ОЦЕНКА ЭФФЕКТА МАЛЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В МНОГОВАРИАНТНЫХ РАСЧЕТАХ ПО ПРОГРАММЕ ПРИЗМА-Д

Я.З.Кандиев, А.А.Малахов, Е.В.Серова,
С.Г.Спирина. (РФЯЦ ВНИИТФ)

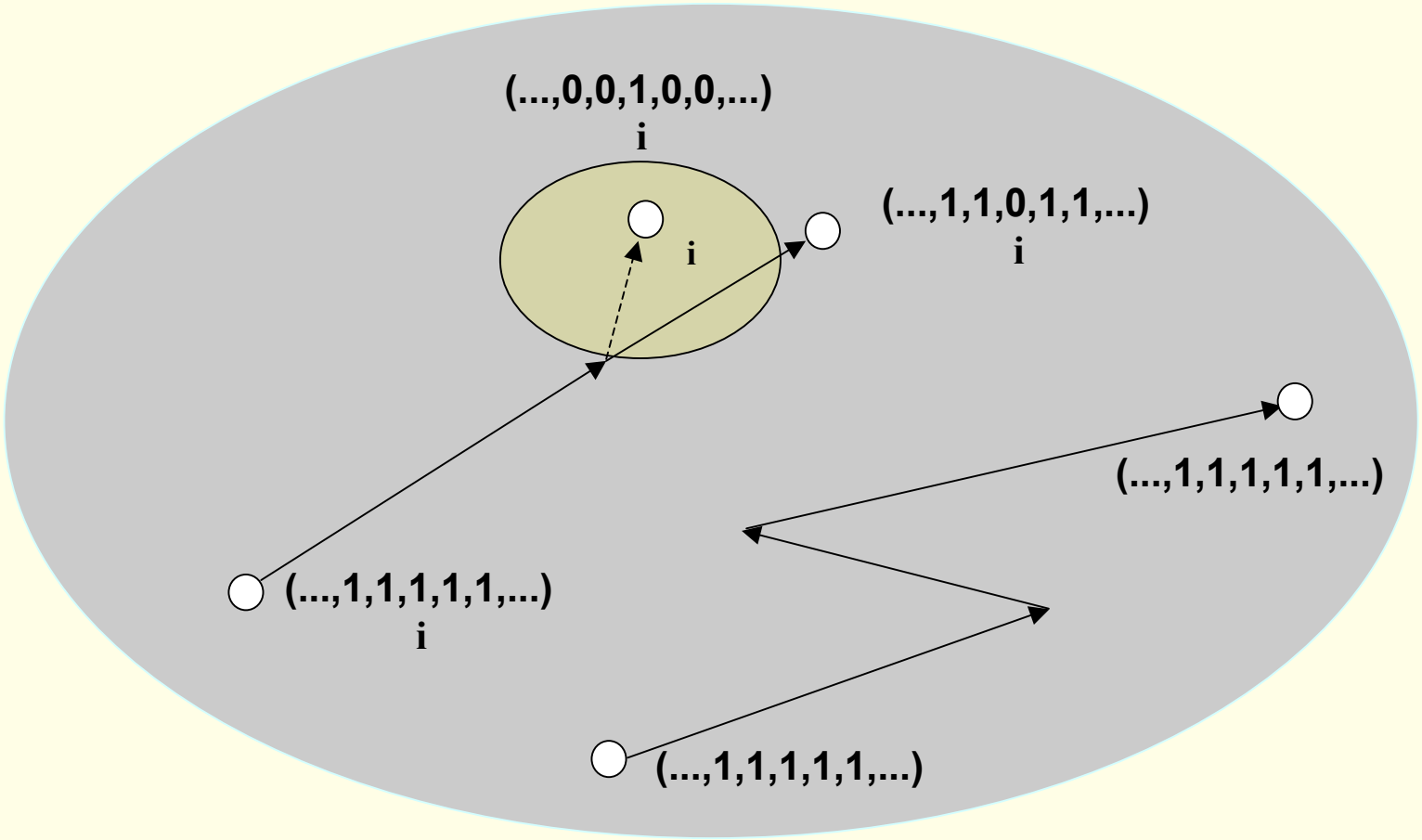
- Оценка Кэфф – эффективный коэффициент размножения нейтронов, tж – среднее время жизни нейтрона от деления до деления, νср – среднее число частиц, рожденных при делении;
- получение некоторых параметров (флюенс, спектр, доза) поля (n,γ) – излучения в ближней зоне реактора;
- воздействие (n,γ) – излучения на системы, помещенные в зоне реактора;
- выход (n,γ) – излучения реактора через коллиматор и моделирование траекторий частиц для получения результатов в системах за коллиматором;
- для задач ядерной безопасности производятся расчеты Кэфф и числа нейтронов, пересекающих контейнер для двух случаев: без зеркального отражения на границе контейнера и с зеркальным отражением;

