.

Постановка проблемы

При планировании радиационно-технологических (РТ) процессов важной задачей является выбор оптимальных режимов работы, которые обеспечивают требуемый уровень равномерности дозы излучения в объеме обрабатываемого объекта. Энергия частиц излучения – один из основных параметров процесса облучения, контроль которого всегда проводится в радиационно-технологических центрах. Обычно, для определения энергии электронов измеряют глубинную зависимость дозы излучения в полубесконечной среде с использованием клина с дозиметрической пленкой внутри него. Результаты измерений представляют собой наборы значений дозы для различных пространственных точек на пленке. Методы получения характеристик энергии электронов, используемые в практике РТ центров, не обеспечивают требуемую сегодня точность. Поэтому, необходимо улучшать имеющиеся и разрабатывать новые вычислительные методы определения параметров РТ процессов. В этой связи, актуальной задачей является разработка программного обеспечения, реализующего новые методы для РТ центров.

Анализ последних исследований и публикаций

Метод дозиметрического клина [1, 2]. В практике РТ центров для дозиметрии электронного излучения используют величину наиболее вероятной энергии электронов в пучке. Для расчета этой величины служат результаты измерения глубинной зависимости дозы электронного излучения в полубесконечной среде, полученные методом дозиметрического клина. Клины с непрерывной полоской дозиметрической пленки облучают на РТ линии электронным пучком, потом из него извлекают пленку и по измеренным величинам оптической плотности пленки в разных точках определяют значения дозы в этих пространственных точках. В полученном массиве экспериментальных данных точки, соответствующие началу и концу кривой, содержат данные с большими погрешностями и непригодны для дальнейшей обработки. Значения дозы в начальных точках пленки не определены из-за особенностей измерительного прибора, это, так называемая проблема установки начальной точки отсчета. Конечные точки на дозовой кривой могут иметь систематические погрешности, так как на больших глубинах доза мала и отклик пленки нелинейный. Поэтому, для обработки наиболее надежной является центральная часть дозовой кривой.

Полуэмпирическая модель глубинного распределения дозы (ПМД) [3] реализована как алгоритм, основанный на аналитическом представлении кривой глубинного распределения дозы в полубесконечной среде и на простых модификациях модели для прохождения электронов через многослойные мишени. ПМД была использована в разработанном Web приложении EMID (Electron–material interaction database) [4] для расчета набора характеристик, определяющих прохождение быстрых электронов через слои вещества.

Специализированное программное обеспечение RT-Office [5] реализует компьютерные технологии на всех этапах выполнения работ на радиационно-технологических линиях с излучателями электронов, X-ray и γ -ray. RT-Office базируется на высокоэффективных программах, моделирующих методом Монте-Карло процессы облучения пространственно-неоднородных объектов. В составе RT-Office имеется аналитический блок, в котором реализованы расчетные схемы модифицированной полуэмпирической модели. Сравнение результатов моделирования методом Монте-Карло с результатами, полученными в модифицированной полуэмпирической модели, показало их хорошее согласие.

Двухпараметрический метод подгонки ПМД к результатам измерений [6] позволяет осуществить подгонку полуэмпирической модели дозы электронного излучения по двум параметрам к результатам измерений. В качестве параметров используется энергия электронов E_p и смещение по глубине начальной точки X_0 . Подгонка базируется на использовании критерия наименьшего квадратичного отклонения между моделью и результатами измерений.

В вычислительной схеме используется метод координатного спуска для нахождения величин энергии электронов и смещения по глубине начальной точки дозовой кривой, которые обеспечивают минимум квадратичного отклонения между данными, рассчитанными в модели и нормированными результатами измерений. На основе этого вычислительного метода было реализовано исследовательское программное обеспечение (ПО). Несмотря на то, что разработанное ПО предполагает работу эксперта и содержит только расчетную схему, использование его оказалось эффективным при обработке результатов измерений, полученных методом дозиметрического клина [7, 8, 9].

