

Решение задач в области нефтяной геофизики с использованием технологии фрагментированного программирования и системы LuNA

Лебедев Д.В.

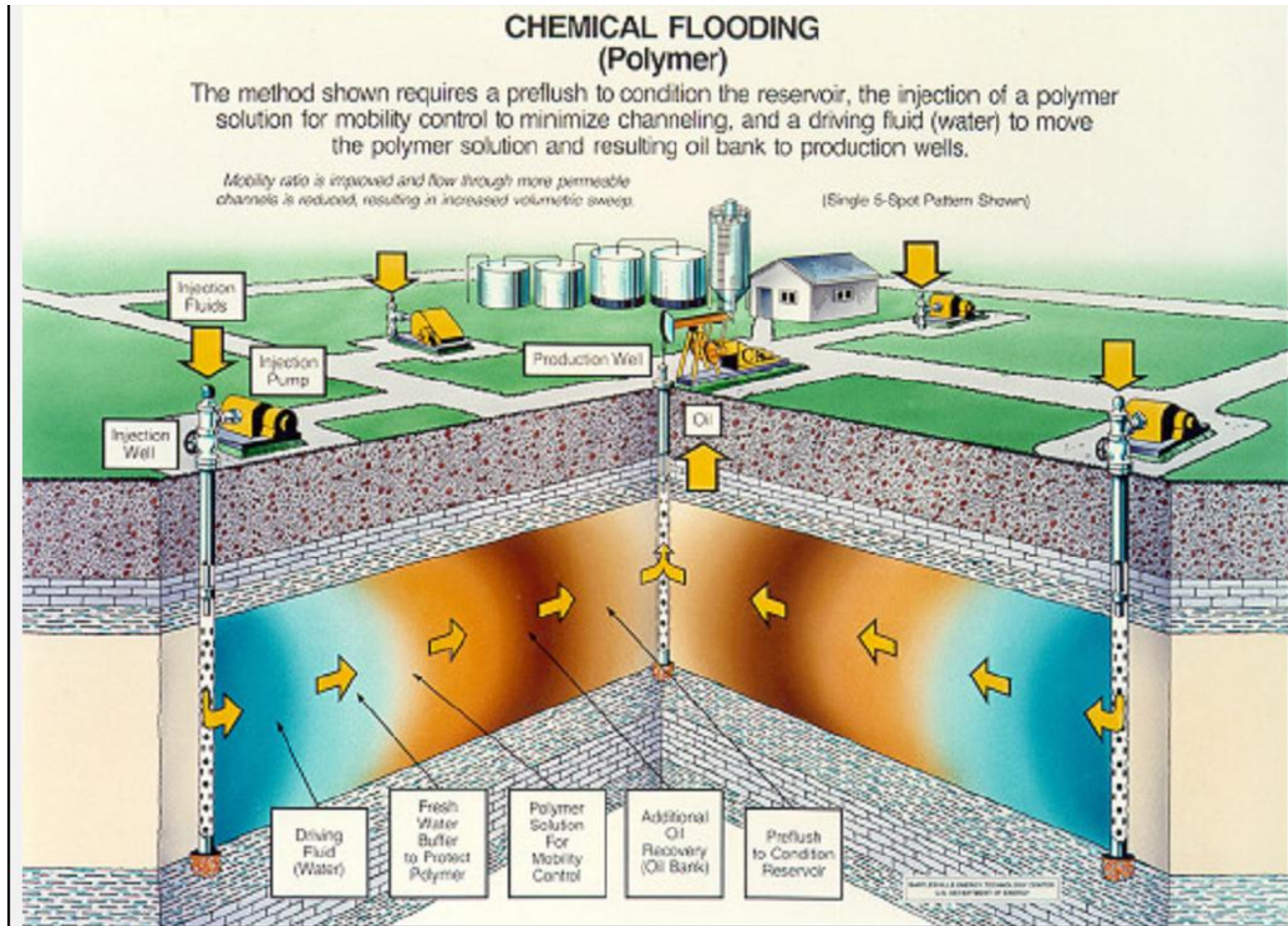
Казахский национальный университет

им. аль-Фараби,

Алматы

Казахстан

Описание задачи



Математическая постановка

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_w \left(\frac{\partial P_w}{\partial x_i} - \gamma_w \frac{L}{P_H} \frac{\partial z}{\partial x_i} \right) \right) = \frac{\mu_w}{\mu_o} \frac{\partial S_w}{\partial \tau} + \frac{\mu_w L^2}{K \rho_w P_H} q_w$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_o \left(\frac{\partial P_o}{\partial x_i} - \gamma_o \frac{L}{P_H} \frac{\partial z}{\partial x_i} \right) \right) = \frac{\partial S_o}{\partial \tau} + \frac{\mu_o L^2}{K \rho_o P_H} q_o$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left(R_s K_o \left(\frac{\partial P_o}{\partial x_i} - \gamma_o \frac{L}{P_H} \frac{\partial z}{\partial x_i} \right) \right) + \frac{\mu_o P_H}{\mu_g \rho_o RTZ} \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_g \left(\frac{\partial P_g}{\partial x_i} - \gamma_g \frac{L}{P_H} \frac{\partial z}{\partial x_i} \right) \right) = \\ = \frac{\partial (R_s S_o)}{\partial \tau} + \frac{P_H}{\rho_o RTZ} \frac{\partial}{\partial \tau} (P_g S_g) + \frac{\mu_o L^2}{K \rho_o P_H} (R_s q_o + q_g) \end{aligned}$$

