

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ТОРМОЗНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЩЕЛОЧНОГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОБЛУЧЕНИЯ

А. А. ВОРОБЬЕВ, В. А. ВОРОБЬЕВ, Е. К. ЗАВАДОВСКАЯ, Г. П. СОКОЛОВ

Под действием излучения материалы меняют свои физико-механические свойства [1] и одной из характеристик поля излучения, связанной с изменением свойств облученного вещества, является поглощенная энергия [2, 3, 4, 5]. В радиационной физике и технологии помимо интегральной величины поглощенной энергии важно знать ее распределение по объему поглотителя в различных условиях облучения [7.]

Мы рассмотрели распределение поглощенной энергии по объему поглотителя из щелочногалоидных соединений при облучении тормозным излучением с максимальными энергиями 6, 10, 30 Мэв. Все результаты получены методом статистических испытаний [6] и проверены экспериментально [10] с помощью рентгеновских пленок, ионизационных камер и калориметра.

Геометрия решаемой задачи следующая. Поток тормозного излучения падает перпендикулярно на торцевую сторону поглотителя цилиндрической формы. Диаметр поля облучения меняется от 0,5 см до  $D_{кр}$  — диаметра поглотителя. Поглотитель брался в виде цилиндров диаметрами от 1,5 см до 10 см. Определено распределение поглощенной энергии по глубине поглотителя и по радиусу. Относительная квадратичная ошибка результатов расчета не превышает 10—12%. В качестве первоначального спектра тормозного излучения принимался спектр, рассчитанный по формуле Шиффа для вольфрамовой мишени.

При расчете учитывались следующие элементарные процессы взаимодействия электромагнитного излучения с веществом: фотоэлектрическое поглощение, комптоновское рассеяние, образование пар; из вторичных процессов во внимание принималась аннигиляция электрона и позитрона.

В общем случае поглощенная энергия определяется выражением:

$$E_n(\vec{r}) = \int_0^{E_m} N(E, \vec{r}) E \cdot \mu_a(E) dE, \quad (1)$$

где  $E$  — энергия кванта,  $N$  — спектр квантов в точке  $\vec{r}$ ,  $\mu$  — коэффициент поглощения энергии.

Строго говоря, расчет по формуле (1) дает энергию, переданную квантами вторичным электронам и с той точностью, с которой можно

пренебречь переносом энергии вторичными электронами, этот расчет будет соответствовать поглощенной энергии.

Для учета переноса энергии вторичными электронами нами предложена и исследована следующая модель. Считаем, что вторичный электрон вылетает в направлении породившего его кванта. При этом энергия электрона поглощается вдоль направления его полета согласно экспериментально снятым переходным кривым.

Нами был проведен проверочный расчет распределения поглощенной энергии по объему образцов из хлористого натрия толщиной  $40 \text{ г/см}^2$  и диаметром 1,5; 5 и 10 см с учетом переноса энергии вторичными электронами по изложенной модели.

Расчеты по изложенной модели и результаты расчета по формуле (1) в пределах точности расчета на глубинах, больших положения максимума, совпадают.

Существенное отличие результатов наблюдается на глубинах поглотителя, меньших толщины слоя, где выполняются условия электронного равновесия. Из этого следует, что при расчете распределения поглощенной энергии тормозного излучения в образцах, толщина которых менее длины пробега вторичных электронов, необходимо учитывать перенос энергии вторичными электронами.

Распределение поглощенной энергии по глубине поглотителя из монокристаллов щелочногалогидных соединений представлено на рис. 1—II—III. По оси абсцисс отложена глубина по кристаллу в  $\text{г/см}^2$ , по оси ординат — поглощенная энергия в единицах  $\text{МэВ}_{\text{погл.}}/\text{МэВ}_{\text{пад.}}$  ( $\text{г/см}^2$ ). Полученные распределения поглощенной энергии по глубине находятся в хорошем согласии с результатами эксперимента [8, 9].

Нами исследована также зависимость интегральной величины поглощенной в образце энергии и ее распределения по объему в зависимости от размеров тела и диаметра пучка.

Распределение поглощенной энергии по радиусу кристалла имеют вид убывающих кривых, переходящих к насыщению. При облучении образцов потоком электромагнитного излучения, поперечное сечение которых равно площади торца поглотителя, на которой рассматривается поглощенная энергия в функции от радиуса образца, приводит к более равномерному радиальному распределению.

Влияние размера поля облучения на величину поглощенной энергии тормозного излучения в щелочногалогидных кристаллах представлено на рис. I—III, где по оси абсцисс отложен диаметр поля облучения в см, а по оси ординат — поглощенная энергия в МэВ на 1 МэВ падающей энергии.

