ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 25645.165— 2025

ЛУЧИ КОСМИЧЕСКИЕ СОЛНЕЧНЫЕ

Вероятностная модель потоков протонов

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2026

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (АО «ЦНИИмаш»), Научно-исследовательским институтом ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (НИИЯФ МГУ)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 101 «Метрологическое обеспечение измерений физических полей в околоземном космическом пространстве, магнитосфере, ионосфере и атмосфере»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 декабря 2025 г. № 1610-ст

4 ВЗАМЕН ГОСТ Р 25645.165—2001

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2026

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЛУЧИ КОСМИЧЕСКИЕ СОЛНЕЧНЫЕ

Вероятностная модель потоков протонов

Solar energetic particles. Probabilistic model for proton fluxes

Дата введения — 2026—01—31

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает вероятностные энергетические спектры суммарных потоков (флюенсов) и пиковых потоков протонов солнечных космических лучей с энергией $E \geq 1$ МэВ в околоземном пространстве вне магнитосферы Земли для условий изменяющегося уровня солнечной активности.

Стандарт предназначен для использования в расчетах радиационного воздействия протонов солнечных космических лучей на технические устройства, материалы, биологические и другие объекты, находящиеся в космическом пространстве.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 25645.103 Условия физические космического пространства. Термины и определения

ГОСТ 25645.105 Лучи космические солнечные. Термины и определения

ГОСТ 25645.302 Расчеты баллистические искусственных спутников Земли. Методика расчета индексов солнечной активности

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 25645.103, ГОСТ 25645.105, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **солнечные космические лучи;** СКЛ: Потоки заряженных частиц высоких энергий (более 1 МэВ/нуклон) солнечного происхождения.

3.2 **число Вольфа:** Относительное число солнечных пятен, определяемое ежесуточно.

Примечание — Определение числа солнечных пятен — по ГОСТ 25645.302.

Издание официальное

3.3 **уровень солнечной активности:** Сглаженное среднемесячное число Вольфа.

3.4 **флюенс протонов (интегральный поток):** Отношение числа протонов, проникающих в элементарную сферу за определенный промежуток времени, к площади центрального поперечного сечения этой сферы.

3.5 **пиковый поток протонов:** Максимальное количество протонов, падающее в единицу времени в единице телесного угла на единичную площадку, перпендикулярную к направлению наблюдения (в одном или нескольких событиях СКЛ, произошедших за определенный промежуток времени).

3.6 **дифференциальный энергетический спектр флюенса протонов:** Дифференциальное распределение флюенса протонов по энергии.

3.7 **дифференциальный энергетический спектр пикового потока протонов:** Дифференциальное распределение пикового потока протонов СКЛ по энергии.

3.8 **вероятность превышения флюенса:** Вероятность, с которой флюенс протонов превышает заданное значение.

3.9 **вероятность превышения пикового потока:** Вероятность, с которой пиковый поток протонов превышает заданное значение.

4 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

$<W>$ — сглаженный среднемесячный уровень солнечной активности;

$W_{1.0}$ — значения Международных чисел Вольфа версии 1.0;

$W_{2.0}$ — значения Международных чисел Вольфа версии 2.0;

$Ф (\geq E)$ — интегральный флюенс протонов с энергиями $\geq E$, $см^{-2}$;

$Ф (E)$ — дифференциальный энергетический спектр флюенса протонов, $(см^2 \cdot МэВ)^{-1}$;

f — пиковый поток протонов, $(см^2 \cdot ср \cdot с)^{-1}$;

$f(E)$ — дифференциальный энергетический спектр пикового потока протонов, $(см^2 \cdot ср \cdot с \cdot МэВ)^{-1}$;

E — кинетическая энергия протона, МэВ;

E_0 — энергия покоя протона, МэВ;

E_k — значение энергии, соответствующее перегибу в энергетическом спектре (точка перегиба), МэВ;

$<n>$ — ожидаемое в среднем число солнечных протонных событий (СПС);

П — вероятность превышения флюенса или пикового потока протонов;

C — спектральный коэффициент в единицах $[(см^2 \cdot МэВ)^{-1}]$ — для флюенса и $[(см^2 \cdot с \cdot ср \cdot МэВ)^{-1}]$ — для пикового потока;

γ_1, γ_2 — спектральные индексы.

