

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

БЕЗОПАСНОСТЬ РАДИАЦИОННАЯ ЭКИПАЖА
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

МЕТОД РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОГЛОЩЕННОЙ И ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗ
КОСМИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ПО ТОЛЩИНЕ
МАТЕРИАЛОВ НА ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОРБИТАХ,
ПРОХОДЯЩИХ ЧЕРЕЗ ЕРПЗ

РД 50—25645.216—90

10 коп. БЗ 3—90/8

Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ

1990

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете

**МЕТОД РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОГЛОЩЕННОЙ И ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗ
КОСМИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ПО ТОЛЩИНЕ
МАТЕРИАЛОВ НА ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОРБИТАХ,
ПРОХОДЯЩИХ ЧЕРЕЗ ЕРПЗ**

РД

50—25645.216—90

ОКСТУ 6968

Дата введения 01.07.91

Настоящие методические указания устанавливают метод расчета поглощенной и эквивалентной доз от протонов и электронов естественного радиационного пояса Земли (ЕРПЗ) за защитой толщиной до $1,5 \text{ г/см}^2$ (в массовых единицах длины), выполненной из материалов с зарядом $z \leq 15$ при космических полетах на высотах от 200 до 10^3 км при разных наклонениях орбиты к плоскости экватора

Методические указания предназначены для расчетов дозовых нагрузок на биологические и технические объекты, в том числе на космонавтов при их работе вне космического аппарата.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Метод расчета доз от протонов основан на предположении прямолинейного распространения и непрерывного торможения протонов в веществе. Ослабление первичного потока протонов за счет ядерных взаимодействий не учитывают.

1.2 Метод расчета доз от электронов основан на рассмотрении многократного рассеяния в веществе с учетом ионизационных потерь, пренебрегая их флуктуациями. Вклад в дозу от тормозного излучения не учитывают.

1.3 Входная информация, необходимая для проведения расчетов, должна содержать:

— дифференциальные энергетические спектры протонов и электронов dN/dE_p и dN/dE_e , вычисляемые в соответствии с ГОСТ 25645 138, ГОСТ 25645 139,

— заряд z и массовое число A для вещества защиты;

— значения пробегов $R(E)$ и ионизационных потерь $S(E)$ в веществе защиты и веществе-поглотителе, определяемые для прото-

© Издательство стандартов, 1990

нов в соответствии с РД 50—25645.206 или приложением 1, для электронов — в соответствии с приложением 1. Разрешается использовать для определения $R(E)$ и $E(R)$ аппроксимационные выражения вида:

а) протоны (для защиты из алюминия):

$$R_{Al}(E) = 5,52 \cdot 10^3 \ln(1 + 2,219 \cdot 10^{-6} E^{0,421} + 5 \cdot 10^{-6} E^{1,78} + 8,66 \cdot 10^{-17} \cdot E^{4,9});$$

$$E_{Al}(R) = 7,18 \cdot 10^3 \ln(0,99977 + 3,878 \cdot 10^{-3} R^{0,5759} + 1,445 \cdot 10^{-6} \cdot R^{1,649});$$

б) протоны (для тканеэквивалентного вещества):

$$R_{тк}(E) = 4,14 \cdot 10^3 \ln(1 + 1,19 \cdot 10^{-6} E^{0,5834} + 4,116 \cdot 10^{-6} E^{1,808} + 5,17 \cdot 10^{-17} E^{5,004});$$

$$E_{тк}(R) = 5,50 \cdot 10^3 \ln(1 - 2,5515 \cdot 10^{-6} R^{-0,202} + 6,018 \cdot 10^{-3} R^{0,5623} + 2,123 \cdot 10^{-6} R^{1,696});$$

в) электроны (для защиты из алюминия):

$$R_{Al}(E) = 0,4 \cdot E^{1,32};$$

$$E_{Al}(R) = (2,50 \cdot R)^{0,76};$$

г) электроны (для тканеэквивалентного вещества):

$$R_{тк}(E) = 0,353 \cdot E^{1,32}; \quad E_{тк}(R) = (2,83 \cdot R)^{0,76},$$

где E в МэВ, R в г/см²;