Цель исследования

Работа посвящена описанию разработанного программного обеспечения, в основе которого лежит метод двухпараметрической подгонки. Такое ПО должно быть ориентировано на использование в радиационно-технологических центрах инженерами-технологами. Оно должно обеспечивать удобное когнитивное представление данных, пошаговое выполнение операций, возможность трансформирования исходных экспериментальных данных, откат произведенных изменений, экспорт результатов в виде текстовых файлов. Наличие хороших сервисов и сопроводительной документации, простой и удобный интерфейс, валидация введенных данных также относится к требованиям, выдвигаемым к ПО. Для проверки правильности работы разработанного ПО должно быть проведено сравнение результатов полученных различными методами на основе эталонных показателей.

Программное обеспечение ParametricFitting

Разработанное ПО названо ParametricFitting (параметрическая подгонка). ParametricFitting дает возможность технологу свободно работать с экспериментальными данными. Для этого предусмотрена возможность масштабирования исходных данных, выделение части данных и подгонка по выделенной части, смещение как по оси X (глубина), так и по оси Y (доза). Для работы с результатами введено масштабирование для более качественного сравнения, визуализация результатов предыдущего расчета, сохранение в буфере обмена вида графика результатов как изображения, экспорт в текстовый файл всех значений точек, по которым построены кривые на графике.

Глубинные распределения дозы, полученные методом дозиметрического клина, содержат значения дозы в точках пленки. Необходимо знать соответствие пространственных точек на пленке значению глубины в мишени. Для этого необходимо установить начальную точку отсчета и коэффициент пропорциональности между длиной на пленке и глубиной в мишени. Этот коэффициент пропорциональности зависит от угла наклона клина и может изменяться в зависимости от используемого дозиметрического устройства. Установка коэффициента пропорциональности (масштабирования) Scale задается в ParametricFitting как исходный параметр.

На рис.1 изображен интерфейс программы с загруженными данными. Это тестовые данные, полученные как результат расчета программами RT-Office распределения дозы в алюминиевой мишени, облучаемой пучком электронов 10 MeV.

Такой массив данных используем для проверки работоспособности ParametricFitting. Коэффициент масштабирования для этого случая равен 2.6. На графике темными прямоугольниками точками показаны исходные данные. Поля X_{min} и X_{max} задают значения границ для выделения средней части кривой. На графике эти точки изображены более светлыми прямоугольниками. Именно по этой части экспериментальных данных проведена параметрическая подгонка. Рассчитанные значения энергии E_1 и E_2 слабо отличаются от тестового значения 10 MeV. Темная сплошная кривая показывает результат подгонки, светлая сплошная кривая – результат предыдущего расчета.

