

УДК 539.124.18.08

Д. В. ТИТОВ, студент, НТУ «ХПИ», лаб.ННЦ «ХФТИ», Харьков;
Е. Л. НОЗДРАЧЁВА, канд. техн. наук, доцент НТУ «ХПИ»;
В. А. ШЕВЧЕНКО, вед. инж.-исл., ННЦ «ХФТИ», Харьков

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПРОДУКЦИИ НА ЛИНЕЙНОМ УСКОРИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ

Рассмотрена схема проведения облучения продукции медицинского и иного назначения с целью стерилизации, а также контроля стерилизационной дозы на ускорителе электронов ЛУ-10 ННЦ «ХФТИ» с энергией 10МэВ. Приведен пример дозиметрического сопровождения технологии с использованием дозиметров Harwell RedPerspex 4034 и дозиметрической плёнки RISO В-3. Показан пример эффективности работы данного метода дозиметрии и его приборного обеспечения.

Ключевые слова: Технологическая дозиметрия, поглощенная доза, линейный ускоритель электронов, дозиметр, дозиметрическая пленка

Из всех областей, связанных с радиационной обработкой, стерилизация медицинских изделий претерпела наибольшие качественные изменения. Прежде всего, это связано с широким внедрением в мировую медицинскую практику средств одноразового использования – перевязочных материалов, медицинской одежды, покрытий и белья, шприцов, хирургических нитей, катетеров, систем переливания крови и др. Также стерилизуются такие изделия медицинского назначения, как иглы для инъекции, скарификаторы, перчатки, различные имплантаты

© Д. В. Титов, Е. Л. Ноздрачёва, В. А. Шевченко, 2014

и т.д. В последнее время к медицинским изделиям, стерилизуемым радиацией, добавилась продукция фармации (как сырье, так и готовые формы), а также отдельные виды пищевой продукции (главным образом, травяные чаи). Направляемая на радиационную стерилизацию продукция пакуется в картонные гофроящики, размер и масса которых предварительно согласовываются для обеспечения требуемого режима обработки.

Основным параметром радиационной обработки является поглощенная доза излучения. Доза равна отношению средней энергии, переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе вещества в этом объеме. В системе СИ поглощенная доза измеряется в Грейх (Гр). $1 \text{ Грей} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}$. [1].

Стандартная технологическая установка для стерилизации включает ускоритель электронов с системой сканирования пучка, а также конвейер для дистанционной транспортировки ящиков с обрабатываемыми изделиями в зону облучения. Развёртка пучка осуществляется на ширину ящиков перпендикулярно к направлению их движения.

Доза в любой точке ящика зависит от энергии электронов, среднего тока, ширины развёртки, скорости конвейера, толщины и плотности объекта, а также самого материала, который находится между окном вывода пучка, и данной точкой. На дозу также может оказывать влияние наличие неоднородностей в обрабатываемом материале вследствие рассеяния электронов на границах раздела. В процессе обработки величина получаемой продукцией поглощенной дозы обеспечивается поддержанием скорости конвейера, исключающей появление недооблученных участков.

Чтобы знать какую дозу необходимо сообщить обрабатываемой продукции для обеспечения ее стерильности (стерилизационная доза) необходимо предварительно провести испытания. Например, для проведения испытаний из предназначенной для обработки партии бинтов произвольно отбирают 5 ящиков, каждому из которых необходимо сообщить определенную дозу по степени нарастания: на первый – 5 кГр, второй – 10 кГр, далее – 15, 20, и 25 кГр. После облучения эти пять ящиков (образцов) отправляют в бактериологическую лабораторию. Последняя после проведения исследований на стерильность дает заключение, какая доза является стерилизационной для данной партии продукции. Кроме того, целью испытаний является установление максимально допустимого значения дозы. Процедура эта является обязательной, так как при превышении допустимого значения можно разрушить материал образца. Если, например, бинту дать завышенную дозу, то он будет расплываться, если ещё большую, то будет рассы-

паться. Если дать малую дозу, то бинт не будет полностью стерилизован, и не будет пригоден к использованию.