— зависимость коэффициента качества $K[S(E)]$ от ионизационных потерь $S(E)$ для протонов, определяемую аппроксимацией регламентированных в НРБ—76/87 нормативных значений, в виде:

$$K[S(E)] = \begin{cases} 1,0 & \text{при } S < 35 \text{ МэВ см} \\ 2,858 \cdot 10^{-2} S & \text{« } 35 \leq S < 70 \text{ «} \\ 7,31 \cdot 10^{-2} S^{0,77} & \text{« } 70 \leq S < 230 \text{ «} \\ 4,90 \cdot 10^{-2} S^{0,848} & \text{« } 230 \leq S < 530 \text{ «} \\ -42,57 + 19,281 \lg S & \text{« } 530 \leq S < 1750 \text{ «} \\ 20 & \text{« } S \geq 1750 \text{ «} \end{cases}$$

2. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПОГЛОЩЕННОЙ И ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗ ОТ ПРОТОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ

2.1. За исходные данные принимают нормальное падение широкого пучка частиц на плоский полубесконечный слой толщиной δ . Защита выполнена из материала с $z \leq 15$, толщина защиты не превышает 1,5 г/см². Дозу определяют в точке вещества — поглотителя, располагающегося непосредственно за защитой.

2.2. Алгоритм расчета доз от протонов

2.2.1. Поглощенную дозу в веществе защиты от протонов, имеющих энергетический спектр dN/dE , за защитой толщиной δ вычисляют по формуле

$$D(\delta) = B \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{dN}{dE} S_3(E) dE', \quad (1)$$

где $S_3(E)$ — ионизационные потери протонов в веществе защиты, $\text{МэВ} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{см}^2$;

B — коэффициент перехода от поглощенной энергии к дозе, равный $B = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ Гр} \cdot \text{МэВ}^{-1} \cdot \text{г}$;

D — величина поглощенной дозы, Гр ;

E' — энергия протонов на глубине защиты δ , связанная с энергией протонов, падающих на защиту E , соотношением «пробег — энергия»

$$R_3(E') = R_3(E) - \delta, \quad (2)$$

где $R_3(E')$ и $R_3(E)$ — ионизационные пробеги протонов с энергиями E' и E , соответственно, в веществе защиты;

$$E_{\min} = 0,1 \text{ МэВ}.$$

2.2.2. Поглощенную дозу в тканеэквивалентном веществе определяют по формуле

$$D(\delta) = B \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{dN}{dE} S_3(E) \frac{S_{\text{тк}}(E')}{S_3(E')} dE', \quad (3)$$

где $S_{\text{тк}}(E')$ — ионизационные потери протонов в тканеэквивалентном веществе.

2.2.3. Эквивалентную дозу от протонов за плоским слоем толщиной δ вычисляют по формуле

$$H(\delta) = B \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{dN}{dE} S_3(E) \frac{S_{\text{тк}}(E')}{S_3(E')} K[S_3(E')] dE'. \quad (4)$$

2.2.4 Для расчета доз от протонов по формулам (1—4) задают расчетную сетку изменения энергий, равномерную в логарифмическом масштабе: $E_i = 1,122; 1,414; 1,778; 2,239; 2,818; 3,548; 4,467; 5,623; 7,079; 8,913 \text{ МэВ}$ в каждом порядке изменения значений E . При этом интервалы изменений ΔE равны: $\Delta E_i = 0,259; 0,326; 0,410; 0,517; 0,650; 0,819; 1,031; 1,298; 1,633; 2,057 \text{ МэВ}$.

2.2.5. Вычисляют значения доз, заменяя интегрирование суммированием по i .

2.2.6. Переходят к другим слоям защиты и (или) тканеэквивалентного вещества.

2.3. Алгоритм расчета доз от электронов

2.3.1 Определяют f^{\min} и f^{\max} , где $f(E_\rho)$ — дифференциальный энергетический спектр электронов ЕРПЗ в интервале энергий электронов $E_\rho^{\min} = 0,04 \text{ МэВ}$ и $E_\rho^{\max} = 4,0 \text{ МэВ}$.

2.3.2. Задают полное число статистических испытаний N (от 1000 до 5000 историй), присваивают начальные значения накопителей для статистической оценки дозы $V=0$ и квадрата дозы $U=0$, присваивают начальное значение номеру текущего испытания $n=0$.

2.3.3. *Определение начальных значений величин для n -го статистического испытания*

2.3.3.1. Присваивают начальные значения:

— глубине проникновения электрона в пластину $x_0=0$;

— косинусу угла падения электрона (α_0) на пластину, $\cos\alpha_0=1$ (нормальное падение).

