МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

БЕЗОПАСНОСТЬ РАДИАЦИОННАЯ ЭКИПАЖА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ РАДИАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

РД 50—25645.221—90

35 коп. БЗ 12—90/36

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И СТАНДАРТАМ

Москва 1991

gost.e-ecolog.ru

УДК 629.78.067.001.24:006.354 Группа Ф40

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РАДИАЦИОННАЯ ЭКИПАЖА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

Методика расчета эффективности электростатической защиты при радиационном воздействии

РД 50—25645.221—90

ОКСТУ 6968

Дата введения 01.01.92

Настоящие методические указания устанавливают алгоритм расчета эффективности электростатической защиты космического аппарата (КА) при воздействии на него электронов радиационных поясов Земли (РПЗ).

Методика предназначена для расчетов дозовых нагрузок на биологические и технические объекты за электростатической защитой (ЭСЗ) и определения показателя ее эффективности.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ВХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ

1.1. Методика оценки эффективности ЭСЗ при радиационном воздействии основана на учете влияния защитного электростатического поля на динамику движения электронов и моделировании методом Монте-Карло переноса в веществе конструкции ЭСЗ электронов остаточного потока и генерируемого им тормозного излучения.

1.2. Эффективность ЭСЗ ($\mu_{эфф}$), см^2/г, характеризуют показателем, представляющим собой аналог эффективного коэффициента ослабления

$$\mu_{эфф} = -\frac{d\ln\dot{H}}{d\delta_{ЭСЗ}}, \qquad (1)$$

где $\dot{H}$ — мощность дозы, создаваемой электронами или тормозным излучением в расчетной точке поглотителя, расположенной непосредственно за ЭСЗ, Зв/с;

$\delta_{ЭСЗ}$ — приведенная толщина конструкций ЭСЗ, г/см^2.

★

© Издательство стандартов, 1991

1.3. Под ЭСЗ в методических указаниях понимают высоковольтное электрофизическое устройство в виде набора идентичных секций, каждая из которых представляет собой электростатический конденсатор, образованный двумя тонкими плоскопараллельными электродами, разделенными вакуумной изоляцией. Конструктивно набор секций закреплен на опорных изоляторах цилиндрической формы.

1.4. При описании геометрических характеристик модели ЭСЗ и при моделировании движения электрона в поле защиты используют декартову систему координат, привязанную к точке пересечения оси симметрии модели ЭСЗ с внешним (верхним) электродом (стартовая система координат), а при моделировании прохождения электрона и тормозного γ-кванта в веществе конструкций ЭСЗ — локальную декартову систему координат, привязанную к координатам точки их входа в вещество.

1.5. Геометрические параметры модели ЭСЗ задают в соответствии с ГОСТ 25645.204 (разд. 2), описывая набор высоковольтных электродов и изоляторов совокупностью зон с постоянными физическими свойствами в пределах зон.

1.5.1. Зоны, соответствующие высоковольтным электродам, задают плоскостями, параллельными плоскости XY в декартовой системе координат.

1.5.2. Зоны, соответствующие изоляторам, задают цилиндрическими поверхностями, параллельными оси Z.

1.6. Атомный номер ядер вещества (z) высоковольтных электродов задают в диапазоне 6—13, а атомный номер ядер вещества изоляторов в диапазоне 13—18.

1.7. Распределение потенциала (U), В, в модели ЭСЗ описывают функцией

$$U = \begin{cases} E \cdot Z, & 0 \leqslant Z \leqslant \frac{d_м}{2} \\ E \cdot \frac{d_м}{2} - E \cdot Z, & \frac{d_м}{2} < Z \leqslant d_м \end{cases}, \qquad (2)$$

где $E = \Delta U / d_c$ — напряженность электрического поля в секции модуля ЭСЗ, В/м;

ΔU — разность потенциала между двумя соседними электродами секции, В;

d_c — расстояние между двумя соседними электродами секции, м;

$d_м$ — высота модуля, м.

Число секций модуля (N_c) определяют по формуле

$$N_c = 2U_{раб} / \Delta U, \qquad (3)$$

где $U_{раб}$ — рабочее напряжение ЭСЗ, максимальное значение которого не должно превышать $1/e \cdot T_{max}$, В;

e — заряд электрона, Кл;

T_{max} — максимальная энергия падающих электронов, Дж.

1.8. Дифференциальное по энергии распределение плотности потока электронов, падающих на внешний электрод модели ЭСЗ, задают в соответствии с действующими методиками.

1.9. Моделирование процесса переноса электронного излучения в веществе, моделирование процессов рождения тормозных γ-квантов, а также переноса γ-квантов осуществляют с использованием предварительно подготовленных массивов и параметров, алгоритмы вычисления которых даны в приложении.

1.9.1. При моделировании отрезка траектории электрона (толщины слоя Мольер) t_M используют массив параметров C , элементы которого определены для тех значений энергии $T_ч$, для которых справедливо соотношение (28), выполняемое в интервале энергий $(T_M^{(i-1)}, T_M^{(i)})$, где 0,06 МэВ$<T_ч^{(i)}<$10 МэВ.

1.9.2. При моделировании процесса углового рассеяния по теории Мольер используют массив интегральных распределений P_v для розыгрыша параметра v в теории Мольер, а также массив $B_ч$ вспомогательного параметра B, входящего в выражение для угла рассеяния (Θ_M) электрона после прохождения слоя t_M. Массивы P_v и $B_ч$ рассчитывают для значений T_M из упомянутого выше интервала энергий.

1.9.3. При моделировании ионизационных потерь энергии ΔT электроном в слое Мольер используют распределение вероятности P_b (λ, b^2) для розыгрыша безразмерного параметра b^2, через который по теории Блунка и Лейзенганга определяют значение ΔT. Массив P_b рассчитывают для нескольких значений параметра b^2, который является функцией средних ионизационных потерь, толщины слоя и атомного номера вещества. Значения параметров b^2 для диапазона значений энергии электрона $T_ч$ определяют из массива данных M_{b^2}.

1.9.4. При моделировании процесса образования γ-кванта используют массив данных по макроскопическим сечениям $M\gamma$ для расчета вероятности образования γ-кванта при прохождении электроном слоя t_M. Для розыгрыша энергии γ-кванта используют распределение вероятности $P_к$ (K, T), рассчитанное для пяти значений энергий электронов.

2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ РАДИАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

2.1. Учет влияния отклоняющего электрического поля на движение электрона в единичной секции модуля ЭСЗ

2.1.1. Проверяют условия принадлежности траектории движения электрона конусу «разрешенных» направлений движения,

$$\sin\Theta_e > \left[\left(1-\frac{e\cdot\Delta U}{T_н}\right)\cdot\left(1-\frac{e\cdot\Delta U}{T_н+2mc^2}\right)\right]^{1/2}, \quad (4)$$

то электрон отклоняется полем (вне конуса);
если

$$\sin\Theta_e \ll \left[\left(1-\frac{e\cdot\Delta U}{T_н}\right)\cdot\left(1-\frac{e\cdot\Delta U}{T_н+2mc^2}\right)\right]^{1/2}, \quad (5)$$

то электрон достигает высоковольтного электрода (внутри конуса),

где Θ_e — угол вхождения электрона в поле относительно нормали к электроду, рад;

e — заряд электрона, Кл;

$T_н$ — начальная энергия электрона, Дж;

mc^2 — энергия покоя электрона, Дж.

2.1.2. Определяют координаты вхождения электрона в высоковольтный электрод после прохождения им защитного электрического поля в плоскости движения электрона.

$$Z_{вх} = \frac{c}{|e|\cdot E}\left(\sqrt{(P_{0Z}-|e|Et)^2+m^2c^2+P_{0y}^2}-\frac{\varepsilon_0}{c}\right), \quad (6)$$

$$y_{вх} = \frac{cP_{0y}}{|e|}\ln\left(\frac{P_{0Z}-|e|Et+\sqrt{(P_{0Z}+|e|Et)^2+m^2c^2+P_{0y}^2}}{P_{0Z}+\frac{\varepsilon_0}{c}}\right), \quad (7)$$

где c — скорость света, м/с;

$P_0 = \frac{1}{c}\sqrt{T_н(T_н+2mc^2)}$ — начальный импульс электрона, кг·м·с$^{-1}$;

$P_{0Z} = P_0\cdot\cos\Theta_e$;

$P_{0y} = P_0\sin\Theta_e$;

$\varepsilon_0 = \sqrt{c^2P_0^2+m^2c^4}$, Дж;

$$t = \frac{mc}{|e|E}\cdot\sqrt{\tau'(\tau'+2)-\tau_0(\tau_0+2)\sin^2\Theta_e}-\sqrt{\tau_0(\tau_0+2)}\cos\Theta_e;$$

t — время движения электрона между двумя электродами, с;

$$\tau' = \frac{T_н-|e|\Delta U}{mc^2};$$

$$\tau_0 = \frac{T_н}{mc^2}$$

2.1.3. Определяют угол вхождения электрона ($\Theta_{вх}$), рад, в высоковольтный электрод относительно нормали к электроду по формуле

$$\Theta_{вх} = \frac{\pi}{2}-\operatorname{arctg}\left[\frac{\varepsilon_0}{cP_{0y}}\operatorname{sh}\left(\frac{|e|E}{cP_0}\cdot y\right)+\frac{P_{0Z}}{P_{0y}}\operatorname{ch}\left(\frac{|e|E}{cP_0}\cdot y\right)\right]. \quad (8)$$

2.1.4. Определяют энергию электрона ($T_п$), Дж, после прохождения области электрического поля по формуле

$$T_п = T_н + |e| E d_c. \quad (9)$$

2.1.5. Определяют координаты вхождения электрона в электрод в системе координат, привязанной к стартовой системе координат по формулам

$$\begin{aligned} X_{гл} &= X_н + X_{вх} \cdot \sin\varphi, \\ Y_{гл} &= Y_н + Y_{вх} \cdot \cos\varphi, \\ Z_{гл} &= Z_н + Z_{вх}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $X_н$, $Y_н$, $Z_н$ — начальные (стартовые) координаты электрона, м;

φ — азимутальный угол в декартовой системе координат, рад.

2.2. Определение толщины слоя Мольер ($t_М$), г/см^2, проводят по формуле

$$t_М = C_м(T)(1{,}13 + 3{,}76\gamma^2)/\gamma^2, \quad (11)$$

где $C_м$ (T) определяют из массива данных $C_м$ путем интерполирования при заданном значении энергии T;

$$\gamma^2 = \frac{z^2}{(137\beta)^2},$$

$$\beta^2 = (2TE_0 + T^2)/(T + E_0)^2,$$

$$E_0 = mc^2.$$

2.3. Определение угла рассеяния после прохождения слоя Мольер

2.3.1. Определяют значение вспомогательных параметров B из массива B путем интерполирования по T и $\varkappa_c$, рад, по формуле

$$\varkappa_c = 0{,}7742 \sqrt{z(z+1)t_М / A}\,[(T + E_0)/E_0 - E_0/(T + E_0)], \quad (12)$$

где A — атомный вес материала электрода.

2.3.2. Для текущего значения случайного числа из датчика случайных чисел, равномерно распределенных на интервале (0,1), методом кусочно-линейной интерполяции определяют v из массива данных P_v.

2.3.3. Определяют угол рассеяния по формуле $\Theta_М = \varkappa_c \sqrt{B \cdot v}$.

2.4. Определяют направление движения электрона $\vec{\Omega}$ $(\Theta_i ; \varphi_i)$ относительно нормали $\vec{n}$ к слою толщиной $t_М$ после i-го шага моделирования переноса электрона по соотношениям:

$$\cos\Theta_i=\cos\Theta_M\cdot\cos\Theta_{i-1}-\sin\Theta_M\sin\Theta_{i-1}\cdot\cos\varphi_i';$$
$$\sin\Theta_i=\sqrt{1-\cos^2\Theta_i};$$
$$\cos\varphi_i=(c_1\sin\varphi_{i-1}+c_2\cos\varphi_{i-1})/\sin\Theta_i; \qquad (13)$$
$$\sin\varphi_i=(-c_1\cos\varphi_{i-1}+c_2\sin\varphi_{i-1})/\sin\Theta_i,$$

где $c_1=-\sin\Theta_M\cdot\sin\varphi_i'$; $c_2=\sin\Theta_{i-1}\cos\Theta_M+\cos\Theta_{i-1}\sin\Theta_M\cos\varphi'$.

Считают, что значения угла φ' распределены равномерно в интервале $(0—2\pi)$. Определение значения случайного угла проводят с помощью датчика случайных чисел ξ по формуле $\varphi'=2\pi\xi$.