Из этих результатов видно, что величина поглощенной в образце энергии линейно зависит от диаметра поля облучения. Зависимость же поглощенной энергии от диаметра образцов при полном облучении имеет насыщение (рис. 2—I).

Обе последние зависимости определяются величиной утечек энергии из объема образца. Зависимость утечек, определенных как вынос энергии через боковые поверхности образца от диаметра образца и поля облучения представлена на рис. 2—II.

При неизменных сочетаниях поля облучения и диаметра поглотителя утечки уменьшаются при переходе к поглотителю с более высоким атомным номером и при переходе к меньшим максимальным энергиям тормозного излучения. Связано это с тем, что при больших атомных номерах поглотителя и меньших энергиях тормозного излучения длина свободного пробега квантов сокращается, что приводит к большему поглощению рассеянного излучения.

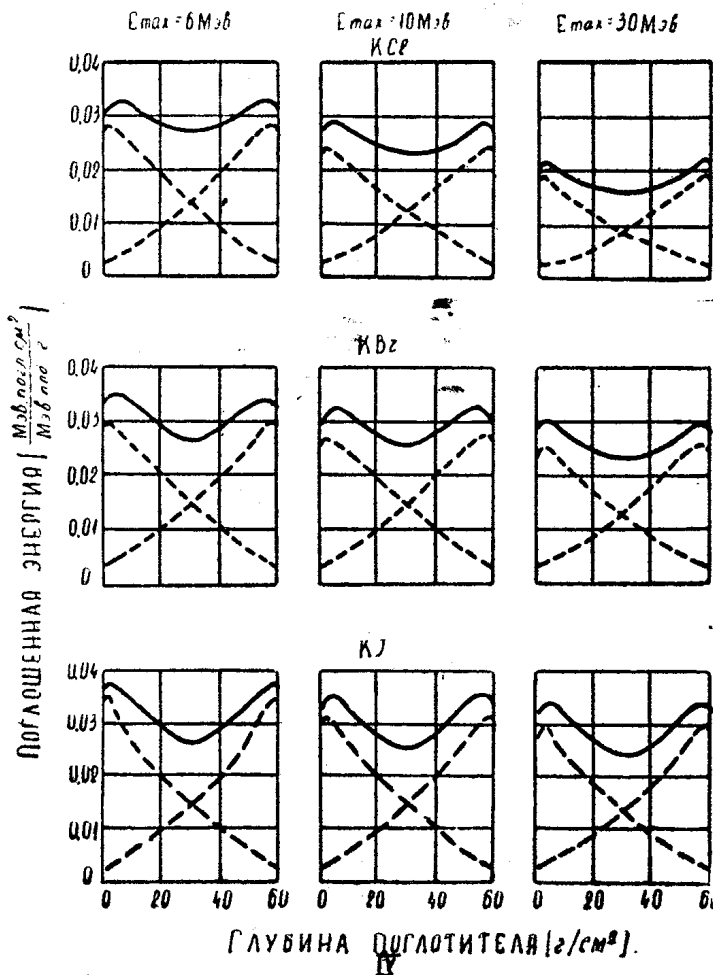
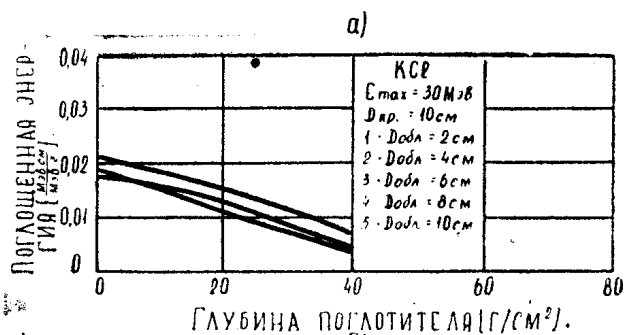
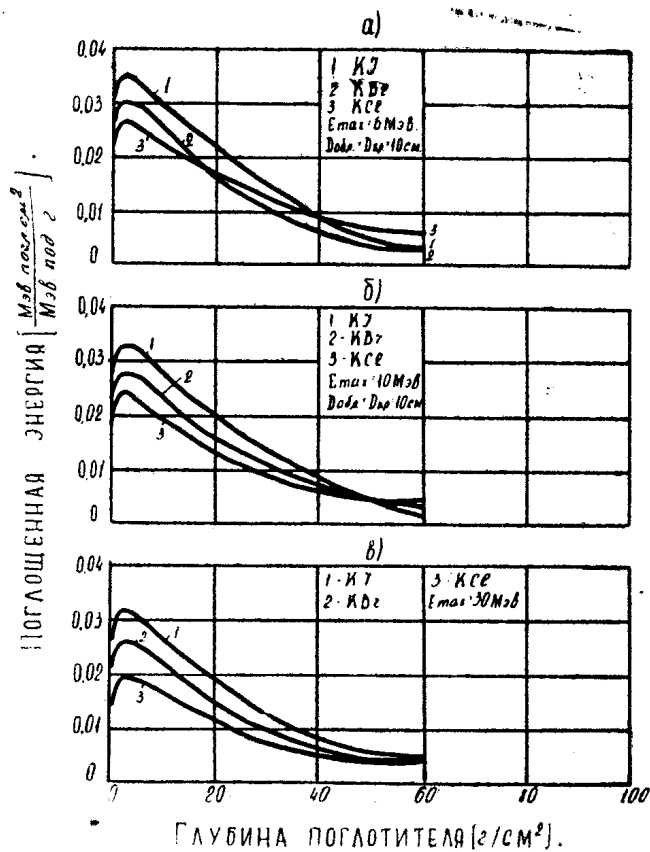
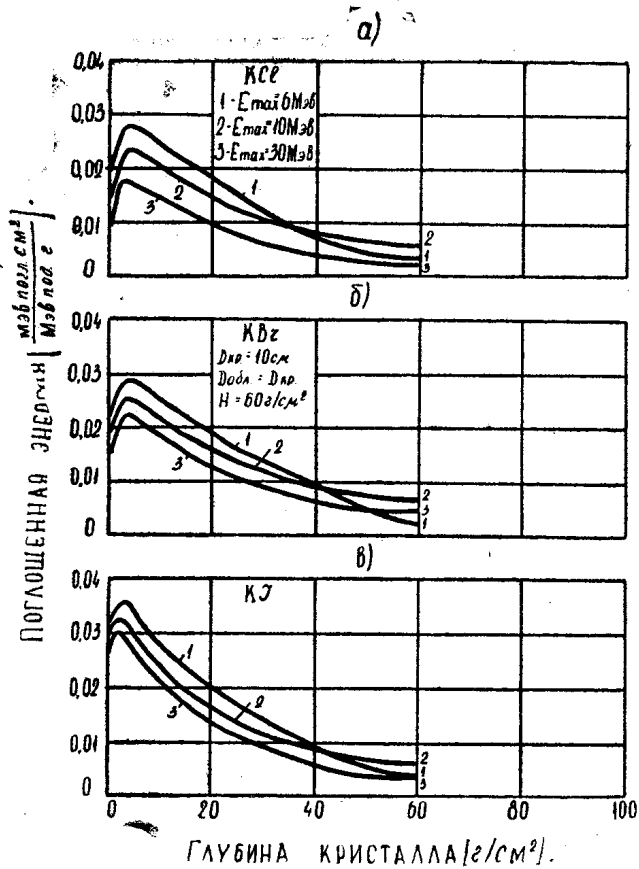