2.3.3.2. Определяют начальное значение энергии падающего электрона E_0 (метод Ноймана):

— генерируют η_1 , здесь и далее η_i — случайные числа, равномерно распределенные в интервале $[0; 1]$;

— вычисляют $E=E_{\min} + \eta_1(E_c^{\max} - E_c^{\min})$, МэВ, (5)

где E_c^{\min} и E_c^{\max} — минимальное и максимальное значения энергии в спектре электронов;

— если $f(E_c) = f^{\min} + \eta_2(f^{\max} - f^{\min})$, то переходят к генерации η_1 и η_2 .

Начальной энергии электрона E_0 присваивают значение E , $E_0 = E$

2.3.3.3. Полагают $n = n + 1$.

2.3.4 *Движение электрона через слои вещества в пластине*

2.3.4.1. Вычисляют параметр экранирования Мольер ε

$$\varepsilon = 10^{-5} \cdot z^{2/3} \cdot \frac{1,922 + 3,407 \cdot 10^{-1} z^2}{T(T+2)} \frac{(T+1)^2}{T(T+2)} \quad (6)$$

где $T = E_0/0,511$.

2.3.4.2. Определяют средний пробег электрона до рассеяния:

$$\lambda_0 = A / (N_A \sigma_0), \text{ г/см}^2, \quad (7)$$

где $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$, 1/моль;

$$\sigma_0 = 2\pi r_0^2 z(z+1) \frac{(T+2)^2}{T^2(T+2)^2 \cdot 2\varepsilon(1+\varepsilon)}, \quad (8)$$

где $r_0 = 2,818 \cdot 10^{-13}$ см

2.3.4.3. Определяют пробег электрона до рассеяния

$$\lambda = -r_0 \ln \eta_3, \text{ г/см}^2 \quad (9)$$

2.3.4.4. Рассчитывают пробег электрона с энергией E_0

$$R_0 = g(E_0), \text{ г/см}^2, \quad (10)$$

где $g(E)$ — аппроксимирующая функция, связывающая энергию электрона с его пробегом в веществе защиты.

2.3.4.5. Рассчитывают координату точки рассеяния x_1 :

$$x_1 = x_0 + \cos\alpha_0 \cdot \lambda, \text{ г/см}^2. \quad (11)$$

2 3 4 6 Рассчитывают энергию электрона в точке рассеяния

$$E_1 = g^{-1}(R_0 - \lambda), \text{ МэВ}, \quad (12)$$

где g^{-1} — функция, обратная $g(E)$

Если $\lambda \geq R_0$, перейти к п 2 3 3 2

2 3 4 7 Рассчитывают косинус угла рассеяния.

$$\cos \Theta = 1 + 2\varepsilon - \frac{2\varepsilon(1+\varepsilon)}{\varepsilon + \gamma_4} \quad (13)$$

2 3 4 8 Рассчитывают косинус угла между импульсом электрона после рассеяния и нормалью к пластине ($\cos \alpha_1$)

$$\cos \sigma_1 = \cos \alpha_0 \cos \Theta + \sin \alpha_0 \sin \Theta \cos \varphi, \quad (14)$$

где $\varphi = 2\pi\eta_5$.

2 3 4 9 Если $x_1 < 0$, то переходят к п 2 3 3 2

2 3 4 10 Если $E_1 < E_{\min}$, то переходят к п. 2 3 3 2

2 3 4 11 Если $0 < x < \delta$, то присваивают $E_0 = E$,

$\cos \alpha_0 = \cos \alpha_1$; $x_0 = x_1$ и переходят к п 2 3 4

2 3 5 *Определение вклада в поглощенную дозу от n-го испытания*

2 3 5 1 Вычисляют

$$D = 1,6 \cdot 10^{-10} S_i(E_1) \cos \alpha_1, \text{ Гр}, \quad (15)$$

где S_i — аппроксимирующая функция, связывающая энергию электрона и ионизационные потери в веществе-поглотителе.

$$V = V + D, \quad (16)$$

$$U = U + D^2$$

2 3 5 2 Если $n < N$ то переходят к п 2 3 3

2 3 6 Определяют средние значения поглощенных доз

$$D_n = V/N, \text{ Гр} \quad (17)$$

и средние квадратичные отклонения

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{V}{N} - (D_n)^2 \right]} \quad (18)$$