2.5. Определение ионизационных потерь энергии электроном в слое толщиной t_M

2.5.1. Определяют значение вспомогательного параметра b^2 по формуле

$$b^2=2\cdot10^{-5}\left(\frac{dT}{dx}\right)z^{4/3}/(at_M)^2, \qquad (14)$$

где $\left(\frac{dT}{dx}\right)$ — средние потери энергии на ионизацию на отрезке t_M, МэВ.

$$a=0{,}154\cdot\frac{z}{A\cdot\beta^2}, \quad \frac{\text{МэВ}\cdot\text{см}^2}{2}.$$

2.5.2. Из массива данных M_{b^2} находят два ближайших значения b_1^2 и b_2^2 $(b_1^2\leqslant b^2\leqslant b_2^2)$.

2.5.3. Из массива распределения вероятностей $P_в$ по случайному числу находят методом кусочно-линейной интерполяции параметры λ_{b_1}, λ_{b_2}, соответствующие b_1^2 и b_2^2, и затем методом интерполяции по b^2 определяют λb.

2.5.4. Потерю энергии электрона с начальной энергией T на ионизацию при прохождении им слоя t_M определяют по формуле

$$\Delta T=a\cdot t_M(\lambda b+1{,}116-\ln\frac{TE_0}{at_M})+t_M\cdot\frac{dT}{dx}. \qquad (15)$$

2.6. Определение вероятности образования и энергии тормозного γ-кванта

2.6.1. Вероятность образования тормозного γ-кванта при прохождении электроном с энергией T слоя вещества толщиной t_M определяют соотношением

$$P=1-\exp(-\Theta_\gamma), \qquad (16)$$

где $\Theta_\gamma=\mu_\gamma(T)\cdot t_M$

Значение $\mu_\gamma(T)$ определяют из массива μ_γ линейной интерполяцией по T.

2.6.2. Значение энергии γ-кванта определяют методом двойной линейной интерполяции по случайному числу ξ и по энергии электрона T из массива P_k.

Образовавшемуся γ-кванту с энергией E_γ приписывают статистический вес W_γ, равный

$$\mu_\gamma(T)\cdot t_{\text{м}}. \qquad (17)$$

2.6.3. Угол, определяющий направление движения рожденного γ-кванта, относительно направления движения электрона перед прохождением слоя Мольер принимают равным углу рассеяния электрона $\Theta_{\text{м}}$.

2.7. Определение параметров γ-кванта при его прохождении в веществе

2.7.1. Пробег γ-кванта до взаимодействия определяют по формуле

$$\lambda = -\frac{\ln\xi}{\mu(E_\gamma)}, \qquad (18)$$

где ξ — случайное число из равномерного распределения чисел на промежутке (0—1);

$\mu(E_\gamma)$ — коэффициент ослабления γ-квантов, см^2/2.

2.7.2. Вид взаимодействия в конце пробега γ-кванта определяют из условий:

при $\frac{\sigma_{\text{к}}(E_\gamma)}{\sigma_{\text{к}}(E_\gamma)+\sigma_{\text{ф}}(E_\gamma)} \geqslant \xi$ — имеет место комптон-эффект;

при $\frac{\sigma_{\text{ф}}(E_\gamma)}{\sigma_{\text{к}}(E_\gamma)+\sigma_{\text{ф}}(E_\gamma)} < \xi$ — имеет место фотоэффект, (19)

где $\sigma_{\text{к}}(E_\gamma)$ и $\sigma_{\text{ф}}(E_\gamma)$ — макроскопические сечения комптоновского взаимодействия и фотоэффекта соответственно.

Далее прохождение γ-кванта рассматривают только при комптоновском взаимодействии.

2.7.3. Координаты точки взаимодействия γ-кванта с веществом определяют по формулам:

$$\begin{aligned} X_\gamma^{(b)} &= X_\gamma + \lambda\cos\varphi_\gamma \sin\Theta_\gamma, \\ Y_\gamma^{(b)} &= Y_\gamma + \lambda\sin\varphi_\gamma \sin\Theta_\gamma, \\ Z_\gamma^{(b)} &= Z_\gamma + \lambda\cos\Theta_\gamma, \end{aligned} \qquad (20)$$

где Θ_γ — угол, образуемый γ-квантом с осью Z, рад;

φ_γ — азимутальный угол, рад.

