

КВА метод распараллеливания вычислений при решении уравнения переноса нейтронов на неструктурированных сетках

Л.П.Басс, С.А.Гайфулин, О.В.Николаева

Институт Прикладной Математики им. М.В.Келдыша РАН

КВА (Koch Baker Adams)

Уравнение переноса нейтронов. Сеточная задача

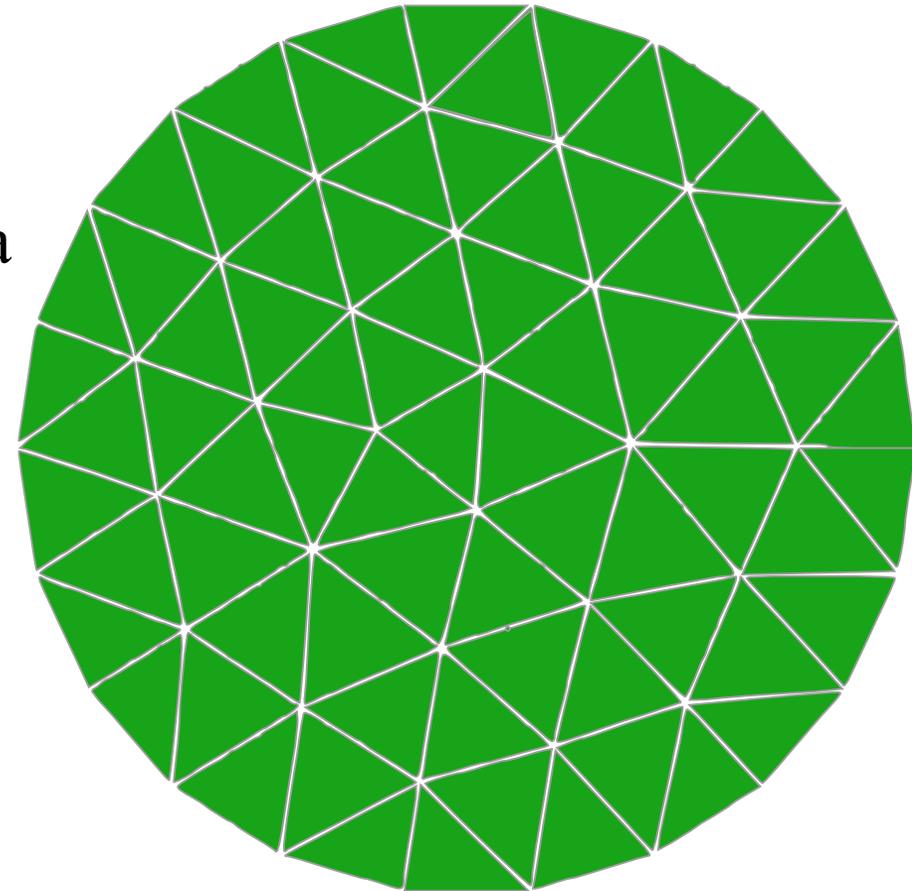
$$\hat{\mathbf{L}}\psi = \hat{\mathbf{S}}\psi + \mathbf{Q} \quad \psi_b = \mathbf{f}$$

ψ - вектор, содержащий значения решения (потока нейтронов) в ячейках, на внутренних гранях и на «выходных» граничных гранях

ψ_b - вектор, содержащий значения решения (потока нейтронов) на «входных» граничных гранях

$\hat{\mathbf{L}}$ - матрица, аппроксимирующая дифференциальный оператор переноса

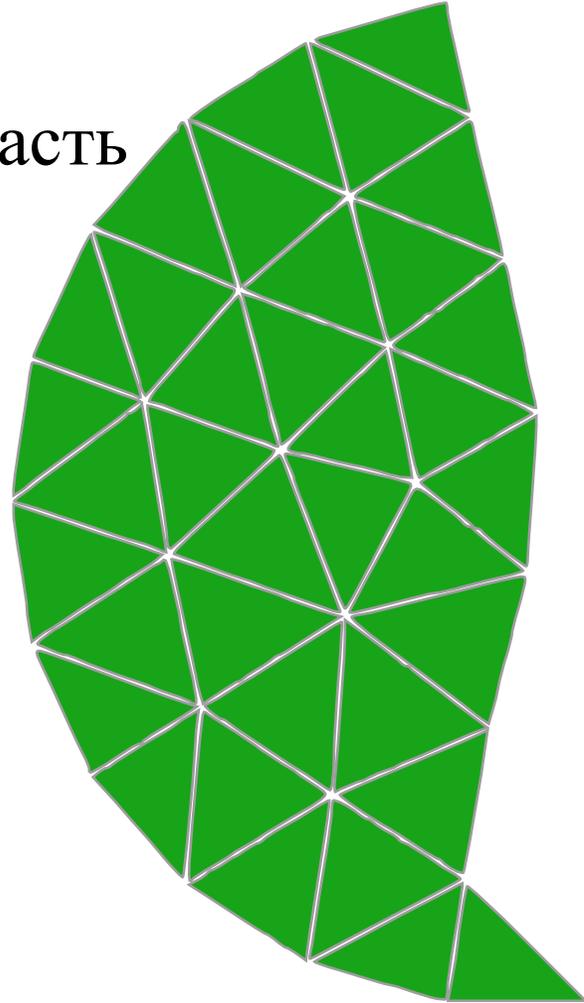
$\hat{\mathbf{S}}$ - матрица, аппроксимирующая интегральный оператор рассеяния



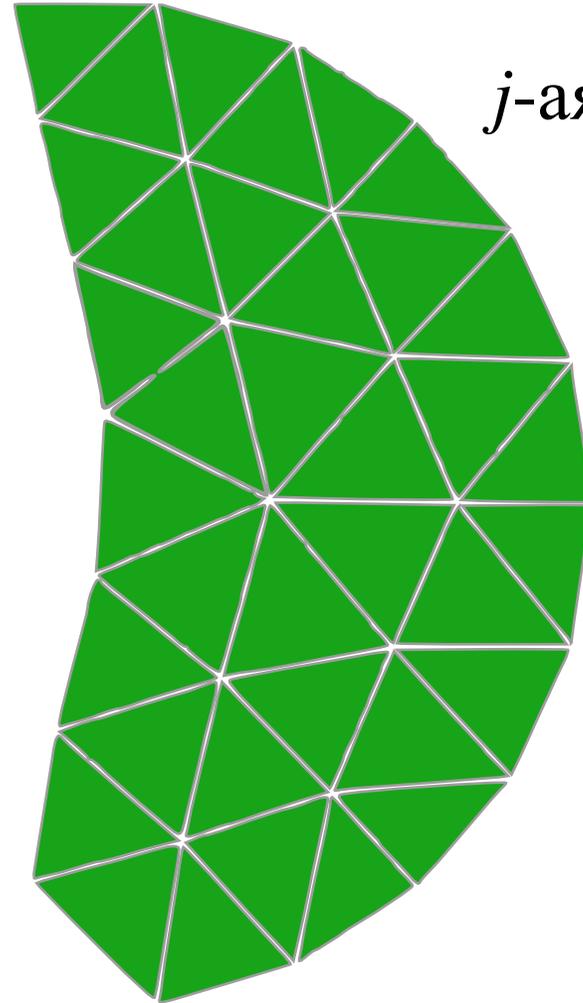
Параллельный алгоритм

$$\hat{\mathbf{L}}_i \boldsymbol{\psi}_i = \hat{\mathbf{S}}_i \boldsymbol{\psi}_i + \mathbf{Q}_i \quad \boldsymbol{\psi}_{b,i} = \mathbf{f}(\boldsymbol{\psi}_{b,j})$$

i -ая подобласть



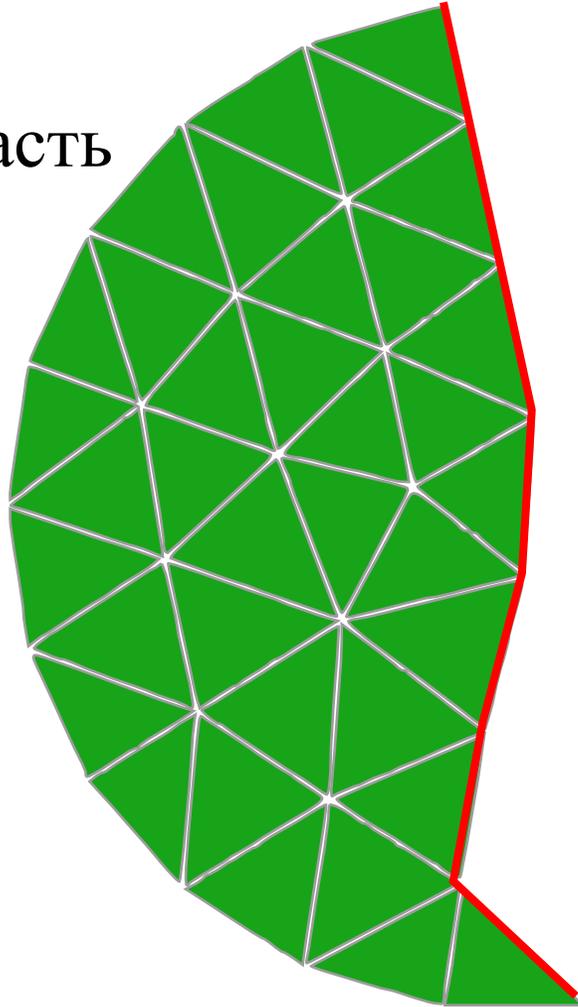
j -ая подобласть



BI (Boundary Iteration) метод

$$\hat{\mathbf{L}}_i^{n+1} \boldsymbol{\Psi}_i = \hat{\mathbf{S}}_i^n \boldsymbol{\Psi}_i + \mathbf{Q}_i \quad \boldsymbol{\Psi}_{b,i}^{n+1} = \mathbf{f}(\boldsymbol{\Psi}_{b,j}^n)$$

