

7834

С3498

Ц-76



ОКБ. ИТ. ЗАКА

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ОТДЕЛ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

2737/2-74

P16 - 7834

В.И.Цовбун

БЕТОННАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ  
НА ЭНЕРГИИ 0,5-10 МЭВ

Дубна 1974

P16 - 7834

В.И.Цовбун

**БЕТОННАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ  
НА ЭНЕРГИИ 0,5-10 МЭВ**

*Направлено в АЗ*

**Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА**

Экспериментальные исследования по защите из обычного бетона /  $\rho = 2,36 \text{ г/см}^3$  / для электронных ускорителей с энергиями 4,6 и 10 МэВ проводились в работах<sup>/1-3/</sup>. Измерения ослабления тормозного излучения в бетоне в этих работах выполнены для угла вылета излучения  $0^\circ$  по отношению к направлению движения пучка электронов, для случая падения излучения на защиту по нормали и до кратностей ослабления тормозного излучения  $\sim 500$ . В работе<sup>/4/</sup> ослабление тормозного излучения с максимальной энергией 3 МэВ для угла вылета  $0^\circ$  и падения по нормали рассчитывалось методом "конкурирующих линий"<sup>/5/</sup> до кратностей  $\sim 10^6$ .

В настоящей работе проведены обширные расчеты методом "конкурирующих линий" защиты из обычного бетона для ускорителей электронов с энергиями 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10 МэВ. Углы падения излучения на защиту были выбраны от  $0$  до  $70^\circ$  с шагом  $10^\circ$ . Расчеты выполнены для четырех вариантов взаимного расположения защиты и мишени, бомбардируемой электронами /рис. 1/. Рассчитанные кратности ослабления излучения достигали  $10^{10}$ .

При проведении вычислений спектры тормозного излучения представлялись в 10-групповом, а для энергий электронов 8, 9 и 10 МэВ в 12-групповом приближении. В 10-групповом приближении разбиение по энергии принималось равномерным с шагом  $\Delta E_{i=1,10} = E_0/10$ , где  $E_0$  - энергия падающих на мишень электронов. В 12-групповом приближении разбиение было выбрано следующим:

