



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

БЕЗОПАСНОСТЬ РАДИАЦИОННАЯ ЭКИПАЖА КОСМИЧЕСКОГО
АППАРАТА В КОСМИЧЕСКОМ ПОЛЕТЕ

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКРАНИРОВАННОСТИ
ТОЧЕК ВНУТРИ ФАНТОМА**

ГОСТ 25645.204—83

Издание официальное

Цена 10 коп.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
МОСКВА

ИСПОЛНИТЕЛИ

П. А. Барсов; А. И. Григорьев, д-р мед. наук; **Е. Е. Ковалев**, д-р техн. наук; **Л. М. Коварский**, канд. техн. наук; **Е. И. Кудряшов**, канд. техн. наук; **Е. Н. Лесновский**, канд. техн. наук; **В. А. Панин; Н. М. Пинчук; И. Я. Ремизов**, канд. техн. наук; **В. А. Сакович**, канд. техн. наук; **В. М. Сахаров**, канд. техн. наук; **В. Б. Хвостов**, канд. физ.-мат. наук

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 20 декабря 1983 г. № 6360

**Безопасность радиационная экипажа космического
аппарата в космическом полете**

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКРАНИРОВАННОСТИ
ТОЧЕК ВНУТРИ ФАНТОМА**

Spacecrew radiation safety during spaceflight.
Computation methods of points shielding inside fantom

**ГОСТ
25645.204—83**

ОКП 696800

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 20 декабря 1983 г. № 6360 срок введения установлен
с 01.01.85

Настоящий стандарт устанавливает требования к заданию объекта и алгоритм вычисления функций, характеризующих экранированность точек внутри объекта-фантома с окружающей его защитой.

Под защитой в стандарте понимают конструкцию космического аппарата (КА), его оборудование и специальное снаряжение, защищающее (экранирующее) космонавта от ионизирующего излучения.

Стандарт предназначен для подготовки исходных данных, необходимых при расчетах на предприятиях и организациях, занимающихся научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, связанными с обеспечением радиационной безопасности экипажа космического аппарата в космическом полете.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Экранированность точки \vec{r}_0 , расположенной внутри фантома, характеризует функция экранированности $\omega(\xi, \vec{r}_0)$ такая, что $\omega(\xi, \vec{r}_0) d\xi$ представляет вероятность для лучей, изотропно испущенных из точки \vec{r}_0 , встретить на своем пути суммарное количество вещества фантома и защиты ξ в интервале от ξ до $\xi + d\xi$, выраженное в массовых единицах длины.

$$\xi = \xi_1 + \xi_2,$$

где ξ_1 — количество вещества фантома;

ξ_2 — количество вещества защиты.

1.2. Под массовой единицей длины в веществе понимают произведение линейной единицы длины на плотность вещества.

1.3. Самоэкранированность точки \vec{r}_0 , расположенной внутри фантома, характеризует функция самоэкранированности $\omega_1(\xi_1, \vec{r}_0)$, тождественно равная $\omega(\xi, \vec{r}_0)_{\xi_2=0}$.

1.4. Экранированность защитой точки \vec{r}_0 , расположенной внутри фантома, характеризует функция экранированности защитой $\omega_2(\xi, \vec{r}_0)$, тождественно равная $\omega(\xi, \vec{r}_0)_{\xi_1=0}$.

2. ЗАДАНИЕ ОБЪЕКТА

2.1. Объект, в виде выпуклого тела, задают совокупностью зон с постоянными физическими свойствами вещества в пределах зоны. Каждой зоне присваивают номер $K=1, 2, \dots, K_{\max}$, где K_{\max} — максимальное количество зон, необходимое для задания объекта.

Примечание. Если исходный объект представляет собой вогнутое тело, то его следует дополнить пустыми зонами.

2.2. Каждая зона объекта должна быть задана вектором поверхностей \vec{j}_K , вектором неопределенности $\vec{\alpha}_K$ (\vec{r}_K), индексом, характеризующим принадлежность вещества к фантому или защите, и плотностью вещества в зоне ρ_K .

Вид поверхности	Уравнение поверхности	Тип поверхности	Максимальное число коэффициентов	Вводимые коэффициенты
Плоскость, перпендикулярная оси:				
X	$X=C$	1	1	C
Y	$Y=C$	2	1	C
Z	$Z=C$	3	1	C
Плоскость, параллельная оси:				
X	$\frac{Y-Y_1}{Z-Z_1} = \frac{Y_2-Y_1}{Z_2-Z_1}$	4	4	Y_1, Z_1, Y_2, Z_2
Y	$\frac{X-X_1}{Z-Z_1} = \frac{X_2-X_1}{Z_2-Z_1}$	5	4	X_1, Z_1, X_2, Z_2
Z	$\frac{X-X_1}{Y-Y_1} = \frac{X_2-X_1}{Y_2-Y_1}$	6	4	X_1, Y_1, X_2, Y_2
Конус, параллельный оси:				
X	$\frac{\sqrt{(Y-Y_1)^2 + (Z-Z_1)^2} - R_1}{X-X_1} = \frac{R_2-R_1}{X_2-X_1}$	7	6	$Y_1, Z_1, R_1, X_1, R_2, X_2$
Y	$\frac{\sqrt{(X-X_1)^2 + (Z-Z_1)^2} - R_1}{Y-Y_1} = \frac{R_2-R_1}{Y_2-Y_1}$	8	6	$X_1, Z_1, R_1, Y_1, R_2, Y_2$
Z	$\frac{\sqrt{(X-X_1)^2 + (Y-Y_1)^2} - R_1}{Z-Z_1} = \frac{R_2-R_1}{Z_2-Z_1}$	9	6	$X_1, Y_1, R_1, Z_1, R_2, Z_2$
Цилиндр, параллельный оси:				
X	$\frac{(Y-Y_1)^2}{a^2} + \frac{(Z-Z_1)^2}{b^2} = 1$	10	4	Y_1, a, Z_1, b
Y	$\frac{(X-X_1)^2}{a^2} + \frac{(Z-Z_1)^2}{b^2} = 1$	11	4	X_1, a, Z_1, b
Z	$\frac{(X-X_1)^2}{a^2} + \frac{(Y-Y_1)^2}{b^2} = 1$	12	4	X_1, a, Y_1, b
Эллипсоид	$\frac{(X-X_1)^2}{a^2} + \frac{(Y-Y_1)^2}{b^2} + \frac{(Z-Z_1)^2}{c^2} = 1$	13	6	X_1, a_1, Y_1, b, Z_1, C
Поверхность второго порядка общего вида	$a_1 + a_2 X + a_3 Y + a_4 Z + a_5 X^2 + a_6 Y^2 + a_7 Z^2 + a_8 XY + a_9 YZ + a_{10} XZ = 0$	14	10	a_1, a_2, \dots, a_{10}

2.2.1. Поверхности задают в виде уравнений 1 и 2-го порядков в декартовой системе координат $\vec{r} = \{X, Y, Z\}$ в общем и (\vec{r}^*)=0 или каноническом виде в соответствии с таблицей. Каждой поверхности присваивают номер $i=1, 2, \dots, I_{\max}$, где I_{\max} — максимальное количество поверхностей, необходимое для задания объекта.