В Харьковском Физико-техническом Институте (ХФТИ) имеется участок радиационной обработки (УРО) - рис.1, состоящий из ускорителя электронов ЛУ-10 и конвейера с регулируемой скоростью в диапазоне $0,3 \div 6$ см/сек. Энергия электронов E составляет 10 МэВ, средний ток пучка $I_{cp} = 800$ мкА, длительность импульсов пучка - 4 мкс, частота следования импульсов - 250 Гц. Развёртка пучка с частотой 3 Гц осуществляется сканером на основе управляемого от ПК электромагнита. Оператор УРО, исходя из требуемого режима обработки, с помощью ПК управляет током в магните, задавая ширину развёртки на объекте в диапазоне от 25 см до 42 см. [2]

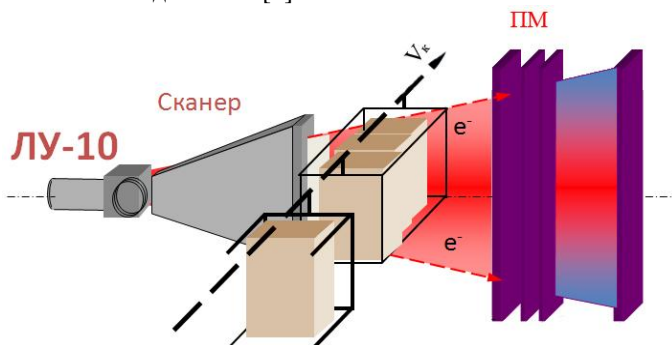


Рис. 1 – Оборудование участка радиационной обработки ЛУ-10

Расстояние от выходного окна сканера до передней плоскости транспортного контейнера с обрабатываемыми изделиями составляет 110 см. За конвейером размещен пластинчатый монитор ПМ (8 алюминиевых пластин, расположенных за конвейером, с системой съема и обработки информации), в котором поглощается часть пучка, оставшаяся после взаимодействия с объектом. Получаемая с ПМ информация позволяет контролировать параметры пучка ускоренных электронов и режим обработки.

На участке радиационной обработки используются два типа дозиметров: Harwell RedPerspex 4034 и дозиметрическая плёнка RISO В-3.[3] Дозиметр Harwell RedPerspex 4034 (рис.2) изготовлен из полиметилметакрилата с добавкой радиационно чувствительного красителя в виде пластинок размером 30×11 мм и толщиной 3 ± 0.4 мм.

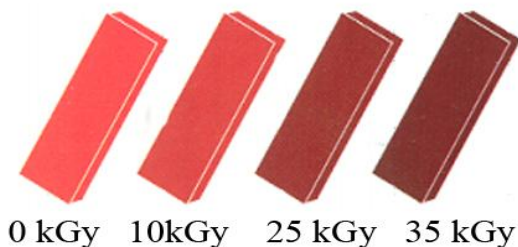


Рис.2– Дозиметры Harwell RedPerspex 4034

Диапазон измерения дозы составляет 5-50 кГр. Для этого определяется оптическая плотность (absorbance) дозиметра на длине волны 640 нм (*красный*). Изначально дозиметр имеет ярко красный цвет, а с получением дозы начинает темнеть (рис. 2) После облучения дозиметр пригоден для измерений в течение двух дней. В дальнейшем он начинает осветляться и имеет уже совсем другую оптическую плотность.

У плёнки RISO В-3 (рис. 3) диапазон измерения дозы составляет 5-100 кГр, а измерение оптической плотности проводится на длине волны 554 нм (*зелёная область*). Перед измерением дозы плёнку следует прогреть при температуре 75 С в течение 5 минут. После этого дозиметрическая плёнка будет сохранять оптическую плотность (дозу) на протяжении 1 года. Плёнку выпускают толщиной 0.018 мм и разного формата. Ее калибровка осуществляется с помощью специальных калориметрических дозиметров RISO, которые являются референтными (высшего порядка) с прослеживаемостью к Национальному эталону поглощенной дозы Великобритании.



Рис. 3 – Дозиметрическая плёнка RISO В-3

Для измерения дозы, получаемой изделиями при обработке, дозиметры приклеивают на поверхность ящика и/или вкладывают внутрь. После этого ящик ставят в транспортный контейнер (*подвес*) конвейера (рис.4), перемещающий его через защитный лабиринт в зону обработки пучком и обратно в зал загрузки.