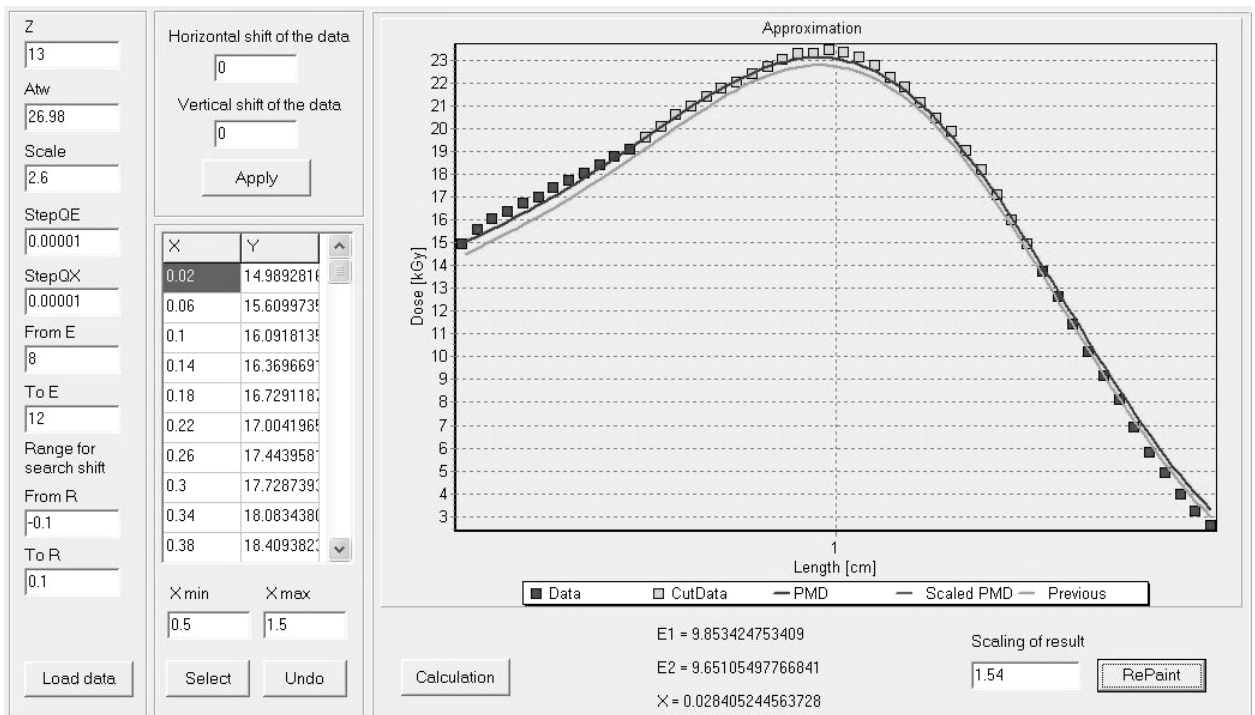


Рис.1. Проверка работоспособности программы ParametricFitting на расчетных данных

На рис.2 демонстрируется пример обработки результатов измерений, в котором использованы возможности вырезки части точек, смещения по оси X и по оси Y. Смещение по длине (ось X) необходимо для корректировки начальной точки отсчета на кривой, смещение по дозе (ось Y) необходимо, чтобы устранить систематическую погрешность результатов измерений.

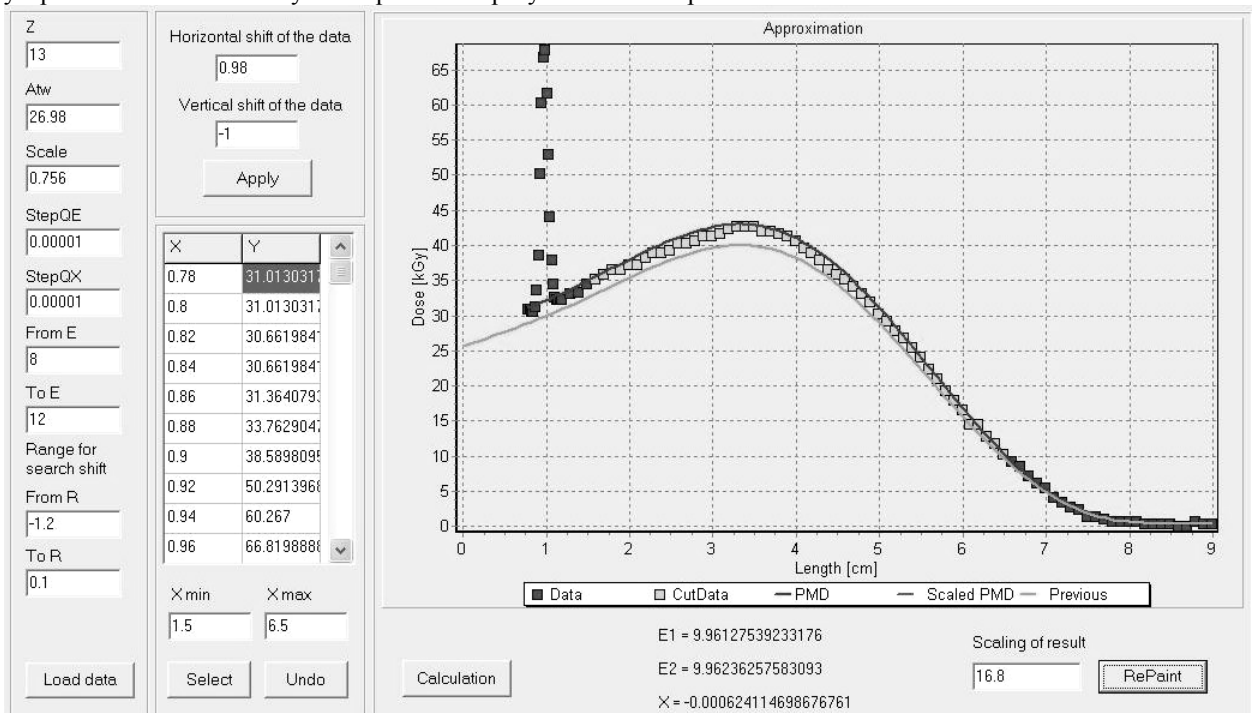


Рис.2. Обработка экспериментальных данных, полученных методом дозиметрического клина

На рис.3. показана возможность вызова всплывающего меню при щелчке правой клавишей мышки на поле графика. Есть возможность поменять вид графика 2D \leftrightarrow 3D, сохранить в буфере обмена изображение графика, сохранить результирующие данные в виде текстового файла. Чтобы эффективно



Рис.3. Дополнительные сервисные возможности

решать задачи оценки ошибок измерений, реализована возможность сохранения результатов предыдущего расчета (кривая Previous). Это обеспечивает ручной поиск оптимальных параметров подгонки.

Результаты работы и выводы

Предложено разработанное программное обеспечение ParametricFitting, содержащее вычислительную схему параметрического метода определения энергии электронов на основе подгонки параметров полуэмпирической модели, таких как энергия электронов и смещение начальной точки в глубинной зависимости дозы электронного излучения. Программное обеспечение содержит сервисные возможности, которые позволят технологам РТ центров обрабатывать экспериментальные данные, полученные методом дозиметрического клина, для определения оптимальных параметров РТ процесса.

Список использованной литературы

1. ASTM Standards, Designation: E 1649 – 94. Standard practice for dosimetry in an electron beam facility for radiation processing at energies between 300 keV and 25 MeV: ISO/ASTM1818-09.– 1995. – 19 с.
2. ICRU REPORT 35 Radiation dosimetry: electron beams with energies between 1 and 50 MeV. – 1984. – 160 с.
3. Tabata T., Andreo P. and Shinoda K. An algorithm for depth-dose curves of electrons fitted to Monte Carlo data // Radiation Physics and Chemistry. – 1998. – Vol. 53. – P. 205-215
4. Lazurik V.M., Tabata T., Lazurik V.T. A Database for Electron-Material Interactions // Radiation Physics and Chemistry. – 2001. – Vol. 60. – P. 161-162.
5. Lazurik V.T., Lazurik V.M., Popov G., Rogov Yu., Zimek Z. Book «Information System and Software for Quality Control of Radiation Processing» // IAEA: Collaborating Center for Radiation Processing and Industrial Dosimetry, Warsaw, Poland.– 2011. – 220 p.
6. Pochynok A.V., Lazurik V.T., Sarukhanyan G.E. The parametric method of the determination of electron energy on the data obtained by the method of a dosimetric wedge //Bulletin Kherson National Technical University. – 2012. – Vol. 2(45). – P. 298 – 302.
7. Lazurik V.T., Popov G.F., Zimek Z., Lazurik R.V., Sovan Salah Ibrahim. Determination of the standard characteristics of depth-dose distributions on the base of semiempirical model of electrons energy deposition. // East European Journal of Physics. – 2015. – Vol. 2. – No.4. – P. 45-51.
8. Lazurik V.T., Popov G.F., Zimek Z., Lazurik R.V., Sovan Salah. Comparison of the methods of processing the results of depth dose distribution measurements initiated by electron beam. // Information Processing Systems. – 2016. – № 3(140). – С. 82-87.
9. Lazurik V.T., Lazurik V.M., Popov G., Zimek Z. Two-parametric model of electron beam in computational dosimetry for radiation processing. // Radiation Physics and Chemistry. – 2016. – Vol. 124 – P. 230–234.