

1. ВНУТРЕННИЕ ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИИ

Рассмотрение методов расчета доз от внутренних источников ионизирующего излучения начнем с задач радиационной химии.

Пусть α - и β -излучающий радионуклид, не являющихся родоначальниками цепочки распада, равномерно распространен в веществе образца, причем излучение радионуклида поглощается в нем практически полностью. Тогда выделяемая энергия в единицу времени (мощность поглощенной дозы P):

$$P = a_0 * \bar{E}_{изл}, \text{ МэВ/(гс)}$$

или $P = 1,602 * 10^{-10} a_0 \bar{E}_{изл}, \text{ Гр/с}$,

где a_0 - удельная активность, Бк/г, на момент времени, соответствующий началу эксперимента, $\bar{E}_{изл}$ - энергия α -излучения или средняя энергия β -спектра, МэВ/распад.

Для указанных источников интегральная поглощенная доза будет выражаться как:

$$D = \int_0^t P dt = \int_0^t a_0 e^{-\lambda t} \bar{E}_{изл} dt = a_0 \bar{E}_{изл} \frac{1 - e^{-\lambda t}}{\lambda}$$

где λ , t - постоянная распада и время облучения, соответственно. При малых λ, t эта формула упрощается:

$$D = a_0 \bar{E}_{изл} t$$

При полном распаде радионуклида ($t \rightarrow \infty$):

$$D = a_0 \frac{\bar{E}_{изл}}{\lambda}$$

В практике обращения с радиоактивными отходами необходимо бывает рассчитывать дозу, поглощенную матрицей, в которой равномерно распределена смесь радионуклидов различной природы (γ - и β -излучатели, включающие материнские нуклиды, порождающие цепочку радиоактивного распада). Если форма сосуда, в котором находится радиоактивный материал, обеспечивает практически полное поглощение излучения, то полную энергию, выделяемую единицей массы материала в единицу времени цепочкой распада γ - и β -излучателей, для i -го материнского радионуклида можно записать в виде мощности поглощенной дозы:

$$P_i = a_{i,0} e^{-\lambda_i t} (\sum_{i,j} K_{\gamma,i} + \sum_{i,j} \bar{E}_{\beta} n_{\beta}), \frac{\text{МэВ}}{\text{г} * \text{с}}$$

где $a_{i,0}$ - удельная активность i -го материнского нуклида в момент постановки отхода на хранение или в момент окончательного захоронения, Бк/г, λ_i - постоянная распада i -го материнского нуклида, $K_{\gamma,i}$ - энергетическая γ -постоянная i -ого материнского и всех j -их дочерних радионуклидов, МэВ/(с. Бк), \bar{E}_{β} - средняя энергия β -спектра материнского и всех дочерних радионуклидов, МэВ/распад, n_{β} - доля β -распада со средней энергией \bar{E}_{β} , t - время облучения (хранения) отхода, с. При выражении $a_{i,0}$ в Ки/кг и $K_{\gamma,i}$ в МэВ/(с*Ки) последняя формула принимает вид:

$$P_i = a_{i,0} e^{-\lambda_i t} (10^3 \sum_{i,j} K_{\gamma,i} + 3,7 * 10^{10} \sum_{i,j} \bar{E}_{\beta,i} n_{\beta,i}), \frac{\text{МэВ}}{\text{кг} * \text{с}}$$

Для того, чтобы получить значения мощности поглощенной дозы в Гр/с, правую часть этого уравнения нужно умножить на $1,602 * 10^{-10}$. Энергия, выделяемая смесью радионуклидов в единицу времени (мощность поглощенной дозы), равна

$$P = \sum_i P_i.$$

Интегральную поглощенную дозу рассчитывают, суммируя данные по всем i -ым радионуклидам. Величину в скобках в правой части приведенных выше формул называют удельной энергетической постоянной цепочки i -ого материнского нуклида и обозначают \tilde{A}_i . В **Табл. 1** представлены наиболее характерные для высокоактивных отходов нуклиды, их периоды полураспада, постоянные распада и величины энергетических постоянных.

Табл. 1 Удельные энергетические постоянные цепочки для некоторых радионуклидов

Нуклиды	$(t_{1/2})_i$	$\lambda_i, \text{с}^{-1}$, материнского нуклида	$\tilde{A}_i, \text{МэВ}/(\text{с} \cdot \text{Бк})$	$\tilde{A}_i, \text{МэВ}/(\text{с} \cdot \text{Ки})$
$^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$	28 лет (64, 3 ч)	$7,848 \cdot 10^{-10}$	1, 126	$4,166 \cdot 10^{10}$
$^{106}\text{Ru}+^{106}\text{Rh}$	1 год (30 с)	$2,198 \cdot 10^{-8}$	1, 400	$5,183 \cdot 10^{10}$
$^{137}\text{Cs}+^{137}\text{Ba}$	30лет(2, 6 мин)	$7,325 \cdot 10^{-10}$	0, 243	$9,000 \cdot 10^9$
$^{144}\text{Ce}+^{144}\text{Pr}$	285сут(17 мин)	$2,814 \cdot 10^{-8}$	1, 187	$4,427 \cdot 10^{10}$