

Продолжение

Элемент, стабильный изотоп	Ядерная реакция	Ядро-продукт	$T_{1/2}$	$\sigma_{уд}$, см ² /г	F_3 , см ² /г·сек
Ванадий, V ⁵¹	n, γ	V ⁵²	3,76 мин	5,3·10 ⁻²	2,3·10 ⁻⁴
Кислород, O ¹⁶	n, p	N ¹⁶	7,35 сек	1,5·10 ⁻³	2,0·10 ⁻⁴
Фтор, F ¹⁹	n, p	O ¹⁹	29,4 сек	4,3·10 ⁻¹	1,4·10 ⁻⁴
Иттрий, Y ⁸⁹	n, n' γ	Y ^{89m}	16 сек	2,0·10 ⁻³	1,2·10 ⁻⁴
Церий, Ce ¹⁴⁰	n, 2n	Ce ^{139m}	55 сек	4,6·10 ⁻³	8,3·10 ⁻⁵
Европий, Eu ¹⁵¹	n, γ	Eu ^{152m}	9,2 ч	2,6	8,0·10 ⁻⁵
Фтор, F ¹⁹	n, a	N ¹⁶	7,35 сек	5,4·10 ⁻⁴	7,3·10 ⁻⁵
Хлор, Cl ³⁷	n, a	P ³⁴	12,4 сек	1,9·10 ⁻⁴	6,4·10 ⁻⁵
Свинец, Pb ²⁰⁷	n, n' γ	Pb ^{207m}	0,82 сек	5,2·10 ⁻⁵	6,4·10 ⁻⁵
Литий, Li ⁶	n, p	He ⁶	0,82 сек	4,4·10 ⁻⁵	5,3·10 ⁻⁵
Празеодим, Pr ¹⁴¹	n, 2n	Pr ¹⁴⁰	3,4 мин	8,9·10 ⁻³	4,4·10 ⁻⁵
Алюминий, Al ²⁷	n, γ	Al ²⁸	2,27 мин	4,7·10 ⁻³	3,4·10 ⁻⁵
Кремний, Si ²⁸	n, p	Al ²⁸	2,27 мин	4,4·10 ⁻³	3,2·10 ⁻⁵
Бром, Br ⁷⁹	n, γ	Br ⁸⁰	18 мин	3,2·10 ⁻²	3,0·10 ⁻⁵
Фтор, F ¹⁹	n, γ	F ²⁰	11 сек	2,8·10 ⁻⁴	2,6·10 ⁻⁵
Барий, Ba ¹³⁸	n, 2n	Ba ^{137m}	2,6 мин	3,9·10 ⁻³	2,5·10 ⁻⁵
Натрий, Na ²³	n, p	Ne ²³	40 сек	8,8·10 ⁻⁴	2,2·10 ⁻⁵
Родий, Rh ¹⁰³	n, a	Tc ¹⁰⁰	15,8 сек	3,5·10 ⁻⁴	2,2·10 ⁻⁵
Фосфор, P ³¹	n, a	Al ²⁸	2,27 мин	2,9·10 ⁻³	2,1·10 ⁻⁵
Хлор, Cl ³⁸	n, γ	Cl ^{38m}	1 сек	2,1·10 ⁻⁵	2,1·10 ⁻⁵
Иод, I ¹²⁷	n, γ	I ¹²⁸	25 мин	2,6·10 ⁻²	1,8·10 ⁻⁵
Медь, Cu ⁶⁵	n, γ	Cu ⁶⁶	5,1 мин	5,3·10 ⁻³	1,7·10 ⁻⁵
Серебро, Ag ¹⁰⁹	n, 2n	Ag ¹⁰⁸	2,3 мин	2,2·10 ⁻³	1,6·10 ⁻⁵
Ниобий, Nb ⁹³	n, γ	Nb ^{94m}	6,6 мин	6,5·10 ⁻³	1,6·10 ⁻⁵
Марганец, Mn ⁵⁵	n, γ	Mn ⁵⁶	2,6 ч	1,5·10 ⁻¹	1,6·10 ⁻⁵
Бром, Br ⁷⁹	n, 2n	Br ⁷⁸	6,4 мин	4,2·10 ⁻³	1,1·10 ⁻⁵
Сурьма, Sb ¹²³	n, 2n	Sb ^{122m}	3,5 мин	2,1·10 ⁻³	1,0·10 ⁻⁵

активируемости этих элементов, если не достигнуто насыщение активности.