5 Основные положения

5.1 Модель устанавливает в виде дифференциальных энергетических спектров значение флюенсов и пиковых потоков протонов, превышение которых в условиях заданного уровня солнечной активности $<W(t)>$ на временном интервале T ожидается с заданной вероятностью П.

5.2 Уровень солнечной активности характеризуют числом Вольфа $<W>$, усредненным за 13 мес.

Значения Международных чисел Вольфа версии 2.0 ($W_{2.0}$), публикуемых с 2015 г., для 19-го и последующих циклов солнечной активности выше чисел Вольфа предыдущей версии ($W_{1.0}$), в 1,4 раза.

5.3 Угловое распределение потоков СКЛ в межпланетном пространстве полагается в среднем изотропным.

5.4 Дифференциальные энергетические спектры флюенсов протонов $Ф(E)$ или пиковых потоков $f(E)$ протонов [обобщенно $F(E)$] задают в форме зависимости

$$F(E)=\begin{cases} C\left(\dfrac{E}{E_k}\right)^{-\gamma_1}, & \text{при } E<E_k \\ C\left(\dfrac{p(E)}{p(E_k)}\right)^{-2\gamma_2}, & \text{при } E\geq E_k \end{cases}, \quad (1)$$

где E — кинетическая энергия протона, МэВ;

$p(E)$ — импульс протона, МэВ, вычисляемый по формуле

$$p(E)=\sqrt{E(E+2E_0)}, \quad (2)$$

где E_0 = 938 МэВ — энергия покоя протона.

5.5 Дифференциальные энергетические спектры флюенсов протонов или пиковых потоков протонов по формуле (1) определяют, используя четыре коэффициента: C, E_k, γ_1, γ_2.

Каждый из коэффициентов является функцией двух параметров модели — среднего ожидаемого числа СПС <n> и вероятности П.

5.6 К параметрам модели относятся:

- вероятность П превышения флюенса или пикового потока протонов кинетической энергии протонов E, задаваемого дифференциальным энергетическим спектром флюенсов протонов Ф(E) или пиковых потоков $f(E)$по формуле (1);
- среднее ожидаемое число СПС с флюенсом Ф(≥30 МэВ) ≥ 10^5 см$^{-2}$ – <n>.

5.7 Среднее ожидаемое число СПС с флюенсом Ф(≥30 МэВ) ≥ 10^5 см$^{-2}$ – <n> при продолжительности периода времени (длительности полета) полета T, равной M месяцам, вычисляют по формуле

$$<n>=0{,}0130\sum_{i=1}^{M}<W_{1.0}^{(i)}>, \quad (3)$$

где $<W_{1.0}^{(i)}>$ — сглаженное среднемесячное число Вольфа версии 1.0 в i-м месяце,
или по формуле

$$<n>=0{,}00925\sum_{i=1}^{M}<W_{2.0}^{(i)}>, \quad (4)$$

где $<W_{2.0}^{(i)}>$ — сглаженное среднемесячное число Вольфа версии 2.0 в i-м месяце.

5.8 При расчетах среднего ожидаемого числа СПС с флюенсом Ф (≥30 МэВ) ≥ 10^5 см$^{-2}$ — <n> для истекшего момента времени используют действительные среднемесячные значения чисел Вольфа; для будущих моментов времени при использовании прогноза солнечной активности по ГОСТ 25645.302 среднемесячные числа Вольфа вычисляют путем линейной интерполяции среднеквартальных чисел Вольфа, рассчитанных по ГОСТ 25645.302.

5.9 Значения коэффициентов C, E_k, γ_1 и γ_2 дифференциальных энергетических спектров флюенсов протонов или пиковых потоков протонов для набора наиболее часто встречающихся на практике параметров модели — вероятности П, равной 0,9; 0,75; 0,5; 0,25; 0,1; 0,01; 0,001 и ожидаемых в среднем количеств событий <n>, равных 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, приведены в таблицах 1—8. Параметры энергетических спектров для промежуточных значений параметров модели вычисляют по табличным данным методами интерполяции.