$$E_{i=1,12} = (E_1 = 0,05 E_0, E_2 = 0,1 E_0, E_3 = 0,15 E_0,$$

$$E_{i=4,12} = (i-2) \frac{E_0}{10}).$$

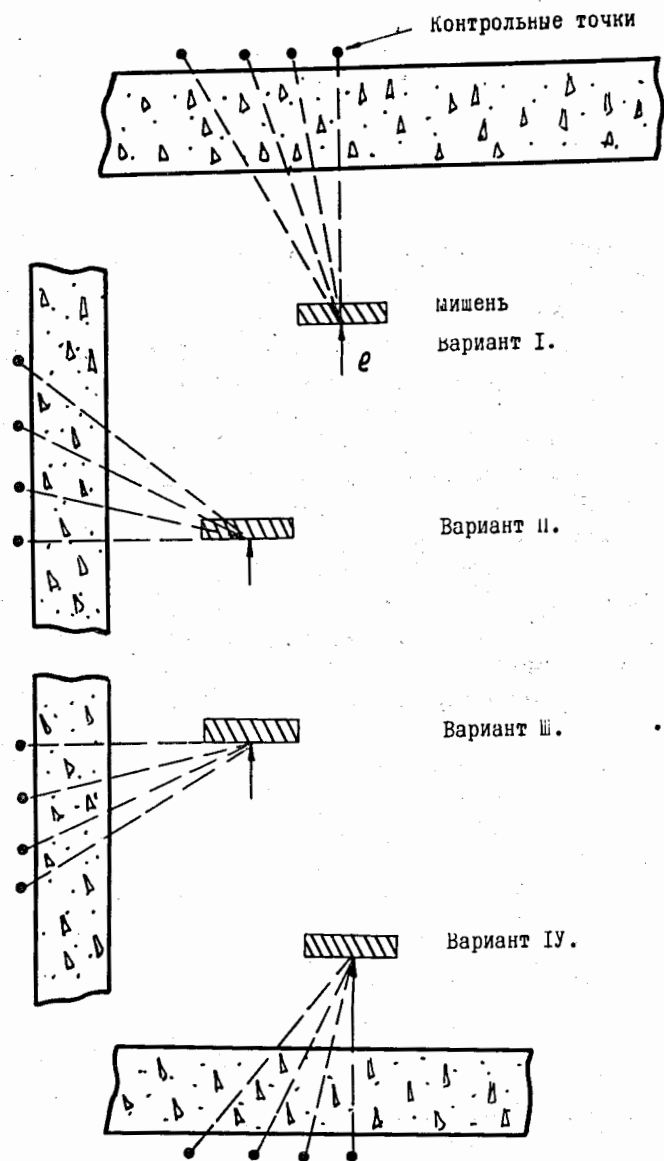


Рис. 1. Четыре варианта взаимного расположения защиты и мишени, для которых выполнялись расчеты.

Матрица толщины защиты, необходимой для ослабления моноэнергетического излучения фотонов в  $K_j$  раз, составлялась для кратностей ослабления

$$K_{j=1,56} = (1,5; 2; 3; 4; 6; 8; 10; ) \cdot 10^n, \quad n=0,7.$$

Необходимая толщина защиты, ослабляющая тормозное излучение до требуемой кратности ослабления  $K$ , рассчитывалась как

$$D = d + 2\lambda_k \cdot \cos \theta,$$

где  $d$  - толщина защиты, ослабляющая лидирующую группу фотонов в  $K_i$  раз /  $K_i = K \cdot \eta_i$ ,  $\eta_i$  - вклад в полную дозу падающего на защиту излучения фотонов  $i$ -й энергетической группы/;  $\lambda_k$  - длина свободного пробега фотонов "конкурирующей" группы;  $\theta$  - угол падения излучения на защиту.

Поправка  $2\lambda_k \cdot \cos \theta$  была выбрана подбором наилучшего положения кривых ослабления /они должны исходить из точки  $K=1$  / с учетом того, что в слое защиты от  $d$  до  $d - \lambda_k \cdot \cos \theta$  ослаблялись до требуемых кратностей ослабления  $K_i$  3-4 энергетических группы.

В качестве исходной информации по спектрально-угловым распределениям тормозного излучения использовалась информация из обзора <sup>16/</sup>.

Для заполнения матрицы кратностей ослабления моноэнергетического излучения были взяты данные <sup>17/</sup> по ослаблению плоского мононаправленного излучения источника, расположенного в бесконечной бетонной защите, которые интерполировались по энергии фотонов и по углам вылета излучения из плоскости источника. До кратностей ослабления  $\sim 10$  использовались данные <sup>18,9/</sup> по ослаблению  $\gamma$ -излучения бетонными барьерами, которые также интерполировались по энергии и углам.

По данным расчетов были построены кривые ослабления дозы тормозного излучения в бетоне. Оказалась возможной экспоненциальная аппроксимация кривых ослабления вплоть до кратностей  $10^{10}$  для всех исследуемых энергий падающих на мишень электронов. Отклонение расчетных значений кратностей ослабления от аппроксимирующих кривых не превышало 2 по кратности ослабле-

ния /за исключением падения излучения на защиту под 60° и 70°, когда отклонения иногда достигали 3 и 5 соответственно/. На рис. 2 приведено характерное положение кривых ослабления и расчетных значений кратностей ослабления. Информация о слоях десятикратного ослабления тормозного излучения в обычном бетоне\*, полученная из кривых ослабления, для различных энергий электронов и вариантов взаимного расположения мишени и защиты собрана в таблице.