При условии $t_{обл} \ll T_{1/2}$ выражение для приведенной активности может быть представлено в виде

$$A = \frac{0,693 f \sigma_{уд} m t_{обл}}{T_{1/2}} = 0,693 f m F_3 t_{обл} \quad (2)$$

Величину F_3 предлагается назвать фактором экспрессности, так как она характеризует скорость набора активности. Термин «показатель качества» для аналогичной характеристики, введенный в работе [3], представляется менее удачным.

Составив таблицу, в которой изотопы расположены в порядке убывания F_3 , можно выделить элементы, наиболее благоприятные для экспрессного активационного анализа.

В предлагаемой таблице приведены изотопы с $F_3 \geq 1 \cdot 10^{-5}$ см²/г·сек [для тепловых и быстрых (14 Mev) нейтронов], а также показаны значения $\sigma_{уд}$ для этих изотопов. Элементы, расположенные в начале

таблицы, обладают лучшими характеристиками с точки зрения экспрессного активационного анализа (при прочих равных условиях).

Значения $\sigma_{уд}$ и F_3 могут быть использованы для предварительных оценок приведенной активности определяемых и мешающих компонентов с помощью формул (1) и (2). В конкретных расчетах ожидаемой скорости счета следует учитывать выход γ -квантов и β -частиц, поскольку $\sigma_{уд}$ и F_3 не содержат этих характеристик.

Поступило в Редакцию 25/VII 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Тэйлор. Нейтронное излучение и активационный анализ. М., Атомиздат, 1965.
2. Д. И. Лейпунская, З. Е. Гауэр. В сб. «Ядерная геофизика». М., Гостоптехиздат, 1959, стр. 238.
3. R. C. Coldwell, W. Mills. Nucl. Instrum. and Methods, 5, 312 (1959).

Выбор облучателя для радиационной обработки сыпучих тел

А. В. БИБЕРГАЛЬ, В. Н. ПРИМАК-МИРОЛЮБОВ

УДК 621.039.83

В настоящее время методы радиационной обработки находят все большее применение в сельском хозяйстве. Работами ряда институтов [1,2] показана эффективность использования этих методов для облучения семян

различных сельскохозяйственных культур перед посевом, картофеля и лука при закладке на хранение, пищевого зерна и зерновых продуктов на предмет уничтожения или стерилизации насекомых-вредителей и т. д.

Облучение лучше всего проводить, когда облучаемый материал непрерывно движется через облучатель. При этом можно создать наиболее компактную защиту от излучения и получить наибольшую производительность. Однако транспортировать облучаемые материалы через облучатель выгоднее не самотеком, а принудительно. В этом случае потери продукции из-за ненормированного облучения при каждом пуске и остановке будут наименьшими, а также можно обеспечить большее постоянство и равномерность перемещения объектов в облучателе.

Несмотря на то, что принудительное перемещение вдоль облучателя позволяет одновременно перемещать объекты, крайне желательна все же достаточная степень равномерности дозного поля в плоскости поперечного сечения облучаемого потока. Наоборот, изменение мощности дозы вдоль пути при перемещении объектов роли не играет, так как все объекты последовательно проходят места с изменяющейся мощностью дозы и суммарная поглощенная энергия, таким образом, для различных объектов будет одинакова.

Одной из наиболее распространенных конфигураций облучателей является цилиндрическая. При этом чем больше относительная длина облучателя (отношение полудлины к радиусу L/R), тем большую относительную производительность можно получить. Это следует из элементарного анализа зависимости рабочего объема с допустимой степенью неравномерности облучения от относительной длины L/R . Чем выше эта величина, тем относительно больше допустимая площадь сечения потока объектов, т. е. больше производительность при заданной неравномерности облучения.

Однако к.п.д. (по излучению) цилиндрического облучателя относительно низкий (5—9%). Поэтому важно увеличить производительность облучателя, не отказываясь от принудительного перемещения объектов, для чего целесообразно разместить по оси цилиндрического облучателя дополнительный линейный источник. При этом сохраняется возможность устройства транспортера для принудительного перемещения объектов внутри облучателя.

Мощность дозы, создаваемая линейным источником в воздухе в любой точке p центральной плоскости сечения,

$$P_{p, л} = \frac{2k_{\gamma}q}{nR} \arctg\left(\frac{L}{R} \cdot \frac{1}{n}\right),$$

где nR — расстояние точки p от центра в долях радиуса цилиндра; $q = \frac{Q_{\text{л}}}{2L}$ ($Q_{\text{л}}$ — суммарная активность центрального линейного источника); L — полудлина цилиндрического облучателя.

Обозначив через Q общую активность, $Q_{\text{л}}$ — активность источников, размещенных на цилиндрической поверхности, получим

$$Q = Q_{\text{л}} + Q_{\text{ц}}.$$

Приняв $Q_{\text{л}} = \delta Q$ и $Q_{\text{ц}} = (1 - \delta) Q$, для линейного источника получим

$$P_{p, л} = \frac{k_{\gamma}Q}{R^2} \cdot \frac{\delta}{n} \cdot \frac{1}{L/R} \arctg\left(\frac{L}{R} \cdot \frac{1}{n}\right). \quad (1)$$

От цилиндрической поверхности в воздухе найдем

$$\begin{aligned} P_{p, ц} &= \frac{4k_{\gamma}Rq\pi}{R(1+n)} F(\varphi, k^2) = \\ &= \frac{k_{\gamma}Q}{R^2} \cdot \frac{1-\delta}{1+n} \cdot \frac{1}{L/R} F(\varphi k^2). \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $F(\varphi, k^2)$ — эллиптический интеграл первого рода. При этом

$$\varphi_0 = \arctg \frac{1}{R(1-n)}; \quad k^2 = \frac{4n}{(1+n)^2}.$$

Таким образом, мощность дозы в центральной плоскости, перпендикулярной к оси цилиндра, будет меняться в зависимости от расстояния до центра, выраженного в долях n радиуса цилиндрического облучателя, по закону

$$\frac{P_p R^2}{k_{\gamma}Q} = \frac{1}{L/R} \left[\frac{\delta}{n} \arctg\left(\frac{L}{R} \cdot \frac{1}{n}\right) + \frac{1-\delta}{1+n} F(\varphi, k^2) \right]. \quad (3)$$

В левой части — мощность дозы $P_p = P_{p, ц} + P_{p, л}$ в точке p , деленная на постоянный множитель для данного облучателя $\frac{k_{\gamma}Q}{R^2}$, в правой — величина, зависящая при заданном L/R только от δ и n .

Выбирая различные значения δ , строим семейство кривых в функции от n . На рис. 1, а, б, в представлены кривые, характеризующие изменение мощности дозы вдоль радиуса цилиндра (центральной плоскости) для различных соотношений между активностями линейного и цилиндрического источников для трех облучателей ($\frac{L}{R} = 1; \frac{L}{R} = 3; \frac{L}{R} = 5$).

Видно, что мощность дозы имеет минимум, положение которого зависит от распределения активности δ . Если задается предельная допустимая степень неравномерности облучения, например $\pm 20\%$, то минимум $\frac{P_p R^2}{k_{\gamma}Q}$ равен 80% среднего значения, и верхний предел приблизительно можно взять равным 140% минимального значения как еще допустимую максимальную мощность дозы.

Проведя линию на уровне 140% минимального значения кривой для данного δ , получим два максимально допустимых значения мощности дозы — одно ближе к оси, другое ближе к цилиндрической поверхности. Интервал между этими значениями характеризует ширину кольца, на площади которого объекты будут получать дозу в заданных пределах.

Площадь кольца $S = \Pi R^2 (n_{\text{макс}}^2 - n_{\text{мин}}^2)$ характеризует производительность облучателя при заданной степени неравномерности.

На рис. 2 приведены кривые зависимости относительной площади S/R^2 кольца от δ . Эти кривые показывают следующее:

1. С увеличением L/R площадь несколько увеличивается, но при $\frac{L}{R} = 3$ и выше меняется уже мало.

Для сравнения приведена кривая зависимости относительной площади кольца от δ для облучателя, у которого длина $2L$ сведена к минимуму (кольцевой источник), а в центре размещен точечный источник. Поле такого облучателя меняется в радиальном направлении согласно выражению

$$\frac{P_p R^2}{k_{\gamma}Q} = \left(\frac{\delta}{n^2} + \frac{1-\delta}{1+n^2} \right).$$

2. Наибольшая относительная кольцевая площадь сечения потока объектов получается при δ в интервале 0,1—0,5. В этом случае выигрыш в производительности по сравнению с производительностью одного

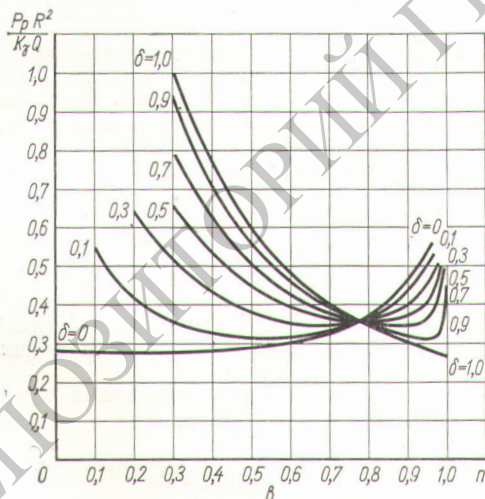
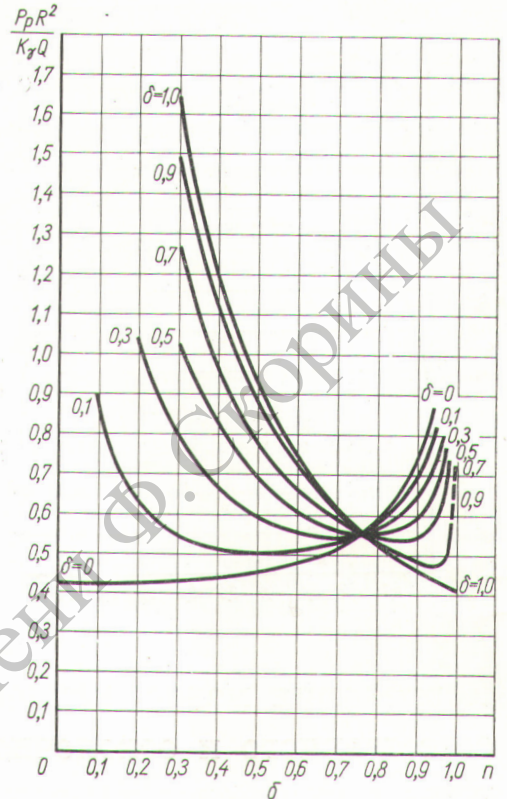
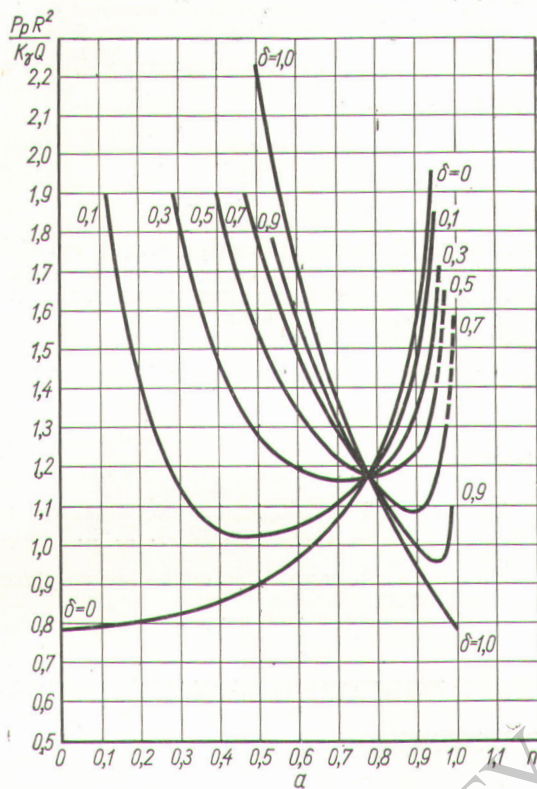


Рис. 1. Зависимость относительной мощности дозы $\frac{P_p R^2}{K_y Q}$ от расстояния до центрального источника, выраженного в долях радиуса, для различных δ :

$$a - \frac{L}{R} = 1; \quad б - \frac{L}{R} = 3; \quad в - \frac{L}{R} = 5.$$

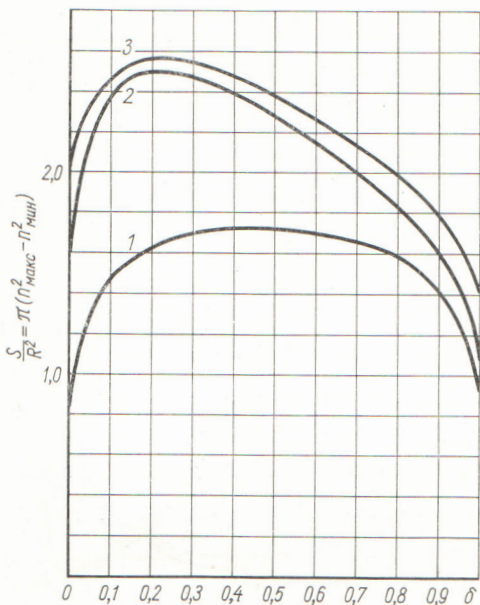
с плотностью, равной единице, к. п. д. можно оценить следующим образом. Как видно из рис. 1, б, для облучателя с $\frac{L}{R} = 3$ при $\delta = 0,5$ и допустимой неравномерности $\pm 20\%$ слой вещества может составлять $R(0,97-0,44) = 0,53 R$, т. е. более половины радиуса цилиндрического облучателя. При этом слой расположен почти вплотную к цилиндрической поверхности. Выбрав $R \approx 20$ см, получим, что более 30% энергии излучения центрального линейного источника будет полезно поглощаться в объектах.

Таким образом, оценить к. п. д. можно, приняв $\eta = [(1 - \delta)\eta_{\text{ц}} + 30\delta]\% = 100(0,5 \cdot 0,07 + 0,15)\% = 18,5\%$. В действительности к. п. д. будет еще больше, так как косые лучи поглощаются сильнее. Для одного линейного источника при $R = 20$ см допустимая толщина слоя не превышает $R(1 - 0,75) = 0,25 R$, т. е. $= 5$ см (см. рис. 1, б, $\delta = 1,0$). Такой слой водозвivalentной ткани поглотит около 10–12% излучения, т. е. к. п. д. облучателя с одним линейным источником будет меньше, чем предлагаемого сложного облучателя. Что же касается одного цилиндрического облучателя, то, как уже указывалось, его к. п. д. составляет 5–9%, т. е. в среднем в три раза меньше,

линейного источника оказывается более 200%, а одного цилиндрического источника — около 165% [по кривой для $\frac{L}{R} = 1$ (см. рис. 2)].

Кроме того, распределение части общей активности по центральной оси цилиндрического облучателя значительно увеличивает к. п. д. излучателя.

Для предлагаемого облучателя и облучателя в виде линейного источника, окруженного слоем вещества



Р и с. 2. Кривые зависимости относительной площади S/R^2 кольца с определенной степенью равномерности мощности дозы от δ :

1 — для кольцевого облучателя; 2 — для облучателя с $\frac{L}{R} = 1$; 3 — для облучателей с $\frac{L}{R} = 3$ и $\frac{L}{R} = 5$.

чем предлагаемого. Приведенная оценка к. п. д. сугубо качественная, поскольку не учитываются мертвые углы по оси линейных источников, в которых нет облучаемых объектов. Несмотря на приближенность оценки, относительная выгода предлагаемого облучателя очевидна также и в отношении к. п. д.

Поступило в Редакцию 30/VI 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Труды Ташкентской конференции по мирному использованию атомной энергии (Ташкент, 1959). Т. 2. Ташкент, изд-во АН УзССР, 1960.
2. А. В. Бибергаль и др. Изотопные гамма-установки. М., Госатомиздат, 1960.

Корреляция между концентрациями радиоактивных аэрозолей естественного и осколочного происхождения в приземном слое атмосферы

А. Э. ШЕМБИ-ЗАДЕ

УДК 541.182.3:551.577.7

Проведенные исследования показали, что в период интенсивных выпадений осколков ядерного деления наблюдается корреляция их концентраций в приземном слое воздуха с концентрацией дочерних продуктов распада радона. Пробы радиоактивных аэрозолей отбирали аспирационным методом с помощью фильтрующего материала ФПП-15. Диаметр рабочей части фильтра 42 мм, скорость фильтрации около 8 л/мин·см². Объем воздуха, пропущенного через фильтр, контролировался с помощью газовых часов и составлял 4000 л. Пробы воздуха отбирали на высоте 1,5 м над уровнем земли.

При измерениях скорости β -распада проб естественно-радиоактивных аэрозолей для градуировки радиометрической установки в качестве препарата известной активности использовали $Sr^{90} - Y^{90}$. Эффективность регистрации для счетчика МСТ-17 оказалась равной 0,12; среднее значение относительной квадратичной ошибки измерений активности продуктов распада радона не более 6%.

Для расчета активности смеси свежих продуктов ядерного деления относительный метод определения эффективности регистрации непригоден, так как априори не известен спектр энергий β -частиц. Даже если состав смеси продуктов деления идентифицирован, не всегда можно приготовить соответствующий контрольный препарат.

Метод расчета эффективности регистрации ионизирующих излучений хорошо известен [1, 2] и сводится к вычислению некоторых поправок, для чего необходи-

мо знать толщину слоя половинного ослабления β -излучения. Полученное нами значение этой величины оказалось равным $60,6 \pm 6,6$ мг/см². Вычисленное значение эффективности измерений в данном случае составило 0,40. Относительная квадратичная ошибка не превышала 7,5%.

Удельная активность продуктов распада эманаций была рассчитана по формуле

$$A' = 10,6 \cdot 10^{-15} \frac{n \times \kappa_{\beta}}{\epsilon_{\text{эфф}} V} \text{ кюри/л}, \quad (1)$$

полученной для экспериментально найденной величины эффективного периода полураспада дочерних продуктов эманаций (35 мин).

Удельная активность осколочных продуктов рассчитана по формуле

$$A'' = \frac{n \times \kappa_{\beta}}{\epsilon_{\text{эфф}}' V 2,22 \cdot 10^{12}} \text{ кюри/л}. \quad (2)$$

Здесь n — скорость счета, имп/мин; $\epsilon_{\text{эфф}}$ и $\epsilon_{\text{эфф}}'$ — эффективности регистрации естественной и осколочной активностей соответственно; V — объем профильтрованного воздуха; κ_{β} — коэффициент поглощения β -частиц веществом фильтра.

На рисунке приведен корреляционный график, полученный сопоставлением ежедневных данных о концентрации β -активных аэрозолей естественного и искусственного происхождения за февраль—апрель 1962 г.