

Пространственное энергетическое распределение и мощность дозы γ -излучения мононаправленного и изотропного источников Co^{60} у границы раздела земля — воздух

С. М. Ермаков, Б. А. Ефименко, В. Г. Золотухин,
Ю. А. Колеватов, В. И. Кутевич

В настоящей работе представлены результаты измерений и расчетов методом Монте-Карло пространственного и энергетического распределения рассеянного γ -излучения мононаправленного источника Co^{60} (средняя энергия $1,25 \text{ Мэв}$) при расстоянии источник — детектор R , равном 15 и 30 м, и одинаковой высоте H (2, 10, 30 и 53 м) подъема источника и детектора над поверхностью земли. Измерения и расчет выполнены для двух углов θ_0 (60 и 90°) ориентации мононаправленного источника.

Экспериментальное устройство состояло из источника S , детектора D и фермы, фиксирующей расстояние R между ними (рис. 1). Источник (радиоактивный препарат Co^{60}) был выполнен в виде сферы диаметром 0,005 м. Для уменьшения фона нерассеянного излучения источник закрывался теневой защитой

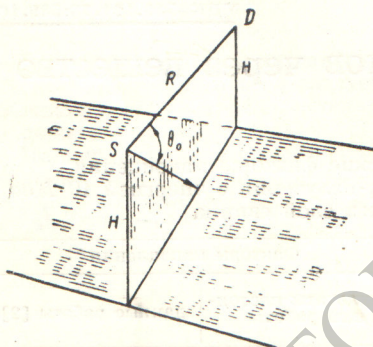


Рис. 1. Геометрия эксперимента и расчета по определению пространственного распределения от точечного мононаправленного источника.

с полным углом раствора 5° . Не было обнаружено излучения, рассеянного в самом источнике. Детектором γ -квантов служил сцинтилляционный спектрометр с кристаллом NaI(Tl) диаметром и высотой 0,04 м. Энергетическое разрешение спектрометра для $E_0 = 0,661 \text{ Мэв}$ составляло 11%. Преобразование амплитудного распределения импульсов в энергетическое осуществлялось матричным методом [1]. При измерениях источник заключался в урановый контейнер с коллимационным отверстием, вырезающим угол $\Delta\gamma = 31,2^\circ$. Измерения позволили получить абсолютные значения потока в зависимости от энергии γ -квантов. Для градуировки использовался эталонный источник, интенсивность излучения которого была известна с точностью $\pm 2\%$. Средняя ошибка в определении энергетических распределений составляла 10—15%.

Вариант метода Монте-Карло, использованный для расчета спектра γ -излучения в фиксированной точке пространства от мононаправленного источника определенной энергии, известен как метод локального вычисления потока [2]. Он особенно эффективен в слу-

чае отсутствия пространственной и угловой симметрии задачи, а также при наличии значительных градиентов потока на небольших расстояниях. Эти условия имеют место вблизи поверхности раздела двух сильно различающихся по плотности сред.

Поскольку вклад однократно рассеянного излучения составляет заметную долю рассеянного потока, целесообразно выделить аналитически спектр однократно рассеянного излучения. Это осуществлялось с помощью техники систематической выборки, описанной в работе [3]. В случае мононаправленного источника случайной переменной, обуславливающей флуктуации однократно рассеянного потока, является длина свободного пробега t . В n -й истории γ -кванта длина свободного пробега t_n до первого рассеяния определялось с помощью случайного числа

$$\alpha_n = \frac{N - n + 1}{N}$$

по обычной формуле

$$1 - \alpha_n = \int_0^{t_n} l^{-\tau(t)} d\tau(t),$$

где N — полное число историй; $\tau(t)$ — оптическое расстояние. В остальном техника метода локального вычисления потока оставалась без изменений. История обрывалась, когда энергия γ -кванта становилась меньше 10 кэв или «вес» γ -кванта уменьшался более чем в 10^8 раз. Программа предусматривала спектральный анализ излучения для выбора расстояний источник — детектор в данной истории, так что получалась коррелированная выборка.

Для расчета одного варианта, характеризующегося направлением Ω_0 и энергией E_0 γ -кванта источника, достаточно 2000 историй, что дает статистическую ошибку в дозе в пределах 5—7% и ошибку в спектре порядка 20%.

В месте проведения экспериментов плотность земли составляла $1,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, такая же величина была принята и в расчетах. Плотность воздуха принималась равной $1,29 \text{ кг/м}^3$.

