

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И ТЕОРИЯ ПОЛЯ

УДК 621.384.6, 539.1.08

DOI: 10.17223/00213411/68/8/2

Особенности формирования и использования электронных пучков с широким энергетическим спектром*

М.А. Серебренников¹, Ю. Дин¹, И.С. Егоров¹¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Проведен анализ влияния энергетического спектра субмикросекундного пучка электронов на глубинное распределение дозы при его поглощении в воздухе атмосферного давления. На основе реальных экспериментальных характеристик электронных пучков смоделирован способ оперативного формирования оптимизированного дозового распределения в воздушном объеме в серии импульсов электронного пучка с широким энергетическим спектром. Расчет параметров серии импульсов тока пучка произведен с использованием разработанного эвристического программного алгоритма, вычисляющего интегральную поглощенную дозу с приоретизацией частиц с более высокой кинетической энергией.

Ключевые слова: электронный пучок, импульсный ускоритель электронов, распределение поглощенной дозы по глубине, энергетический спектр электронного пучка.

Введение

Электронный пучок — широко используемый инструмент для решения научных, промышленных, сельскохозяйственных и медицинских задач [1–5]. При решении ряда практических задач может потребоваться как равномерность облучения по площади и глубине обработки (объемная стерилизация), так и создание специфического, в том числе неравномерного, распределения дозы по глубине. Классический пример — лучевая терапия в медицине, когда максимум дозы (пик Брэгга) нужно создать на глубине залегания объекта облучения [6, 7]. Другим примером является использование электронного пучка для обработки зерновых культур [8, 9]. При обработке необходимо радиационное воздействие, преимущественно на поверхностную оболочку семени с минимальным воздействием на зародыш. При этом эффективное значение вложенной энергии (дозы) существенно зависит от спектра кинетических энергий электронов пучка [10], определяющего распределение поглощенной дозы по глубине объекта обработки облучением.

Решение конкретной задачи оптимизации распределения может быть достигнуто за счет использования как многостороннего облучения (если возможно), так и комбинированных пучков с различными кинетическими энергиями электронов с использованием сразу нескольких ускорителей. В настоящей работе анализируется подход по использованию для облучения объектов серии импульсов пучка с широким спектром кинетических энергий электронов, когда целевое распределение достигается интегрально. Произведено моделирование формирования заданного распределения поглощенной дозы при использовании импульсного ускорителя электронов с широким энергетическим спектром пучка при облучении воздушной среды атмосферного давления.

1. Методика и экспериментальное оборудование

Экспериментальная база исследования содержит массив данных экспериментов, произведенных с использованием импульсного ускорителя электронов «Астра-М» (ускоряющее напряжение — до 450 кВ, длительность импульса напряжения на полуамплитуде — 150 нс, полный ток пучка — до 1.5 кА, частота повторения — до 40 имп./с) [11]. Генерация электронного пучка происходит из холодного катода посредством взрывной эмиссии. Генератор импульсов ускоряющего напряжения ускорителя построен на базе импульсного трансформатора, что обуславливает «колоколообразный» им-

* Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 24-29-00695).