

# Обеспечение равномерности распределения дозы при облучении крупногабаритных объектов тормозным излучением, полученным от ускорителей

Г.А. Вязьменова, В.С.Кузнецов, В.П. Овчинников, Р.П. Фидельская  
НИИ электрофизической аппаратуры им. Д.В.Ефремова, Санкт-Петербург, Россия  
А.В. Алтунин

Радиевый институт академии наук им. В.Г.Хлопина, Санкт-Петербург, Россия

Тормозное излучение возникает при бомбардировке ускоренными электронами металлической мишени с большим зарядовым числом. Коэффициент конверсии  $\eta_\gamma$ , определяющий долю энергии электронного пучка, переходящей в тормозное излучение, растет с увеличением энергии электронов  $E$ . Кроме того, с увеличением энергии электронов увеличивается направленность тормозного излучения, что дает возможность использовать большую часть тормозного излучения.

Для получения тормозного излучения используются высоковольтные (ВВУЭ) и линейные ускорители (ЛУЭ) электронов. Высоковольтные ускорители при большой мощности пучка (десятки и сотни киловатт) могут производить электроны с энергией до 3 МэВ. Линейные ускорители электронов менее мощные, но могут производить электроны с энергией значительно большей (до десятков МэВ). Однако высоковольтные ускорители электронов имеют существенно больший к.п.д преобразования потребляемой энергии в энергию электронного пучка  $\eta_e$  (75% для ВВУЭ и 12% для ЛУЭ). Поэтому вопрос о том, какие ускорители выгоднее применять для получения тормозного излучения, не является однозначным и требует специального рассмотрения.

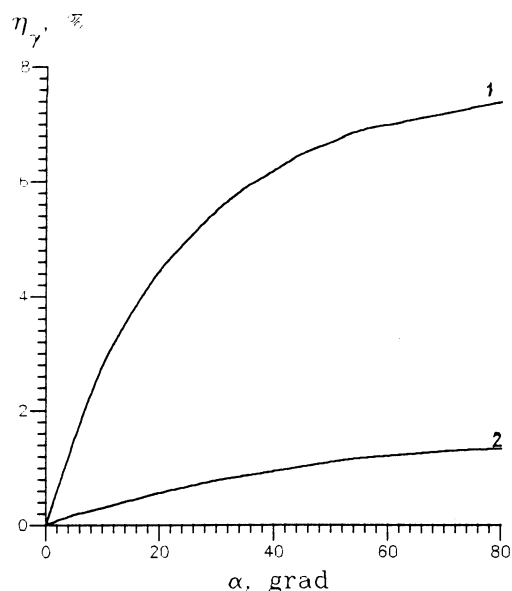


Рис.1.

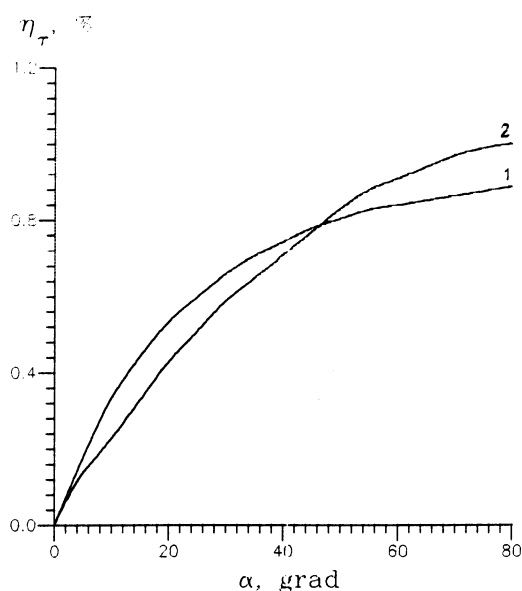


Рис.2.