Расчитанные и измеренные пространственные и энергетические распределения рассеянного γ -излучения мононаправленного источника для $R = 15 \text{ м}$ и $H = 2 \text{ м}$ представлены на рис. 2. Наблюдающееся в экспериментальных данных размытие максимумов связано с конечным энергетическим разрешением спектрометра и относительно большой апертурой угла источника. Окончание спектров в области больших энергий соответствует γ -лучам, однократно рассеянным в воздухе на угол θ_0 . Максимумы интенсивности при энергиях 0,33 и 0,45 Мэв обусловлены однократным рассеянием от земли. Гораздо лучше согласие

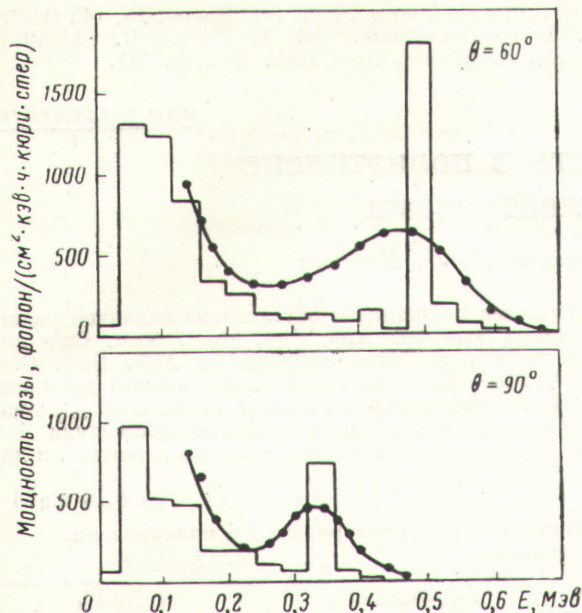


Рис. 2. Пространственное и энергетическое распределение рассеянного γ -излучения мононаправленного источника Co^{60} :

● — экспериментальные данные; гистограмма — расчет.

наблюдается при сопоставлении пространственного распределения мощностей доз от мононаправленного источника (табл. 1).

Таблица 1

Пространственное распределение мощности дозы от мононаправленного источника

| Угол ориентации источника, градусы | Мощность дозы рассеянного γ -излучения, $\text{Mr}/(\text{ч} \cdot \text{кюри} \cdot \text{стер})$ | |
|------------------------------------|---|--------|
| | эксперимент | расчет |
| 60 | 0,047 | 0,040 |
| 90 | 0,019 | 0,015 |

Таблица 2

Пространственное распределение мощности дозы от изотропного источника

| H, м | Мощность дозы, $\text{Mr}/(\text{ч} \cdot \text{кюри})$ | | | | |
|----------|---|--------|------------|-------------|--------|
| | R = 15 м | | | R = 30 м | |
| | эксперимент | расчет | работа [4] | эксперимент | расчет |
| 2 | 0,93 | 0,95 | — | 0,30 | 0,31 |
| 10 | 0,49 | 0,57 | 0,56 | 0,27 | 0,31 |
| ∞ | 0,39 | 0,40 | — | 0,20 | 0,19 |

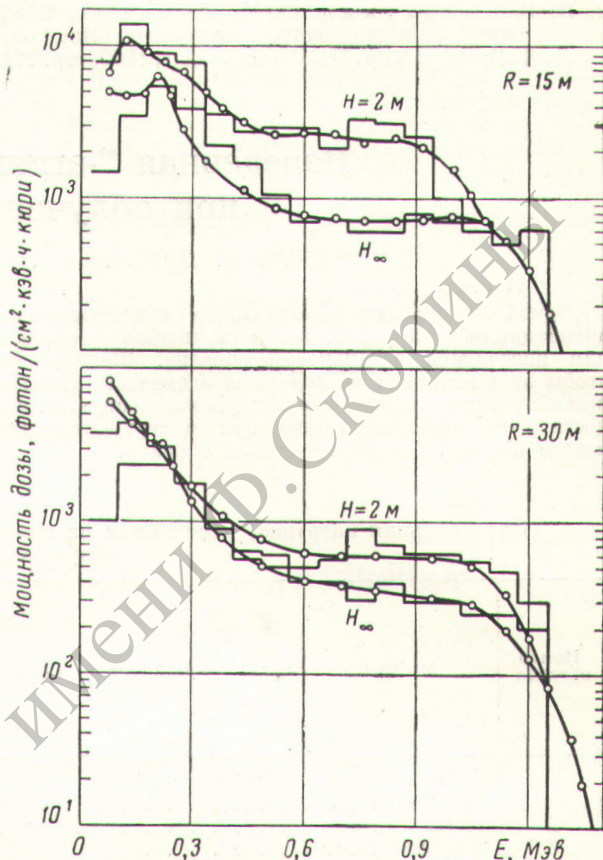


Рис. 3. Пространственное и энергетическое распределение рассеянного γ -излучения изотропного источника Co^{60} :

● — экспериментальные данные; гистограмма — расчет.

Расчетные и измеренные пространственные и энергетические распределения рассеянного γ -излучения изотропного источника для двух случаев $H = 2 \text{ м}$ и $H = \infty$ при R , равном 15 и 30 м, показаны на рис. 3. Распределения для высоты 30 и 53 м практически совпадают с распределением для $H = \infty$. Расчетные и экспериментальные спектры согласуются между собой в пределах экспериментальных и расчетных (статистических) ошибок.

Из табл. 2 видно хорошее согласие рассчитанных и экспериментальных мощностей доз. В таблице для сравнения приведены также экспериментальные данные работы [4], в которой измерялось пространственное распределение мощности у границы раздела земля — воздух при $R = 3,15 \div 21,4 \text{ м}$ и $H = 2,7 \div 17,3 \text{ м}$ для точечного изотропного источника Co^{60} .