2.8. Определение характеристик комптоновского взаимодействия

2.8.1. Энергию γ-кванта после комптоновского взаимодействия определяют по следующим соотношениям:

$$K=\frac{K_0}{1+\xi\cdot S+(2K_0-S)\xi^3} \text{ при } K_0\leqslant 4 \text{ и}$$

$$K=\frac{K_0}{1+\xi S+(2K_0-S)\xi^3}+0{,}5(K_0-4)\xi^2(1+\xi)^2 \text{ при } K_0>4, \quad (21)$$

где K_0 и K — энергии первичного и рассеянного γ-кванта в единицах m_0c^2;

$S=K_0/(1+0{,}5625\ K_0)$;

ξ — случайное число.

2.8.2. Угол рассеянного γ-кванта (после комптоновского рассеяния) Θ_γ' относительно направления движения γ-кванта с энергией K_0 определяют по формуле

$$\cos\Theta_\gamma'=1-\frac{K_0-K}{K_0K}. \quad (22)$$

2.8.3. Угол вылета образовавшегося электрона Θ_e и его энергию T_e определяют по формулам:

$$\sin\Theta_e=\sqrt{1-\frac{p}{1+p}}, \quad (23)$$

$$T_e=(K_0-K)mc^2, \quad (24)$$

где $$p=\frac{(1+\cos\Theta_\gamma')^2}{(1+K_0^2)\sin^2\Theta_\gamma'}.$$

2.9. Определение функций распределения электронов и тормозных γ-квантов за ЭСЗ

2.9.1. Функции распределения n_e и n_γ строят с использованием дифференциальных токовых величин $I(\vec{A}, T_e, \vec{\Omega}_e)$, $I(\vec{A}, E_\gamma, \vec{\Omega}_\gamma)$, получающихся в результате моделирования траектории электронов и тормозных γ-квантов. Связь между функцией распределения и дифференциальной плотностью тока через поверхность (разделяющую ЭСЗ и тканеэквивалентный поглотитель, например в точке A) определяют по соотношениям:

$$n_e(\vec{A},T_e,\vec{\Omega}_e)=I_e(\vec{A},T,\vec{\Omega}_e)/\cos\Theta_e \text{ — для электронов,} \quad (25)$$

$$n_\gamma(\vec{A},E_\gamma\vec{\Omega}_\gamma)=I_\gamma(\vec{A},T,\vec{\Omega}_\gamma)/\cos\Theta_\gamma \text{ — для } \gamma\text{-квантов,} \quad (26)$$

2.9.2. Построение функций n_e, n_γ сводят к процедуре построения двумерных гистограмм с интервалом по энергии $\Delta T_e = T_{max}/N_e$ и $\Delta T_\gamma = T_{max}/N_\gamma$. Здесь T_{max} — максимальная энергия электрона РПЗ. N_e выбирают из интервала чисел (25—50), а N_γ — из интервала (100—200).

2.10. Мощность дозы электронного H_e и тормозного H_γ излучений в заданной точке $\vec{A}$ за ЭСЗ определяют с использованием функций распределения n_e $(\vec{A}, T_e, \vec{\Omega_e})$ и n_γ $(\vec{A}, E_\gamma, \vec{\Omega_\gamma})$ по формулам:

$$\dot{H}_e = \int_{T_e} \int_{\Omega_e} n_e(\vec{A}, T_e, \vec{\Omega}_e) \cdot S(T_e) dT_e d\Omega_e,$$
$$\dot{H}_\gamma = k_п \int_{E_\gamma} \int_{\Omega_\gamma} E_\gamma \mu(E_\gamma) n_\gamma (\vec{A}, E_\gamma, \vec{\Omega}_\gamma) dE_\gamma d\Omega_\gamma, \quad (27)$$

где $S(T_e) = \frac{1}{\rho}\left(\frac{dT_e}{dx}\right)$ — средние массовые потери энергии на ионизацию в веществе поглотителя, МэВ·см²/г;

$\mu(E_\gamma)$ — массовый коэффициент передачи энергии для γ-квантов с энергией E_γ, см²/г;

$K_п$ — переходной коэффициент от поглощенной энергии к дозе, равный $1{,}6 \cdot 10^{-10}$;

ρ — плотность поглотителя, г/см³.

2.11. Определение показателя эффективности ЭСЗ

Серией расчетов суммарных значений мощностей дозы электронного и тормозного излучений ($\dot{H}_\Sigma = \dot{H}_e + \dot{H}_\gamma$) за ЭСЗ, проводимых при различных значениях $U_{раб}$ ($\delta_{ЭСЗ}$), т. е. при различном приведенном весе (ЭСЗ), устанавливают кривую ослабления дозы — зависимость H_Σ от веса ЭСЗ, т. е. $\dot{H}_\Sigma = \dot{H}_\Sigma$ $(\delta_{ЭСЗ})$.

Значение показателя эффективности в соответствии с п. 1.2 определяют по формуле (1)

$$\mu_{эфф} = -\frac{d\, п\dot{H}_\Sigma}{d\delta_{ЭСЗ}}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ
Обязательное

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАССИВОВ $C_м, B_м, P_\upsilon, M_{b^2}, P_b, M_\gamma$ и $P_к$

1. Подготовка данных для моделирования углового рассеяния

Устанавливают интервалы энергий, в пределах которых можно считать параметр B постоянным. Это выполнимо для тех интервалов энергии T, в пределах которых выполняются условия:

$$t_м \frac{\gamma^2}{1{,}13+3{,}76\gamma^2} = C_м(T), \quad C_м(T) \approx \text{const}, \tag{28}$$

где $t_м$ — толщина слоя Мольер;

$$\gamma^2 = \frac{z^2}{(137\beta)^2};$$

$$\beta^2 = (2TE_0+T^2)/(T+E_0)^2;$$

$E_0 = mc^2$ — энергия покоя электрона.

Совокупность констант $C_м$ (T) составляет массив $C_м$.

Значение B находят по формуле

$$B = \ln(1{,}1m\ln(1{,}4m)). \tag{30}$$

Здесь m — среднее число актов рассеяния при прохождении электроном слоя вещества $t_м$. Значение m находят по формуле

$$m = 6680\, z^{1/3}\,(z+1)t_м/[\beta^2 A(1+3{,}35\gamma^2)], \tag{31}$$

где A — атомный номер;

$\gamma^2 = z^2/(137\beta)^2$.

Совокупность значений B составляет массив данных $B_м$, а соответствующие им величины T составляют массив данных $T_м$.

Для установленных интервалов энергий строят распределения

$$P_\upsilon(\upsilon) = \frac{\int_0^{\upsilon} f_м(\upsilon')d\upsilon'}{\int_0^{\upsilon_{max}} f_м(\upsilon')d\upsilon'}, \tag{33}$$

где $f_м = F_0(\upsilon) + B^{-1} F_1(\upsilon) + B^{-2} F_2(\upsilon)$ — табулированные функции, представленные в табл. 1.

Значение υ_{max} выбирают из интервала 7—10.

Совокупность значений $P_\upsilon(\upsilon)$ составляет массив данных P_υ

Таблица 1

Константы F_0, F_1, F_2

v	F_0	F_1	F_2
0	2,00 E00	8,456 E—1	2,492 E00
0,2	1,92 E00	7,032 E—1	2,069 E00
0,4	1,72 E00	3,437 E—1	1,048 E00
0,6	1,40 E00	—7,770 E—2	—4,400 E—3
0,8	1,05 E00	—3.981 E—1	—6,068 E—1
1,0	7,34 E—1	—5,285 E—1	—6,359 E—1
1,2	4,74 E—1	—4,770 E—1	—3,086 E—1
1,4	2,82 E—1	—3,183 E—1	+5,250 E—2
1,6	1,54 E—1	—1,396 E—1	+2,423 E—1
1,8	7,83 E—2	—6,000 E—4	+2,386 E—1
2,0	3,66 E—2	+7,820 E—2	+1,316 E—1
2,2	1,58 E—3	+1,054 E—1	+1,960 E—2
2,4	6,30 E—3	+1,008 E—1	—4,670 E—2
2,6	2,32 E—3	+8,262 E—2	—6,460 E—2
2,8	7,90 E—4	+6,247 E—2	—5,460 E—2
3,0	2,50 E—4	+4,550 E—2	—3,568 E—2
3,2	7,30 E—5	+3,288 E—2	—1,923 E—2
3,4	1,90 E—5	+2,402 E—2	—8,470 E—3
3,6	4,70 E—5	+1,791 E—2	—2,640 E—3
3,8	1,10 E—6	+1,366 E—2	+5,000 E—5
4,0	2,30 E—7	+1,064 E—2	+1,074 E—3
4,5	3,00 E—9	+6,140 K—3	+1,229 E00
5,0	2,00 E—11	+3,831 E—3	+8,326 E—1
5,5	2,00 E—13	+2,527 E—3	+5,368 E—1
6,0	5,00 E—16	+1,739 E—3	+3,495 E—1
7,0	1,00 E—21	+9,080 E—4	+1,584 E—1

2. Подготовка данных для моделирования ионизационных потерь

Для интервалов энергий, установленных в п. 1 приложения, вычисляют значения параметра b^2 по формуле

$$b^2=2\cdot 10^{-5}\left(\frac{dT}{dx}\right) z^{4/3}/(at_M)^2, \qquad (34)$$

где $\frac{dT}{dx}$ — средние потери энергии на ионизацию, на пути t_M, МэВ.

$$a=0{,}154\, z/(A\cdot\beta^2), \frac{\text{МэВ}\cdot\text{см}^2}{2}$$

Совокупность параметров b^2 составляет массив данных Mb^2.

Для рассчитанных параметров b^2 строят распределения

$$P_{b^2}(\lambda, b^2)=\frac{\int\limits_{\lambda_{min}}^{\lambda} f(\lambda')d\lambda'}{\int\limits_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} f(\lambda')d\lambda'} \qquad (35)$$

где $f(\lambda)$ — функция Блунка и Лайзенганга, описывающая разброс ионизационных потерь

$$f(\lambda)=\sum_{i=1}^{4}\frac{c_i\,\gamma_i}{\sqrt{\gamma_i^2+b^2}}\exp\left(-\frac{(\lambda-\lambda_i)^2}{\gamma_i^2+b^2}\right), \qquad (36)$$

где c_i, γ_i, λ_i — постоянные, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Значение постоянных c_i, γ_i, λ_i ($i=1, 2, 3, 4$)

i	1	2	3	4
c_i	0,174	6,058	0,019	0,007
γ_i	1,8	2,0	3,0	5,0
λ_i	0,0	3,0	6,5	11,0

Совокупность значений P_{b^2} (λ, b^2) составляет массив данных P_b.

3. **Подготовка данных для моделирования рождения тормозных γ-квантов**

3.1 Значения параметра (μ_γ (T)), см^2/г, используемые при определении вероятности образования тормозного γ-кванта, определяют из соотношения

$$\mu_\gamma(T)=10^{-25}\frac{N_A z^2}{A\cdot\beta^2}\left[H\cdot(\ln(K_{max})-\ln(K_{min}))-\frac{R}{LT^L}(K_{max}^L-K_{min}^L)\right], \qquad (37)$$

где N_A — число Авогадро;

z, A — атомный номер и атомная масса рассеивающих атомов;

R, L, H — постоянные, зависящие от энергии электрона T и атомного номера, табулированные в табл. 3;

K_{min}, K_{max} — минимальная и максимальная энергии γ-кванта, $K_{max}=0{,}98\,T$.

Совокупность значений μ_γ составляет массив данных M_γ.

3.2 Для моделирования энергии γ-кванта подготавливают распределения

$$P_K(K,T)=\frac{\int_{0{,}003T_e}^{k}\frac{d\sigma}{dK'}\,dK'}{\int_{0{,}003T_e}^{0{,}98T_e}\frac{d\sigma}{dK'}\,dK'}, \qquad (38)$$

где в качестве сечения тормозного излучения используют выражение

$$\frac{d\sigma}{dK}=\frac{z^2}{\beta^2\cdot K}\left[H-R\left(\frac{K}{T}\right)^L\right], \qquad (39)$$

где R, L, H — постоянные, зависящие от T и z, приведенные в табл. 3, $T=0{,}06$, 0,4, 1 и 10 МэВ.

Совокупность значений P_K (K, T) составляет массив данных P_K.

Таблица 3

Значения коэффициентов в формуле для $\frac{d\sigma}{dK}$

z	T, МэВ	R	L	H
4	0,025	8,885	0,74	11,291
	0,050	10,230	0,70	11,800
	0,075	10,833	0,63	12,278
	0,100	11,159	0,60	12,396
	0,200	11,600	0,53	12,515
	0,300	11,900	0,49	12,600
	0,400	12,300	0,48	12,800
	0,500	12,500	0,47	13,000
	0,600	12,600	0,47	13,000
	0,800	12,900	0,45	13,300
	1,000	13,230	0,47	13,600
	1,200	13,400	0,48	13,790
	1,400	13,450	0,49	13,870
	1,600	13,600	0,49	13,030
	1,800	13,650	0,51	14,120
	2,000	13,700	0,52	14,230
	5,000	14.150	0,54	15,110
	10,000	12,694	0,67	15,084
	15,000	12,456	0,74	14,993
	20,000	12,000	0,79	14,924
	25,000	11,600	0,83	14,850
	30,000	11,400	0,67	14,850
13	0,025	4,933	0,82	9,503
	0,050	6,861	0,68	10,488
	0,075	7,931	0,65	10,916
	0,100	8,639	0,62	11,186
	0,200	10,053	0,57	11,636
	0,300	10,746	0,54	11,879
	0,400	11,122	0,53	12,012
	0,500	11,441	0,52	12,179
	0,600	11,550	0,50	12,220
	0,800	11,900	0,50	12,490
	1,000	12,000	0,51	12,600
	1,200	12,100	0,51	12,700
	1,400	12,300	0,54	12,880
	1,600	12,500	0,54	13,090
	1,800	12,500	0,56	13,090
	2,000	12,550	0,56	13,210
	5,000	12,800	0,65	13,948
	10,000	11,900	0,79	13,700
	15,000	11,400	0,83	13,700
	20,000	11,000	0,97	13,000
	25,000	10,700	1,04	13,000
	30,000	10,500	1,06	13,000
26	0,025	2,933	1,04	8,178
	0,050	4,663	0,74	9,374
	0,075	5,891	0,68	10,027
	0,100	6,743	0,64	10,413
	0,200	8,734	0,58	11,201

Продолжение табл. 3

z	*T*, МэВ	*R*	*L*	*H*
26	0,300	9,725	0,55	11,554
	0,400	10,139	0,54	11,659
	0,500	10,562	0,54	11,796
	0,600	10,866	0,54	11,961
	0,800	11,277	0,53	12,209
	1,000	11,547	0,54	12,398
	1,200	11,608	0,55	12,429
	1,400	11,740	0,56	12,552
	1,600	11,832	0,57	12,653
	1,800	11,920	0,58	12,758
	2,000	12,042	0,58	12,911
	5,000	12,100	0,73	13,144
	10,000	11,107	0,79	12,979
	15,000	10,900	1,00	12,900
	20,000	10,100	1,02	12,800
	25,000	9,700	1,02	12,800
	30,000	9,600	1,03	12,800

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. **РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН** Министерством здравоохранения СССР

РАЗРАБОТЧИКИ

А. А. Волобуев; В. А. Гончарова; А. И. Григорьев, д-р мед. наук; **Е. Е. Ковалев,** д-р. техн. наук; **Т. Я. Королькова; Е. Н. Лесновский,** канд. техн. наук; **В. А. Панин; Е. В. Пашков,** канд. техн. наук; **В. М. Петров,** канд. физ.-мат. наук; **Ю. В. Потапов,** канд. физ.-мат. наук; **Т. Я. Рябова,** канд. физ.-мат. наук; **В. Н. Шлапак,** канд. физ.-мат. наук

2. **УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ** Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 29.12.90 № 3760
3. **СРОК ПРОВЕРКИ** — 1996 г., периодичность проверок — 5 лет
4. **ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ**
5. **ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ**

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Номер пункта
ГОСТ 25645.204—83	1.5

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

БЕЗОПАСНОСТЬ РАДИАЦИОННАЯ ЭКИПАЖА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

Методика расчета эффективности электростатической защиты при радиационном воздействии

РД 50—25645.221—90

Редактор *В. М. Лысенкина*
Технический редактор *Л. Я. Митрофанова*
Корректор *О. Я. Чернецова*

Сдано в наб. 28.03.91 Подп. в печ. 13.06.91 Формат 60×90¹/₁₆. Бумага офсетная № 2. Печать высокая. Гарнитура литературная 1,0 усл. п. л. 1,0 усл. кр.-отт. 0,9 уч.-изд. л. Тираж 1000 Изд. № 911/4 Цена 35 к.

Издательство стандартов, 123557, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3.
Калужская типография стандартов, ул. Московская 256. Зак. 662

gost.e-ecolog.ru