Рис. 1. Распределение поглощенной энергии по объему образцов щелочногалогидных кристаллов при облучении тормозным излучением различной энергии.

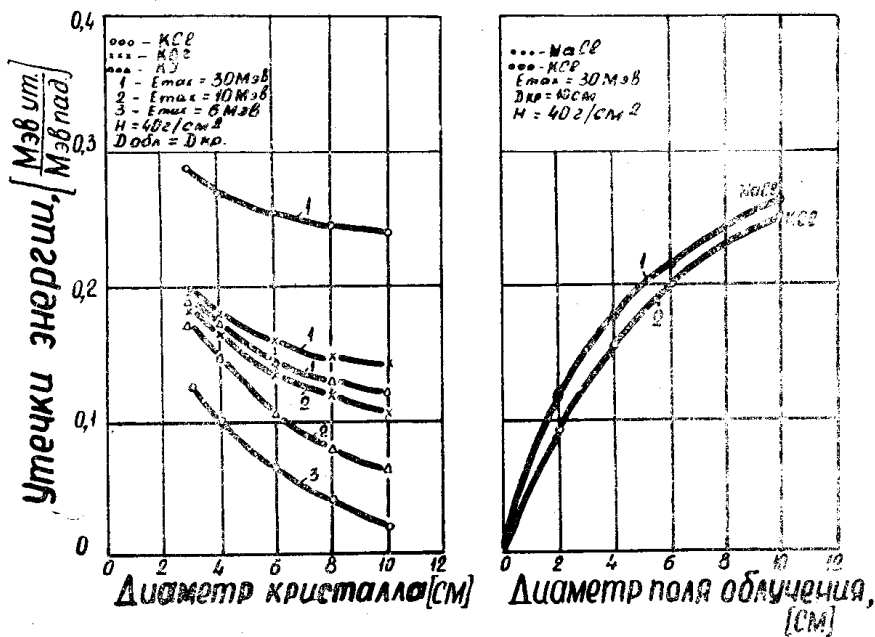
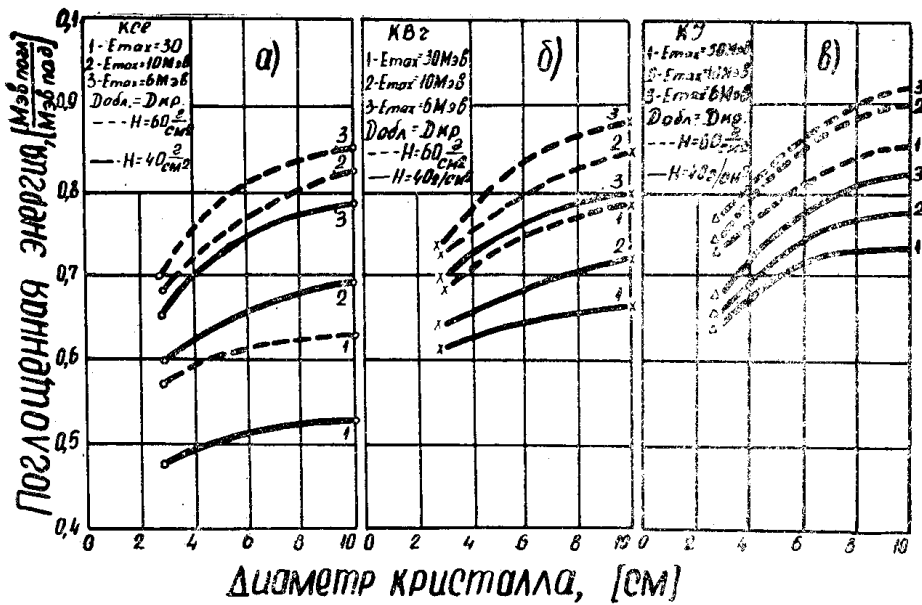