Ошибка в определении слоя десятикратного ослабления оценивалась как

$$\sigma_{\theta} = \frac{\lambda_{\text{л}}}{10} \cdot \frac{\Delta_{0,1}(\theta)}{\Delta_{0,1}(0^{\circ})} \cdot f,$$

где  $\lambda_{\text{л}}$  - длина свободного пробега "лидирующей" группы фотонов;  $\Delta_{0,1}(\theta)$  - слой десятикратного ослабления тормозного излучения при падении его на защиту под углом  $\theta$ ;  $f$  - поправочный коэффициент, который принимался равным 1, когда отклонения расчетных значений от аппроксимации не превышали 2,  $f=1,5$ , когда отклонения достигали 3, и  $f=2$ , когда отклонения достигали 5.

При этом подразумевалось, что положение "истинной" кривой ослабления при  $K=10^{10}$  отличается не более чем на  $\lambda_{\text{л}}$  от построенной кривой ослабления для угла падения излучения  $0^{\circ}$ .

Цифры, приведенные в таблице в скобках, для углов падения  $0^{\circ}$  и энергий электронов 4,6 и 10 МэВ взяты из работ /1-3/. Слои десятикратного ослабления, полученные экспериментально в /1-3/, несколько меньше приведенных в настоящей работе, и это связано в основном с тем, что эксперименты /1-3/ проводились лишь до кратности  $\sim 500$ , а аппроксимация данных расчетов - в диапазоне кратностей ослабления до  $10^{10}$ .

\* Оценку слоев десятикратного ослабления тормозного излучения в других бетонах можно сделать, введя поправку на плотность бетона, при этом ошибка в определении слоя десятикратного ослабления составит менее 10% /3/.

