

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**БЕЗОПАСНОСТЬ РАДИАЦИОННАЯ ЭКИПАЖА
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В КОСМИЧЕСКОМ
ПОЛЕТЕ**

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОГЛОЩЕННОЙ
И ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗ ОТ ПРОТОНОВ
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ЗА ЗАЩИТОЙ**

РД 50—25645.208—86

Цена 3 коп.

**Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
1986**

ИСПОЛНИТЕЛИ

Ю. А. Винтенко, канд. техн. наук; **В. А. Гончарова**; **А. И. Григорьев**, д-р мед. наук; **Е. Е. Ковалев**, д-р техн. наук; **Г. В. Красильников**; **В. Г. Кузнецов**; **В. С. Литвиненко**, канд. техн. наук; **В. А. Панин**; **И. Я. Ремизов**, канд. техн. наук; **В. А. Сакович**, канд. техн. наук; **В. М. Сахаров**, канд. техн. наук; **М. А. Сычков**, канд. техн. наук; **В. Б. Хвостов**, канд. физ.-мат. наук

УТВЕРЖДЕНЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 24 января 1986 г. № 180

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**РД**

**Безопасность радиационная экипажа космического
аппарата в космическом полете
Методика расчета поглощенной и эквивалентной
доз от протонов космических лучей за защитой**

50—25645.**208—86**

Введены впервые

ОКСТУ 6968

Утверждены Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам
от 24 января 1986 г. № 180, срок введения установлен

с 01.07.87

Настоящие методические указания устанавливают методику расчета поглощенной и эквивалентной доз от протонов космических лучей (КЛ) с энергией от 30 до 1000 МэВ за защитой космического аппарата (КА), средняя толщина которой в массовых единицах длины составляет 1—15 г/см², в произвольной точке тканеэквивалентного фантома.

Термины, применяемые в настоящих методических указаниях, и их пояснения приведены в справочном приложении.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Методика основана на предположении прямолинейного распространения и непрерывного торможения протонов в веществе.

1.2. При изотропном падении протонов, имеющих спектр $\varphi(E)$, на объект из однородного вещества дозу в произвольной точке фантома с координатой $\vec{r}_0$, находящейся внутри объекта, вычисляют по формуле

$$D(\vec{r}_0) = \Phi \int_0^\infty D(\xi) \omega(\xi, \vec{r}_0) d\xi, \quad (1)$$

где Φ — флюенс падающих протонов;

$D(\xi)$ — удельная доза на глубине ξ от протонов, имеющих спектр $\varphi(E)$, рассчитываемая по формулам разд. 2;

$\omega(\xi, \vec{r}_0)$ — функция экранированности, представляющая собой плотность вероятности для луча, испущенного из точки $\vec{r}_0$ в случайном направлении $\vec{\Omega}$, встретить на своем пути количество вещества ξ .

★

© Издательство стандартов, 1986

1.3. Для учета различия в защитных свойствах тканеэквивалентного вещества и веществ, входящих в состав защиты, для каждого из таких веществ вводится коэффициент эквивалентности γ_k , который вычисляют по формуле

$$\gamma_k = \frac{S_k(E_0)}{S(E_0)}, \quad (2)$$

где $S_k(E_0)$ и $S(E_0)$ — ионизационные потери протонов в данном веществе защиты и в тканеэквивалентном веществе при энергии $E_0 = 50$ МэВ.