Поскольку реально невозможно использовать весь поток тормозного излучения, имеет смысл рассматривать зависимость коэффициента конверсии  $\eta_\gamma$  от угла  $\alpha$  по отношению к направлению движения электронов, падающих на мишень. На рис. 1 приведены зависимости  $\eta_\gamma(\alpha)$  для двух энергий электронов: 10 МэВ для ЛЭУ (кривая 1) и 2,7 МэВ для ВВУЭ (кривая 2). Приведенные данные соответствуют протяженной вольфрамовой мишени длиной 1 м. Реально трудно использовать излучение в растворе угла, большем чем  $60^\circ$ . Для этого угла значения  $\eta_\gamma \approx 8\%$  для ЛЭУ и  $\approx 1.5\%$  для ВВУЭ. С практической точки зрения, интересен полный к.п.д., определяющий эффективность преобразования потребляемой энергии в энергию тормозного излучения. Полный к.п.д.  $\eta_\tau(\alpha) = \eta_e \eta_\gamma(\alpha)$  также зависит от угла  $\alpha$ . Зависимости  $\eta_\tau(\alpha)$  как для ЛЭУ (кривая 1), так и для ВВУЭ (кривая 2), также даны на рис. 2. Из приведенных зависимостей видно, что при  $\alpha < 40^\circ$  значения  $\eta_{tau}(\alpha)$  для ЛЭУ несколько выше, чем для ВВУЭ, а при  $\alpha > 40^\circ$  выше значения  $\eta_\tau$  для ВВУЭ.

Одним из возможных применений тормозного излучения является стерилизация древесины. Стерилизация древесины тормозным излучением необходима, когда лес, вырубленный в одном регионе, транспортируется в другой, достаточно удаленный регион (например, на другой континент). В противном случае можно завести в другой регион вредителей древесины, которые могут оказать пагубное воздействие на местную флору.

Экспериментальные исследования, проведенные сотрудниками Радиевого института РАН совместно с сотрудниками Санкт-Петербургской лесотехнической академии, показали, что для уничтожения всех вредителей древесины необходима доза  $\simeq 6$  кГр. С другой стороны, нельзя облучать древесину дозой больше, чем 10 кГр, так как в этом случае будет происходить деструкция древесины. Распределение дозы в облучаемом бревне должно быть достаточно равномерным. Равномерное распределение дозы облучения имеет место в том случае, когда излучение поглощается относительно слабо. Но в этом случае мы будем иметь малый коэффициент использования излучения.

В настоящей работе показано, что есть способ облучения, при котором можно достичь хорошей равномерности облучения при практически полном поглощении излучения. Для этого нужно облучать вращающееся бревно пучком тормозного излучения шириной, меньшей чем диаметр бревна. До центра бревна излучение доходит ослабленным. Но зато центральная часть бревна размером, равным ширине пучка тормозного излучения, будет все время находиться под облучением. На поверхность бревна будет падать более мощный поток тормозного излучения, но поверхность будет находиться под облучением меньшую часть времени, чем центральная часть бревна. За счет этого и можно получить хорошую равномерность дозы облучения при почти полном поглощении излучения.

Из-за наличия угловой расходимости эффективная ширина пучка зависит от расстояния между объектом облучения и источником тормозного излучения. Чем ближе объект облучения к источнику тормозного излучения, тем меньше эффективная ширина пучка. Приближая объект облучения к источнику излучения (что эквивалентно облучению более узким пучком), мы существенно улучшаем равномерность дозы облучения по объему бревна. Распределения доз облучения по объему бревна  $D/D_{max}(z/d_o)$  для различных расстояний между центром бревна и мишенью ускорителя L: 1 — 37,5 см; 2 — 50 см; 3 — 75 см; 4 — 100 см; 5 — 150 см, рассчитанных

при  $d_o=60$  см, даны на рис. 3 для ЛУЭ и на рис. 4 для ВВУЭ. Плотность древесины равна  $1 \text{ г/см}^3$

На рис. 5 для ЛУЭ и на рис. 6 для ВВУЭ приведены зависимости отношения  $D_{min}/D_{max}$  ( $D_{min}, D_{max}$  — минимальная и максимальная дозы облучения) (линии 1а, 2а, 3а) и коэффициента использования излучения  $\eta_u$  (линии 1б, 2б, 3б) в зависимости от  $L$  для различных диаметров бревен  $d_o$ : 1 — 30 см; 2 — 45 см; 3 — 60 см. Из приведенных данных видно, что для каждого значения диаметра бревна  $d_o$  есть оптимальное значение  $L$ , при котором имеют место приемлемые значения  $D_{min}/D_{max}$  и  $\eta_u$ .