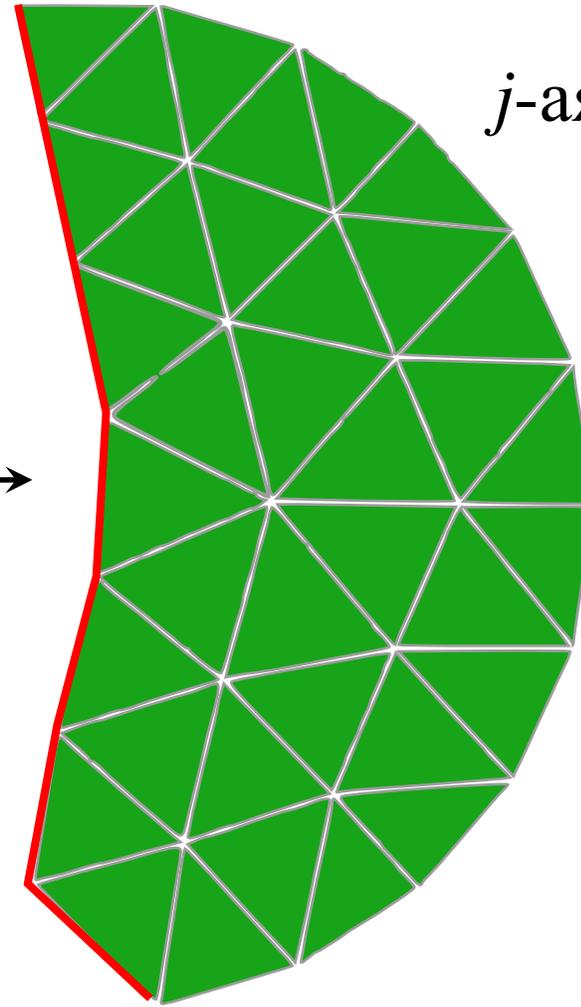
i-ая подобласть



Обмены



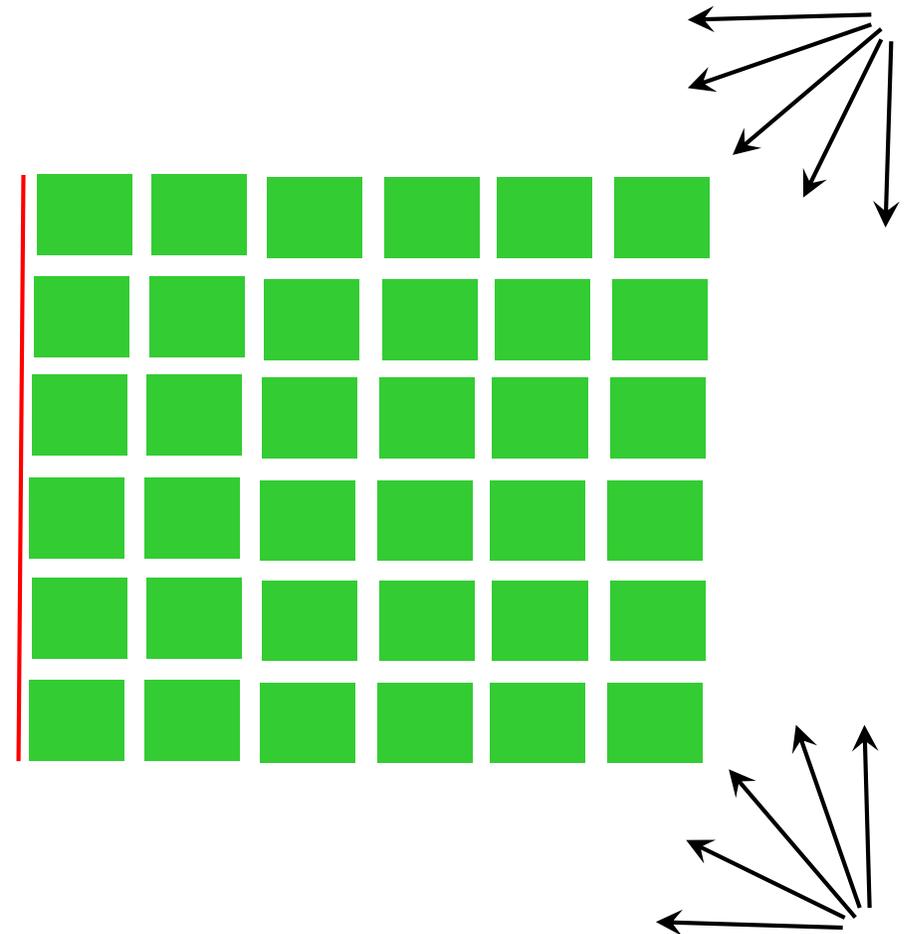
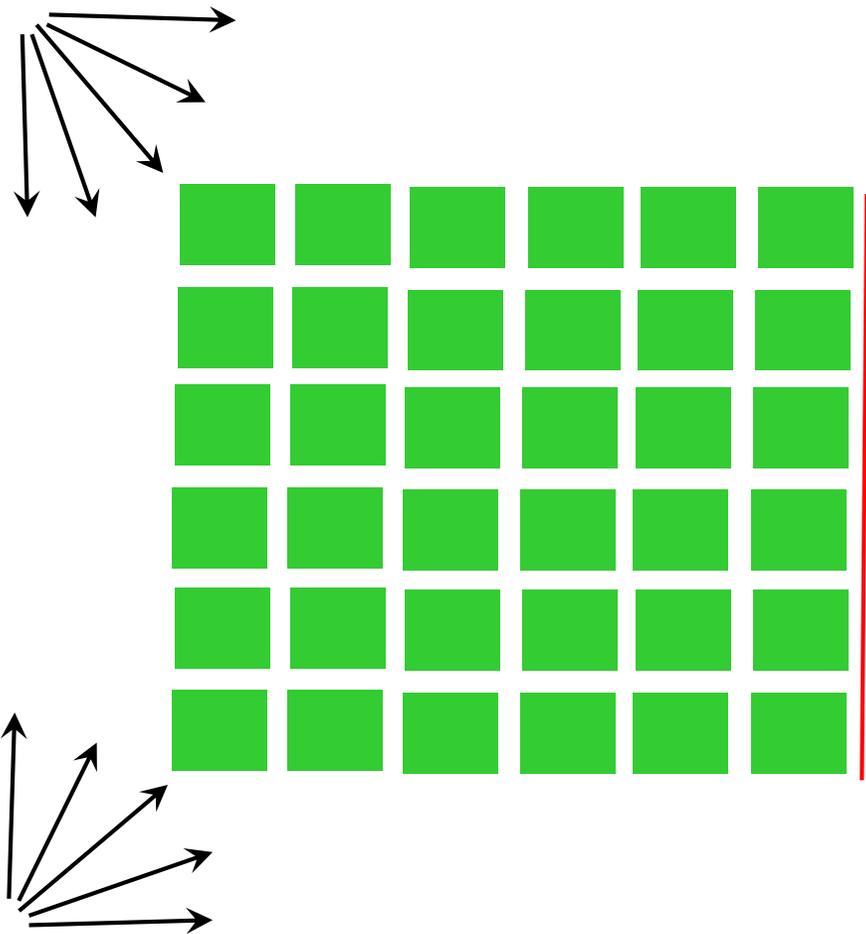
j-ая подобласть