Таблица 1 — Десятичный логарифм спектрального коэффициента C, $(см^2 \cdot МэВ)^{-1}$, для Ф(E) при вероятности П

<n>	0,9	0,75	0,5	0,25	0,1	0,01	0,001
1	—	—	6,041	7,241	7,991	8,732	9,442
2	—	6,076	7,041	7,775	8,253	8,983	9,600
4	6,378	6,972	7,870	8,173	8,571	9,236	9,732
8	7,324	7,874	8,220	8,520	8,820	9,442	9,860
16	8,140	8,380	8,630	8,859	9,010	9,647	9,982
32	8,640	8,820	8,986	9,137	9,367	9,810	10,190
64	9,037	9,176	9,322	9,465	9,671	9,978	10,210
128	9,441	9,556	9,658	9,799	9,942	10,127	10,320
256	9,829	9,899	9,989	10,104	10,199	10,360	10,440
512	10,143	10,233	10,303	10,405	10,479	10,577	10,613

Таблица 2 — Точка перегиба E_k, МэВ, для Ф(E) при вероятности П

<n>	0,9	0,75	0,5	0,25	0,1	0,01	0,001
1	—	—	9,715	8,279	9,636	18,240	16,067
2	—	9,809	8,700	9,900	12,732	17,540	15,756
4	9,900	9,500	8,500	11,689	14,380	16,720	15,182
8	9,545	8,946	9,500	13,250	16,500	16,092	14,518
16	7,983	8,500	12,100	14,454	16,800	15,449	14,455
32	9,429	12,087	13,321	15,200	15,970	14,782	14,373
64	12,123	12,898	13,700	14,992	14,645	14,562	14,580
128	13,185	13,424	14,179	14,397	14,276	14,468	14,800
256	13,499	13,745	14,083	14,087	14,024	13,984	14,918
512	14,384	13,992	14,152	13,698	13,596	13,672	14,757

Таблица 3 — Спектральный индекс γ_1 для Ф(E) при вероятности П

<n>	0,9	0,75	0,5	0,25	0,1	0,01	0,001
1	—	—	1,681	1,619	1,464	1,375	1,398
2	—	1,677	1,671	1,538	1,420	1,375	1,418
4	1,710	1,640	1,530	1,461	1,400	1,380	1,440
8	1,674	1,583	1,490	1,430	1,392	1,390	1,460
16	1,549	1,472	1,449	1,400	1,390	1,400	1,480
32	1,480	1,450	1,430	1,400	1,389	1,420	1,507
64	1,440	1,433	1,409	1,402	1,392	1,440	1,530
128	1,434	1,418	1,409	1,398	1,400	1,450	1,542
256	1,420	1,412	1,406	1,400	1,411	1,450	1,537
512	1,421	1,411	1,408	1,407	1,412	1,451	1,477

Таблица 4 — Спектральный индекс γ_2 для Ф(E) при вероятности П

<n>	0,9	0,75	0,5	0,25	0,1	0,01	0,001
1	—	—	3,218	3,089	2,986	2,772	2,560
2	—	3,217	3,120	3,027	2,910	2,689	2,507
4	3,192	3,150	3,050	2,970	2,840	2,610	2,470
8	3,136	3,065	2,980	2,900	2,870	2,556	2,425
16	3,060	2,990	2,920	2,837	2,700	2,520	2,390
32	3,000	2,940	2,870	2,779	2,650	2,500	2,360
64	2,950	2,870	2,803	2,730	2,620	2,474	2,350
128	2,906	2,822	2,757	2,675	2,602	2,460	2,360
256	2,859	2,777	2,718	2,655	2,593	2,460	2,400
512	2,809	2,743	2,699	2,641	2,580	2,469	2,440