$$P_o - P_w = P_{cow}$$

$$P_g - P_o = P_{cog}$$

$$S_w + S_o + S_g = 1$$

$$P_o(x, y, 0) = P_o^H(x, y), P_w(x, y, 0) = P_w^H(x, y), P_g(x, y, 0) = P_g^H(x, y)$$

$$S_o(x, y, 0) = S_o^H(x, y), S_w(x, y, 0) = S_w^H(x, y), S_g(x, y, 0) = S_g^H(x, y)$$

$$\left. \frac{\partial P_o}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0, \left. \frac{\partial P_w}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0, \left. \frac{\partial P_g}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0$$

Последовательный алгоритм решения

- Явный по давлению, - явный по насыщенности
- Неявный по давлению, - явный по насыщенности
- Неявный по давлению, - неявный по насыщенности

Последовательный алгоритм разностная схема

$$a_i^{(r-1)} P_{oi-1}^{(r)} - b_i^{(r-1)} P_{oi}^{(r)} + c_i^{(r-1)} P_{oi+1}^{(r)} = -f_i^{(r-1)}, i = 1, N - 1$$

$$\begin{cases} A_i^{r-1} P_{gi-1j}^r - B_i^{r-1} P_{gij}^r + C_i^{r-1} P_{gi+1j}^r = -F_{ij}^{r-1}, i = \overline{1, N-1} \\ 4P_{g1j}^r - 3P_{g0j}^r - P_{g2j}^r = 0; 3P_{gNj}^r - 4P_{gN-1j}^r + P_{gN-2j}^r = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_j^{r-1} P_{gij-1}^r - B_j^{r-1} P_{gij}^r + C_j^{r-1} P_{gij+1}^r = -F_{ij}^{r-1}, j = \overline{1, M-1} \\ 4P_{gi1}^r - 3P_{gi0}^r - P_{gi2}^r = 0; 3P_{giM}^r - 4P_{giM-1}^r + P_{giM-2}^r = 0 \end{cases}$$

$$\frac{u^{n+1/3} - u^n}{\tau} = \Lambda_1 u^{n+1/3} + \Lambda_2 u^n + \Lambda_3 u^n$$