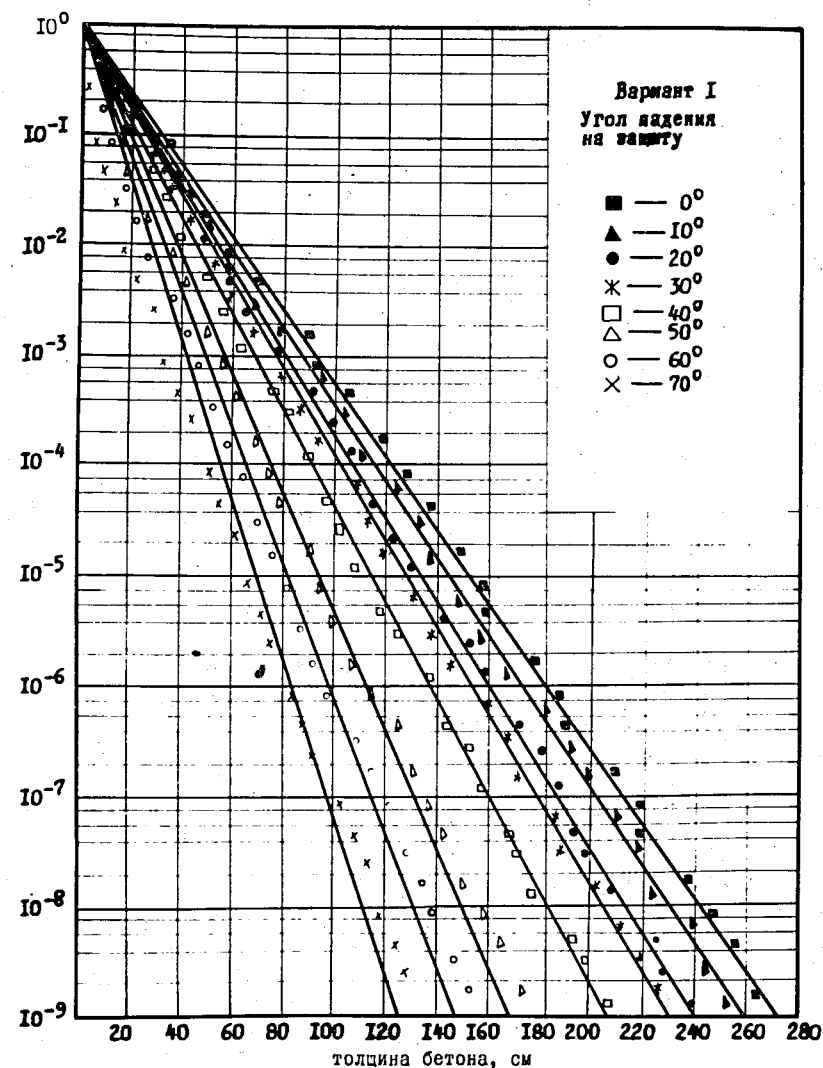


Рис. 2. Кривые ослабления в обычном бетоне тормозного излучения электронов с энергией 4 МэВ, бомбардирующих мишень из олова.

Таблица

Энер-Миньень гли, МэВ		Слой десятикратного ослабления в сантиметрах для падения тормозного излучения под углом $\theta$ , град.													
Ва- ри- ант №	0	10	20	30	40	50	60	70							
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
<b>0,5 Fe</b>															
I	13,6±0,4	13,2±0,4	12,7±0,4	12,2±0,4	11,9±0,4	11,6±0,4	11,3±0,4	11,0±0,4	10,7±0,4	10,4±0,4	10,1±0,4	9,8±0,4	9,5±0,4	9,2±0,4	8,9±0,4
2	13,2±0,4	12,8±0,4	12,4±0,4	12,0±0,4	11,6±0,4	11,3±0,4	11,0±0,4	10,7±0,4	10,4±0,4	10,1±0,4	9,8±0,4	9,5±0,4	9,2±0,4	8,9±0,4	8,6±0,4
3	13,2±0,4	12,8±0,4	12,4±0,4	12,0±0,4	11,6±0,4	11,3±0,4	11,0±0,4	10,7±0,4	10,4±0,4	10,1±0,4	9,8±0,4	9,5±0,4	9,2±0,4	8,9±0,4	8,6±0,4
4	12,1±0,4	11,8±0,4	11,5±0,4	11,2±0,4	10,9±0,4	10,6±0,4	10,3±0,4	10,0±0,4	9,7±0,4	9,4±0,4	9,1±0,4	8,8±0,4	8,5±0,4	8,2±0,4	7,9±0,4
<b>1 Au</b>															
I	17,5±0,6	17,0±0,6	16,5±0,6	16,0±0,6	15,5±0,6	15,0±0,6	14,6±0,6	14,2±0,6	13,8±0,6	13,4±0,6	13,0±0,6	12,6±0,6	12,2±0,6	11,8±0,6	11,4±0,6
2	15,6±0,7	15,3±0,6	14,8±0,6	14,4±0,6	14,0±0,6	13,6±0,6	13,2±0,6	12,8±0,6	12,4±0,6	12,0±0,6	11,6±0,6	11,2±0,6	10,8±0,6	10,4±0,6	10,0±0,6
3	15,6±0,7	14,8±0,6	14,4±0,6	14,0±0,6	13,6±0,6	13,2±0,6	12,8±0,6	12,4±0,6	12,0±0,6	11,6±0,6	11,2±0,6	10,8±0,6	10,4±0,6	10,0±0,6	9,6±0,6
4	15,1±0,6	14,8±0,6	14,3±0,6	14,0±0,6	13,7±0,5	13,4±0,5	13,1±0,5	12,8±0,5	12,5±0,5	12,2±0,5	11,9±0,5	11,6±0,5	11,3±0,5	11,0±0,5	10,7±0,5
<b>1,5 Au</b>															
I	20,7±0,7	20,1±0,7	19,4±0,7	18,6±0,7	18,2±0,7	17,8±0,7	17,4±0,7	17,0±0,7	16,6±0,7	16,2±0,7	15,8±0,7	15,4±0,7	15,0±0,7	14,6±0,7	14,2±0,7
2	20,3±0,7	19,5±0,7	19,1±0,7	18,2±0,7	17,7±0,6	17,3±0,6	16,9±0,6	16,5±0,6	16,1±0,6	15,7±0,6	15,3±0,6	14,9±0,6	14,5±0,6	14,1±0,6	13,7±0,6
3	20,3±0,7	18,4±0,6	17,7±0,6	17,0±0,6	16,6±0,6	16,2±0,6	15,8±0,6	15,4±0,6	15,0±0,6	14,6±0,6	14,2±0,6	13,8±0,6	13,4±0,6	13,0±0,6	12,6±0,6
4	18,7±0,7	18,1±0,6	17,7±0,6	17,0±0,6	16,6±0,6	16,2±0,6	15,8±0,6	15,4±0,6	15,0±0,6	14,6±0,6	14,2±0,6	13,8±0,6	13,4±0,6	13,0±0,6	12,6±0,6
<b>2 Au</b>															
I	23,0±0,9	22,5±0,8	21,9±0,8	20,5±0,8	19,6±0,8	18,3±0,8	17,0±0,8	16,3±0,7	15,0±0,7	14,3±0,6	13,0±0,6	12,3±0,6	11,6±0,6	10,9±0,6	10,2±0,6
2	22,1±0,9	21,7±0,8	20,9±0,8	19,6±0,8	18,3±0,8	17,0±0,8	16,3±0,7	15,0±0,7	14,3±0,6	13,0±0,6	12,3±0,6	11,6±0,6	10,9±0,6	10,2±0,6	9,5±0,6
3	22,1±0,9	20,0±0,8	19,3±0,7	18,5±0,6	17,0±0,6	15,0±0,5	13,5±0,5	12,8±0,5	12,1±0,5	11,4±0,5	10,7±0,5	10,0±0,5	9,3±0,5	8,6±0,5	7,9±0,5
4	20,5±0,8	20,0±0,8	19,4±0,7	18,4±0,6	16,9±0,6	15,1±0,5	13,3±0,5	12,6±0,5	11,9±0,5	11,2±0,5	10,5±0,5	9,8±0,5	9,1±0,5	8,4±0,5	7,7±0,5
<b>3 Au</b>															
I	27,9±1,0	27,1±1,0	26,3±1,0	24,5±0,9	21,9±0,8	19,6±0,7	16,5±0,6	14,3±0,6	12,1±0,6	10,9±0,6	9,7±0,6	8,5±0,6	7,3±0,6	6,1±0,6	4,9±0,6
2	26,4±1,0	25,2±1,0	24,6±1,0	23,5±0,9	22,1±0,8	19,2±0,7	16,8±0,6	14,8±0,6	12,8±0,6	11,8±0,6	10,8±0,6	9,8±0,6	8,8±0,6	7,8±0,6	6,8±0,6
3	26,4±1,0	25,4±1,0	24,6±0,9	23,2±0,9	20,8±0,8	18,8±0,7	16,3±0,6	14,2±0,6	12,2±0,6	11,2±0,6	10,2±0,6	9,2±0,6	8,2±0,6	7,2±0,6	6,2±0,6
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>4 Sn</b>															
I	30,1±1,2	29,0±1,2	26,9±1,1	25,5±1,0	22,8±0,9	19,4±0,8	16,8±0,7	14,2±0,7	11,6±0,6	9,0±0,6	6,4±0,6	3,8±0,6	1,2±0,6	-	-
2	28,1±1,2	26,9±1,2	25,9±1,1	24,5±1,0	22,0±0,9	20,0±0,8	17,1±0,7	14,7±0,7	12,3±0,7	9,9±0,7	7,5±0,7	5,1±0,7	2,7±0,7	0,3±0,7	-
3	28,1±1,2	26,4±1,0	25,4±1,0	24,0±0,9	21,7±0,8	18,7±0,7	15,9±0,6	13,8±0,6	11,7±0,6	9,6±0,6	7,5±0,6	5,4±0,6	3,3±0,6	1,2±0,6	-
4	26,2±1,1	25,7±1,0	25,0±1,0	23,6±0,9	21,1±0,8	18,7±0,7	16,2±0,6	13,7±0,6	11,2±0,6	8,7±0,6	6,2±0,6	3,7±0,6	1,2±0,6	-	-