КВА (Koch Baker Adams) метод. Регулярные сетки

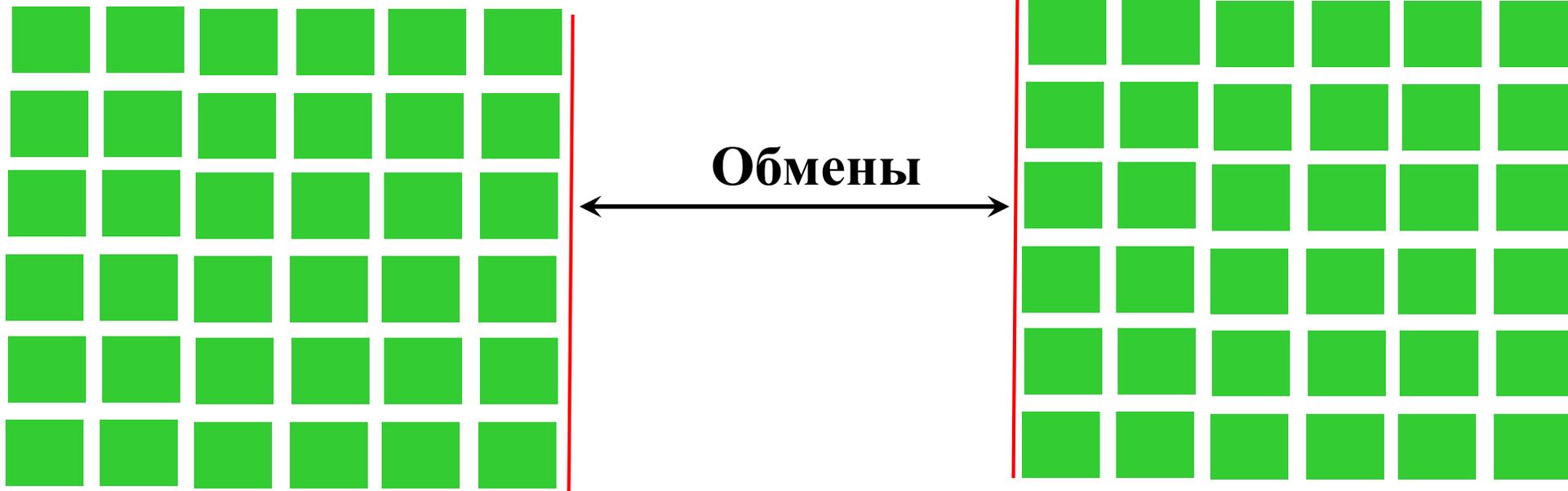
$$\hat{\mathbf{L}}_i^{n+1} \boldsymbol{\Psi}_i^{n+1} = \hat{\mathbf{S}}_i^n \boldsymbol{\Psi}_i^n + \mathbf{Q}_i \quad \boldsymbol{\Psi}_{b,i}^{n+1} = \mathbf{f}(\boldsymbol{\Psi}_{b,j}^{n+1})$$

Шаг 1



КВА (Koch Baker Adams) метод. Регулярные сетки

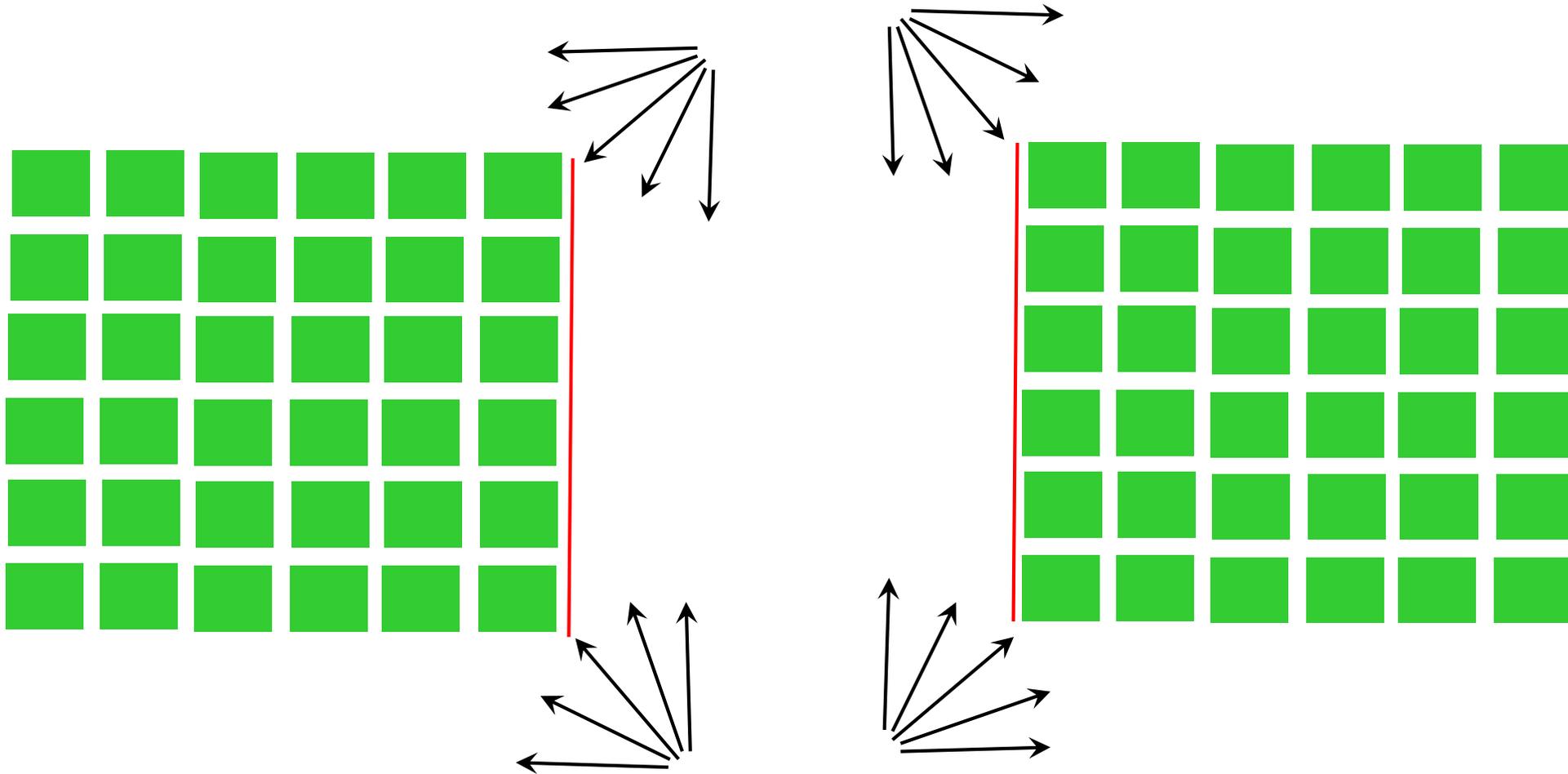
$$\hat{\mathbf{L}}_i^{n+1} \boldsymbol{\Psi}_i^{n+1} = \hat{\mathbf{S}}_i^n \boldsymbol{\Psi}_i^n + \mathbf{Q}_i \quad \boldsymbol{\Psi}_{b,i}^{n+1} = \mathbf{f}(\boldsymbol{\Psi}_{b,j}^{n+1})$$



КВА (Koch Baker Adams) метод. Регулярные сетки

$$\hat{\mathbf{L}}_i^{n+1} \boldsymbol{\Psi}_i^{n+1} = \hat{\mathbf{S}}_i^n \boldsymbol{\Psi}_i^n + \mathbf{Q}_i \quad \boldsymbol{\Psi}_{b,i}^{n+1} = \mathbf{f}(\boldsymbol{\Psi}_{b,j}^{n+1})$$