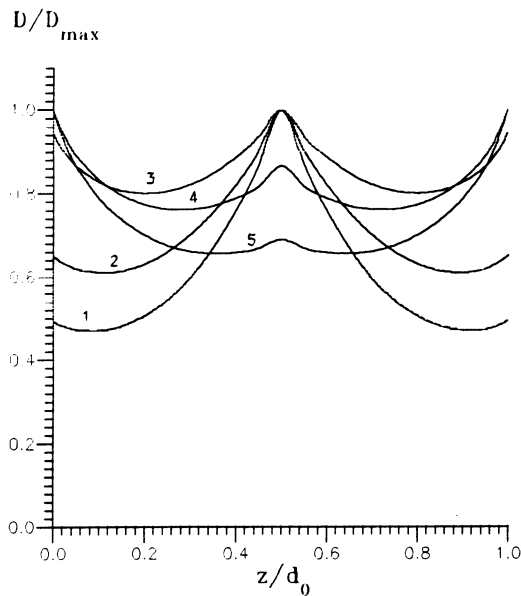


Рис.3.

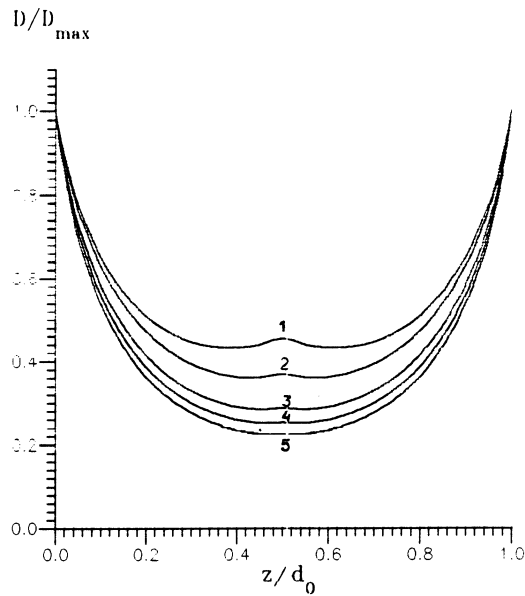


Рис.4.

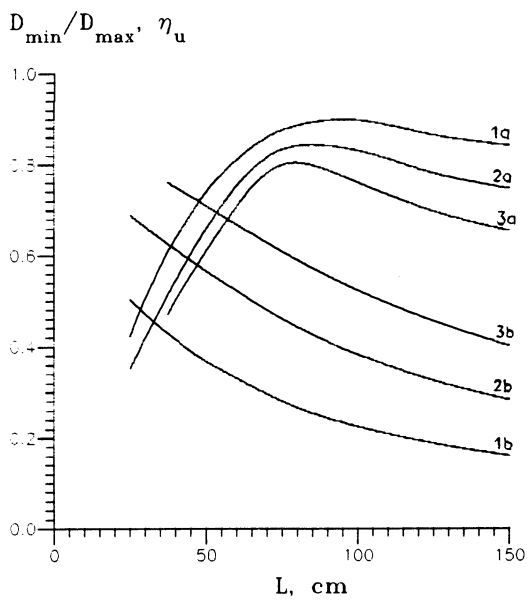


Рис.5.

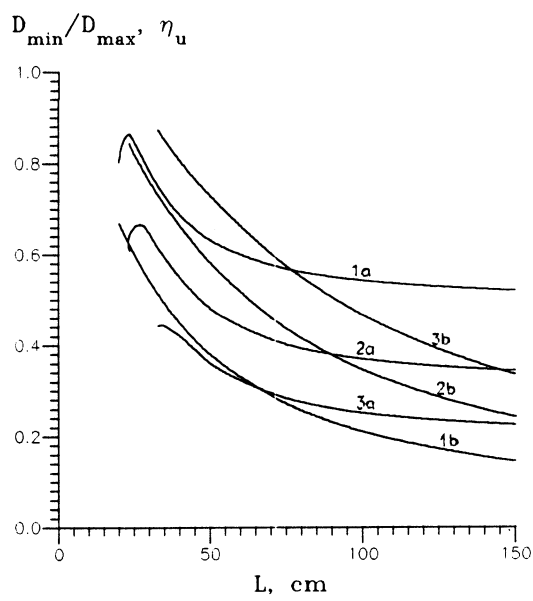


Рис.6.