$$\frac{u^{n+2/3} - u^{n+1/3}}{\tau} = \Lambda_2 (u^{n+2/3} - u^n)$$

$$\frac{u^{n+1} - u^{n+2/3}}{\tau} = \Lambda_3 (u^{n+1} - u^n)$$

Метод прогонки

$$y_i = \alpha_{i+1}y_{i+1} + \beta_{i+1}, \quad i = 0, 1, \dots, N - 1,$$

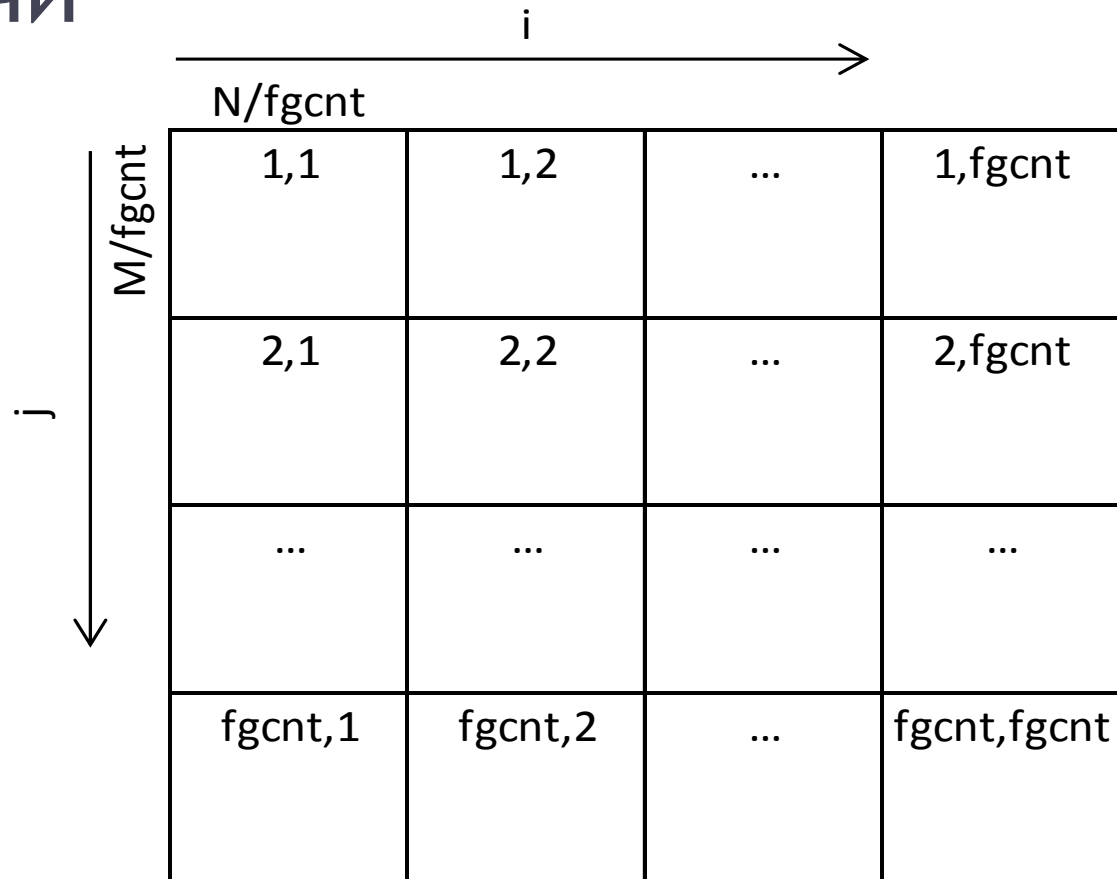
$$\alpha_{i+1} = \frac{-c_i}{b_i + a_i\alpha_i}, \quad \beta_{i+1} = \frac{d_i - a_i\beta_i}{b_i + a_i\alpha_i}, \quad i = 1, \dots, N - 1$$