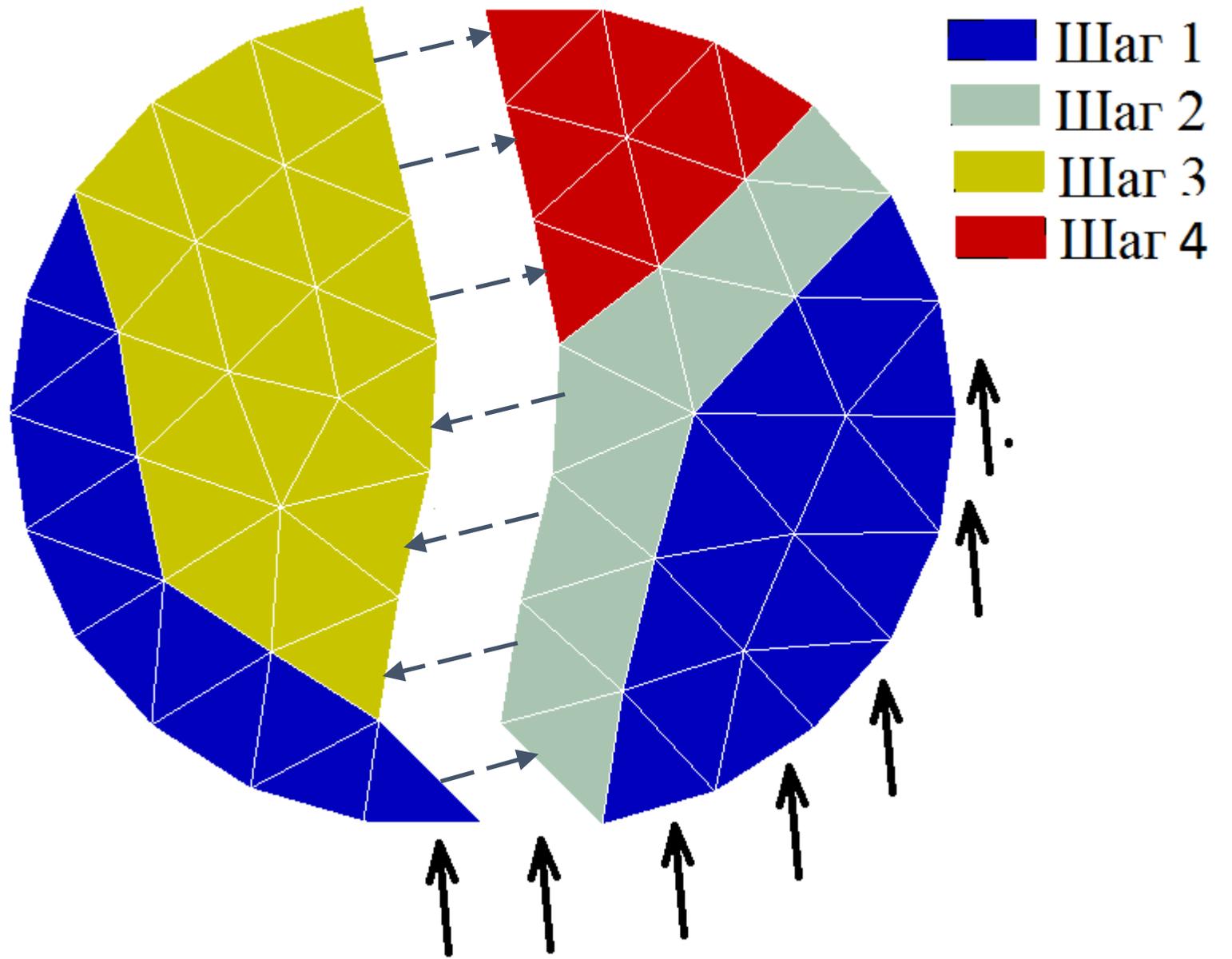
Шаг 2



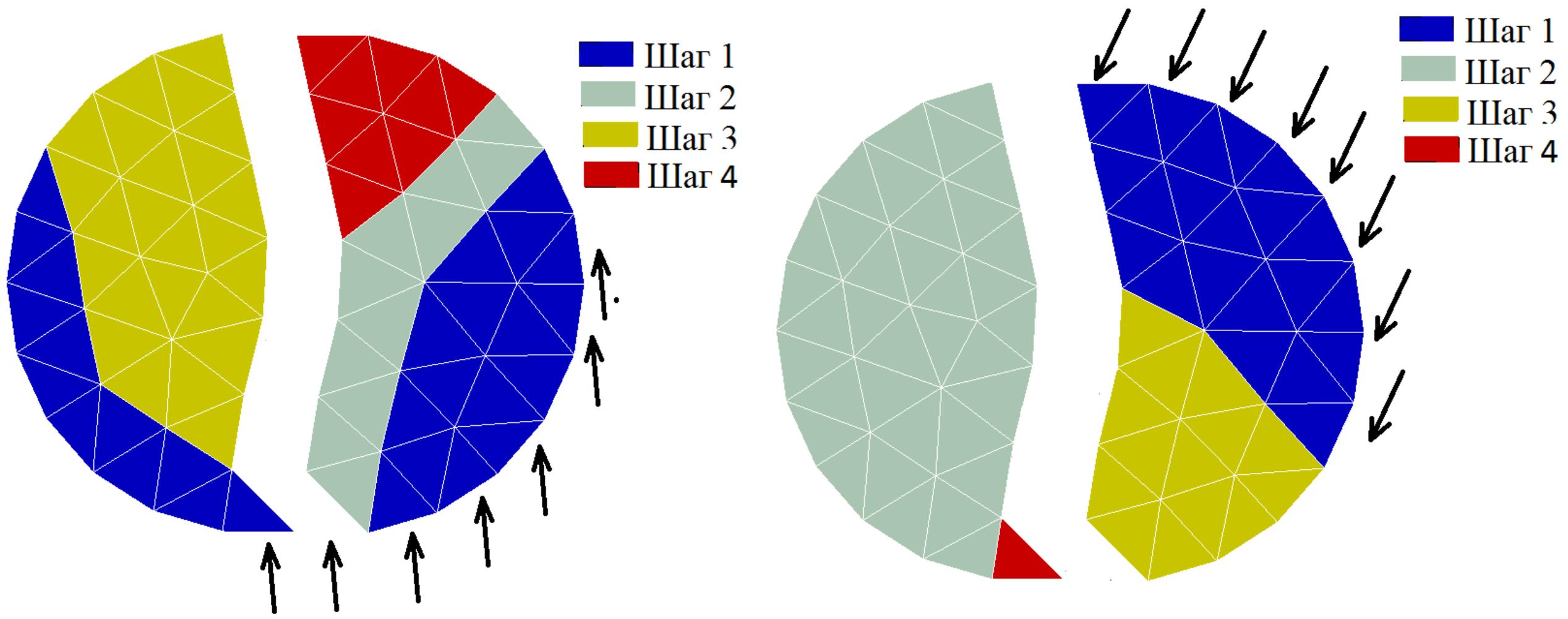
КВА (Koch Baker Adams) метод. Неструктурированные сетки

$$\hat{\mathbf{L}}_i^{n+1} \boldsymbol{\Psi}_i = \hat{\mathbf{S}}_i^n \boldsymbol{\Psi}_i + \mathbf{Q}_i$$

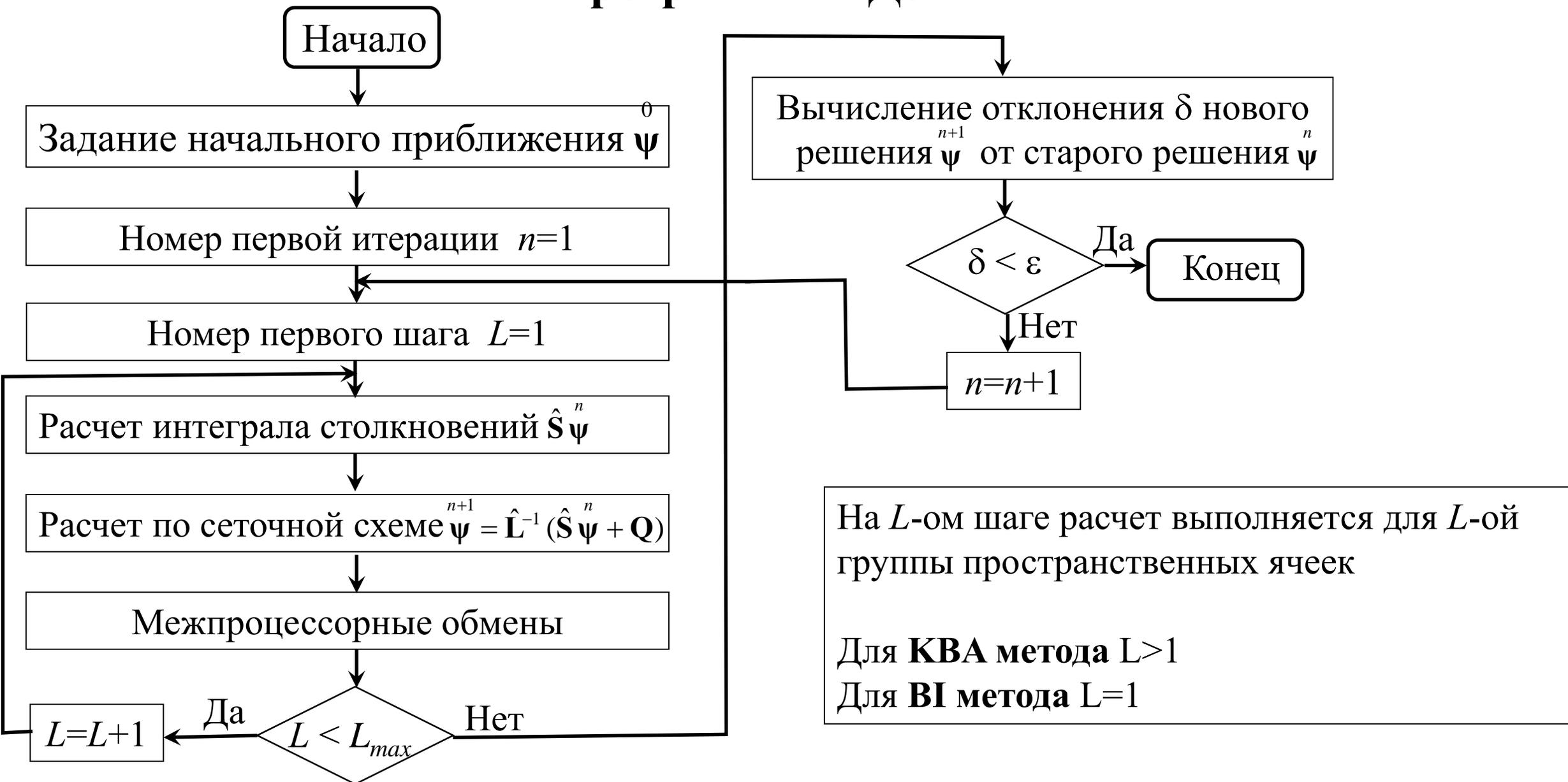
$$\boldsymbol{\Psi}_{b,i}^{n+1} = \mathbf{f}(\boldsymbol{\Psi}_{b,j}^{n+1})$$



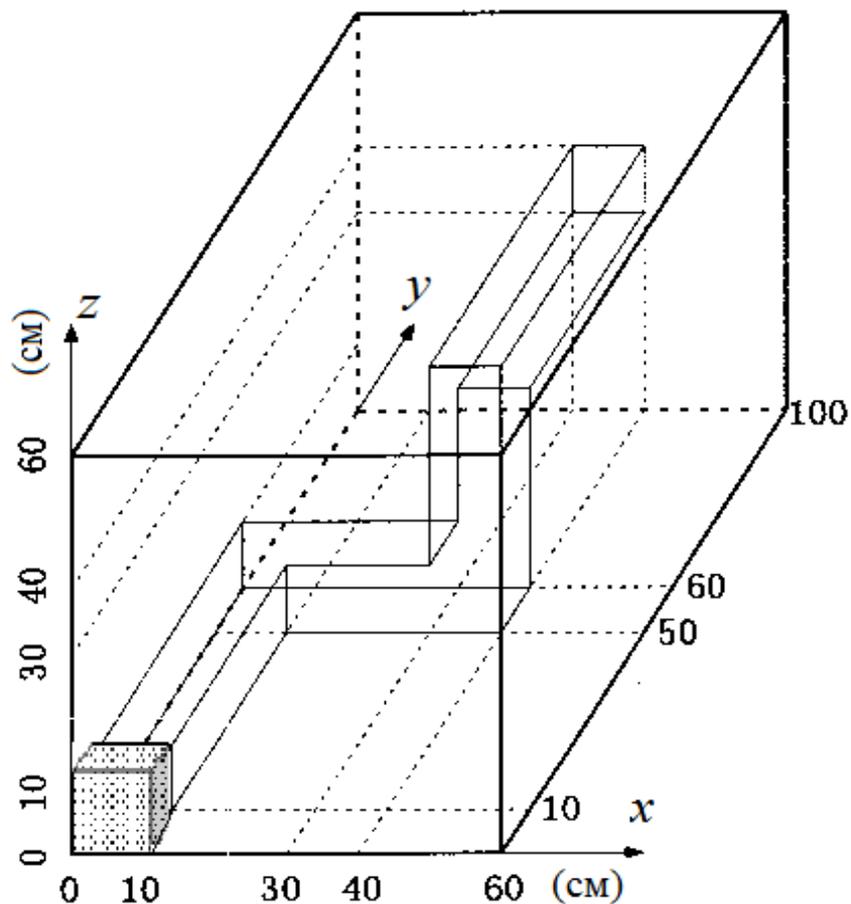
КВА (Koch Baker Adams) метод. Неструктурированные сетки



Алгоритм решения уравнения переноса нейтронов в одной группе Программа РАДУГА Т



Тестовая задача - DogLeg



Пространственная сетка

36004 тетраэдров

Угловая квадратура Карлсона ES_{12}

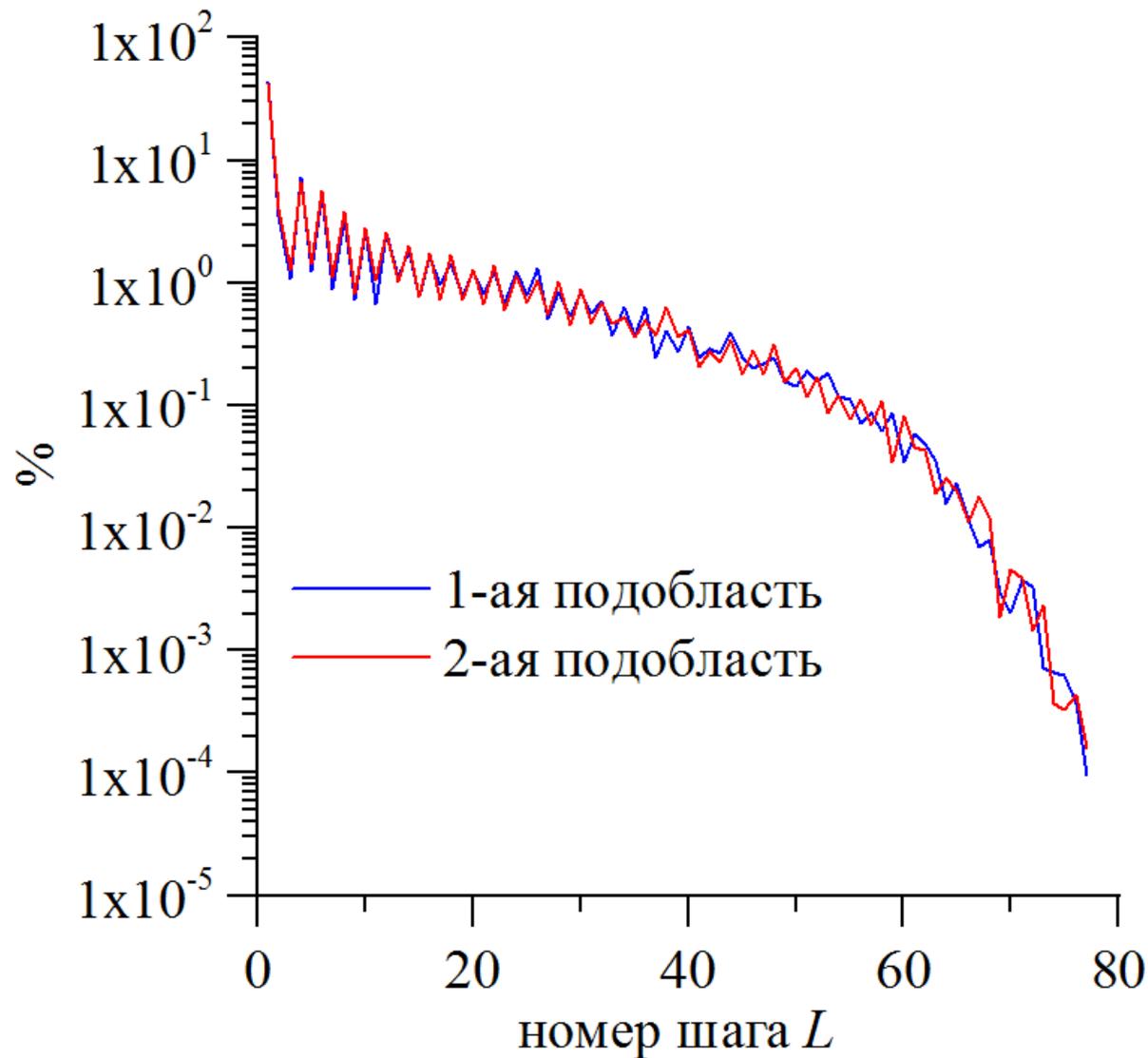
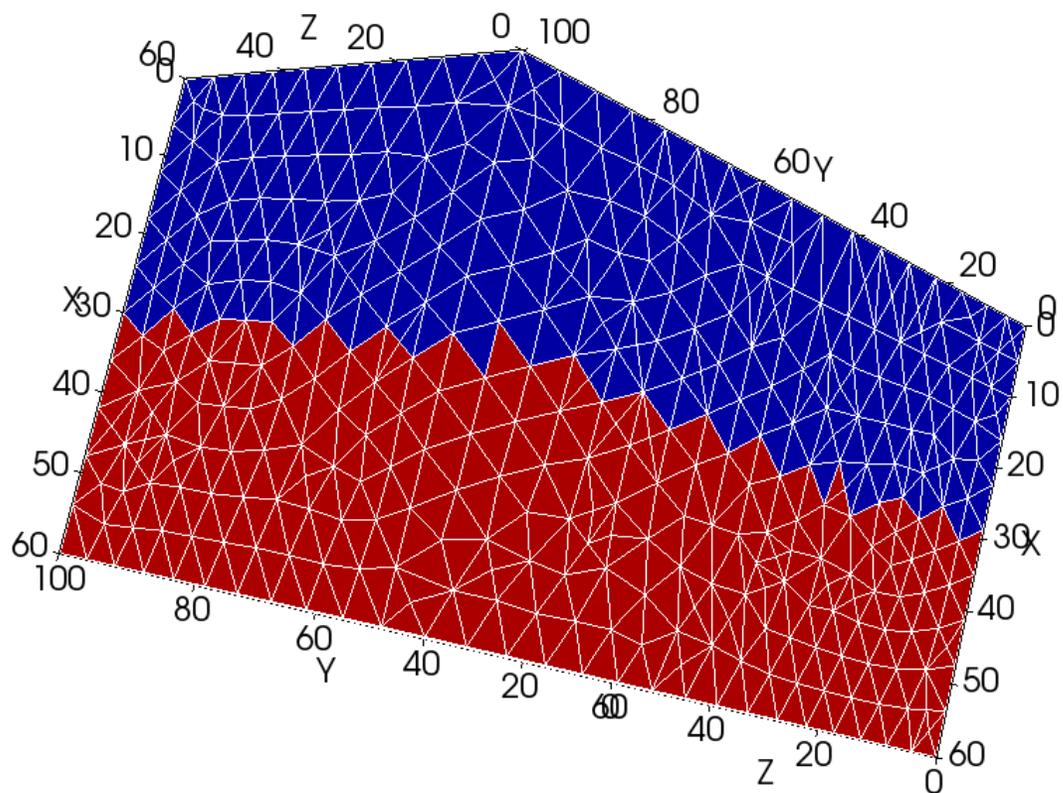
Кластер К-100