1.4. Дозу в произвольной точке фантома $\vec{r}_0$, расположенного внутри КА, вычисляют по формуле (1), используя функцию экранированности $\omega(\xi, \vec{\Omega})$, рассчитываемую по ГОСТ 25645.204—83 с заменой для каждой зоны защиты K_n величины плотности $\rho \kappa_n(\vec{r}_0, \vec{\Omega})$ на величину $\gamma_k \rho \kappa_n(\vec{r}_0, \vec{\Omega})$

Примечание. Если отсутствуют данные, позволяющие задать фантом и КА как единый объект, но известны по отдельности функция самоэкранированности для фантома $\omega_1(\xi_1, \vec{r}_0)$ и функция экранированности защитой $\omega_2(\xi_2, \vec{r}_0)$ для КА, то для случайного положения фантома внутри КА функцию экранированности рассчитывают по формуле

$$\omega(\xi', \vec{r}_0) = \int_0^{\xi'} \omega_1(x, \vec{r}_0) \omega_2(\xi' - x, \vec{r}_0) dx, \quad (3)$$

где

$$\omega_2(\xi', \vec{r}_0) = \gamma^{-1} \omega_2(\gamma \xi_2, \vec{r}_0), \quad \text{а}$$

γ — вычисляют по формуле (2) для алюминия.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ ПОГЛОЩЕННОЙ И ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗ $D(\xi)$ НА ГЛУБИНЕ ξ ТКАНЕЭКВИВАЛЕНТНОГО ВЕЩЕСТВА

2.1. Удельную дозу за слоем тканеэквивалентного вещества толщиной ξ при нормальном падении протонов, имеющих спектр $\varphi(E)$, вычисляют по формуле

$$D(\xi) = D_1(\xi) + D_2(\xi), \quad (4)$$

где $D_1(\xi)$ — удельная доза от первичных протонов;
 $D_2(\xi)$ — удельная доза, создаваемая продуктами ядерных взаимодействий протонов с веществом.

2.2. Удельную дозу от первичных протонов $D_1(\xi)$ вычисляют по формуле

$$D_1(\xi) = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} F(\xi, E') G(E') dE', \quad (5)$$

где E' — энергия на глубине ξ в тканеэквивалентном веществе;

E — энергия на поверхности слоя, определяемая из энергии на глубине ξ и соотношения «пробег — энергия»:

$$R(E) = R(E') + \xi,$$

$R(E)$ и $R(E')$ — ионизационные пробеги протонов в тканеэквивалентном веществе с энергией E и E' ;

$F(\xi, E')$ — плотность пространственно-энергетического распределения по флюенсу на глубине ξ в тканеэквивалентном веществе,

$$F(\xi, E') = \frac{S(E)}{S(E')} F(0, E),$$

$F(0, E)$ — плотность пространственно-энергетического распределения по флюенсу на поверхности слоя, нормированная на единичный флюенс,

$$F(0, E) = \varphi(E) / \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \varphi(E) dE;$$

$S(E)$ и $S(E')$ — ионизационные потери в тканеэквивалентном веществе при энергиях E и E' ;

$G(E') = 1,6 \cdot 10^{-10} S(E')$ — для поглощенной дозы;
 $G(E') = 1,6 \cdot 10^{-10} S(E') K[S(E')]$ — для эквивалентной дозы;
 $K[S(E')]$ — коэффициент качества ионизирующего излучения;

$$E_{\min} = 1 \text{ МэВ}, \quad E_{\max} = 1000 \text{ МэВ}.$$

2.3. Удельную дозу от продуктов ядерных взаимодействий протонов с веществом защиты и фантома вычисляют по формуле

$$D_2(\xi) = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} F(0, E) f(\xi, E) dE, \quad (6)$$

где $f(\xi, E) = 4,9 \cdot 10^{-14} E^{1,85} \ln(E/10) \cdot \exp \left[\frac{-\xi}{15 + 0,2 (\ln E/10)^{3,9}} \right]$ — для поглощенной дозы;

$f(\xi, E) = 5,6 \cdot 10^{-13} E^{1,65} \ln(E/10) \exp \left[\frac{-\xi}{15 + 0,2 (\ln E/10)^{3,9}} \right]$ — для эквивалентной дозы.

3. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ДОЗЫ В ФАНТОМЕ ЗА ЗАЩИТОЙ

3.1. В качестве исходных данных для расчета поглощенной и эквивалентной доз от протонов КЛ берут:

флюенсы Φ и энергетические спектры $\varphi(E)$ протонов КЛ, заданные в соответствии с ГОСТ 25645.122—85 и ГОСТ 25645.134—86;

ионизационные потери $S(E)$ и ионизационные пробеги $R(E)$ протонов, определяемые по РД 50—25645.206—84;

зависимость коэффициента качества ионизирующего излучения от полной линейной передачи энергии — $K(L_\infty)$, определяемую по ГОСТ 8.496—83. В настоящих методических указаниях принимают $L_\infty(E) = S(E)$;

функции экранированности $\omega(\xi, \vec{r}_0)$, определяемые по ГОСТ 25645.204—83.

3.2. Задают расчетную сетку $\{\xi_l\}$ в диапазоне $0 < \xi < L_{\max}$.

3.3. Вычисляют функцию экранированности $\omega(\xi, \vec{r}_0)$ в соответствии с пп. 1.3, 1.4 в виде постоянной на отрезке (ξ_l, ξ_{l+1}) функции $\omega(\vec{r}_0)$, где $l = 1, \dots, L_{\max}$.

Ширину интервала $\Delta\xi_l$ принимают равной 1 г/см².

3.4. Задают плотность пространственно-энергетического распределения протонов КЛ на поверхности объекта —

$$F(0, E) = \begin{cases} 0 & E < 30 \text{ МэВ} \\ \varphi_0(E) / \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \varphi(E) dE & 30 \text{ МэВ} \leq E \leq 1000 \text{ МэВ} \\ 0 & E > 1000 \text{ МэВ} \end{cases}$$

3.5. Вычисляют значения функции $D(\xi)$ в точках $\xi_l = 0,5(\xi_{l-1} + \xi_l)$ путем численного интегрирования выражений (5) и (6) разд. 2.

3.6. Вычисляют значения доз в точке $\vec{r}_0$ по формуле (1), заменяя интегрирование суммированием по l

$$D(\vec{r}_0) = \Phi \sum_{l=1}^{L_{\max}} D(\xi_l) \omega(\vec{r}_0) \Delta\xi_l. \quad (7)$$

Термины, применяемые в настоящих методических указаниях,
и их пояснения

Термин	Пояснение
Поглощенная доза ионизирующего излучения	По ГОСТ 15484—81
Эквивалентная доза ионизирующего излучения	По ГОСТ 15484—81
Удельная доза	Доза при флюенсе равном 1 част./см ² По ГОСТ 15484—81
Коэффициент качества ионизирующего излучения	По ГОСТ 25645.104—84
Энергетический спектр космических лучей	
Ионизационные потери протонов	Средние потери энергии на единицу пути в среде, обусловленные взаимодействием протона с электронными оболочками атомов тормозящей среды
Ионизационный пробег протона	Средний путь, проходимый протоном с данной энергией до остановки, т. е. до полной потери энергии
Массовая единица длины	Произведение линейной единицы длины на плотность вещества

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения	3
2. Определение удельных поглощенной и эквивалентной доз $D(\xi)$ на глубине ξ тканеэквивалентного вещества	4
3. Алгоритм расчета дозы в фантоме за защитой	5
Приложение. Справочное	7

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Безопасность радиационная экипажа космического
аппарата в космическом полете

Методика расчета поглощенной и эквивалентной доз от протонов
космических лучей за защитой

РД 50—25645.208—86

Редактор *Т. А. Киселева*
Технический редактор *Н. С. Гришанова*
Корректор *С. И. Ковалева*

Н/К

Сдано в наб. 12.03.86 Подп. в печ. 08.05.86 Т—11144 Формат 60×90¹/₁₆ Бумага книжно-журналь-
ная Гарнитура литературная Печать высокая 0,5 усл. п. л. 0,5 усл. кр.-отт. 0,38 уч.-изд. л.
Тир. 7000 Зак. 2128 Цена 3 коп. Изд. № 9060/4.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП,
Новопресненский пер., д. 3
Вильнюсская типография Издательства стандартов, ул. Миндауго, 12/14.