$$\alpha_1 = \kappa_1, \quad \beta_1 = \mu_1.$$

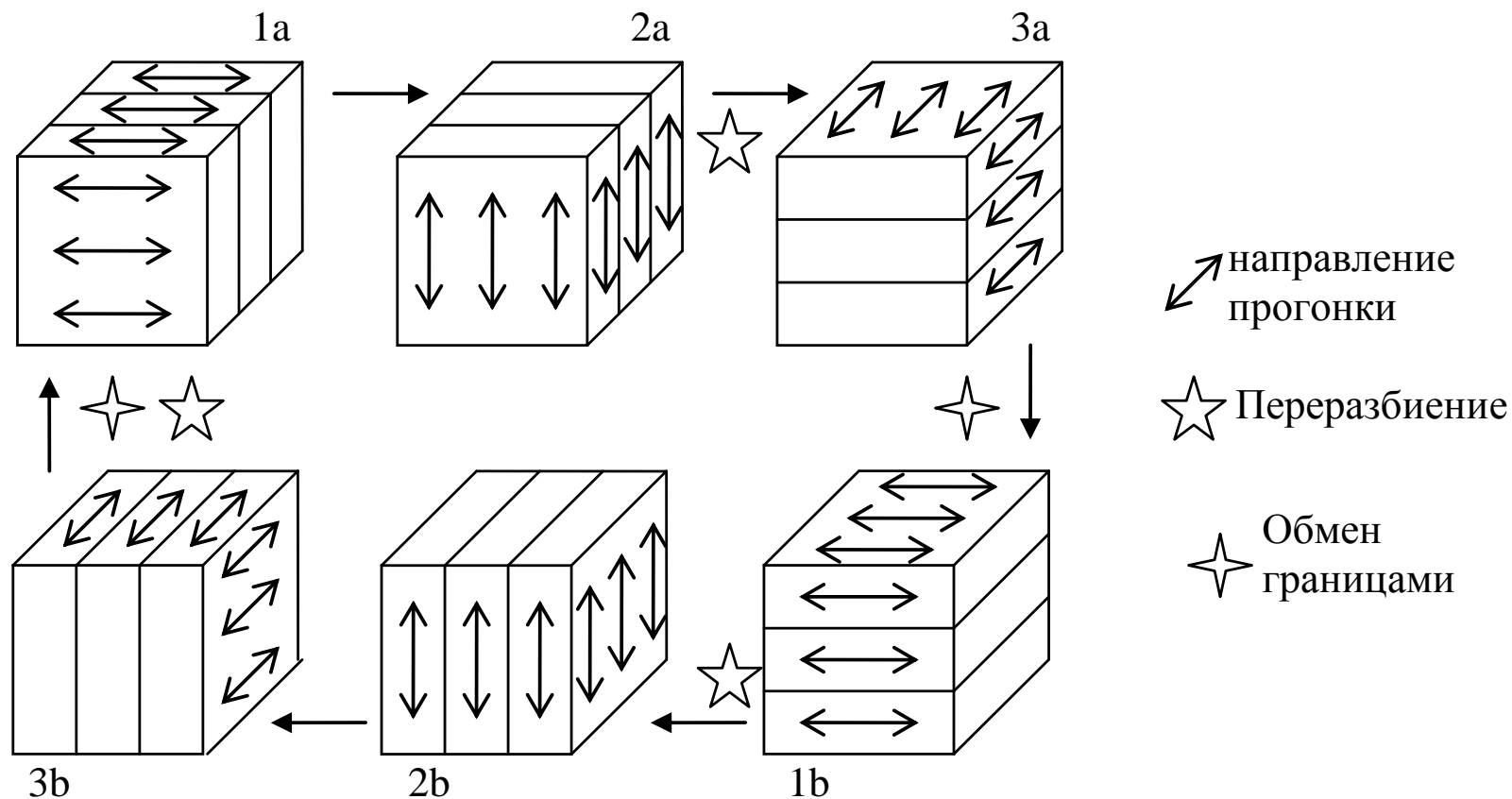
Параллельные алгоритмы

- Декомпозиция области по одному измерению
- Метод Яненко
- Конвейерно-параллельный алгоритм

1D Декомпозиция для двумерной задачи



1D Декомпозиция для трехмерной задачи



Метод Яненко

- нахождение предрешений,
- нахождение гранично-процессорных решений,
- восстановление решения

$$\begin{cases} a_i u_{i-1} + b_i u_i + c_i u_{i+1} = 0 \\ u_{(j-1)*m} = 1, u_{j*m} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_i v_{i-1} + b_i v_i + c_i v_{i+1} = 0 \\ v_{(j-1)*m} = 0, u_{j*m} = 1 \end{cases} \quad i = (j-1)*m + 1, \dots, j*m - 1, j = 1, \dots, M$$

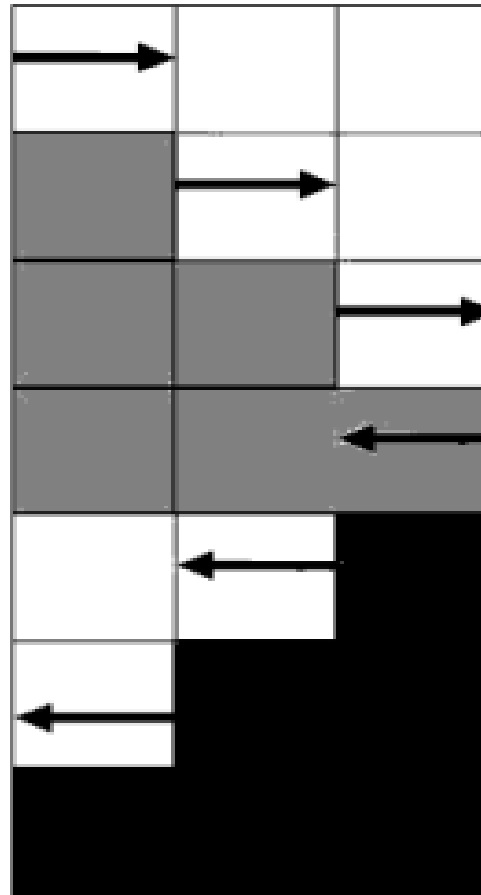
$$\begin{cases} a_i w_{i-1} + b_i w_i + c_i w_{i+1} = d_i \\ w_{(j-1)*m} = 0, w_{j*m} = 0 \end{cases}$$

$$A_j z_{j-1} + B_j z_j + C_j z_{j+1} = D_j, j = 1, \dots, M-1$$

$$B_0 z_0 + C_0 z_1 = D_0, A_M z_{M-1} + B_M z_M = D_M$$

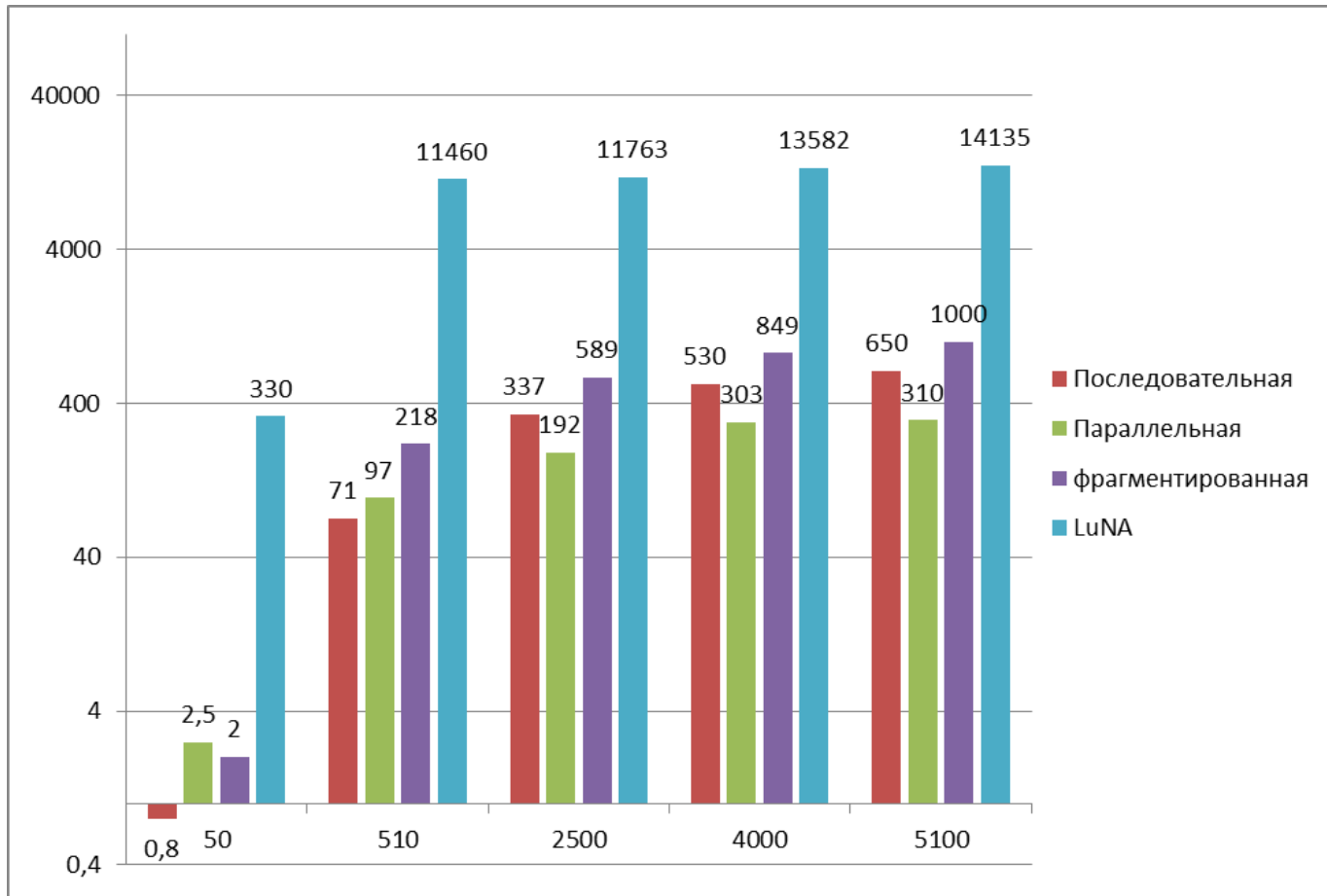
$$Y_{(j-1)*m+i} = z_{j-1} u_i + z_j v_i + w_i, i = 1, \dots, m-1, j = 1, \dots, M$$