Таблица 5 — Десятичный логарифм спектрального коэффициента C, $(см^2 \cdot с \cdot ср \cdot МэВ)^{-1}$, для $f(E)$ при вероятности П

<*n*>	0,9	0,75	0,5	0,25	0,1	0,01	0,001
1	—	—	0,190	1,340	2,037	2,882	3,617
2	—	0,238	1,097	1,800	2,320	3,124	3,799
4	0,668	1,111	1,744	2,160	2,560	3,340	3,945
8	1,356	1,720	2,080	2,420	2,800	3,540	4,134
16	1,820	2,070	2,360	2,682	3,037	3,723	4,270
32	2,150	2,330	2,600	2,921	3,279	3,893	4,430
64	2,387	2,585	2,868	3,182	3,500	4,064	4,570
128	2,678	2,845	3,072	3,401	3,684	4,253	4,700
256	2,930	3,083	3,348	3,600	3,852	4,390	4,780
512	3,111	3,316	3,549	3,790	3,989	4,520	4,870

Таблица 6 — Точка перегиба E_k, МэВ, для $f(E)$ при вероятности П

<*n*>	0,9	0,75	0,5	0,25	0,1	0,01	0,001
1	—	—	9,872	8,642	10,86	19,52	16,76
2	—	9,356	9,059	8,333	14,20	18,80	15,83
4	7,979	8,854	9,700	12,730	17,70	17,81	15,00
8	8,334	8,957	12,120	15,600	18,50	16,85	13,90
16	8,915	11,910	13,900	18,300	19,13	16,10	13,10
32	12,600	15,200	18,280	19,200	18,21	15,25	12,71
64	17,016	18,400	19,330	18,780	16,85	14,15	10,80
128	19,096	19,780	19,780	17,600	16,06	12,97	9,70
256	19,765	19,710	18,500	16,700	15,50	12,00	8,80
512	20,513	18,580	16,800	15,630	14,84	11,11	7,80

Таблица 7 — Спектральный индекс γ_1 для $f(E)$ при вероятности П

<*n*>	0,9	0,75	0,5	0,25	0,1	0,01	0,001
1	—	—	1,650	1,601	1,459	1,349	1,394
2	—	1,650	1,590	1,490	1,393	1,351	1,424
4	1,644	1,590	1,522	1,426	1,374	1,365	1,454
8	1,600	1,510	1,450	1,400	1,353	1,385	1,480
16	1,510	1,430	1,400	1,370	1,354	1,410	1,514
32	1,434	1,382	1,370	1,360	1,356	1,445	1,570
64	1,379	1,360	1,360	1,346	1,366	1,480	1,650
128	1,333	1,338	1,352	1,360	1,390	1,526	1,720
256	1,332	1,347	1,357	1,378	1,415	1,570	1,786
512	1,350	1,359	1,376	1,413	1,456	1,630	1,823

Таблица 8 — Спектральный индекс γ_2 для $f(E)$ при вероятности П

<*n*>	0,9	0,75	0,5	0,25	0,1	0,01	0,001
1	—	—	3,224	3,110	2,988	2,784	2,488
2	—	3,198	3,140	3,040	2,920	2,692	2,451
4	3,180	3,120	3,070	2,963	2,840	2,584	2,400
8	3,130	3,050	2,989	2,882	2,760	2,490	2,380
16	3,080	2,970	2,907	2,850	2,680	2,430	2,357
32	3,000	2,890	2,830	2,730	2,610	2,480	2,340
64	2,930	2,820	2,750	2,640	2,520	2,350	2,328
128	2,860	2,750	2,670	2,560	2,457	2,340	2,320
256	2,794	2,660	2,592	2,486	2,420	2,340	2,310
512	2,724	2,607	2,520	2,439	2,388	2,340	2,300

УДК 523.98:524.1:006.354 ОКС 17.240

Ключевые слова: лучи космические солнечные, потоки протонов, вероятностная модель, флюенс протонов, пиковый поток протонов, уровень солнечной активности

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *И.Ю. Литовкиной*

Сдано в набор 04.12.2025. Подписано в печать 12.01.2026. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,15.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru