

## О выборе параметров плоскостных облучателей радиационных установок

Ф. А. Махлис

Исследования в области применения ядерных излучений, проведенные в течение последних десятилетий, позволяют ставить вопрос о создании мощных полупромышленных радиационных установок. Методы инженерно-физического расчета различных облучателей для проведения радиационно-химических процессов и радиационной обработки пищевых продуктов рассматривались в работах [1—4]. Однако при создании радиационных установок их уточненный расчет практически выполняется после выбора основных исходных параметров облучателя. В плоскостном облучателе такими параметрами являются размер и число плоскостей, расстояние между ними, распределение поверхностной активности по плоскости облучателя.

В настоящей работе рассматривается влияние каждого из указанных параметров на эффективность радиационной установки. В качестве критерия эффективности при выборе размеров плоскостей и сравнении различных распределений поверхностной активности нами принята величина  $(\bar{P} \cdot S)_h$ , где  $S$  (см<sup>2</sup>) — площадь, ограниченная изодозной кривой, лежащей в плоскости, параллельной облучателю и отстоящей от него на расстоянии  $h$  (см);  $\bar{P}$  (р/ч) — средняя мощность дозы облучения по площади  $S$ . При изучении влияния расстояния между плоскостями облучателя на эффективность критерием служила величина  $\bar{P} \cdot l$ . Здесь  $l$  (см) — расстояние по перпендикуляру к плоскостям облучателя, вдоль которого сохраняется требуемая равномерность поля доз облучения;  $\bar{P}$  (р/ч) — средняя мощность дозы в этой области. При сравнении различных параметров плоскостей облучателя исходили из постоянства их общей активности. При расчете принималось, что самопоглощение в источниках отсутствует и активность по поверхности облучателя распределена равномерно. В расчете использовались данные работы [5], для оценки применимости которых были измерены поля доз от плоского источника  $Co^{60}$  за барьерами из воды и без них. Измерения выполнялись с помощью ферросульфатного дозиметра. Сравнение показало, что экспериментально полученные относительные дозные распределения хорошо облегаются с результатами расчета по работе [5].

**Выбор размеров плоскости облучателя.** Исследовалась зависимость величины  $(\bar{P} \cdot S)_h$  от отношения линейных размеров плоскости (в см)  $b/a$  для плоского прямоугольного источника; при этом  $a \times b = \text{const}$ . В результате расчета для плоскостей размерами  $150 \times 150$ ,  $225 \times 100$ ,  $300 \times 75$  и  $450 \times 50$  см<sup>2</sup> при расстояниях от плоскости облучателя 5—40 см оказалось, что в указанных пределах с точностью до 10% величина  $(\bar{P} \cdot S)_h$  не зависит от  $b/a$  как в присутствии облучаемого объекта, так и без него. Однако при  $\frac{b}{a} \neq 1$  кривые изодоз более пологи, чем при  $\frac{b}{a} = 1$ , что удобнее при облучении.

Очевидно, что если общая активность облучателя постоянна, то с увеличением размеров плоскости производительность установки будет возрастать. Одновременно увеличатся затраты на сооружение защиты и усложнится конструкция облучателя. По-видимому, существует предел, выше которого увеличивать размеры плоскостей экономически нецелесообразно. Так, для неравномерности поля доз  $\pm 10\%$  и расстояния от облучателя 10 см при переходе от плоскости  $37,5 \times 37,5$  см<sup>2</sup> к плоскостям  $75 \times 75$  см<sup>2</sup> и  $150 \times 150$  см<sup>2</sup> величина  $(\bar{P} \cdot S)_h$  увеличится в 1,95 и 3,2 раза соответственно; при переходе же к плоскости  $300 \times 300$  см<sup>2</sup> кратность возрастания равна только 4,8.