Конвейерный метод

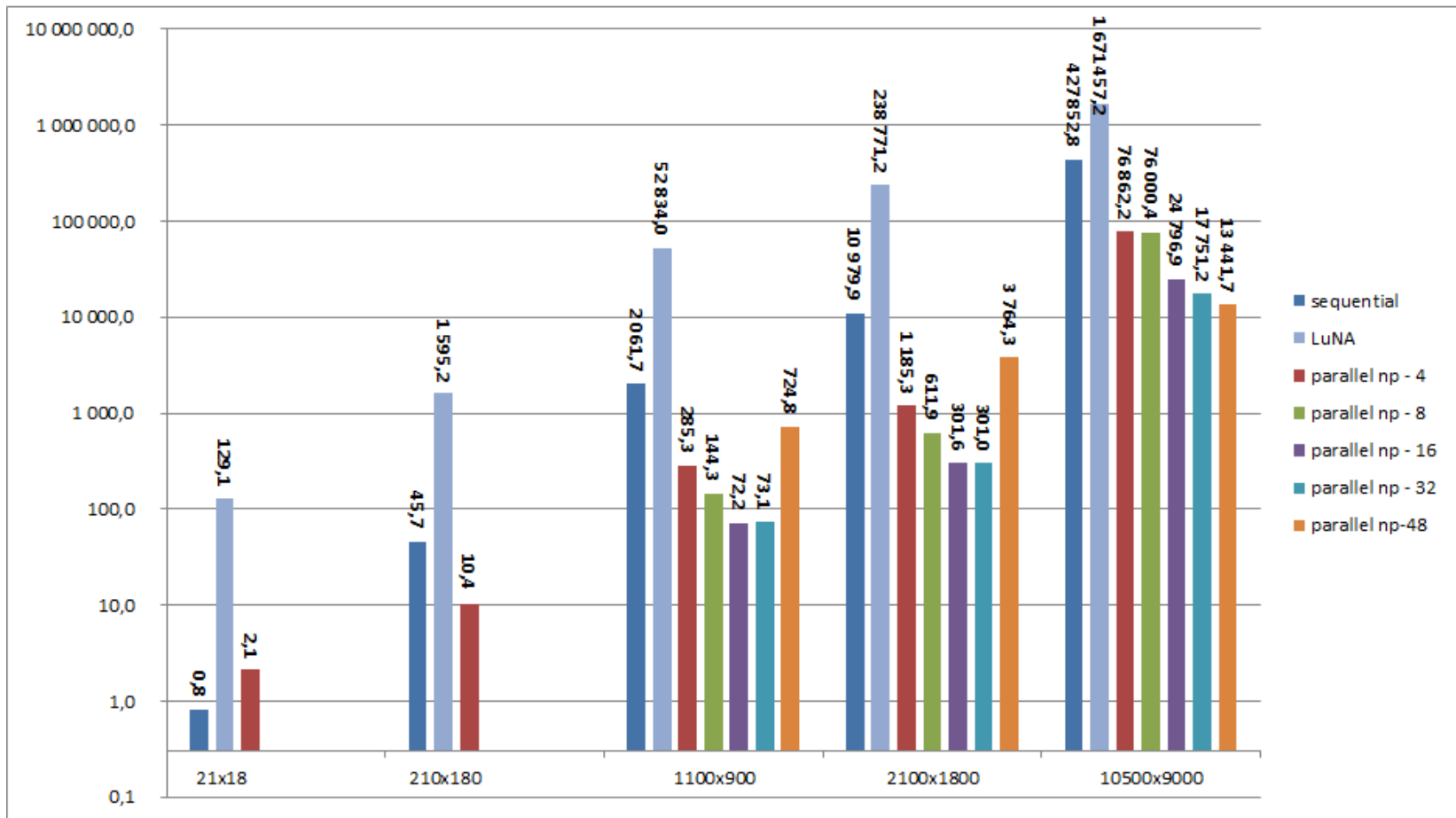


Тестирование параллельных и фрагментированных программ

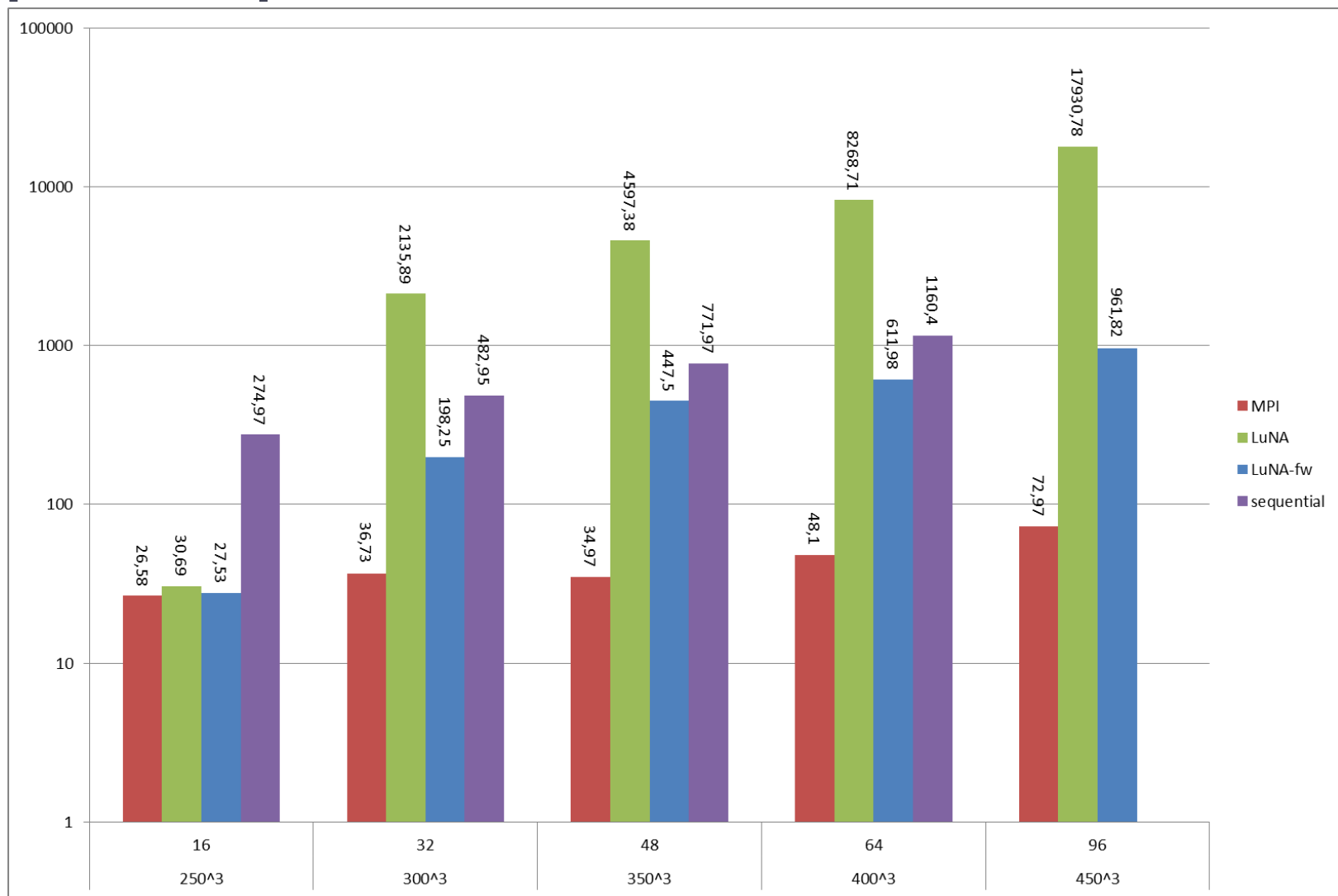