Число подобластей: 2, 4, 8, 12, 16

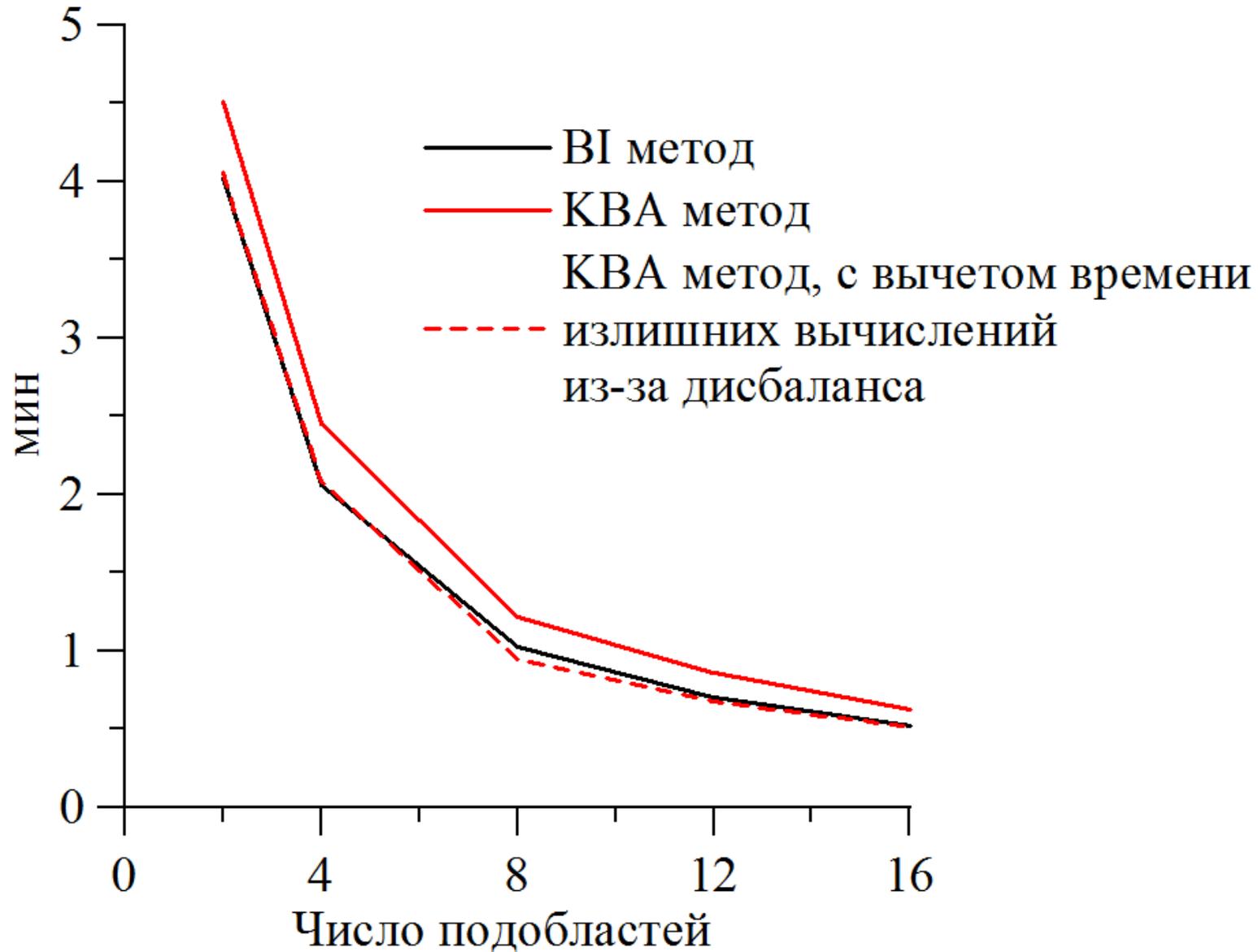
Число нитей на подобласть: 4

Доля рассчитываемых ячеек в каждой подобласти на каждом шаге

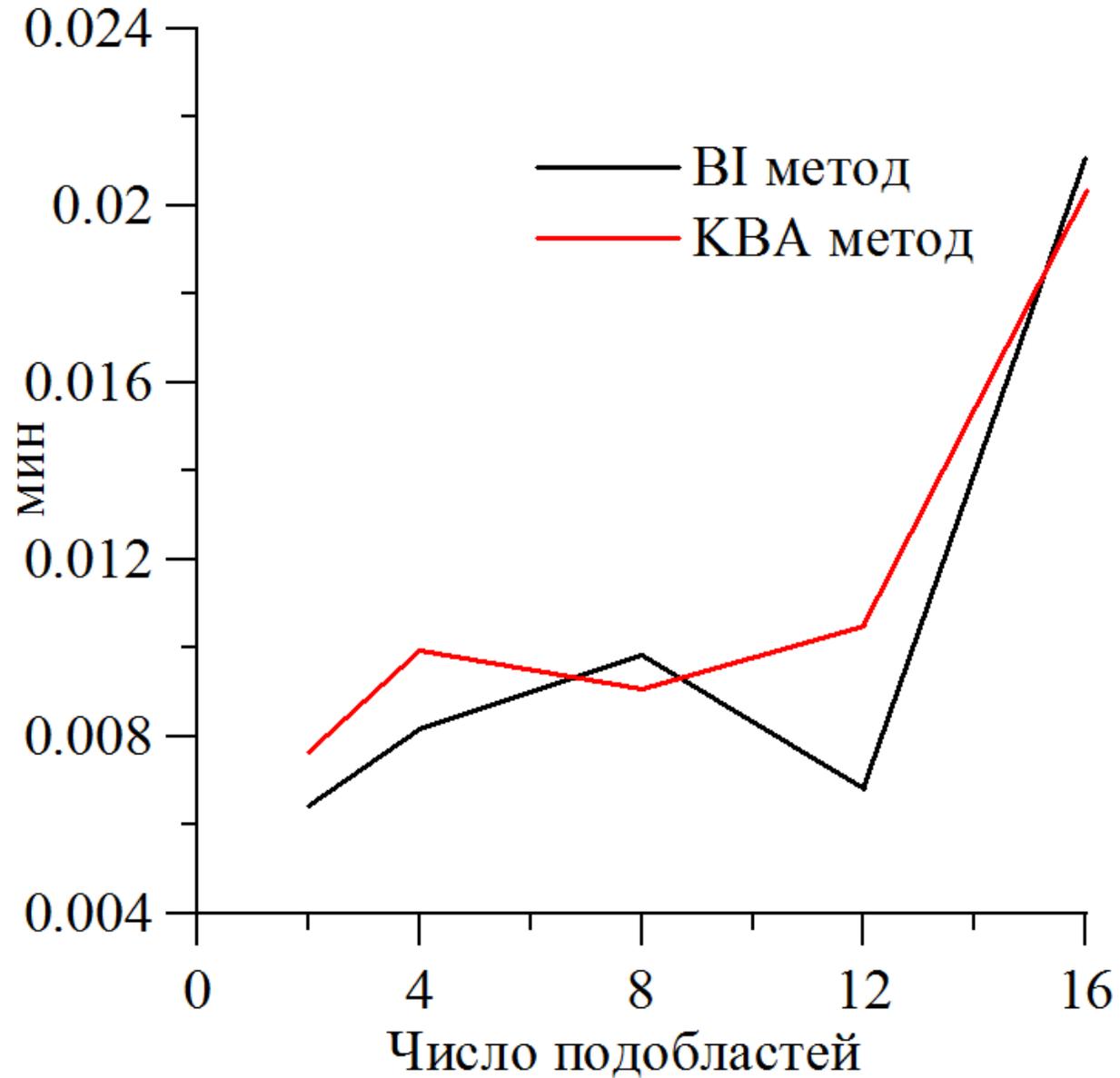
В среднем 2043 «лишние» ячейки на один шаг для одного направления на одной итерации