2.2.2. Совокупность номеров поверхностей, ограничивающих K -ю зону $\{i\}_K$, из множества номеров поверхностей $\{i\}$ ($i=1, 2, \dots, I_{\max}$) образует вектор поверхностей \vec{j}_K .

2.2.3. Каждая поверхность $u_i(\vec{r}^*)=0$ разделяет два объема: внутренний — $u_i(\vec{r}^*) < 0$ и внешний — $u_i(\vec{r}^*) > 0$. Принадлежность точки \vec{r}^* к внутреннему или внешнему объему характеризу-

ют признаком, именуемым индексом неопределенности $\delta_i(\vec{r}^*)$, значение которого определяется выражением

$$\delta_i(\vec{r}^*) = - \frac{u_i(\vec{r}^*)}{|u_i(\vec{r}^*)|}. \quad (1)$$

2.2.4. Все точки зоны должны иметь одинаковые индексы неопределенности относительно поверхностей, ограничивающих ее.

2.2.5. Совокупность индексов неопределенности произвольной точки \vec{r}^* для вектора \vec{j}_K образует вектор неопределенности $\vec{\alpha}_K(\vec{r}^*)$. Вектор неопределенности для точек K -й зоны записывают как $\alpha_K(\vec{r})$.

3. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ФУНКЦИИ ЭКРАНИРОВАННОСТИ

3.1. Функцию экранированности $w(\xi, \vec{r}_0)$ вычисляют в виде функции $w^{(l)}(\vec{r})$ кусочнопостоянной на отрезке (ξ_l, ξ_{l+1})

$$w^{(l)}(\vec{r}_0) = \frac{1}{4\pi\Delta\xi_l} \int_{\xi_l}^{\xi_{l+1}} \eta_l(\vec{r}_0, \vec{\Omega}) d\vec{\Omega}, \quad (2)$$

где $l=1, \dots, L_{\max}$ — номер отрезка;

$$\Delta\xi_l = \xi_{l+1} - \xi_l;$$

$$\eta_l(\vec{r}_0, \vec{\Omega}) = \begin{cases} 1, & \text{если } \xi_l < \xi(\vec{r}_0, \vec{\Omega}) < \xi_{l+1}; \\ 0, & \text{если } \xi(\vec{r}_0, \vec{\Omega}) < \xi_l; \xi(\vec{r}_0, \vec{\Omega}) \geq \xi_{l+1}; \end{cases}$$

$\xi(\vec{r}_0, \vec{\Omega})$ — количество вещества, встреченного на пути луча из точки \vec{r}_0 в направлении $\vec{\Omega}$.

3.2. Для определения функции $w(\xi, \vec{r}_0)$ необходимо задать расчетную сетку $\{\xi_l\}$ в диапазоне $0 < \xi \leq \xi_{\max}$, причем ширину интервала $\Delta\xi$ следует выбирать исходя из требований к погрешности функционала, вычисляемого с использованием $w(\xi, \vec{r}_0)$.

3.3. Для вычисления величины $\xi(\vec{r}_0, \vec{\Omega})$ необходимо определить расстояние, пройденное лучом в зонах объекта, что требует выполнения ряда операций, изложенных в пп. 3.3.1—3.3.7.

3.3.1. Вычисляют расстояния $S(\vec{r}_0, \vec{\Omega}, i)$ от точки \vec{r}_0 до пересечения луча в направлении $\vec{\Omega}$ со всеми поверхностями, решив для этого относительно S совместно систему уравнений, описывающих поверхность и прямую в направлении $\vec{\Omega}$, проходящую через точку \vec{r}_0

$$\begin{cases} u_i(\vec{r}') = 0 \\ \vec{r}' = \vec{r}_0 + S\vec{\Omega}, \end{cases} \quad (3)$$

где $0 \leq S < \infty$ — расстояние от точки \vec{r}_0 по лучу $\vec{\Omega}$ до пересечения с i -й поверхностью.

Система уравнений (3) для каждой поверхности может иметь одно, два или ни одного решения, что соответственно означает однократное, двукратное или отсутствие пересечения i -й поверхности лучом.

Полученным решениям присваивают номер n ($n=1, \dots, N$, где N — максимальное количество пересечений лучом поверхностей объекта).

3.3.2. Располагают полученный массив значений $S_n(\vec{r}_0, \vec{\Omega})$ ($n=1, \dots, N$) в порядке возрастания, формируя при этом последовательность соответствующих номеров поверхностей $i_n(\vec{r}_0, \vec{\Omega})$.

3.3.3. Вычисляют длины отрезков $t_n(\vec{r}_0, \vec{\Omega})$ между последовательными пересечениями

$$t_n(\vec{r}_0, \vec{\Omega}) = S_n(\vec{r}_0, \vec{\Omega}) - S_{n-1}(\vec{r}_0, \vec{\Omega}), \quad (4)$$

положив $S_0(\vec{r}_0, \vec{\Omega}) \equiv 0$ (пересечение лучом точки \vec{r}_0).

3.3.4. Вычисляют $\delta_i(\vec{r}_n)$ в произвольной точке \vec{r}_n каждого из отрезков $t_n(\vec{r}_0, \vec{\Omega})$ ($n=1, 2, \dots, N$) относительно всех поверхностей $u_i(\vec{r}')=0$ ($i=1, 2, \dots, I_{\max}$), используя соотношение (1) и рекуррентные соотношения:

$$\delta_i(\vec{r}_1) \equiv \delta_i(\vec{r}_0)$$

$$\delta_i(\vec{r}_{n+1}) = \begin{cases} \delta_i(\vec{r}_n), & i \neq i_n \\ -\delta_i(\vec{r}_n), & i = i_n \end{cases} \quad (5)$$

$$i = 1, \dots, I_{\max}; \quad n = 1, \dots, N-1,$$

где i_n — номер пересекаемой лучом поверхности.

3.3.5. Из полученных индексов неопределенности для точки \vec{r}_n отбирают относящиеся к K -й зоне и формируют совокупность векторов неопределенности $\vec{\alpha}_K(\vec{r}_n)$ ($K=1, \dots, K_{\max}$).