Рис. 2. Зависимость поглощенной в образце энергии и ее утечек от размеров образцов и поперечного сечения падающего потока излучения

Величина утечек энергии потока электромагнитного излучения через боковые стенки цилиндрических образцов определяются в основном соотношением площади поля облучения и площади поперечного сечения образца и уменьшаются с ростом поперечного сечения образца в случае равенства диаметра поля облучения и поглотителя. В этом случае ошибка в определении поглощенной в образце энергии может достигать 25% только за счет боковых утечек, особенно для материалов с малыми эффективными атомными номерами и плотностью. При соотношении диаметров поглотителя и поля облучения 3:2 и более утеч-

ки энергии через боковые поверхности образцов не превышают 5% от поглощенной энергии и могут не учитываться.

Полученные результаты по объемному распределению поглощенной энергии позволяют:

а) определить величину поглощенной энергии в любом элементе объема образца по замеренному экспериментально количеству энергии тормозного излучения, упавшему на образец за сеанс облучения;

б) выбрать из объема образца слой вещества, имеющий наибольшую равномерность в распределении поглощенной энергии по радиусу;

в) при проведении облучения тканей в медицинской радиологии оценить в защищенной экраном части ткани величину поглощенной энергии, обусловленную утечками энергии под экран из облучаемой части.

При проведении многих работ по облучению для достижения одинакового радиационного эффекта необходимо добиваться равномерности распределения поглощенной энергии по объему образца. Этого можно достичь используя двустороннее облучение образцов. Полученные результаты позволяют оценить равномерность распределения поглощенной энергии по глубине поглотителя при двустороннем облучении. Из рис. I—IV следует, что подбором энергии тормозного излучения можно достичь при двустороннем облучении равномерности глубинного распределения поглощенной энергии не хуже 10%, что приемлемо во многих задачах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Воробьев, Действие излучения на свойства материалов. Новосибирск, 1963.
2. С. В. Стародубцев, В. В. Генералова, В. М. Ленченко. Проблемные вопросы дозиметрии больших доз. Труды II координационного совещания по дозиметрии больших доз, стр. 6. Ташкент, 1966.
3. Измерение поглощенной дозы в нейтронных полях и в смешанных полях «гамма—излучение—нейтроны». Атомиздат, М., 1964.
4. А. Х. Брегер. Изотопы в СССР, № 2, 11 (1966).
5. В. Л. Карпов. Труды Всесоюзного совещания (Рига, апрель, 1962 г.), стр. 42, М., 1962.
6. У. Фано, Л. Спенсер, М. Брегер. Перенос гамма-излучения. М., 1963.
7. В. А. Воробьев. Радиационная физика неметаллических кристаллов. Труды совещания Киев, изд. Наукова думка, 1967 г., 327.
8. В. А. Воробьев. Диссертация, Томск, ТПИ, 1965.
9. Г. П. Соколов. Диссертация, ТПИ, Томск, 1968.