**Равномерность поля доз по глубине облучаемых объектов.** Если степень равномерности поля доз вдоль объекта облучения определяется размерами плоскости облучателя, то достаточная равномерность по глубине объекта в нужной степени не может быть достигнута за счет изменения этих размеров.

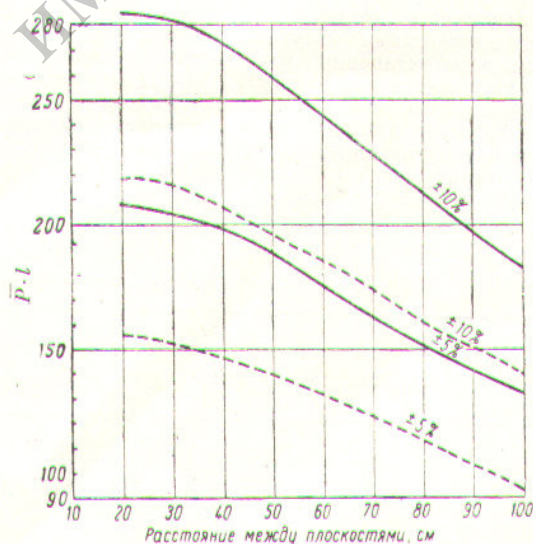


Рис. 1. Зависимость величины  $\bar{P} \cdot l$  от расстояния между плоскостями облучателя при неравномерности поля доз  $\pm 5\%$  и  $\pm 10\%$  (поверхностная активность равна  $1 \text{ г} \cdot \text{экв} \text{ Ra}/\text{см}^2$ ):

— — плоскость  $100 \times 100$  см<sup>2</sup>; - - - - - плоскость  $50 \times 200$  см<sup>2</sup>.

Отсюда возникает необходимость двухстороннего облучения. В этом случае серьезное значение приобретает правильный выбор расстояния между плоскостями облучателя. На рис. 1 показаны величины  $\bar{P} \cdot l$  для облучателя с  $\frac{b}{a} = 1$  и  $\frac{b}{a} = 0,25$  в зависимости от расстояния между плоскостями. Рассматривается облучатель, когда

в нем нет облучаемых объектов. Видно, что облучатель в виде квадрата наиболее эффективен, поскольку обеспечивает более высокую производительность установки. При этом достигаются также большая мощность дозы и больший объем с требуемой равномерностью поля доз.

Необходимость соблюдения определенной равномерности поля доз по глубине объекта накладывает ограничения на приемлемую толщину облучаемых сред. При прочих равных условиях участок удовлетворительной равномерности поля доз может быть расширен за счет увеличения расстояния между плоскостями или путем использования дополнительных экранов. В обоих случаях величина  $\bar{P} \cdot l$ , характеризующая производительность установки, заметно снизится.

Представляется нерациональным при эксплуатации установки ограничиваться использованием только участка  $l$ , в котором обеспечивается требуемая равномерность поля доз. При облучении твердых пакетированных материалов появляется возможность проводить облучение секциями, т. е. при разных мощностях доз в одной загрузке. Тогда производительность установки  $\Sigma (\bar{P} \cdot l)$  значительно возрастет. Например, если при облучении в облучателе с плоскостями  $100 \times 100 \text{ см}^2$  и равномерностью поля доз  $\pm 10\%$  по обе стороны объекта, расположенного в центре облучателя, поместить еще по одной секции, толщина  $l'$  которой будет определяться той же равномерностью поля доз, но уже при другой мощности дозы, то величина  $\bar{P} \cdot l$  увеличится на 50%.

Зависимость величин  $\bar{P}$ ,  $l$  и  $\bar{P} \cdot l$  от расстояния между плоскостями облучателя, увеличение производительности установки при облучении дополнительных слоев материала (секций) в двухплоскостном облучателе показаны в табл. 1. Размер плоскости  $100 \times 100 \text{ см}^2$ ; поверхностная активность составляет  $1 \text{ г экв Ra/cm}^2$ ; равномерность поля доз  $\pm 10\%$ ; облучаемая среда (вода) расположена симметрично между плоскостями облучателя.