3.3.6. Определяют последовательность номеров зон $K_n(\vec{r}_0, \vec{\Omega})$ ($n=1, \dots, N_0$), в которых расположены отрезки луча $t_n(\vec{r}_0, \vec{\Omega})$, путем отыскания одинаковых (равных) векторов среди $\vec{\alpha}_K(\vec{r}_K)$ и $\vec{\alpha}_K(\vec{r}_n)$ ($K=1, \dots, K_{\max}$). Отсутствие таких векторов для некоторой точки \vec{r}_{N_0} ($N_0 \leq N$) свидетельствует о ее расположении вне объекта и процесс идентификации отрезков $t_n(\vec{r}_0, \vec{\Omega})$ для $n > N_0$ прекращают.

3.3.7. Вычисляют количество вещества на пути луча $\xi(\vec{r}_0, \vec{\Omega})$ по формуле

$$\xi(\vec{r}_0, \vec{\Omega}) = \sum_{n=1}^{N_0-1} t_n(\vec{r}_0, \vec{\Omega}) \cdot \rho_{K_n}(\vec{r}_0, \vec{\Omega}). \quad (6)$$

3.4. Функции самоэкранированности $\omega_1(\xi_1, \vec{r}_0)$ и экранированности защитой $\omega_2(\xi_2, \vec{r}_0)$ должны быть рассчитаны аналогично $\omega(\xi, \vec{r}_0)$, причем для вычисления $\xi_1(\vec{r}_0, \vec{\Omega})$ и $\xi_2(\vec{r}_0, \vec{\Omega})$ осуществляют раздельное суммирование расстояний, пройденных лучом в зонах фантома и защиты, умноженных на плотность вещества в соответствующих зонах.

3.5. Возможный способ реализации алгоритма приведен в рекомендуемом приложении.

ПРИЛОЖЕНИЕ
Рекомендуемое

СПОСОБ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА (ПРОГРАММА ОРТИС)

1. Описание программы ОРТИС

1.1. Программа ОРТИС предназначена для расчета функций экранированности $\omega(\xi, \vec{r}_0)$, самоэкранированности $\omega_1(\xi_1, \vec{r}_0)$ и экранированности защитой $\omega_2(\xi_2, \vec{r}_0)$ точек \vec{r}_0 в объектах сложной геометрической конфигурации с непостоянными физическими свойствами по объему. Вычисление функции экранированности, определяемой выражением (2) настоящего стандарта, осуществляется методом Монте-Карло. Программа написана на языке Фортран и ориентирована на ЭВМ типа ЕС или БЭСМ-6. Время счета одного варианта зависит от сложности объекта и требуемой точности вычисляемого функционала. Блок-схема вычисления функционалов ω, ω_1 и ω_2 представлена на черт. 1 (в левом углу блоков указаны номера, соответствующие пунктам описания программы).

Передача информации между подпрограммами и связь их с управляющей программой осуществляется в виде описания COMMON-областей и путем задания формальных параметров.

1.2. Описание COMMON-областей

1.2.1. COMMON /AG/ UR, VV, WR, A (50, 10), RO (30),

где UR, VV, WR — рабочие ячейки;

A (50, 10) — массив коэффициентов, описывающих поверхности (задается в соответствии с таблицей настоящего стандарта;

RO (30) — плотность вещества в зоне

1.2.2. COMMON AG1/N, NZON, IT (50), NCF (50), MI (30), IPZ (30,6), ID (30,6), KPN (30),

где $N < 50$ — количество поверхностей, применяемое для задания объекта;

NZON < 30 — количество зон, применяемое для задания объекта (включая пустоты);

IT (I) < 14 , I = 1, ..., N — тип поверхности;

NCF (I) < 10 , I = 1, ..., N — максимальное количество коэффициентов, необходимое для задания поверхности I;

MI (K) < 6 , K = 1, ..., NZON — количество поверхностей, ограничивающих зону K;

IPZ (K, J) < 50 — порядковый номер поверхности, ограничивающей K-ю зону (K = 1, ..., NZON; J = 1, ..., MI(K));

KPN (K) — индекс материала в зоне K (предполагается, что индекс KPN = I, имеет вещество фантома).

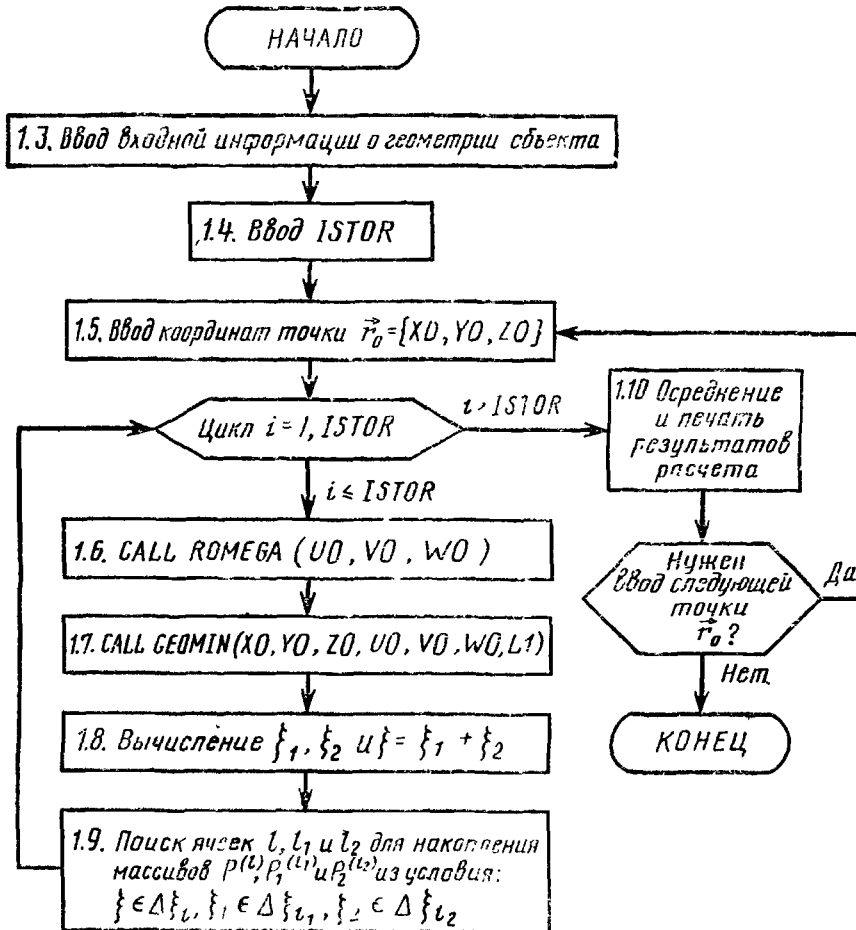
1.2.3. COMMON /AG2/ IDI (100), IP (100), SP (100), KP (100),

где IDI (100) — массив рабочих ячеек;

\vec{IP} (100) — массив порядковых номеров поверхностей, пересекаемых прямой в направлении $\vec{\Omega}$, в порядке очередности;

\vec{SP} (100) — массив расстояний от точки \vec{r}_0 , расположенной в объекте в направлении $\vec{\Omega}$, до пересечения с поверхностями в порядке возрастания ($\vec{SP}(1)=0$);

Блок-схема вычисления функций экранированности w , самоэкранированности w_1 и экранированности защиты w_2



Черт 1

\vec{KP} (100) — массив индексов материалов, пересекаемых лучом, в порядке очередности ($\vec{KP}(1)$ — индекс материала в зоне, содержащей точку \vec{r}_0);

$\vec{KP}=0$ — признак выхода из объекта.

1.3 Входная информация о геометрии объекта

Входная информация о геометрии объекта считывается с перфокарт и содержится в COMMON-областях, описанных в пп. 1.2.1 и 1.2.2.

В данной версии программы предусмотрено использование не более 50 поверхностей 1 и 2-го порядка (задаваемых в соответствии с таблицей настоящего стандарта) для описания геометрии объекта. Максимальное количество зон не превышает 30, причем, каждая зона должна быть ограничена не более, чем шестью поверхностями. Все расстояния задаются в сантиметрах, плотность вещества в зоне — в граммах на кубический сантиметр. При необходимости расширить число зон и поверхностей для описания объекта необходимо изменить соответствующие размерности в COMMON-областях

1.4. ISTOP — число истории, необходимое для расчета функций экранированности (рекомендуемое значение $\text{ISTOR} \geq 10000$).

1.5. $\vec{r}_0 = \{X_0, Y_0, Z_0\}$ — декартовы координаты точки \vec{r}_0 .

1.6. Подпрограмма ROMEGA (U_0, V_0, W_0) — подпрограмма для розыгрыша случайного направления вектора $\vec{\Omega}$, имеющего изотропное распределение; U_0, V_0, W_0 — направляющие косинусы вектора $\vec{\Omega}$ в декартовой системе координат. Подпрограмма использует датчик случайных чисел, равномерно распределенных на участке (0,1).

1.7. Подпрограмма GEOMIN ($X_0, Y_0, Z_0, U_0, V_0, W_0, L_1$) — основной модуль программы, предназначенный для вычисления расстояний от внутренней точки объекта $\vec{r}_0 = \{X_0, Y_0, Z_0\}$ в направлении $\vec{\Omega} = \{U_0, V_0, W_0\}$ до пересечения с поверхностями, описывающими объект, а также идентификация материалов, пересекаемых при этом лучом.

Выходная информация содержится в COMMON-области, описанной в п. 1.23, и параметре LI.

LI — максимальное количество пересечений (плюс 1) луча с поверхностями до выхода из объекта ($KP(LI) = 0$).

1.8. Вычисление толщин вещества фантома ξ_1 и защиты ξ_2 осуществляется раздельным суммированием расстояний, пройденных лучом в фантоме и защите в направлении $\vec{\Omega}$, умноженным на плотность вещества в соответствующих зонах

1.9. Анализируется попадание величин ξ_1 , ξ_2 и $\xi = \xi_1 + \xi_2$ в заданные интервалы толщин $\Delta\xi_l$.

В программе используется следующая сетка разбиения для $\{\xi_l\}$:

$\Delta\xi_l=1.$	$0 \ll \xi < 10$	$l=1, \dots, 10$
$\Delta\xi_l=2.$	$10 \ll \xi < 20$	$l=11, \dots, 15$
$\Delta\xi_l=5.$	$20 \ll \xi < 100$	$l=16, \dots, 31$
$\Delta\xi_l=10.$	$10 \ll \xi < 290$	$l=32, \dots, 50$

Все случаи, когда $\xi \geq 290$, фиксируются в накопителе $l=51$.

При попадании ξ ($\vec{r}_0, \vec{\Omega}$) в соответствующий интервал $\Delta\xi_l$ в накопитель информации $P^{(l)}$ добавляется 1.

1.10. Конечные функционалы получаются делением величин $P^{(l)}$ на число историй (ISTOR) и соответствующую ширину интервала $\Delta\xi_l$.

На печать выдаются распределения $w^{(l)}$, $w_1^{(l)}$ и $w_2^{(l)}$, $l=1, \dots, 50$, а также соответствующие величины вероятности:

$$P^{(l)} = w^{(l)} \cdot \Delta\xi_l; \quad P_1^{(l)} = w_1^{(l)} \cdot \Delta\xi_l \quad \text{и} \quad P_2^{(l)} = w_2^{(l)} \cdot \Delta\xi_l.$$

1.11. Пакет программ содержит все необходимые для проведения расчетов вспомогательные подпрограммы, включая датчик случайных чисел для ЕС ЭВМ (подпрограмма RANDU). Для проведения расчетов на ЭВМ БЭСМ-6 рекомендуется использовать генератор случайных чисел RNDN (библиотечная программа мониторингной системы «Дубна»). В этом случае необходимо заменить функцию RANNO на следующую:

```
FUNCTION RANNO (NMB)
RANNO=RNDM (-1)
RETURN
END
```


2. Инструкция по вводу исходных данных

№ п/к	Считываемый символ	Формат	Назначение символа
1	N, NZON, NMAT	313	N — число поверхностей; NZON — число зон; NMAT — число разных материалов
2—1 2—2 2—3	(IT (I), I=1, N)	2413	IT _i — тип i-й поверхности (в соответствии с таблицей настоящего стандарта) в порядке нумерации поверхностей. При N > 24 заносить данные на карты 2—2 и 2—3
3—1 3—2 3—3	(NCF (I), I=1, N)	2413	NCF _i — число вводимых коэффициентов (в соответствии с таблицей настоящего стандарта) в порядке нумерации поверхностей. При N > 24 заносить данные на карты 3—2 и 3—3
4—1 4—2	(MI(K), K=1, NZON)	2413	Число поверхностей, ограничивающих K-ю зону в порядке принятой нумерации зон. При NZON > 24 заносить данные на карту 4—2
5—1 . . . 5—NZON	((IPZ, (K, J), J=1,6), K=1, NZON)	613	Векторы поверхности j _K — номера поверхностей (в принятой нумерации), ограничивающих K-ю зону Требуется ввести п/к с 5—1 до 5—NZON
6—1 6—NZON	((ID (K, J), J=1,6), K=1, NZON)	613	Векторы неопределенности. $\vec{\alpha}_K(\vec{r}_K)$ — индексы неопределенности внутренней точки зоны K относительно ограничивающих ее поверхностей. Последовательность номеров поверхностей при описании зоны задается вектором \vec{J}_K . Требуется ввести п/к с 6—1 до 6—NZON
7—1 7—N	((A (I, J), J=1, NCF (I)), I=1, N)	6E10.0	Значения коэффициентов в уравнении i-й поверхности, задаваемой в соответствии с таблицей настоящего стандарта). Требуется ввести п/к с 7—1 до 7—N. Для поверхности общего вида, содержащей более 6 коэффициентов, информация вводится на 2-х п/к, т. е. 7—i—1 и 7—i—2.
8—1 8—2	(KPN (K), K=1, NZON)	2413	Номер материала, расположенного в K-й зоне, в соответствии с принятой нумерацией. Значение KPN=1 принято для вещества фантома При NZON > 24 заносить данные на п/к 8—2
9—1	(RO (I), I=1, NMAT)	6E10.0	Плотность вещества в соответствии с принятой нумерацией (см п/к 8). При числе различных веществ, большем 6, данные заносить на п/к 9—1, 9—2, . . .
9—5 10	ISTOR	16	Число историй, необходимое для оценки интегралов ω , ω_1 , ω_2 (рекомендуется ≥ 10000)
11—1	X0, Y0, Z0	3E10.0	Координаты точки \vec{r}_0 , в которой производится расчет функций ω , ω_1 и ω_2 Требуется столько п/к, сколько вариантов расчета для разных точек \vec{r}_0 в данном объекте