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
5	Sn	1	33,0 $\frac{1}{2}$ ,3	31,9 $\frac{1}{2}$ ,3	29,5 $\frac{1}{2}$ ,2	27,9 $\frac{1}{2}$ ,1	24,9 $\frac{1}{2}$ ,0	21,0 $\frac{1}{2}$ ,8	18,0 $\frac{1}{2}$ ,7	15,3 $\frac{1}{2}$ ,8
		2	30,4 $\frac{1}{2}$ ,3	29,7 $\frac{1}{2}$ ,3	29,1 $\frac{1}{2}$ ,2	27,4 $\frac{1}{2}$ ,1	24,4 $\frac{1}{2}$ ,0	21,7 $\frac{1}{2}$ ,8	18,6 $\frac{1}{2}$ ,7	16,0 $\frac{1}{2}$ ,8
		3	30,4 $\frac{1}{2}$ ,3	28,9 $\frac{1}{2}$ ,2	28,1 $\frac{1}{2}$ ,1	26,5 $\frac{1}{2}$ ,1	23,6 $\frac{1}{2}$ ,0	20,4 $\frac{1}{2}$ ,9	17,5 $\frac{1}{2}$ ,7	14,9 $\frac{1}{2}$ ,9
		4	29,4 $\frac{1}{2}$ ,3	28,9 $\frac{1}{2}$ ,2	27,9 $\frac{1}{2}$ ,1	26,2 $\frac{1}{2}$ ,1	23,3 $\frac{1}{2}$ ,0	21,8 $\frac{1}{2}$ ,9	17,7 $\frac{1}{2}$ ,7	15,3 $\frac{1}{2}$ ,8
		1	35,2 $\frac{1}{2}$ ,4 (34,0)	34,6 $\frac{1}{2}$ ,4	32,0 $\frac{1}{2}$ ,3	29,2 $\frac{1}{2}$ ,2	26,4 $\frac{1}{2}$ ,0	22,4 $\frac{1}{2}$ ,9	18,0 $\frac{1}{2}$ ,8	16,1 $\frac{1}{2}$ ,8
6	Sn	2	33,0 $\frac{1}{2}$ ,4	31,9 $\frac{1}{2}$ ,4	31,3 $\frac{1}{2}$ ,3	29,2 $\frac{1}{2}$ ,2	25,7 $\frac{1}{2}$ ,0	22,7 $\frac{1}{2}$ ,9	19,6 $\frac{1}{2}$ ,8	16,7 $\frac{1}{2}$ ,8
		3	33,0 $\frac{1}{2}$ ,4	31,2 $\frac{1}{2}$ ,4	30,0 $\frac{1}{2}$ ,3	28,1 $\frac{1}{2}$ ,2	25,0 $\frac{1}{2}$ ,0	22,1 $\frac{1}{2}$ ,9	18,8 $\frac{1}{2}$ ,8	16,0 $\frac{1}{2}$ ,9
		4	31,7 $\frac{1}{2}$ ,4	31,1 $\frac{1}{2}$ ,4	30,1 $\frac{1}{2}$ ,3	28,4 $\frac{1}{2}$ ,2	25,1 $\frac{1}{2}$ ,0	22,2 $\frac{1}{2}$ ,9	19,1 $\frac{1}{2}$ ,8	16,5 $\frac{1}{2}$ ,8
		1	37,2 $\frac{1}{2}$ ,5	35,7 $\frac{1}{2}$ ,4	32,7 $\frac{1}{2}$ ,4	31,1 $\frac{1}{2}$ ,3	27,5 $\frac{1}{2}$ ,1	22,8 $\frac{1}{2}$ ,9	19,7 $\frac{1}{2}$ ,8	16,6 $\frac{1}{2}$ ,9
7	Sn	2	33,4 $\frac{1}{2}$ ,5	32,7 $\frac{1}{2}$ ,4	31,6 $\frac{1}{2}$ ,4	29,9 $\frac{1}{2}$ ,3	26,2 $\frac{1}{2}$ ,1	23,5 $\frac{1}{2}$ ,0,9	20,0 $\frac{1}{2}$ ,8	16,8 $\frac{1}{2}$ ,9
		3	33,4 $\frac{1}{2}$ ,5	31,9 $\frac{1}{2}$ ,4	30,6 $\frac{1}{2}$ ,4	28,4 $\frac{1}{2}$ ,3	25,7 $\frac{1}{2}$ ,1	23,2 $\frac{1}{2}$ ,9	18,7 $\frac{1}{2}$ ,8	15,9 $\frac{1}{2}$ ,9
		4	32,7 $\frac{1}{2}$ ,5	31,5 $\frac{1}{2}$ ,4	30,4 $\frac{1}{2}$ ,4	28,5 $\frac{1}{2}$ ,3	25,3 $\frac{1}{2}$ ,1	22,1 $\frac{1}{2}$ ,9	19,2 $\frac{1}{2}$ ,8	16,2 $\frac{1}{2}$ ,8