Выбор распределения поверхностной активности. При равномерном распределении поверхностной активности по плоскостям облучателя область, в которой обеспечивается требуемая равномерность поля доз, сравнительно мала. В связи с этим активность по периферии облучателя используется неполностью и играет роль его компенсационных участков [6]. Имеются рекомендации по повышению эффективности использования облучателя с помощью неравномерного распределения активности по поверхности плоскости и применения

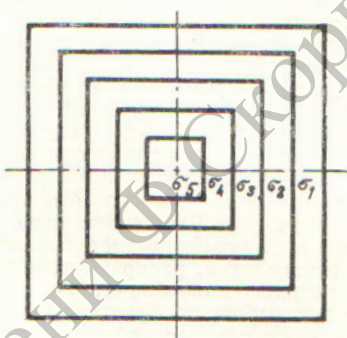


Рис. 2. Схема загрузки изотопа в плоскость.

выравнивающих барьеров [6]. Принципиального различия между двумя указанными способами нет, так как легко показать, что использование экранов равносильно некоторому уменьшению поверхностной активности в центре плоскости; поэтому нами рассмотрены только различные варианты неравномерного распределения активности по поверхности облучателя. Величины  $S$  и  $\bar{P} \cdot S$  для равномерного и неравномерного

Таблица 1

Основные расчетные характеристики облучателя

Толщина объекта, см	Расстояние между плоскостями, см	Основной слой			Дополнительный слой		
		$\bar{P} \cdot 10^{-4}$ , р/ч	$l$ , см	$\bar{P} \cdot 10^{-4} \cdot l$ , р·см/ч	$\bar{P} \cdot 10^{-4}$ , р/ч	$2 l'$ , см	$\bar{P} \cdot 10^{-4} \cdot 2 l'$ , р·см/ч
16	20	11,7	9,8	115,0	14,0	3,30	46,3
	30	10,1	11,2	113,0	12,1	3,75	45,4
	40	8,9	12,2	108,4	10,6	4,20	44,5
	60	6,7	15,0	100,4	—	—	—
	80	5,1	17,4	88,6	—	—	—
32	40	5,9	15,2	89,6	7,1	6,0	42,5
	50	5,3	16,4	87,0	6,3	6,4	40,6
	60	4,7	17,0	79,8	5,6	6,9	38,5
	80	3,7	17,6	65,0	4,4	8,2	35,8
48	50	3,5	16,8	58,8	4,2	7,4	31,1
	60	3,2	17,4	55,6	3,8	7,8	29,7
	80	2,6	17,8	46,2	3,1	8,1	25,0
	100	2,1	18,2	38,2	2,5	9,0	22,5

Таблица 2

Некоторые результаты расчетов для плоскости  $100 \times 100 \text{ см}^2$

Расстояние от плоскости, см	$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4 = \sigma_5$ (рис. 2)		$\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4 = \sigma_5 = \sigma$ $\sigma_1 = 2\sigma$		$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4$ $\sigma_5 = 0$		$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ ; $\sigma_4 = \sigma_5 = 0$	
	S, см <sup>2</sup>	$\bar{P} \cdot S$ , р. см/ч	S, см <sup>2</sup>	$\bar{P} \cdot S$ , р. см/ч	S, см <sup>2</sup>	$\bar{P} \cdot S$ , р. см/ч	S, см <sup>2</sup>	$\bar{P} \cdot S$ , р. см/ч
10	5460	$4,40 \cdot 10^8$	8680	$5,85 \cdot 10^8$	6930	$5,20 \cdot 10^8$	8400	$6,0 \cdot 10^8$
20	4570	$2,40 \cdot 10^8$	7660	$3,30 \cdot 10^8$	6260	$2,9 \cdot 10^8$	8000	$3,35 \cdot 10^8$
40	3820	$0,98 \cdot 10^8$	7360	$1,70 \cdot 10^8$	6190	$1,50 \cdot 10^8$	7700	$1,73 \cdot 10^8$

распределений поверхностной активности ( $\sigma_i$  — удельная поверхностная активность, г. экв Ra/см<sup>2</sup>) по плоскости облучателя при неравномерности поля доз  $\pm 10\%$  (общая активность плоскости  $10^4$  г. экв Ra) для плоскости  $100 \times 100 \text{ см}^2$  представлены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что при неравномерном распределении поверхностной активности эффективность использования облучателя можно повысить в полтора раза и более по сравнению с эффективностью при равномерном распределении активности.

Аналогичные результаты были получены для случая с водным барьером, толщина которого составляла 16 и 32 см.

Пользуясь случаем, выражаем благодарность А. Х. Брегеру за обсуждение настоящей работы.

Поступило в Редакцию 17/X 1963 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Х. Брегер. Источники ядерных лучений и их применение в радиационно-химических процессах. М., ВИНТИ, 1960.
2. А. В. Бибергаль, В. Ч. Синицын, Н. И. Лецинский. Изотопные гамма-установки. М., Атомиздат, 1960; А. В. Бибергаль, М. М. Коротков, Т. Г. Ратнер. «Атомная энергия», 7, 244 (1959).
3. Н. И. Лецинский. Диссертация, МИФИ, 1962.
4. В. Г. Хрущев, У. Я. Маргулис, С. М. Степанов. «Атомная энергия», 12, 536 (1962).
5. Ф. А. Махлис. «Атомная энергия», 15, 508 (1963).
6. W. Manowitz, Q. Kuhl, L. Galanter. Application of Large Radiation Sources in Industry and Especially to Chemical Processes Conference. Warsaw, 1959.

УДК 539.107.43

## Жидкостный сцинтилляционный счетчик для исследований биологических препаратов

В. Н. Подымахин, Э. Г. Торопыгина

В биологических исследованиях широкое распространение получил метод измерения радиоактивности с помощью жидких сцинтиллирующих суспензий и гелей [1—4], который позволяет проводить спектральный анализ излучения препаратов в геометрии, близкой к 4π при высокой эффективности регистрации излучений. Как известно, наибольший световой выход имеют белые суспензии, однако многие подлежащие измерению биопрепараты сильно окрашены. Перед введением их в жидкий сцинтиллятор желательно химическое выделение групп элементов в виде сульфатов, карбонатов или других солей, имеющих белый цвет [5]. В процессе измерений должна проводиться градуировка аппаратуры, т. е. определяться эффективность регистрации излучения пробы и фона [6]. Метод измерения биологических препаратов путем введения их непосредственно в сцинтиллирующие суспензии обладает наряду с большими достоинствами некоторыми недостатками (при измерениях большого числа препаратов): необходимо обесцвечивать пробы и учитывать изменение прозрачности сцинтиллятора при введении

биопрепарата; кроме того, как правило, препараты нельзя хранить длительное время для последующих анализов.

В работе [7] описан счетчик для измерений различных препаратов, нанесенных методом испарения на листки целлофана, путем погружения их непосредственно в сцинтиллятор. Как и при использовании метода жидких суспензий и гелей, в этом случае необходимо обесцвечивать препараты и учитывать изменение эффективности при введении в сцинтиллятор инородного тела.

В примененном нами методе измерения биологических препаратов в жидком сцинтилляторе в значительной мере устранены упомянутые недостатки. Была использована цилиндрическая алюминиевая кювета объемом 50 см<sup>3</sup>, заклеенная снизу бескальевым стеклом, а сверху плотно закрытая крышкой.

Образец наносился на алюминиевую фольгу толщиной 27 мг/см<sup>2</sup>, предварительно покрытую тонким слоем клея БФ-2, и заклеивался сверху другим листком алюминия.