3. Текст программы ОРТИС

```

0048      606 CONTINUE
C
0049      IF (IDENT) 511, 511, 512
0050      512 READ 5, XC, YC, ZC, UO, VO, WO
0051      CALL GEOMIN(XC, YC, ZC, UO, VO, WO, L1)
0052      PRINT 70, XC, YC, ZC, UO, VO, WO
0053      70 FORMAT(2X, 3(E10.3), 5X, 3(E10.3))
0054      PRINT 71, L1
0055      71 FORMAT(9X, I4)
0056      DO 81 IZ=1, L1
0057      PRINT 72, IP(IZ), SP(IZ+1), KP(IZ)
0058      72 FORMAT(5X, I4, 5X, E10.3, 5X, I4)
0059      81 CONTINUE
0060      GO TO 502
0061      511 READ 11, ISTORE
0062      11 FORMAT(I6)
0063      13 CONTINUE
0064      READ 12, XO, YO, ZO
0065      12 FORMAT(3E10.0)
C
0066      DO 306 IN=1, 100
0067      DOPT(IN)=0.
0068      DOPT1(IN)=0.
0069      DOPT2(IN)=0.
0070      DOPT3(IN)=0.
0071      DOPT4(IN)=0.
0072      DOPT5(IN)=0.
0073      306 CONTINUE
C
0074      DO 400 IS=1, ISTORE
0075      CALL ROMEGA(UO, VO, WO)
0076      CALL GEOMIN(XC, YC, ZC, UO, VO, WO, L1)
0077      DL=0.
0078      DL1=0.
0079      DL2=0.
0080      DO 308 KL=2, L1
0081      NL=KL-1
0082      IF (KP(NL).EQ.0) GO TO 307
0083      IF (KP(NL).GT.1) GO TO 351
0084      DL1=DL1+SP(KL)-SP(NL)
0085      GO TO 308
0086      351 DL2=DL2+(SP(KL)-SP(NL))*RD(KP(NL))
0087      308 CONTINUE
0088      307 CONTINUE
0089      DL=DL1+DL2
C
0090      IND=INDEX(DL)
0091      IND1=INDEX(DL1)
0092      IND2=INDEX(DL2)
C
0093      DOPT(IND)=DOPT(IND)+1.
0094      DOPT1(IND1)=DOPT1(IND1)+1.
0095      DOPT2(IND2)=DOPT2(IND2)+1.
0096      400 CONTINUE
C
0097      PRINT 220
0098      PRINT 430, ISTORE, XC, YC, ZC
0099      430 FORMAT(7I0X, 'ЧИСЛО ИСТОРИЙ =', I6, 5X, 'КООРДИНАТЫ ТОЧКИ', 2X, 'XO=',

```

```

*E10.3,'( )',2X,'YO=',E10.3,'(CM)',2X,'ZO=',E10.3,'(CM)',2X,'
0100 PRINT 420
0101 PRINT 450
0102 450 FORMAT('1',10X,'DIL',2X,' P ',7X,' W ',10X,' P1 ',7X,' V1
1',10X,' 62 ',10X,' 1)
0103 PRINT 222
0104 222 FORMAT('12',10X,'/CM**2)',6X,' ',6X,'(CM**2/Γ)',7X,' ',6X,'(CM**2
*2/Γ)',9X,' ',6X,'(CM**2/Γ)')
0105 PRINT 420
C
DO 500 IL=1,50
DOPT(IL)=DOPT(IL)/ISTOR
DOPT1(IL)=DOPT1(IL)/ISTOR
DOPT2(IL)=DOPT2(IL)/ISTOR
IF(IL.LT.11) GO TO 501
IF(IL.LT.14) GO TO 502
IF(IL.LT.32) GO TO 503
IL1=(IL-32)*10+100
IL2=IL1+10
DOPT3(IL)=DOPT(IL)*0.1
DOPT4(IL)=DOPT1(IL)*0.1
DOPT5(IL)=DOPT2(IL)*0.1
GO TO 504
501 IL1=IL-1
IL2=IL1+1
DOPT3(IL)=DOPT(IL)
DOPT4(IL)=DOPT1(IL)
DOPT5(IL)=DOPT2(IL)
GO TO 504
502 IL1=(IL-11)*2+10
IL2=IL1+2
DOPT3(IL)=DOPT(IL)*0.5
DOPT4(IL)=DOPT1(IL)*0.5
DOPT5(IL)=DOPT2(IL)*0.5
GO TO 504
503 IL1=(IL-16)*5+20
IL2=IL1+5
DOPT3(IL)=DOPT(IL)*0.2
DOPT4(IL)=DOPT1(IL)*0.2
DOPT5(IL)=DOPT2(IL)*0.2
504 CONTINUE
PRINT 410,IL,IL1,IL2,DOPT(IL),DOPT3(IL),DOPT1(IL),DOPT4(IL),
*DOPT2(IL),DOPT5(IL)
410 FORMAT(2X,I3,5X,I4,'-',I4,2X,2(2X,E10.3),3X,2(2X,E10.3),3X,2(2X,
*E10.3))
500 CONTINUE
PRINT 220
220 FORMAT(/2X,110(1H*)/)
GO TO 13
END
SUBROUTINE GEOMIN(XO,YO,ZO,UO,VO,WO,L1)
COMMON/AG/UR,VV,WR,A(50,10),RO(30)
COMMON/AG1/N,NZON,IT(50),NCF(50),MI(30),IPZ(30,6),ID(30,6),KPN(30)
COMMON/AG2/IDI(100),IP(100),SP(100),KP(100)
SP(1)=0.0
IP(1)=0