Моменты пометки частиц:

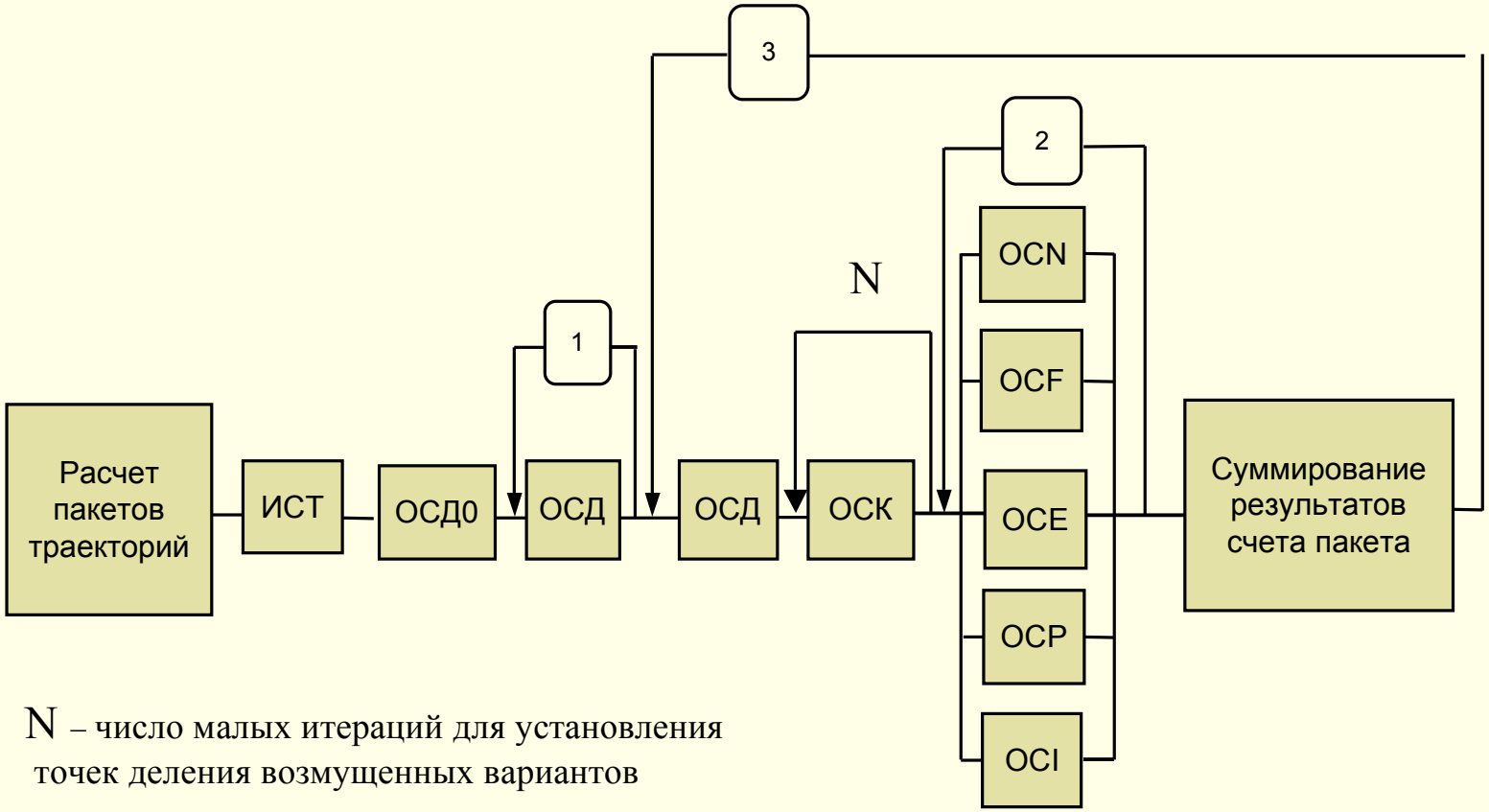
- в источнике, после получения начальных параметров частицы;
- в момент соударения частицы;
- после выбора типа взаимодействия;
- после розыгрыша соударения;
- в момент пересечения частицей поверхности, отделяющей одну область от другой.