Рис. 4 – Транспортный контейнер с обрабатываемыми изделиями и дозиметром Harwell RedPerspex 4034

Чтобы определить, какую дозу получил дозиметр, необходимо измерить его оптическую плотность или коэффициент пропускания. С помощью спектрофотометра можно измерить оба параметра. В ХФТИ на участке радиационной обработки имеются два спектрофотометра: СФ-46 ЛОМО отечественного производства и UVmini-1240 Shimadzu, изготовленный в Японии. В основу спектрофотометров положен принцип измерения отношения двух световых потоков: потока прошедшего через исследуемый образец и потока, падающего на исследуемый образец (или прошедшего через контрольный образец). Оба прибора имеют одинаковый диапазон по длине волны - от 190 нм до 1100 нм, что представляет собой значительное удобство при измерениях. [4]

Для определения поглощенной дозы дозиметр помещается в спектрофотометр и определяется его оптическая плотность D по формуле:

$$D = \lg T, \quad (1)$$

где T – коэффициент пропускания измеряемого образца. Сам коэффициент пропускания определяется по формуле:

$$T = U_x/U_0, \quad (2)$$

где U – это световой поток, прошедший через образец, U_0 – световой поток, падающий на образец

По результатам измерения оптической плотности с помощью таблиц с градуировочными характеристиками данной партии дозиметров определяется поглощенная объектом доза. Возможна корректировка скорости конвейера для обеспечения требуемого значения дозы. Во время обработки партии и в конце ее производится контрольная дозиметрия для подтверждения, что вся партия обработана надлежащим образом. [5]

Поскольку распределение дозы в объеме обрабатываемого изделия неравномерно, то для обеспечения гарантированного уровня стерильности принято давать дозу немного больше полученного по результатам испытаний значения, поскольку на периферии ящика она ниже, чем на передней поверхности, где обычно размещают дозиметры. Для более точного мониторинга проводится контроль всех параметров, определяющих качество обработки.

Выводы. Показано, что эффективным методом стерилизации медицинских изделий является ее обработка пучком ускоренных электронов. Обязательным условием технологии является установление и поддержание в заданных пределах параметров пучка, а также точное измерение поглощенной дозы с помощью современных средств технологической дозиметрии.

Авторы выражают благодарность проф. Уварову В.Л. за консультацию.

Список литературы: 1. *Поленов. Б. В.* Дозиметрические приборы для населения / *Б. В. Поленов.* – М. : Энергоатомиздат, 1991. – с. 5-11. 2. *Рябухин Ю. С.* Ускоренные пучки и их применение / *Ю. С. Рябухин, А. В. Шальнов.* – М. : Атомиздат, 1980. – 141 с. 3. *Arne Miller.* Dosimetry. Riso Higt Dose Reference Laboratoru. / *Arne Miller* // Technical University of Denmark. DK-4000 Roskilde. – С. 3-32. 4. *Гвай А. С.* Современные методы и средства дозиметрии ионизирующих излучений в медицине. / *А.С. Гвай, Л.А.Аверьянова, О.Ю. Шалёна* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 3/9 (57) – 2012. – С. 40-44 5. *Ростов В. В.* Сильноточный импульсно-переодический ускоритель электронов прямого действия как средство стерилизации медицинских изделий однократного приме-

нения. / В. В. Ростов, П. И. Алексеенко, П. В. Выходцев // Известия Томского политехнического института. – Т.321. №2. – Томск, 2012, –с. 48-54

Bibliography (transliterated): 1. Polenov B. V. *Dozimetricheskie pribory dlja naselenija*. Moscow : Jenergoatomizdat, 1991. Print. 2. Rjabuhin Ju. S., Shal'nov V. *Uskorennye puchki i ih primenenie*. Moscow : Atomizdat, 1980. Print. 3. Arne Miller. *Dosimetry. Riso Higt Dose Reference Laboratoru. Technical University of Denmark. DK-4000 Roskilde. CD*. 4. Gvaj A. S., Aver'janova L. A., Shaljopa O. Ju. *Sovremennye metody i sredstva dozimetrii ionizirujushih izluchenij v medecine*. Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij, 3/9 (57), 2012. 40-44 Print. 5. Ростов В. В., Алексеенко П. И., Выходцев П. В. *Sil'notochnyj impul'sno-pereodicheskij uskoritel' jelektronov prjamoogo dejstvija kak sredstvo sterelizacii medecinskih izdelij odnokratnogo primenenija*. Izvestija Tomskogo politehnicheskogo instituta. Vol.321. №2. Tomsk, 2012. 48-54. Print.

Надійшла (received) 05.05.2014