```

```

0007      L1=1
0008      CALL STS(X0,Y0,Z0,U0,V0,W0,L1)
0009      IF(L1-2)23,45,4
0010 44      L=L1-1
0011      DO 46 J=2,L
0012      A1=SP(J)
0013      K1=0
0014      JV=J+1
0015      DO 47 I=JV,L1
0016      IF(A1.LE.SP(I)) GO TO 47
0017      A1=SP(I)
0018      K1=I
0019      I1=I
0020 47      CONTINUE
0021      IF(K1)40,46,48
0022 48      SI=SP(J)
0023      I2=IP(J)
0024      IP(J)=IP(I1)
0025      IP(I1)=I2
0026      SP(J)=A1
0027      SP(I1)=SI
0028 46      CONTINUE
0029 45      CONTINUE
0030      DO 19 J=2,L1
0031      I=IP(J)
0032      DO 19 J1=1,NZON
0033      J5=KPN(J1)
0034      J2=MI(J1)
0035      DO 20 J3=1,J2
0036      J4=IPZ(J1,J3)
0037      IF(IDI(J1,J3)*IDI(J4))20,19,19
0038 20      CONTINUE
0039      KP(J-1)=J5
0040      IDI(I)=-1*IDI(I)
0041      GO TO 1
0042 19      CONTINUE
0043      KP(J-1)=0
0044      IDI(I)=-1*IDI(I)
0045      1 CONTINUE
0046 18      CONTINUE
0047      KP(L1)=0
0048 23      CONTINUE
0049      RETURN
0050      END
0001      FUNCTION RANNO(NMB)
0002      C      *** РАЗБОР СЛУЧАЙНОГО ЧИСЛА НА ОТРЕЗКЕ (0,1) ***
0003      DATA IX/1/
0004      CALL RANDU(IX,IY,YFL)
0005      IX=IY
0006      RANNO=YFL
0007      RETURN
0008      END
0001      SUBROUTINE RANDU(IX,IY,YFL)
0002      IY=IY+65539
0003      IF(IY.5,5-6
0004      IY=IY+2147483647+1

```

```

0005      6 YFL=IY
0006      YFL=YFL*.4656613F-9
0007      RETURN
0008      END

0001      SUBROUTINE ROMEGA(UQ,VF,WD)
0002      DATA NMR/1/
0003      CALL CSTI(CFI,SFI)
0004      CTET=1.-2.*RANNO(NMR)
0005      STET=SQRT(1.-CTET**2)
0006      UQ=STET*CFI
0007      WD=STET*SFI
0008      WQ=CTET
0009      RETURN
0010      END

0001      SUBROUTINE CROSS(UQ,VR,WR,L1,SP,IP,I1)
0002      DIMENSION SP(100),IP(100)
0003      IF(WR)1,2,1
0004      2 IF(VF.NE.0.0) GO TO 3
0005      RETURN
0006      1 D=VR*VR-UR*WR
0007      IF(D)5,9,4
0008      9 S=-VR/W
0009      IF(S.LE.0.0) GO TO 5
0010      L1=L1+1
0011      SP(L1)=S
0012      IP(L1)=I1
0013      RETURN
0014      3 S=-UR/(2*VR)
0015      IF(S.LE.0.0) GO TO 6
0016      L1=L1+1
0017      SP(L1)=S
0018      IP(L1)=I1
0019      6 RETURN
0020      4 D=SQRT(D)
0021      S=(-VR-D)/WR
0022      IF(S.LE.0.0) GO TO 7
0023      L1=L1+1
0024      SP(L1)=S
0025      IP(L1)=I1
0026      7 S=(-VR+D)/WR
0027      IF(S.LE.0.0) GO TO 8
0028      L1=L1+1
0029      SP(L1)=S
0030      IP(L1)=I1
0031      8 RETURN
0032      END

0001      SUBROUTINE STS(X0,Y0,Z0,UC,VC,WC,L1)
0002      COMMON/AG/UR,VR,WR,A(9,10),RD(30)
0003      COMMON/AC1/N,NZON,IT(50),NCF(50),MI(30),IP7(30,6),ID(30,6),KPN(30)
0004      COMMON/AG2/IDI(100),IP(100),SP(100),KP(100)
0005      DO 17 I1=1,4
0006      I=IT(I1)
0007      GO TO (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14),I
0008      1 CALL TPI(I1,X0,U0,IDD)
0009      GO TO 15

```

```

0010      2 CALL TIP1(I1,Y0,V0,IDD)
0011      GO TO 15
0012      3 CALL TIP1(I1,Z0,W0,IDD)
0013      GO TO 15
0014      4 CALL TIP2(I1,Z0,Y0,V0,W0,IDD)
0015      GO TO 15
0016      5 CALL TIP2(I1,Z0,X0,U0,W0,IDD)
0017      GO TO 15
0018      6 CALL TIP2(I1,Y0,X0,U0,V0,IDD)
0019      GO TO 15
0020      7 CALL TIP3(I1,X0,Y0,Z0,U0,V0,W0,IDD)
0021      GO TO 15
0022      8 CALL TIP3(I1,Y0,X0,Z0,V0,U0,W0,IDD)
0023      GO TO 15
0024      9 CALL TIP3(I1,Z0,X0,Y0,W0,U0,V0,IDD)
0025      GO TO 15
0026      10 CALL TIP4(I1,Y0,Z0,W0,IDD)
0027      GO TO 15
0028      11 CALL TIP4(I1,X0,Z0,U0,W0,IDD)
0029      GO TO 15
0030      12 CALL TIP4(I1,X0,Y0,U0,V0,IDD)
0031      GO TO 15
0032      13 CALL TIP5(I1,X0,Y0,Z0,U0,V0,W0,IDD)
0033      GO TO 15
0034      14 CALL TIP6(I1,X0,Y0,Z0,U0,V0,W0,IDD)
0035      15 CALL CROSS(U0,V0,W0,L1,SP,IP,I1)
0036      INT(I1)=IDD
0037      17 CONTINUE
0038      RETURN
0039      END

```

```

0001      FUNCTION INDEX(OL)
0002      C      *** ВЫЧИСЛЕНИЕ НОМЕРА УЧАСТКА ДЛЯ ЗАДАННОГО РАЗБИЕНИЯ ТОЛЩИН ***
0003      IF(OL-10.) 402,402,403
0004      402 IND=OL
0005      IND=IND+1
0006      GO TO 410
0007      403 IF(OL-20.) 404,404,405
0008      404 XIND=(OL-10.)/2.
0009      IND=XIND+11
0010      GO TO 410
0011      405 IF(OL-100.) 406,406,407
0012      406 XIND=(OL-20.)/5.
0013      IND=XIND+16
0014      GO TO 410
0015      407 IF(OL-200.) 408,408,409
0016      408 XIND=(OL-100.)/10.
0017      IND=XIND+32
0018      GO TO 410
0019      409 IND=51
0020      410 CONTINUE
0021      INDEX=IND
0022      RETURN
0023      END