- Варианты с меняющимся составом. Варианты отличаются составом вещества, заполняющего объем V.
- Варианты с нарастающим объемом V. Размеры объема меняются по правилу: $V(1) = V1$, $V(2) = V1 + V2$,..., $V(k) = V1 + V2 + ... + Vk$.
- Варианты с перемещающимся объемом. Варианты отличаются тем, что объемы $V(i)$, $i = 1,\ldots,k$ помещаются в разные места системы, причем эти объемы могут различаться геометрией и составом.
- Варианты с возмущением концентрации. Меняется концентрация элементов вещества, заполняющих некоторую область системы.

Расщепление частицы при попадании в область i-го возмущения



Блок-схема программы ПРИЗМА_Д



N – число малых итераций для установления точек деления возмущенных вариантов

Относительная эффективность многовариантного расчета

$$\sigma(\Delta K_i) = \sigma(K_0 - K_i)$$ - независимые результаты

$$\sigma'(\Delta K_i) = \sigma'(K_0 - K_i)$$ - коррелированные результаты

$$\alpha_i = \frac{\sigma'(\Delta K_i)}{\sigma(\Delta K_i)}, i = \overline{0,k}$$

$$V_i = \begin{cases} \alpha_i^2, \alpha_i > 1 \\ 0, \alpha_i = 1 \\ -1/\alpha_i^2, \alpha_i < 1 \end{cases}$$

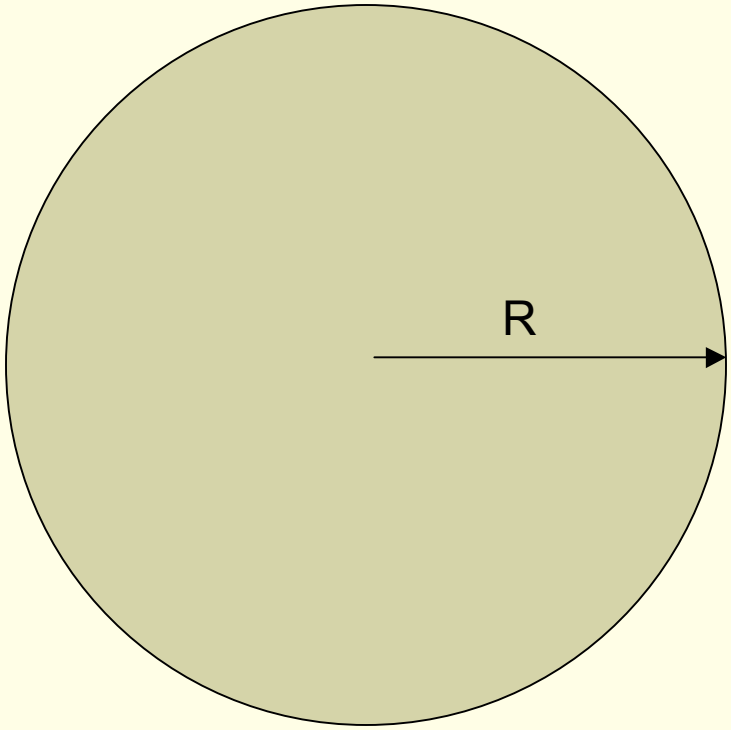
Выигрыш многовариантного расчета по сравнению с независимыми расчетами равен

$$V = \frac{T_{\acute{I}}}{\grave{O}_{\grave{I}}} * \sum V_i,$$

$T_{\acute{I}}$ - полное время независимых расчетов

$T_{\grave{I}}$ - время многовариантного расчета

Критическая сборка Godiva



Однородный шар

R=8.741см,

Состав:

U^{235} - 94.73%,

U^{238} - 5.27%

Плотность:

18.74г/см3

Задача с меняющейся плотностью

Зависимость ΔКэфф от возмущения плотности в сборке Godiva

Ro, г/см^3	$\Delta \hat{E}_{?\hat{o}\,\hat{o}}(\sigma)$			
	MCNP, í åçàâèñèì û é ∂àñ÷åò	MCNP, êî∂∂åëèî âàí í û é ∂àñ÷åò	Ï DÈÇÌ À-Ä, í åçàâèñèì û é ∂àñ÷åò	Ï DÈÇÌ À-Ä, êî∂∂åëèî âàí í û é ∂àñ÷åò
18.74	0.998063 (0.080)		0.99987 (0.0041)	0.99975 (0.020)
18.8			0.00261 (2.22)	0.002648 (0.081)
19.0			0.011500 (0.50)	0.01144 (0.082)
19.4			0.028910 (0.20)	0.02885 (0.084)
20.0	0.05499 (2.1)	0.05282 (0.28)	0.054580 (0.11)	0.05453 (0.087)
21.1	0.09467 (1.17)	0.09302 (0.3)	0.100370 (0.059)	0.10028 (0.095)
23.5	0.19389 (0.6)	0.18683 (0.34)	0.194380 (0.032)	0.1941 (0.12)
26.0	0.28256 (0.43)	0.27110 (0.38)	0.283790 (0.022)	0.2833 (0.18)

Выигрыш :

$$(744.4+37.2+5.7+1.6-2.6-14.1-67.0)*\frac{8}{1}\approx 5600$$

Задача с меняющейся концентрацией

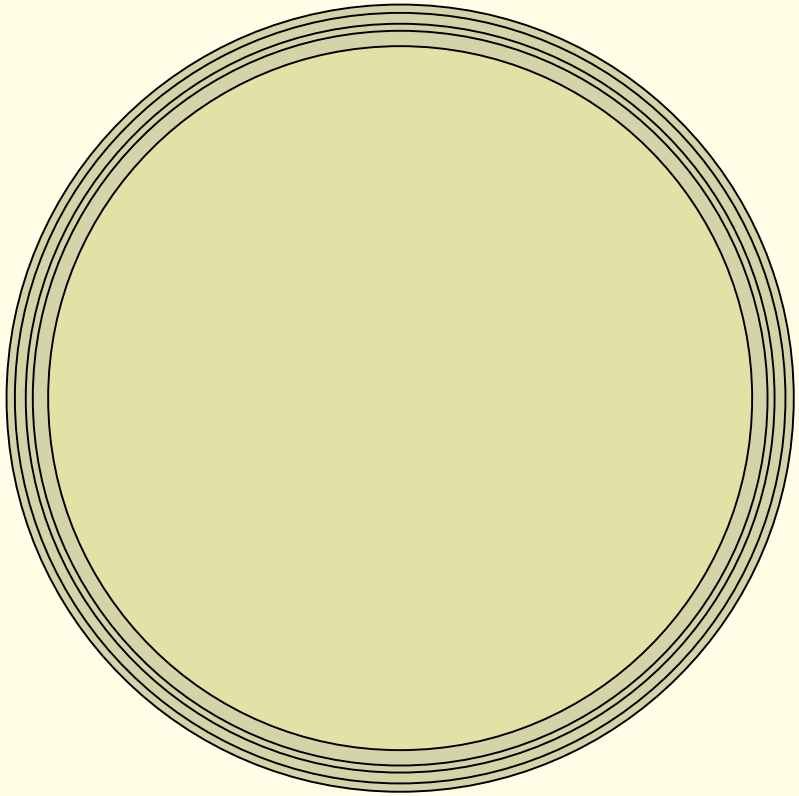
Зависимость ΔКэфф от возмущения концентрации U^{238} в сборке Godiva