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
8	Sn	1	38,4 $\frac{1}{2}$ ,5	37,2 $\frac{1}{2}$ ,5	34,0 $\frac{1}{2}$ ,4	32,1 $\frac{1}{2}$ ,3	28,7 $\frac{1}{2}$ ,1	23,7 $\frac{1}{2}$ ,0	19,9 $\frac{1}{2}$ ,8	16,3 $\frac{1}{2}$ ,9
		2	35,6 $\frac{1}{2}$ ,5	34,3 $\frac{1}{2}$ ,5	32,6 $\frac{1}{2}$ ,4	30,9 $\frac{1}{2}$ ,3	27,9 $\frac{1}{2}$ ,1	25,0 $\frac{1}{2}$ ,0	20,8 $\frac{1}{2}$ ,8	17,3 $\frac{1}{2}$ ,9
		3	35,6 $\frac{1}{2}$ ,5	33,2 $\frac{1}{2}$ ,5	32,0 $\frac{1}{2}$ ,4	30,2 $\frac{1}{2}$ ,3	26,8 $\frac{1}{2}$ ,1	23,0 $\frac{1}{2}$ ,0	19,4 $\frac{1}{2}$ ,8	16,3 $\frac{1}{2}$ ,9
		4	34,0 $\frac{1}{2}$ ,5	33,0 $\frac{1}{2}$ ,5	31,7 $\frac{1}{2}$ ,4	29,7 $\frac{1}{2}$ ,3	26,7 $\frac{1}{2}$ ,1	23,0 $\frac{1}{2}$ ,0	19,7 $\frac{1}{2}$ ,8	16,3 $\frac{1}{2}$ ,0
		1	40,2 $\frac{1}{2}$ ,6	39,1 $\frac{1}{2}$ ,5	35,2 $\frac{1}{2}$ ,4	33,4 $\frac{1}{2}$ ,3	29,9 $\frac{1}{2}$ ,2	24,4 $\frac{1}{2}$ ,0	20,8 $\frac{1}{2}$ ,8	17,1 $\frac{1}{2}$ ,7
9	Sn	2	36,6 $\frac{1}{2}$ ,6	35,3 $\frac{1}{2}$ ,5	34,1 $\frac{1}{2}$ ,4	32,1 $\frac{1}{2}$ ,3	28,7 $\frac{1}{2}$ ,2	25,6 $\frac{1}{2}$ ,0	21,8 $\frac{1}{2}$ ,8	17,8 $\frac{1}{2}$ ,8
		3	36,6 $\frac{1}{2}$ ,6	34,4 $\frac{1}{2}$ ,5	33,2 $\frac{1}{2}$ ,4	31,4 $\frac{1}{2}$ ,3	28,0 $\frac{1}{2}$ ,2	23,8 $\frac{1}{2}$ ,0	20,0 $\frac{1}{2}$ ,8	16,9 $\frac{1}{2}$ ,8
		4	35,1 $\frac{1}{2}$ ,5	34,0 $\frac{1}{2}$ ,5	32,9 $\frac{1}{2}$ ,4	31,3 $\frac{1}{2}$ ,3	27,7 $\frac{1}{2}$ ,2	24,1 $\frac{1}{2}$ ,0	20,2 $\frac{1}{2}$ ,8	16,8 $\frac{1}{2}$ ,8
		1	41,9 $\frac{1}{2}$ ,6 (38,6)	40,1 $\frac{1}{2}$ ,5	36,5 $\frac{1}{2}$ ,4	34,2 $\frac{1}{2}$ ,3	30,7 $\frac{1}{2}$ ,2	25,6 $\frac{1}{2}$ ,0	21,7 $\frac{1}{2}$ ,8	17,8 $\frac{1}{2}$ ,2
10	W	2	37,6 $\frac{1}{2}$ ,6	36,4 $\frac{1}{2}$ ,5	34,7 $\frac{1}{2}$ ,4	33,3 $\frac{1}{2}$ ,3	29,3 $\frac{1}{2}$ ,2	26,0 $\frac{1}{2}$ ,0	22,0 $\frac{1}{2}$ ,8	18,0 $\frac{1}{2}$ ,9
		3	37,6 $\frac{1}{2}$ ,6	35,5 $\frac{1}{2}$ ,5	34,0 $\frac{1}{2}$ ,4	32,0 $\frac{1}{2}$ ,3	28,5 $\frac{1}{2}$ ,2	24,2 $\frac{1}{2}$ ,0	20,5 $\frac{1}{2}$ ,8	16,6 $\frac{1}{2}$ ,0
		4	36,7 $\frac{1}{2}$ ,6	35,0 $\frac{1}{2}$ ,5	33,4 $\frac{1}{2}$ ,4	31,9 $\frac{1}{2}$ ,3	28,8 $\frac{1}{2}$ ,2	24,7 $\frac{1}{2}$ ,0	20,9 $\frac{1}{2}$ ,8	15,7 $\frac{1}{2}$ ,1

В заключение автор выражает благодарность Н.А. Ульяновой за подготовку для ЭВМ большого объема числовых данных, а также за помощь в оформлении работы.

### Литература

1. F.S.Kirn, R.J.Kennedy. *How Much Concrete for Shielding. Nucleonics*, 12 (6), 44-48 (1954).
2. C.J.Karzmark, T.Capone. *Measurements of 6MV X-rays. British Journal of Radiology*, 41, 33-39 (1968).
3. T.Maruyama, a.o. *Attenuation of 4-32 MV X-rays in Ordinary Concrete, Heavy Concrete, Iron and Lead. Health Physics*, 20, 277-284 (1971).
4. Л.Р.Кимель, В.П.Машкович, А.М.Панченко. *Защита от излучений электронных ускорителей с максимальной энергией ускоренных электронов до 30 МэВ. В сборнике "Приборы и методы анализа излучений", выпуск III, Москва, 1962.*
5. Л.Р.Кимель, В.П.Машкович. *Защита от ионизирующих излучений. Москва, Атомиздат, 1972.*
6. В.И.Цовбун. *Электронные ускорители на энергии 0,5-100 МэВ как источники излучения. ОИЯИ, Р16-7104, Дубна, 1973.*
7. L.V.Spencer, J.C.Lamkin. *Slant Penetration of  $\gamma$ -rays in Concrete. NBS Report 6591, 1959.*
8. F.S.Kirn, R.J.Kennedy, H.O.Wyckoff. *The Attenuation of  $\gamma$ -rays at Oblique Incidence, Radiology*, 63 (1), 94-104 (1954).
9. W.O.Dogget, F.A.Bryan. *Theoretical Dose Transmission and Reflection Probabilities for 0,2-10,0 MeV photons Obliquely Incident on Finite Concrete Barriers. Nuclear Science and Engineering*, 39, 92-104 (1970).

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 марта 1974 года.