2 3 7 Поглощенную (эквивалентную) дозу от спектра электронов, распределенных по закону dN/dE_e в интервале $[E_{\min}, E_{\max}]$ вычисляют по формуле

$$D = D_n \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} \frac{dN}{dE_e} dE_e, \text{ Гр} \quad (19)$$

2 4 Примеры расчета поглощенной и эквивалентной доз от протонов и электронов ЕРПЗ приведены в приложении 2

ИОНИЗАЦИОННЫЕ ПОТЕРИ И ПРОБЕГИ ПРОТОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ В
АЛЮМИНИИ И ТКАНЕЭКВИВАЛЕНТНОМ ВЕЩЕСТВЕ

1. Протоны

Таблица 1

| Энергия МэВ | Алюминий | | Тканеэквивалентное вещество | |
|-------------|--|-----------------------------|--|-----------------------------|
| | S_1 МэВ г ⁻¹ см ² | R_1 г см ⁻² | S_2 МэВ г ⁻¹ см ² | R_2 г см ⁻² |
| 1 120E-01 | 4 377L+02 | 2 941E-04 | 8 793E+02 | 1 514E-04 |
| 1 410E-01 | 4 132E+02 | 3 623E-04 | 8 267E+02 | 1 854E-04 |
| 1 770E-01 | 3 826E+02 | 4 530E-04 | 7 631E+02 | 2 308E-04 |
| 2 240E-01 | 3 468E+02 | 5 823E-04 | 6 897E+02 | 2 958E-04 |
| 2 810E-01 | 3 101L+02 | 7 565E-04 | 6 159L+02 | 3 835E-04 |
| 3 540E-01 | 2 809E+02 | 1 004E-03 | 5 317E+02 | 5 115E-04 |
| 4 460E-01 | 2 614E+02 | 1 344E-03 | 4 622E+02 | 6 977E-04 |
| 5 610E-01 | 2 379L+02 | 1 806E-03 | 3 996E+02 | 9 663E-04 |
| 7 100E-01 | 2 121E+02 | 2 472E-03 | 3 423E+02 | 1 371E-03 |
| 8 800E-01 | 1 885E+02 | 3 324E-03 | 2 923E+02 | 1 910E-03 |
| 1 170E+00 | 1 211E+02 | 9 383E-03 | 1 830E+02 | 5 911E-03 |
| 2 240E+00 | 1 029E+02 | 1 361E-02 | 1 555E+02 | 8 709E-03 |
| 2 810E+00 | 8 751E+01 | 1 946E-02 | 1 312E+02 | 1 272E-02 |
| 3 540E+00 | 7 384E+01 | 2 877E-02 | 1 092E+02 | 1 885E-02 |
| 4 460E+00 | 6 236E+01 | 4 238E-02 | 9 065E+01 | 2 814E-02 |
| 5 610E+00 | 5 256E+01 | 6 256E-02 | 7 488E+01 | 4 217E-02 |
| 7 100E+00 | 4 398E+01 | 9 370E-02 | 6 119E+01 | 6 431E-02 |
| 8 800E+00 | 3 731E+01 | 1 358E-01 | 5 045E+01 | 9 506E-02 |
| 1 120E+01 | 3 105E+01 | 2 067E 01 | 4 176E+01 | 1 476E-01 |
| 1 110L 01 | 2 600E+01 | 3 093E-01 | 3 476E+01 | 2 241E-01 |
| 1 770E+01 | 2 178E+01 | 4 621E-01 | 2 894L+01 | 3 382E-01 |
| 2 240E+01 | 1 811E+01 | 6 990E-01 | 2 392E+01 | 5 177E-01 |
| 2 810E+01 | 1 516E+01 | 1 045E+00 | 1 991E+01 | 7 802E-01 |
| 3 540E+01 | 1 264E+01 | 1 575E+00 | 1 652E+01 | 1 185E+00 |
| 4 460E+01 | 1 055E+01 | 2 375E+00 | 1 373E+01 | 1 799E+00 |
| 5 610E+01 | 8 813L+00 | 3 572E+00 | 1 144E+01 | 2 721E+00 |
| 7 100E+01 | 7 375E+00 | 5 427E+00 | 9 516E+00 | 4 156E+00 |
| 8 800E+01 | 6 278E+00 | 7 936E+00 | 8 073E+00 | 6 104E+00 |
| 1 120E+02 | 5 264E+00 | 1 213E+01 | 6 746E+00 | 9 372E+00 |
| 1 410E+02 | 4 476E+00 | 1 813E+01 | 5 718E+00 | 1 406E+01 |
| 1 770E+02 | 3 842E+00 | 2 684E+01 | 4 894E+00 | 2 089E+01 |
| 2 240L+02 | 3 310E+00 | 4 008E+01 | 4 205E+00 | 3 129E+01 |
| 2 810E+02 | 2 898E+00 | 5 854E+01 | 3 627E+00 | 4 585E+01 |
| 3 540E+02 | 2 562E+00 | 8 541E+01 | 2 239E+00 | 6 708E+01 |
| 4 460E+02 | 2 297E+00 | 1 234E+02 | 2 897E+00 | 9 719E+01 |
| 5 610E+02 | 2 093E+00 | 1 760E+02 | 2 633E+00 | 1 389E+02 |
| 7 100L+02 | 1 933E+00 | 2 502E+02 | 2 427E+00 | 1 980E+02 |
| 8 800E+02 | 1 826E+00 | 3 408E+02 | 2 287E+00 | 2 702E+02 |