U^{238},%	Δ (σ)			
	MCNP,	MCNP,		
5.27			0.999920 (0.0023)	0.999957 (0.0047)
6.0			-0.00381 (2.2)	-0.003772 (0.066)
7.5			-0.01164 (0.52)	-0.01159 (0.058)
10.0			-0.02481 (0.28)	-0.02482 (0.048)
13.0	-0.04233 (2.85)	-0.04251 (1.98)	-0.04102 (0.16)	-0.04105 (0.041)
26.0	-0.12292 (0.9)	-0.11749 (2.9)	-0.11620 (0.049)	-0.11613 (0.042)
38.0	-0.20778 (0.54)	-0.19346 (3.83)	-0.19338 (0.032)	-0.1927 (0.16)
50.0	-0.30269 (0.36)	-0.28273 (4.7)	-0.27988 (0.025)	-0.2810 (0.47)

Выигрыш :

$$(1111+80.4+34+15.2+1.4-25-353.4)^{*}\frac{1}{14} \approx 61.6$$

Задача с нарастающим объемом



8 вариантов

невозмущенный вариант - сборка Godiva, описанная выше,

в последующих вариантах происходило наращивание шара слоем U^{238},

радиус сборки менялся от 8.741см до 9.6см.

Задача с нарастающим объемом

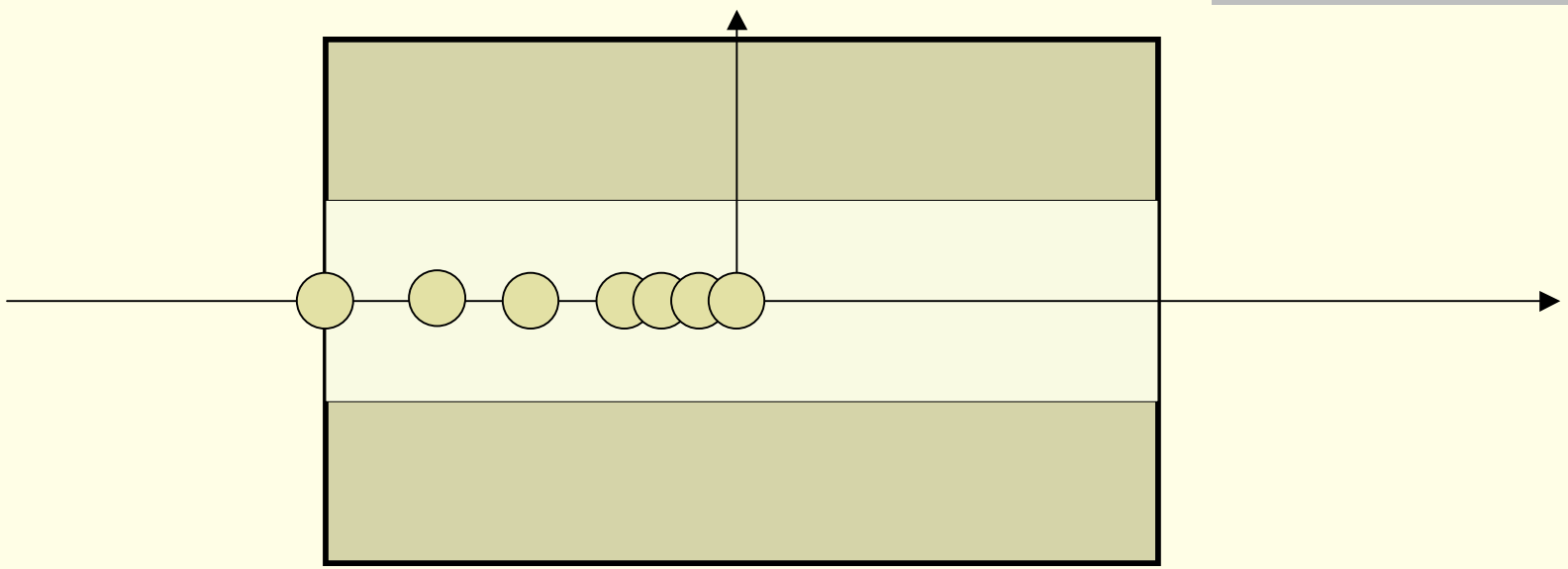
Зависимость Кэфф и ΔКэфф от радиуса сборки Godiva