Авторы благодарят Ю. И. Бублика, К. Г. Иванова за помощь в проведении эксперимента.

Поступило в Редакцию 13/VIII 1964 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. А. Казанский. «Приборы и техника эксперимента», № 4, 32 (1959).

2. В. Г. Золотухин, С. М. Ермаков. В сб. «Вопросы физики защиты реакторов». Под ред. Д. Л. Бродера и др. М., Госатомиздат, 1963, стр. 171.
3. H. Steinberg. Nucl. Sci. Engng, 15, 142 (1963).
4. Reactor Handbook. Vol. III., Part B. Shielding. Ed. E. Blizard. New York, 1962, p. 271.

УДК 543.53:678.742

Наведенная γ -активность в полиэтилене при облучении нейтронами

Н. А. Дубинская, А. Ю. Люль, Л. Л. Пелекис

Одной из проблем, возникающих при проведении активационного анализа, является подбор материала для контейнера и упаковки образца. Желательно, чтобы этот материал не содержал элементов, дающих при облучении нейтронами заметную наведенную активность, что особенно важно при инструментальном методе анализа без переупаковки образца.

нейтронами полиэтилена обусловлено наличием радиоактивных изотопов Al^{28} , Cl^{38} , Mn^{56} , Na^{24} , Cu^{64} для полиэтилена высокого давления и Al^{28} , Br^{80} , Cl^{38} , Mn^{56} , Na^{24} , Br^{82} для полиэтилена низкого давления.

После окончания облучения суммарная удельная активность по указанным изотопам составляла 4 и 8 $мккюри/г$ для полиэтилена высокого давления, а для

Таблица 1

Интегральная нагрузка, измеренная на сцинтилляционном спектрометре, от 1 г полиэтилена, облученного нейтронами

| Номер образца | Место производства полиэтилена | Тип полиэтилена | Интегральная нагрузка (на 1 г полиэтилена) | | | |
|---------------|--------------------------------|-----------------|---|----------|--|----------|
| | | | $t_{обл}=15 \text{ мин}$ $t_{ост}=5 \text{ мин}$ | | $t_{обл}=4 \text{ ч}$ $t_{ост}=1,5 \text{ ч}$ | |
| | | | имп/сек | отн. ед. | имп/сек | отн. ед. |
| 1 | г. Уфа | ВД | 6 620 | 1,5 | 3 970 | 2,3 |
| 2 | г. Охта | ВД | 5 380 | 1,1 | 3 980 | 2,3 |
| 3 | Англия | ВД | 7 650 | 1,6 | 3 580 | 2,1 |
| 4 | г. Грозный | НД | 540 000 | 120 | 125 000 | 73,5 |
| 5 | г. Салават-Юлаев | ВД | 4 500 | 1 | 1 700 | 1 |
| 6 | г. Куйбышевская область | НД | 330 000 | 73,4 | 71 000 | 41,8 |

В настоящее время при небольших временах облучения (до нескольких часов) в качестве материала упаковки и контейнера используются капрон, нейлон, полиэтилен, полипропилен, тефлон [1—4]. Из указанных материалов наименьшая наведенная активность отмечается у нейлона и капрона, однако их радиационная устойчивость невелика, чем и объясняется более широкое применение полиэтилена.

Нами изучались характеристики наведенной γ -активности полиэтилена высокого (ВД) и низкого (НД) давления, изготавливаемого различными отечественными предприятиями. Гранулированный полиэтилен облучался в вертикальном канале реактора ИРТ в потоке тепловых нейтронов $9 \cdot 10^{12}$ нейтр./ $(см^2 \cdot сек)$ при двух временах облучения ($t_{обл}$): 15 мин и 4 ч.

Наведенная γ -активность оценивалась по интегральной нагрузке, измеренной на сцинтилляционном γ -спектрометре с кристаллом NaJ (Tl) размером 40×40 мм. Расстояние между источником и кристаллом составляло 4 мм. Результаты измерения даны в табл. 1; там же кроме данных для отечественного полиэтилена приводятся данные для английского полиэтилена — алкатен WJG.

Как показало изучение γ -спектров и кривых распада наведенной активности, γ -излучение облученного

полиэтилена низкого давления 150 и 400 $мккюри/г$ (соответственно время облучения 15 мин и 4 ч).

В табл. 2 приведено время остывания ($t_{ост}$), необходимое для уменьшения активности в 10 и 100 раз.

Таблица 2

Время остывания, необходимое для уменьшения активности полиэтилена в 10 и 100 раз

| Номер образца | Тип полиэтилена | Кратность ослабления | $t_{ост}, \tau$ | |
|---------------|-----------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| | | | $t_{обл}=15 \text{ мин}$ | $t_{обл}=4 \text{ ч}$ |
| 3 | ВД | 10 | 1,2 | 20 |
| 3 | ВД | 100 | 10,3 | 71 |
| 4 | НД | 10 | 1,5 | 44,5 |
| 4 | НД | 100 | 10,0 | 160 |

Для оценки содержания обнаруженных элементов (на 1 г полиэтилена) проводилось разложение кривых