2. Электроны

Таблица 2

| Энергия, МэВ | Алюминий | | Тканеэквивалентное вещество | |
|--------------|--------------------------------------|-----------------------|---|-----------------------|
| | $S, \text{ МэВ г}^{-1} \text{ см}^2$ | $R, \text{ см}^{-2}$ | $S, \text{ МэВ г}^{-1} \cdot \text{см}^2$ | $R, \text{ см}^{-2}$ |
| 0,010 | 16,49 | $3,539 \cdot 10^{-4}$ | 21,89 | $2,592 \cdot 10^{-4}$ |
| 0,015 | 12,20 | $7,111 \cdot 10^{-4}$ | 15,98 | $5,304 \cdot 10^{-4}$ |
| 0,020 | 9,844 | $1,170 \cdot 10^{-3}$ | 12,79 | $8,827 \cdot 10^{-4}$ |
| 0,030 | 7,287 | $2,367 \cdot 10^{-3}$ | 9,368 | $1,810 \cdot 10^{-3}$ |
| 0,040 | 5,909 | $3,900 \cdot 10^{-3}$ | 7,547 | $3,008 \cdot 10^{-3}$ |
| 0,050 | 5,039 | $5,738 \cdot 10^{-3}$ | 6,408 | $4,451 \cdot 10^{-3}$ |
| 0,060 | 4,439 | $7,855 \cdot 10^{-3}$ | 5,626 | $6,121 \cdot 10^{-3}$ |
| 0,080 | 3,661 | $1,284 \cdot 10^{-2}$ | 4,617 | $1,007 \cdot 10^{-2}$ |
| 0,10 | 3,117 | $1,872 \cdot 10^{-2}$ | 3,994 | $1,474 \cdot 10^{-2}$ |
| 0,15 | 2,513 | $3,659 \cdot 10^{-2}$ | 3,142 | $2,903 \cdot 10^{-2}$ |
| 0,20 | 2,174 | $5,804 \cdot 10^{-2}$ | 2,711 | $4,624 \cdot 10^{-2}$ |
| 0,30 | 1,839 | $1,083 \cdot 10^{-1}$ | 2,285 | $8,677 \cdot 10^{-2}$ |
| 0,40 | 1,680 | $1,652 \cdot 10^{-1}$ | 2,085 | $1,327 \cdot 10^{-1}$ |
| 0,50 | 1,592 | $2,260 \cdot 10^{-1}$ | 1,972 | $1,820 \cdot 10^{-1}$ |
| 0,60 | 1,540 | $2,894 \cdot 10^{-1}$ | 1,901 | $2,335 \cdot 10^{-1}$ |
| 0,80 | 1,486 | $4,206 \cdot 10^{-1}$ | 1,825 | $3,408 \cdot 10^{-1}$ |
| 1,0 | 1,465 | $5,546 \cdot 10^{-1}$ | 1,789 | $4,508 \cdot 10^{-1}$ |
| 1,5 | 1,460 | $8,912 \cdot 10^{-1}$ | 1,764 | $7,306 \cdot 10^{-1}$ |
| 2,0 | 1,475 | $1,224 \cdot 10^0$ | 1,767 | $1,011 \cdot 10^0$ |
| 3,0 | 1,510 | $1,869 \cdot 10^0$ | 1,792 | $1,563 \cdot 10^0$ |
| 4,0 | 1,540 | $2,491 \cdot 10^0$ | 1,818 | $2,102 \cdot 10^0$ |

Примечание При пользовании табл 1 и 2 для промежуточных значений E , S и R применяют линейную интерполяцию между двумя соседними значениями

1. Пример расчета поглощенной и эквивалентной дозы от протонов ЕРПЗ

1.1 Выбираем точку околоземного космического пространства с координатами $B = 0,2$ Гс и $L_0 = 2,0$. Для эпохи максимума солнечной активности по ГОСТ 25645 138 находим коэффициенты для расчета энергетического спектра плотности потока протонов с энергией больше E

$$\lg N = \sum_{k=0}^5 A_k (\lg E)^k, \quad (1.0)$$

$A_0 = 5,9910 \cdot 10^1$, $A_1 = -8,6988 \cdot 10^1$, $A_2 = 5,2703 \cdot 10^1$, $A_3 = -1,5394 \cdot 10^1$, $A_4 = 2,1688$, $A_5 = -1,1921$.

Дифференциальный энергетический спектр dN/dE вычисляем из выражения (20).

1.2 Из ГОСТ 25645 138 для выбранных B_0 , L_0 находим $E_{\min} = 0,1$ МэВ, $E_{\max} = 200$ МэВ

1.3 Задаем заряд вещества защиты $z = 13$ и массовое число $A = 27$

1.4 Задаем толщину защиты $\delta = 0,01; 0,05; 0,1; 0,5; 1$ г/см².

1.5 Вычисляем энергетический спектр плотности потока протонов в прот/(см²·с). Для значений энергий из п 2.2.4 получаем

Таблица 3

| E , МэВ | λ | L | λ | I | λ | L | N |
|-----------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-----------------|
| 0,1122 | $2,73 \cdot 10^4$ | 1,122 | $2,07 \cdot 10^4$ | 11,22 | $1,12 \cdot 10^3$ | 112,2 | $1,35 \cdot 10$ |
| 0,1414 | $4,40 \cdot 10^4$ | 1,414 | $1,78 \cdot 10^4$ | 14,14 | $7,65 \cdot 10^2$ | 141,4 | 6,63 |
| 0,1778 | $2,28 \cdot 10^4$ | 1,778 | $1,48 \cdot 10^4$ | 17,78 | $5,22 \cdot 10^2$ | 177,8 | 2,89 |
| 0,2239 | $2,29 \cdot 10^4$ | 2,239 | $1,17 \cdot 10^4$ | 22,39 | $3,51 \cdot 10^2$ | 112,9 | — |
| 0,2818 | $2,35 \cdot 10^4$ | 2,818 | $9,01 \cdot 10^3$ | 28,18 | $2,39 \cdot 10^2$ | | |
| 0,3548 | $2,44 \cdot 10^4$ | 3,548 | $6,69 \cdot 10^3$ | 35,48 | $1,60 \cdot 10^2$ | | |
| 0,4467 | $2,50 \cdot 10^4$ | 4,467 | $4,88 \cdot 10^3$ | 44,67 | $1,05 \cdot 10^2$ | | |
| 0,5623 | $2,51 \cdot 10^4$ | 5,623 | $3,43 \cdot 10^3$ | 56,23 | $6,80 \cdot 10^1$ | | |
| 0,7079 | $2,44 \cdot 10^4$ | 7,079 | $2,37 \cdot 10^3$ | 70,79 | $4,17 \cdot 10^1$ | | |
| 0,8913 | $2,30 \cdot 10^4$ | 8,913 | $1,67 \cdot 10^3$ | 89,13 | $2,54 \cdot 10^1$ | | |

1.6 Вычисляя по полученным результатам дифференциальный энергетический спектр протонов и подставляя полученные значения в формулы (1—4), получаем мощности доз D , рад/с, и H , бэр/с.