Время вычислений (мин) на одной итерации



Время одного обмена (мин)



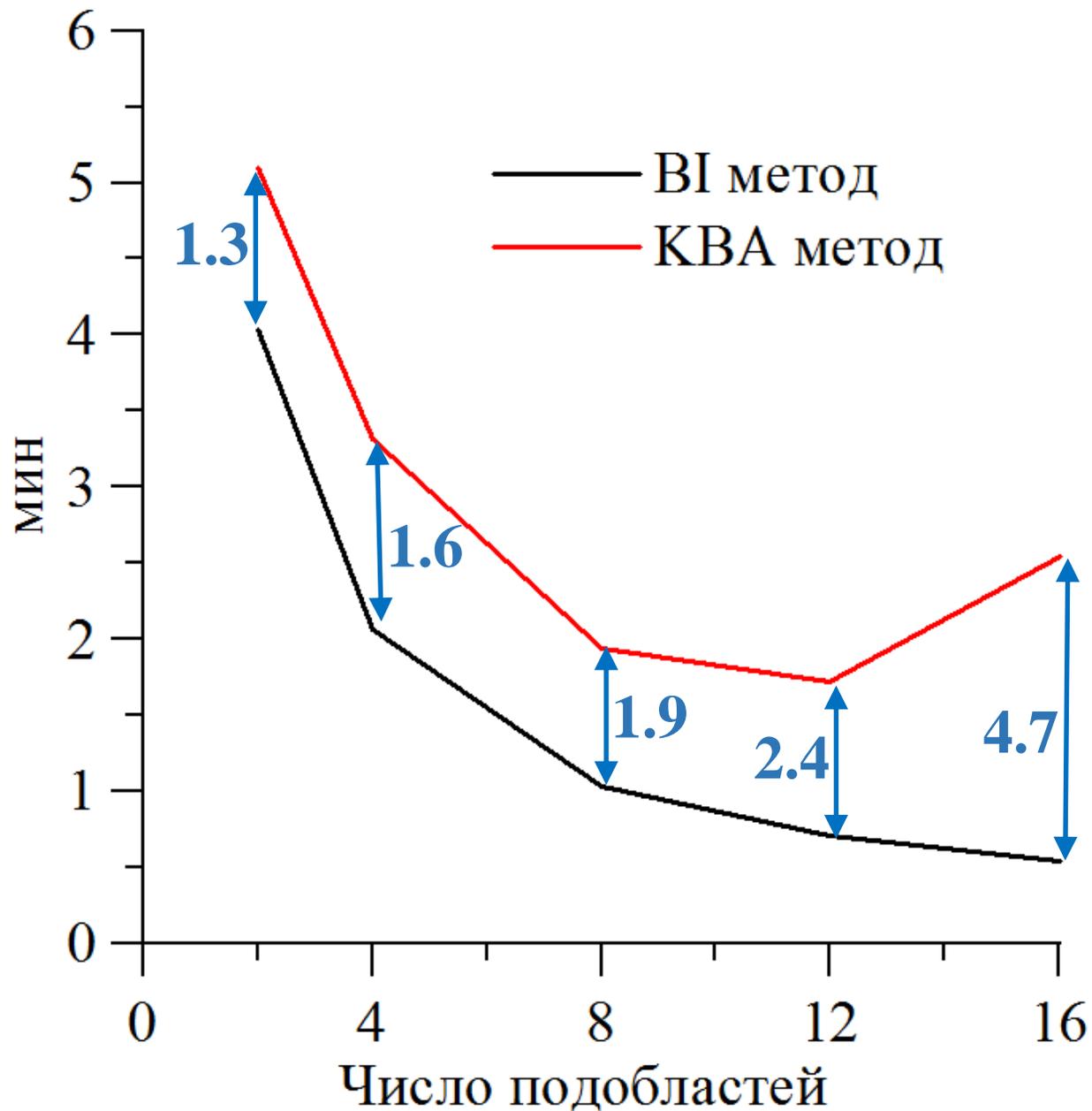
Время расчета одной итерации (мин)

$$T_{OneIteration} = T_{calc} + T_{change} L$$

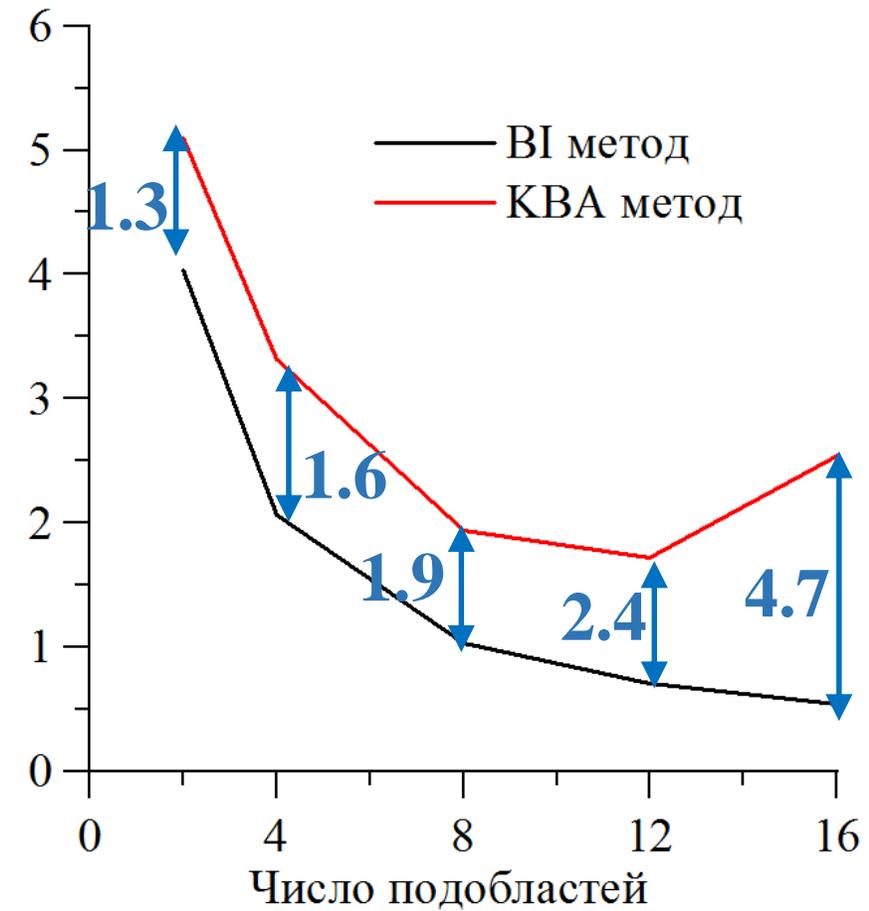
$T_{OneIteration}$ - время расчета на одной итерации