```

```

0001      SUBROUTINE TIP1(I1,X,U,IDD)
0002      COMMON/AG/UR,VV,WR,A(5,10),R0(3)
0003      UR=-A(I1,1)+X
0004      IDD=-1
0005      IF(UR.GT.0.0) IDD=1
0006      VV=U/2
0007      WR=0.0
0008      RETURN
0009      END

0001      SUBROUTINE TIP2(I1,Z,Y,V,W,IDD)
0002      COMMON/AG/UR,VV,WR,A(5,10),R0(3)
0003      S=A(I1,3)-A(I1,1)
0004      S1=A(I1,4)-A(I1,2)
0005      UR=S*(A(I1,2)-Z)-S1*(A(I1,1)-V)
0006      IDD=-1
0007      IF(UR.GT.0.0) IDD=1
0008      VV=S1/2*V-S/2*W
0009      WR=0.0
0010      RETURN
0011      END

0001      SUBROUTINE TIP3(I1,X,Y,Z,U,V,W,IDD)
0002      COMMON/AG/UR,VV,WR,A(5,10),R0(3)
0003      S=A(I1,4)*A(I1,5)-A(I1,6)*A(I1,3)
0004      S=-S
0005      S1=A(I1,5)-A(I1,3)
0006      S2=A(I1,6)-A(I1,4)
0007      UR=(S1*X+S)*Z-S2*S*(A(I1,1)-Y)*Z+(A(I1,2)-Z)*Z
0008      UR=-UR
0009      VV=X*U*S1**2+S1*S*U+S2*S2*(V*(A(I1,1)-Y)+Z*(A(I1,2)-Z))
0010      VV=-VV
0011      IDD=-1
0012      IF(UR.GT.0.0) IDD=+1
0013      WR=S1*S1*U*U-S2*S2*(V*V+W*W)
0014      WR=-WR
0015      RETURN
0016      END

0001      SUBROUTINE TIP4(I1,Y,Z,V,W,IDD)
0002      COMMON/AG/UR,VV,WR,A(5,10),R0(3)
0003      S=A(I1,1)*A(I1,4)
0004      S1=A(I1,3)*A(I1,2)
0005      S2=A(I1,2)*A(I1,4)
0006      UR=S*S+S1*S1-S2*S2-2*S*A(I1,4)*Y-2*S1*Y+A(I1,2)*Z
0007      UR=A(I1,4)*Z**2+Y*Y+A(I1,2)**2*Z*Z
0008      IDD=-1
0009      IF(UR.GT.0.0) IDD=1
0010      VV=-S*A(I1,4)*V-S*A(I1,2)*W+A(I1,4)*Z*V+Y*(A(I1,2)*Z*Z)
0011      WR=A(I1,4)**2*V*V+A(I1,2)**2*W*W
0012      RETURN
0013      END

```



```

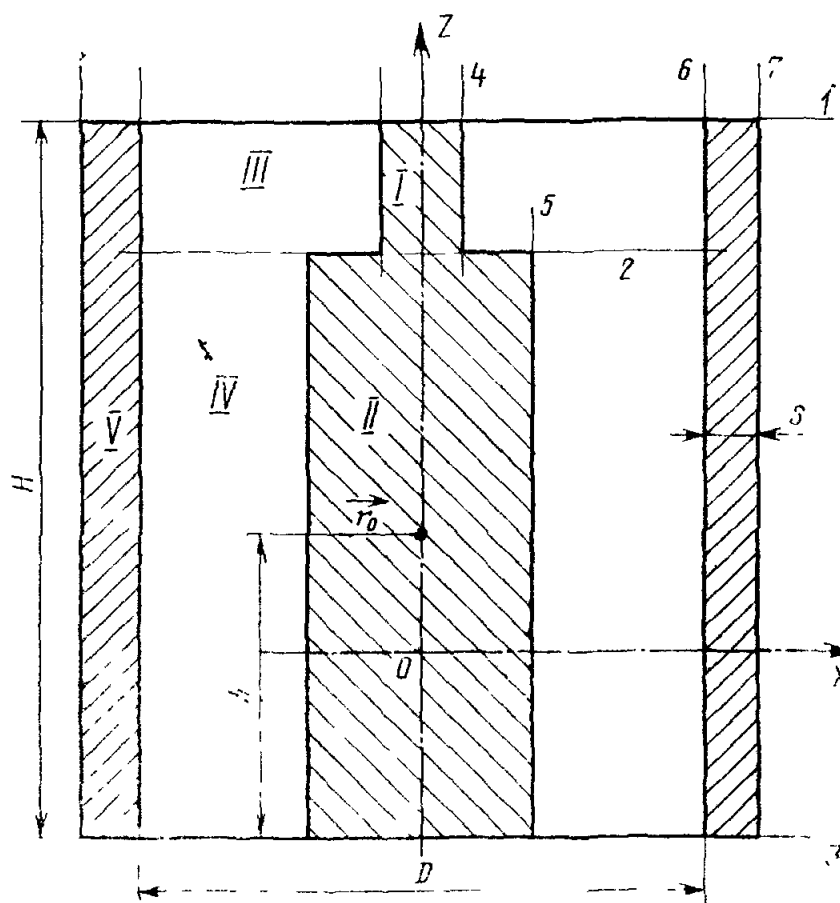
0001      C=C*U, ( F T1, ( I1,X,Y,Z,U,V,W,IDD)
0002      COMMON/AG/UR,VV,WR,A(5,10),RO(30)
0003      S=A(I1,4)*A(I1,1)
0004      S1=A(I1,2)*A(I1,6)
0005      S2=A(I1,4)*A(I1,2)
0006      UR=A(I1,1)*C**2+A(I1,3)**2*S1*S1+A(I1,5)**2*S2-A(I1,2)**2
1*S*S-A(I1,1)*S*S*X-2*A(I1,1)*S1*S1*Y-2*A(I1,5)*S2*S2*Z+
2*S*S-X*Y+S1*S1*Y*Y+S2*S2*Z*Z
0007      IDD=-1
0008      IF(UR,GT,0) IDD=1
0009      VV=-A(I1,1)*C*S*U-A(I1,3)*S1*S1*V-A(I1,5)*C**2*S2*W+
1*S*S*U*X+S1*S1*V*Y+S2*S2*W*Z
0010      WR=S*S*U*U+S1*S1*V*V+C**2*S2*W*W
0011      RETURN
0012      END
0001      SUBROUTINE TIP6(I1,X,Y,Z,U,V,W,IDD)
0002      COMMON/AG/UR,VV,WR,A(5,10),RO(30)
0003      UR=A(I1,1)+A(I1,2)*X+A(I1,3)*Y+A(I1,4)*Z+A(I1,8)*X*Y+A(I1,9)*Y*
IZ+A(I1,10)*X*Z A(I1,5)*X*X+A(I1,6)*Y*Y+A(I1,7)*Z*Z
0004      IDD=-1
0005      IF(UR,GT,0) IDD=1
0006      VV=-0.5*(A(I1,2)*U+A(I1,3)*V+A(I1,4)*W)+A(I1,5)*U*X+A(I1,6)*V*Y+
1A(I1,7)*W*Z+0.5*(A(I1,8)*(V*Y+U*Y)+A(I1,9)*(W*Y+V*Z)+A(I1,10)*
2(W*X+U*Z))
0007      WR=A(I1,5)*U*U+A(I1,6)*V*V+A(I1,7)*W*W+A(I1,9)*U*V+A(I1,10)*V*
1+A(I1,10)*U*W
0008      F=1.0/N
0009      END
0001      SUBROUTINE COS(C)
0002      *** ПОЯВЛЯЮТСЯ ПУЧКИ КОСИНУСОВ (C) И SINUS (S) ***
0003      DATA NMB/1/
0004      FI=RANNO(NMB) 6.285
0005      C=COS(FI)
0006      S=SIN(FI)
0007      RETURN
0008      END

```

4. Пример расчета

Объектом расчета является цилиндрический фантом, задаваемый в соответствии с ГОСТ, экранированный с боков цилиндрическим слоем алюминия высотой (H) 127 см с внутренним диаметром (D) 100 см и толщиной стенки (S) 10 см. Точка \vec{r}_0 расположена на оси Z на высоте (h) 54 см. Геометрия объекта приведена на черт. 2. Пакет входных данных для задачи и результаты расчетов по программе OPTIC представлен ниже. Время счета данного примера ~2 мин на ЭВМ ЕС 1040.

Геометрия объекта



1, 2, ..., 7—номера, присвоенные поверхностям ($N=7$); I, II, ..., V—
 номера, присвоенные зонам ($NZON=5$);
 вещество фантома — в зонах I и II; вакуум — в зонах III и IV;
 алюминий в зоне V, ($NMAT=3$)

Черт. 2

ГОРЯЧИЙ (IMAX= 7)

I	IN	IT	MP	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
1	3	3	1	0.94E 02							
2	3	3	1	0.73E 02							
3	3	3	1	-0.33E 02							
4	12	12	4	0.00	0.70E 01	0.00	0.11E 02				
5	12	12	4	0.00	0.20E 02	0.00	0.10E 02				
6	12	12	4	0.00	0.50E 02	0.00	0.50E 02				
7	12	12	4	0.00	0.60E 02	0.00	0.60E 02				

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ (NMAX= 5)

I	MI	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	KPN	RO(Г/СМ ³)
1	3	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	0.10E 01
2	3	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	0.10E 01
3	4	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	2	0.00
4	4	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	2	0.00
5	4	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	3	0.27E 01

ЧИСЛО ИСТОРИИ = 10000 КООРДИНАТЫ ТОЧКИ X0= 0.0 (CM), Y0= 0.0 (CM), Z0= 0.210F 02(CM).

IL	DIL (Г/СМ**2)	P	W (СМ**2/Г)	P1	W1 (СМ** 2/Г)	P2	W2 (СМ**2/Г)
1	0	0	0	0	0	0.218E-00	0.218E-00
2	1	0	0	0	0	0.140E-02	0.140E-02
3	2	0	0	0	0	0.120E-02	0.120E-02
4	3	0	0	0	0	0.160E-02	0.160E-02
5	4	0	0	0	0	0.120E-02	0.120E-02
6	5	0	0	0	0	0.150E-02	0.150E-02
7	6	0	0	0	0	0.210E-02	0.210E-02
8	7	0	0	0	0	0.200E-02	0.200E-02
9	8	0	0	0	0	0.170E-02	0.170E-02
10	9	0	0	0	0	0.195E-02	0.195E-02
11	10	0	0	0	0	0.145E-02	0.145E-02
12	11	0	0	0	0	0.125E-02	0.125E-02
13	12	0	0	0	0	0.166E-01	0.166E-01
14	13	0	0	0	0	0.421E-01	0.421E-01
15	14	0	0	0	0	0.148E-02	0.148E-02
16	15	0	0	0	0	0.0	0.0
17	16	0	0	0	0	0.0	0.0
18	17	0	0	0	0	0.0	0.0
19	18	0	0	0	0	0.0	0.0
20	19	0	0	0	0	0.0	0.0
21	20	0	0	0	0	0.0	0.0
22	21	0	0	0	0	0.0	0.0
23	22	0	0	0	0	0.0	0.0
24	23	0	0	0	0	0.0	0.0
25	24	0	0	0	0	0.0	0.0
26	25	0	0	0	0	0.0	0.0
27	26	0	0	0	0	0.0	0.0
28	27	0	0	0	0	0.0	0.0
29	28	0	0	0	0	0.0	0.0
30	29	0	0	0	0	0.0	0.0
31	30	0	0	0	0	0.0	0.0
32	31	0	0	0	0	0.0	0.0
33	32	0	0	0	0	0.0	0.0
34	33	0	0	0	0	0.0	0.0
35	34	0	0	0	0	0.0	0.0
36	35	0	0	0	0	0.0	0.0
37	36	0	0	0	0	0.0	0.0
38	37	0	0	0	0	0.0	0.0
39	38	0	0	0	0	0.0	0.0
40	39	0	0	0	0	0.0	0.0
41	40	0	0	0	0	0.0	0.0
42	41	0	0	0	0	0.0	0.0
43	42	0	0	0	0	0.0	0.0
44	43	0	0	0	0	0.0	0.0
45	44	0	0	0	0	0.0	0.0
46	45	0	0	0	0	0.0	0.0
47	46	0	0	0	0	0.0	0.0
48	47	0	0	0	0	0.0	0.0
49	48	0	0	0	0	0.0	0.0
50	49	0	0	0	0	0.0	0.0

Редактор *С. М. Бобарыкина*
Технический редактор *Н. В. Келейникова*
Корректор *В. М. Смирнова*

Сдано в наб. 08.05.84 Подп. в печ. 23.10.84 2,5 усл. п. л. 2,75 усл. кр.-отг. 2,0 уч.-изд. л.
Тир. 4000 Цена 10 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП,
Новопресненский пер., 3.
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зак. 378