Таблица 4

| δ , г/см ² | 0,01 | 0,05 | 0,1 | 0,5 | 1,0 |
|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| D | $4,22 \cdot 10^{-2}$ | $7,64 \cdot 10^{-3}$ | $3,01 \cdot 10^{-3}$ | $3,09 \cdot 10^{-4}$ | $1,14 \cdot 10^{-4}$ |
| H | $7,64 \cdot 10^{-1}$ | $8,26 \cdot 10^{-2}$ | $2,50 \cdot 10^{-2}$ | $1,32 \cdot 10^{-2}$ | $3,75 \cdot 10^{-4}$ |

2. Пример расчета поглощенной (эквивалентной) дозы от электронов ЕРПЗ

1. Выбираем точку околоземного космического пространства с координатами $B_0=0,2$ Гс и $L_0=2,0$. Для эпохи максимума солнечной активности по ГОСТ 25645 139 находим коэффициенты для расчета энергетического спектра плотности потока электронов с энергией больше E

$$\lg N = \sum_{k=0}^4 A_k (\lg E_e)^k, \quad (21)$$

где E — энергия электрона, кэВ;

$A_0 = -8.2008E+00$, $A_1 = 2.1010E+01$; $A_2 = -9.5091E+00$; $A_3 = 1.6550E+00$;
 $A_4 = -1.3243E-01$.

Дифференциальный энергетический спектр dN/dE вычисляем из выражения (21).

2. Из ГОСТ 25645.139 для выбранных B_0 и L_0 находим $E_{min}=0,04$ МэВ, $E_{max}=4,0$ МэВ.

3. Задаем заряд вещества защиты $z=13$ и массовое число $A=27$ г/моль

4. Задаем толщины защиты $\delta=0,005$; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5.

5. Задаем полное число статистических испытаний $N=1000$.

6. Вычисляя по изложенному выше алгоритму, получаем значения мощности доз в ткани D за защитой из алюминия.

Т а б л и ц а 5

| δ , г/см ² | 0,005 | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,1 |
|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| D , сГр/с | $3,46 \cdot 10^{-1}$ | $2,65 \cdot 10^{-1}$ | $1,40 \cdot 10^{-1}$ | $1,83 \cdot 10^{-2}$ | $2,26 \cdot 10^{-3}$ |
| δ , г/см ² | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | — |
| D , сГр/с | $1,99 \cdot 10^{-4}$ | $5,34 \cdot 10^{-6}$ | $6,11 \cdot 10^{-8}$ | $6,45 \cdot 10^{-9}$ | — |

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Минздравом СССР

РАЗРАБОТЧИКИ

Н. А. Анфимов, член-корр. АН СССР, **В. В. Архангельский**;
В. Н. Васильев, канд. техн. наук, **А. А. Волобуев**; **В. А. Гончарова**;
А. И. Григорьев, д-р мед. наук; **В. Е. Дудкин**, д-р физ.-мат. наук,
Е. Е. Ковалев, д-р техн. наук; **В. В. Козелкин**, д-р техн. наук;
Е. Н. Лесновский, канд. техн. наук; **В. Г. Митрикас**, канд. физ.-мат. наук;
В. А. Панин, **Е. В. Пашков**, канд. техн. наук; **В. М. Петров**, канд. физ.-мат. наук;
Ю. В. Потапов, канд. физ.-мат. наук; **В. А. Шуршаков**, канд. физ.-мат. наук

2. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 28.03.90 № 660

3. Срок первой проверки — 1996 г., периодичность проверки — 5 лет

4. ВВЕДЕН ВПЕРВЫ

5. ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

| Обозначение НТД, на которое дана ссылка | Номер пункта, приложения |
|---|--------------------------|
| ГОСТ 25645 138—86 | 1 3, приложение 2 |
| ГОСТ 25645 139—86 | 1 3, приложение 2 |
| РД 50—25645 206—84 | 1 3 |
| НРБ — 76/87 | 1 3 |

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете

МЕТОД РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ И ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗ КОСМИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ПО ТОЛЩИНЕ МАТЕРИАЛОВ НА ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОРБИТАХ, ПРОХОДЯЩИХ ЧЕРЕЗ ЕРПЗ

РД 50—25645.216—90

Редактор *В. П. Огурцов*
Технический редактор *В. Н. Прусакова*
Корректор *В. С. Черная*

Сдано в набор 10.05.90. Пошл. в печ. 11.07.90. Формат 60×90¹/₈. Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая 0,75 усл. печ. л. 0,75 усл. кр. отт. 0,61 уч. изд. л. Тир. 3000 экз. Зак. 760. Изд. № 625/4. Цена 10 к.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов 123557 Москва ГСП
Новопресненский пер., 3
Калужская типография стандартов ул. Московская, 256 Зак. 760