T_{calc} - время вычислений

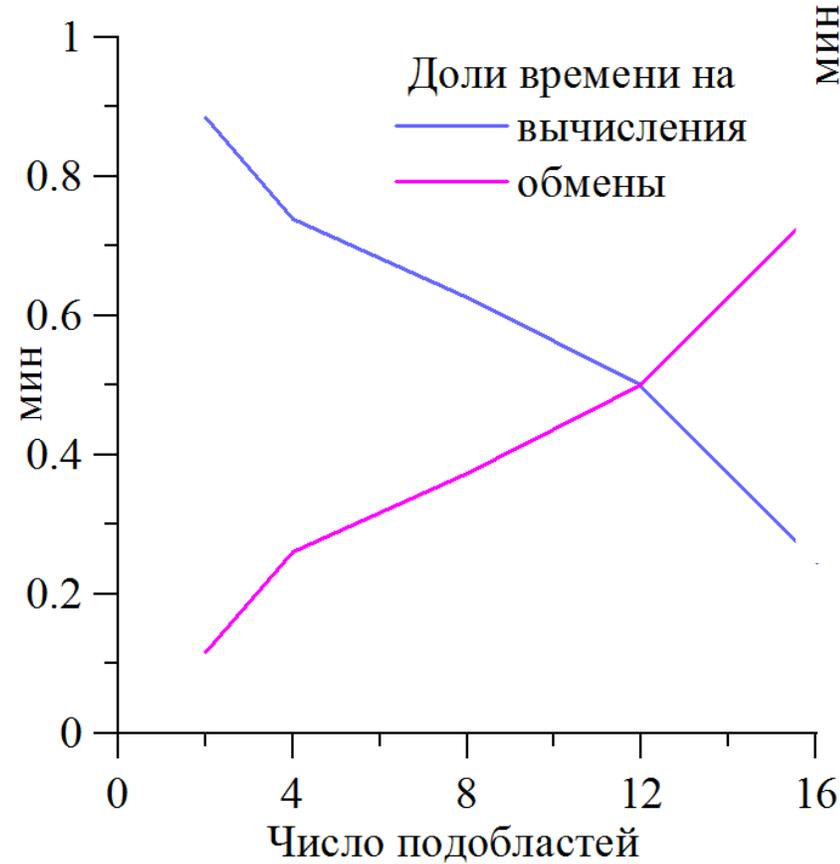
T_{change} - время обменов



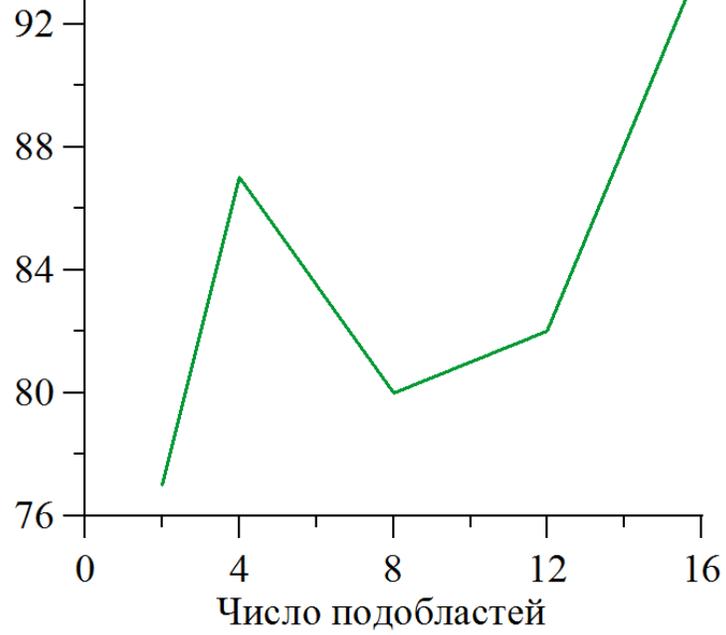
Время расчета одной итерации (мин)



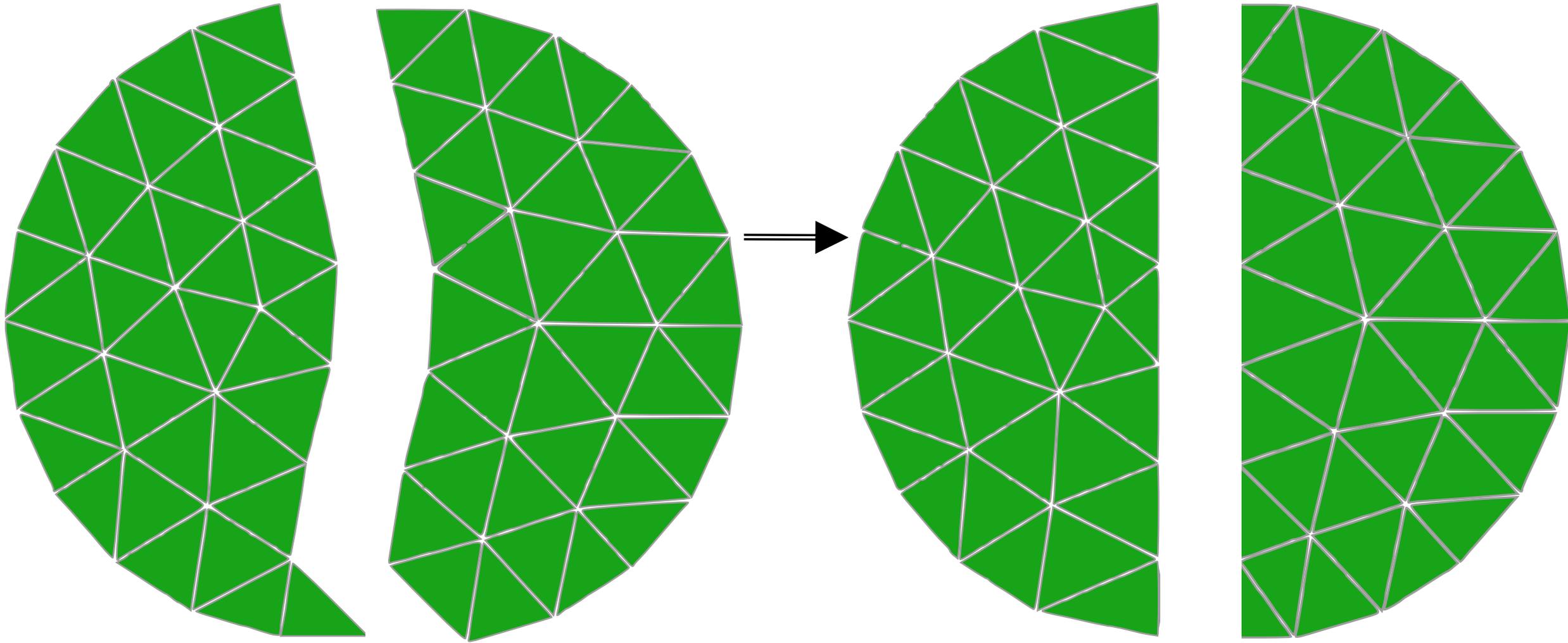
$$T_{OneIteration} = T_{calc} + T_{change} \mathbf{L}!$$



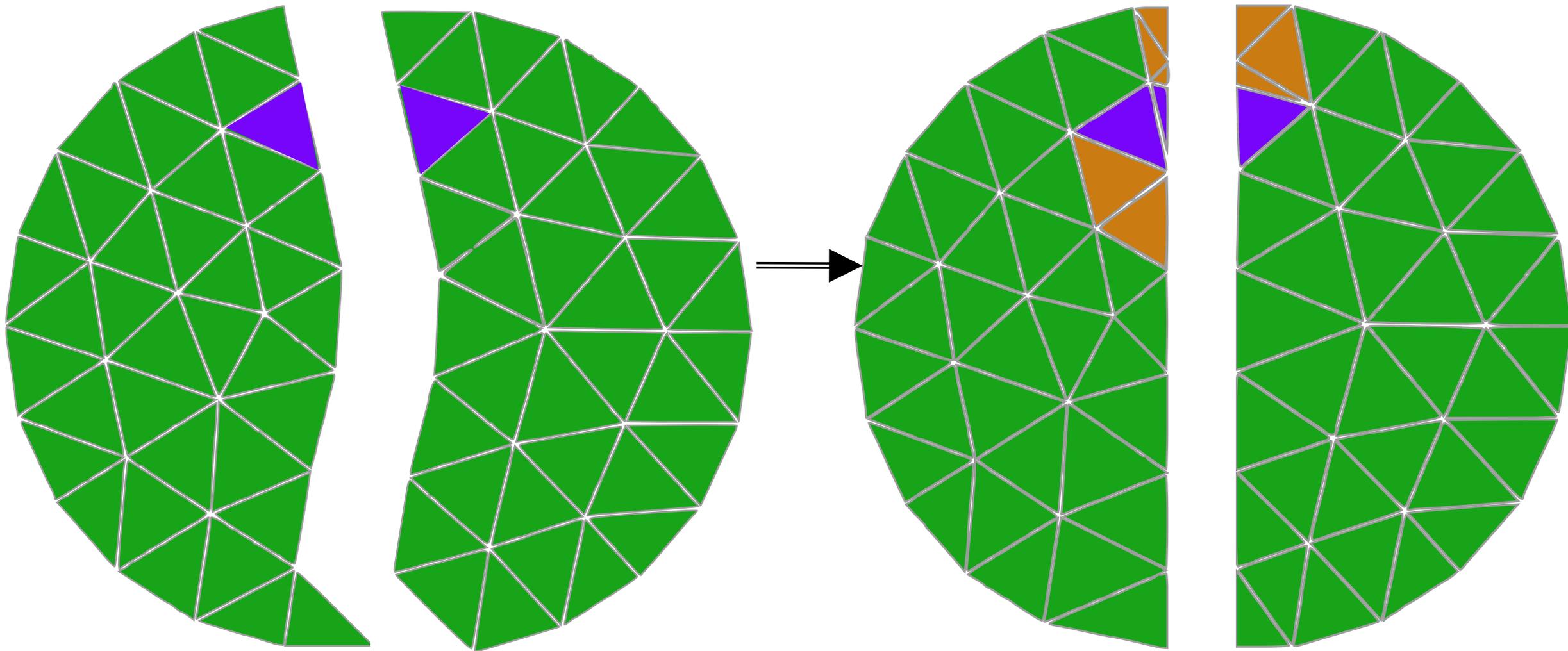
Число шагов в КВА методе



«Выглаженные» границы подобластей. Один материал



«Выглаженные» границы подобластей. Два материала



На неструктурированных сетках

КВА метод ☹️?

VI метод 😊!