Dàäèóñ, ñì	Ï DÈÇÌ À-Ä, í åçàâèñèì û é ∂àñ÷åò, Ê?ôô	Ï DÈÇÌ À-Ä, í åçàâèñèì û é ∂àñ÷åò, ΔÊ?ôô	Ï DÈÇÌ À-Ä, êî∂∂åëèîâàíí û é ∂àñ÷åò, Ê?ôô	Ï DÈÇÌ À-Ä, êî∂∂åëèîâàíí û é ∂àñ÷åò, ΔÊ?ôô
8.741	0.99988 (0.0098)		1.0001 (0.080)	
9.0	1.0175 (0.0102)	-0.0176 (8.1)	1.0181 (0.072)	-0.01808 (0.90)
9.1	1.0238 (0.0099)	-0.0239 (5.9)	1.0246 (0.070)	-0.02454 (0.79)
9.2	1.0302 (0.0100)	-0.0303 (4.7)	1.0309 (0.068)	-0.03079 (0.72)
9.3	1.0362 (0.0100)	-0.0363 (3.9)	1.0368 (0.065)	-0.03676 (0.66)
9.4	1.0420 (0.0100)	-0.0421 (3.4)	1.0426 (0.064)	-0.04256 (0.62)
9.5	1.0476 (0.0100)	-0.0477 (3.0)	1.0483 (0.062)	-0.04820 (0.59)
9.6	1.0531 (0.0100)	-0.0540 (2.7)	1.0536 (0.060)	-0.05355 (0.56)

Выигрыш :

$$(80.8+55.6+42.6+34.9+30.0+25.8+23.2)^{*}\frac{8}{1}\approx 2300$$

Задача с перемещающимся объемом



Цилиндр Rц = 10см со сквозным каналом Rк = 4см.

Длина цилиндра 20см.

Состав: U^{235} - 0.99235%, U^{238} - 0.00747%.

Рассматривалось движение вдоль канала сферической капли R=1.5см, заполненной абсолютным поглотителем.

Задача с перемещающимся объемом

Зависимость Кэфф и ΔКэфф от положения капли в канале

_____ __ _____ _____ ,__	_ __ __ _ -_, _____ _ _ _____, _ __	_ __ __ _ -_, _____ _ _ _____, Δ_ __	_ __ __ _ -_, _____ _ _ _____, _ __	_ __ __ _ -_, _____ _ _ _____, Δ_ __
∞	1.001311 (0.0034)		1.001199 (0.0077)	
-10.0	1.001088 (0.0034)	0.000223 (21.6)	1.001008 (0.0077)	0.000191 (1.5)
-7.5	0.998437 (0.0035)	0.00287 0 (1.7)	0.998319 (0.0078)	0.00288 (0.36)
-5.0	0.993444 (0.0034)	0.007867 (0.6)	0.993267 (0.0079)	0.00793 (0.21)
-3.0	0.989505 (0. 0035)	0.011806 (0.4)	0.989411 (0.0079)	0.0117 9 (0.17)
-2.0	0.988041 (0.0035)	0.013260 (0.4)	0.987979 (0.0080)	0.01322 (0.16)
-1.0	0.987110 (0.0035)	0.014200 (0.3)	0.987092 (0.0080)	0.0141 1 (0.15)
0.0	0.98680 (0.00 35)	0.014511 (0.3)	0.986772 (0.0080)	0.0144 3 (0.15)

Выигрыш :

$$(207.4+22.2+8.4+5.8+5.3+5.1+4.8)*\frac{8}{2} \approx 1036$$

Выводы:

- Реализованный метод МИД наиболее эффективно “работает” при малых возмущениях. В случае, когда эффект возмущения превышает 10% от оцениваемой величины, метод в некоторых случаях начинает проигрывать по сравнению с независимыми расчетами вариантов.
- Главный недостаток метода заключается в необходимости задавать число малых итераций: с одной стороны, при большом числе итераций существенно увеличивается время расчета, с другой стороны, при очень малом числе итераций точки деления возмущенных вариантов не успевают выйти на распределение по собственной функции.