

УДК 5353.05

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПО ГЛУБИНЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ В ТЕЛЕ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

<sup>1,2)</sup> Купчишин А.И., <sup>2)</sup> Тронин Б.А., <sup>2)</sup> Ниязов М.Н., <sup>2)</sup> Шаханов К.Ш.

<sup>1)</sup> *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

<sup>2)</sup> *Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан*

Проведены измерения геометрических и физических параметров обрабатываемой медицинской продукции. Измерена плотность образцов, как в промышленной упаковке, так и в отдельных изделиях. Выполнены экспериментальные исследования по прохождению электронов с энергией 2 МэВ через медицинскую продукцию: вату, шприцы. Получены коэффициенты поглощения электронного пучка для двух материалов (вата, шприцы). Установлено, что при облучении продукции с сторон наблюдается большая равномерность распределения дозы в образцах ваты и шприцев. Из результатов эксперимента следует, что такое облучение приводит к тому, что неравномерность дозы воздействия по толщине образца для ваты составляет порядка 5 %, а для шприцев – 3 %.

### ВВЕДЕНИЕ

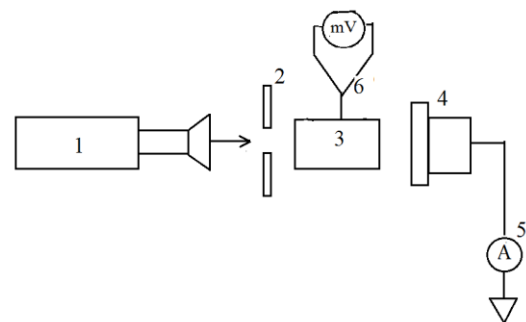
Проведены работы по модернизации имеющегося экспериментального оборудования по радиационной обработке медицинских материалов и изделий промышленной продукции для здоровья нации Казахстана, созданию ускорительно-промышленного комплекса в физико-технологической лаборатории КазНПУ имени Абая и разработке на нем комплекса радиационно-химических технологий обработки медицинской и другой продукции. В ускорительном, модуляторном и пультовом залах импульсного линейного ускорителя высокоэнергетических электронов проведены экспериментальные технические работы по совершенствованию имеющихся блоков экспериментального оборудования. В зависимости от типа, энергии налетающих частиц, атомного номера мишени, температуры материала и др. в медицинских материалах происходят различные довольно сложные процессы, начиная от взаимодействия первичных частиц с электронами и атомами среды, рассеяния частиц, возбуждения атомов, образования первичных и вторично-выбитых атомов и завершая различными превращениями, аномальными явлениями, экзотическими эффектами [1–3]. Несмотря на широкий спектр прикладных работ, большого количества работ по моделированию на ЭВМ радиационных процессов, общей теории радиационных дефектов, к сожалению, пока еще не существует. В связи с этим любые попытки создать практическую модель какого-либо технологического процесса представляются очень важными. Например, в случае прохождения электронов с энергией 6 МэВ через конденсированные среды происходит около 10 тысяч взаимодействий первичных электронов с электронами атомов среды [4–6]. В случае ионов это цифра еще больше. Естественно, проследить детально процесс прохождения частиц через вещество на настоящем этапе исследований практически невозможно. В последние годы, ионизирующие излучения широко применяются в Казахстане, СНГ и странах дальнего зарубежья. В частности, развитие получили электронно-лучевые технологии

обработки медицинских инструментов и материалов, начаты работы по радиационной стерилизации ваты, бинтов, консервантов и т.д. Традиционный лазерный метод обработки изделий по сравнению с электронно-лучевым требует больших затрат энергии и обладает низким КПД. Настоящая работа посвящена экспериментальным исследованиям распределений по глубине интенсивности пучка электронов в теле обрабатываемой продукции.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В опытах в качестве образцов исследовалась хирургическая вата с размерами: диаметр – 7 см., длина – 10 см., а также шприцы в упаковке размерами 18×31×10 см. Для проведения облучения образцы ваты разрезались на диски диаметром 7 см и толщиной: 1 см, 2,5 см, 10 см. Облучение велось на ускорителе ЭЛУ-6 АГУ им. Абая, имеющего следующие параметры: (1) энергия электронов  $E_{cp} = 2$  МэВ; (2) полный ток  $I = 1500$  мкА; (3) частота посылок импульсов  $\nu = 200$  Гц; (4) потребляемая мощность – 75 кВт.

Для проведения эксперимента создана экспериментальная установка, блок-схема, которой приведена на рисунке 1.



1 – ускоритель электронов; 2 – коллимационное устройство;  
3 – исследуемый образец; 4 – детектор (цилиндр Фарадея);  
5 – измеритель тока; 6 – термопара (медь-константан)  
с милливольтметром

Рисунок 1. Блок-схема экспериментальной установки для исследования распределения потоков электронов в теле медицинской продукции

Установка состоит из следующих блоков: (1) ускоритель; (2) коллимационное устройство; (3) исследуемый образец; (4) детектор; (5) измеритель тока; (6) измеритель температуры. В качестве коллимационного устройства использовался металлический лист с отверстием диаметром 1 см, в качестве детектора – цилиндр Фарадея, в качестве измерителя тока – микроамперметр, в качестве измерителя температуры – термопара медь-константан.

Место размещения облучаемого образца находилось из предварительных исследований пространственного поля интенсивности электронов. Максимальная плотность тока ограничивалась температурой равной 30 °С, которая контролировалась термопарой и составляла в нашем случае  $j = 0.6$  мкА/см<sup>2</sup>. Исследуемые образцы из ваты и шприцов размещались между коллиматором и детектором на расстоянии 30 см от выходного окна ускорителя. Микроамперметр размещался в пультовом зале, где происходила регистрация тока электронов, прошедших через поглотитель.

Расчет поглощенной дозы проводился по формуле:

$$D = dE/d\xi\tau j 10^3 \text{ (Гр)}, \quad (1)$$

где  $dE/d\xi$  – полные потери энергии электронов, Гр·см<sup>2</sup>/мкА·сек;  $\tau$  – время облучения, сек;  $j$  – плотность тока, мкА/см<sup>2</sup>.

Плотность исследуемых материалов находилась следующим образом.

Проводились геометрические замеры продукции и ее вес. Далее находилась плотность вещества. Для нашей продукции плотность была равна: для ваты –  $P = 0,25$  гр/см<sup>3</sup>; для шприцев –  $P = 0,129$  гр/см<sup>3</sup>.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты измерений представлены в таблицах 1 и 2 и в виде графиков (рисунки 2, 3). Измерения проводились многократно.

Таблица 1. Зависимость интенсивности пучка электронов от глубины материала (вата)

$l$ (см)	0	1	2,5	5	10	
$I$ (мкА)	1	5,6	3,65	1,65	1,15	0,9
	2	5,7	3,75	1,75	1,25	1
	3	5,8	3,85	1,85	1,35	1,1
$\text{Ln } I$	1,74	1,32	0,56	0,22	0,1	

Таблица 2. Зависимость интенсивности пучка электронов от глубины материала (шприцы)

$l$ (см)	0	10	18	31	
$I$ (мкА)	1	5,6	4,0	2,5	2,0
	2	5,7	4,1	3	2,1
	3	5,8	4,2	3,1	2,2
$\text{Ln } I$	1,74	1,4	1,1	0,74	

Результаты зависимости  $I$  от толщины  $l$  поглотителя в логарифмическом масштабе приведены на рисунке 3. Коэффициент поглощения (расчет) для ваты

при этом составляет  $K = 0,118$  см<sup>2</sup>/г, для шприцов  $K = 0,0045$  см<sup>2</sup>/г. Видно, что как для ваты, так и для шприцев интенсивность пучка электронов убывает с глубиной. Для получения равномерного распределения дозы облучение нужно проводить с двух сторон.

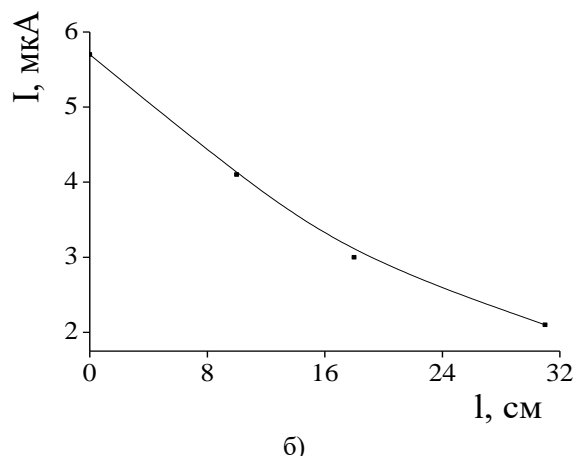
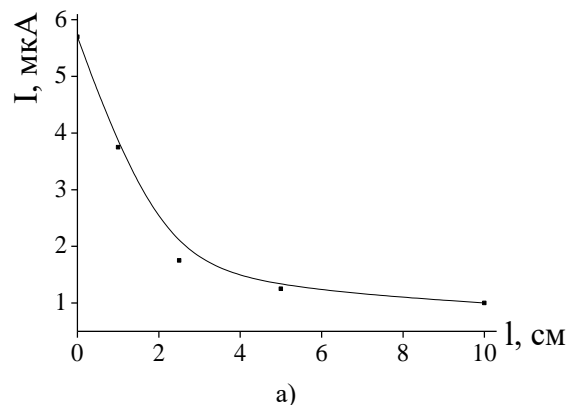


Рисунок 2. Зависимость интенсивности пучка электронов от глубины для ваты (а) и для шприцев (б)

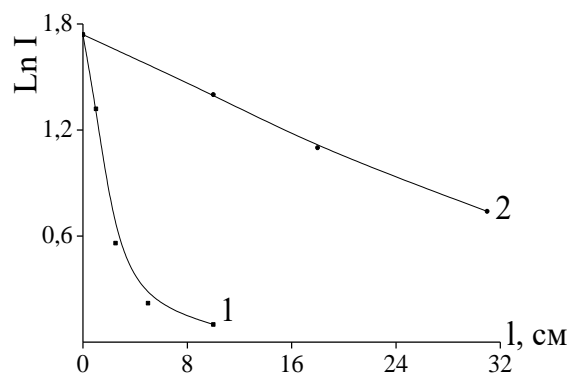


Рисунок 3. Зависимость  $\text{Ln } I$  от глубины для ваты (кривая 1) и шприцев (кривая 2)

Как видно из полученных результатов, плотность медицинской материи для шприцев меньше, чем для ваты, почти в два раза. Поглощение электронов средой происходит приблизительно по экспоненциальному закону. При толщине ваты 1 см происходит практически полное поглощение пучка электронов.

Облучение ваты и шприцев с двух сторон приводит к тому, что неравномерность в распределении дозы составляет 5 и 3 % соответственно.

#### **Выводы**

1. Проведены измерения геометрических и физических параметров обрабатываемой медицинской продукции. Измерена плотность образцов, как в промышленной упаковке, так и в отдельных изделиях.

2. Выполнены экспериментальные исследования по прохождению электронов с энергией 2 МэВ через медицинскую продукцию: вату, шприцы. Получены зависимости интенсивности пучка электронов от

толщины поглотителя непосредственно в теле ваты и шприцев. Получены коэффициенты поглощения электронного пучка для двух материалов (вата, шприцы).

3. Установлено, что при облучении продукции с одной стороны наблюдается большая неравномерность распределения дозы в образцах ваты и шприцев. Этот недостаток можно устранить, обрабатывая образцы с двух противоположных направлений. Из результатов эксперимента следует, что такое облучение приводит к тому, что неравномерность дозы воздействия по толщине образца для ваты составляет порядка 5 %, а для шприцев – 3 %.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Гримальский Б.В., Иванов М.С., Купчишин А.И., Купчишин А.А., Салиходжаев А.А., Тронин Б.А. и др. Ускорители заряженных частиц и рентгеновские приборы/ Учебное пособие. – Алматы. – 1999. – С. 4–91.
2. Забаев В.Н. Применение ускорителей в науке и промышленности: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 195 с.
3. Каминский В.И., Лалаян М.В., Собонин Н.П. Ускоряющие структуры: учеб. пособие для вузов. – М.: МИФИ, 2005. – 294 с.
4. Собенин Н.П., Болгов Р.О., Гусарова М.А., Каминский В.И., Лалаян М.В. Перспективные ускоряющие структуры с прецизионными параметрами. – М.: НИЯУ МИФИ, 2013. – 188 с.
5. Винтзенко И. Линейные индукционные ускорители для релятивистских СВЧ-приборов. – Издательство: «Физматлит», 2012. – 408 с.
6. Акатов А.А., Коряковский Ю.С. Ядерная энергия на службе человечества. – М.: изд. Общественный совет Госкорпорации «Росатом», 2011. – 24 с.

### **ӨНДЕЛЕТІН ӨНІМНІҢ ДЕНЕСІНДЕ ЭЛЕКТРОНДАРДЫҢ ШОҒЫРЫНЫҢ ҚАРҚЫНДЫЛЫҚ ТЕРЕНДІГІ БОЙЫНША ТАРАЛУЫН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ**

<sup>1,2)</sup> А.И. Купчишин, <sup>2)</sup> Б.А. Тронин, <sup>2)</sup> М.Н. Ниязов, <sup>2)</sup> К.Ш. Шаханов

<sup>1)</sup> *Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан*

<sup>2)</sup> *Абай атындағы Қазақ Ұлттық Педагогикалық Университеті, Алматы, Қазақстан*

Өнделетін медициналық өнімнің геометриялық және физикалық параметрлерін өлшеу жүргізілді. Өнеркәсіптік қаптамада да, жекелеген бұйымдарда да үлгілердің тығыздығы өлшенген. Медициналық өнімдер: мақта, шприцтер арқылы 2 МэВ энергиясымен электрондарды өткізу бойынша тәжірибелік зерттеулер жүргізілді. Екі материал (мақта, шприцтер) үшін электрондық шоғырдың жұту коэффициенттері алынды. Өнімдерді сәулелендірген кезде мақта мен шприц үлгілеріндегі үлкен болу дозасы байқалды. Эксперимент нәтижесінен мұндай сәулелендіру мынағалуы желеді. Мақта үшін үлгі қалыңдығы бойынша әсер ету дозасының біркелкі еместігін 5 %, ал шприцтер үшін – 3 % кұрайды.

### **EXPERIMENTAL STUDIES OF THE DISTRIBUTIONS OF THE DEPTH INTENSITY OF THE ELECTRON BEAM IN THE BODY OF THE TREATED PRODUCTS**

<sup>1,2)</sup> A.I. Kupchishin, <sup>2)</sup> B.A. Tronin, <sup>2)</sup> M.N. Niyazov, <sup>2)</sup> K.Sh. Shahanov

<sup>1)</sup> *Kazakh National University by al-Farabi, Almaty, Kazakhstan*

<sup>2)</sup> *Kazakh National Pedagogical University by Abay, Almaty, Kazakhstan*

The measurements of geometrical and physical parameters of the processed medical products were carried out. The density of samples was measured both in industrial packaging and in individual products. Experimental studies on the passage of electrons with an energy of 2 MeV through medical products: cotton wool, syringes. The absorption coefficients of the electron beam for two materials (cotton wool, syringes) are obtained. It was found that when irradiating products from the sides there is a greater uniformity of dose distribution in samples of cotton wool and syringes. From the results of the experiment it follows that such irradiation leads to the fact that the unevenness of the dose of the impact on the thickness of the sample for cotton wool is about 5 %, and for syringes – 3 %.