Одномерная задача



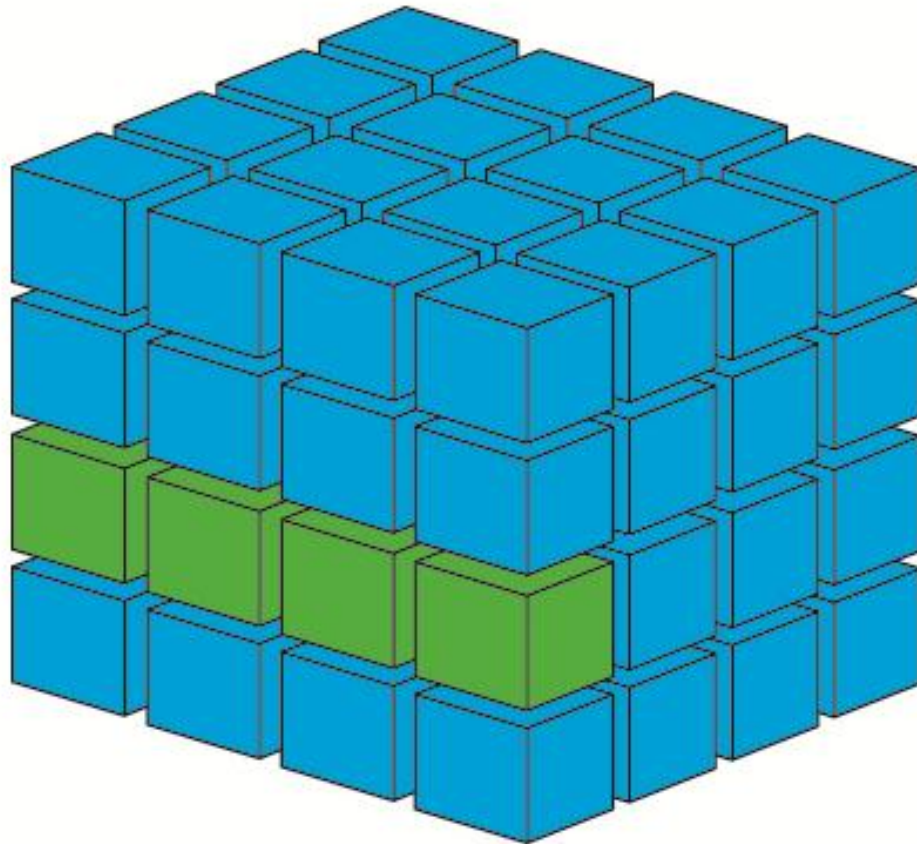
Двумерная задача



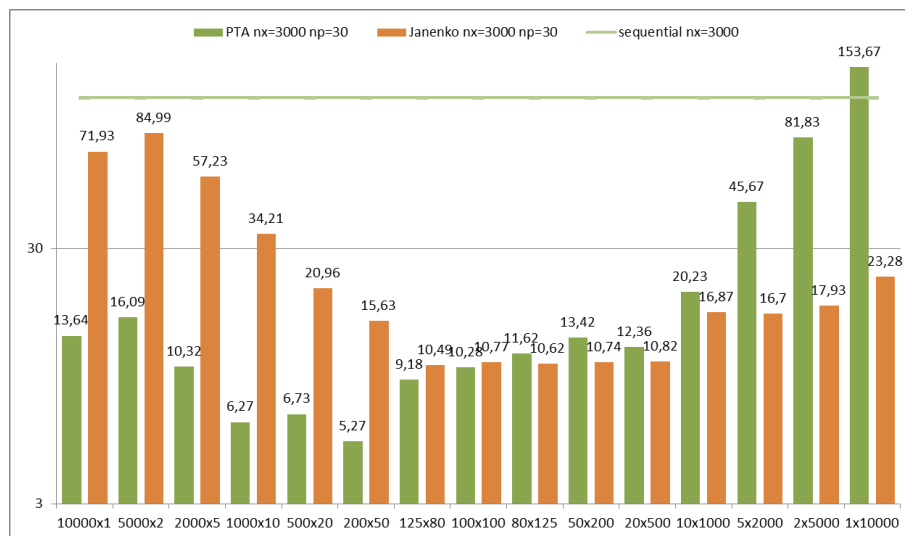
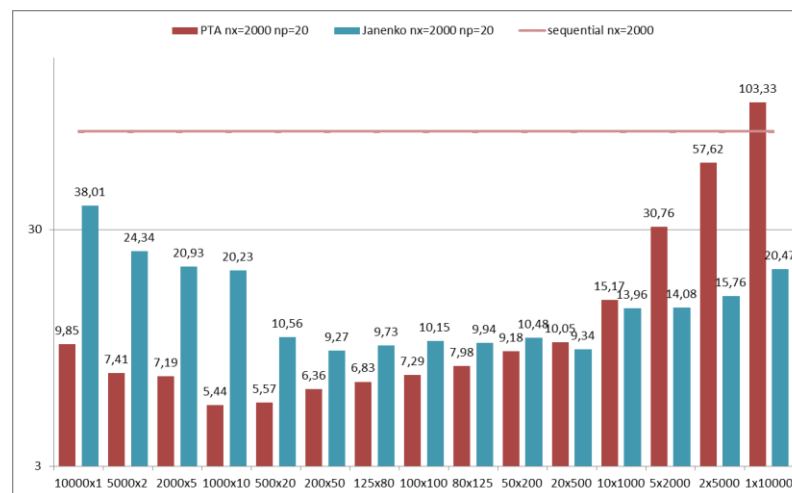
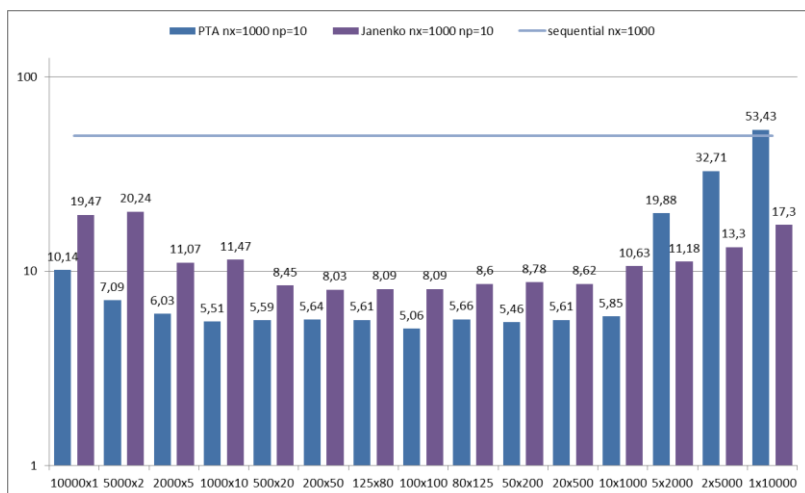
Трёхмерная задача



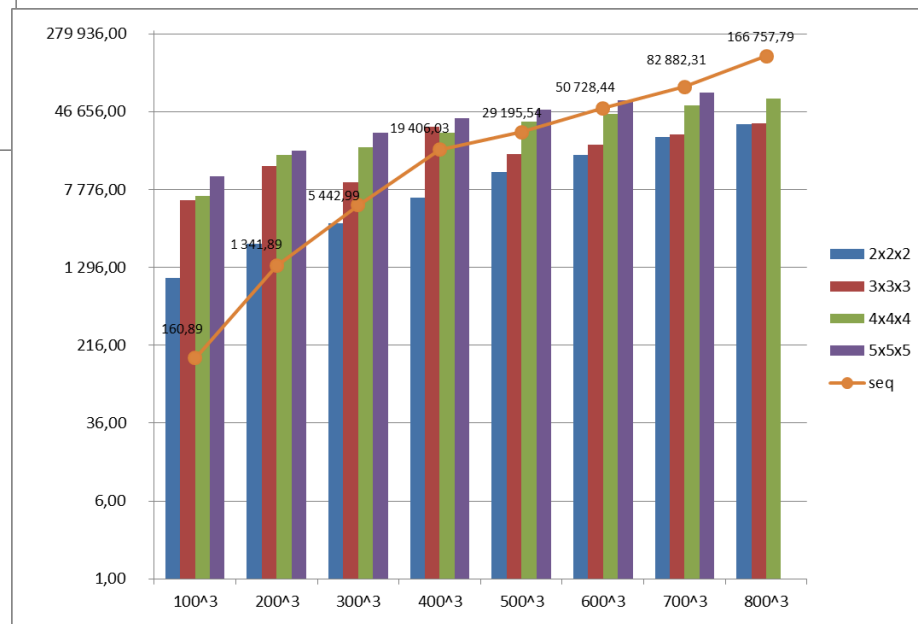
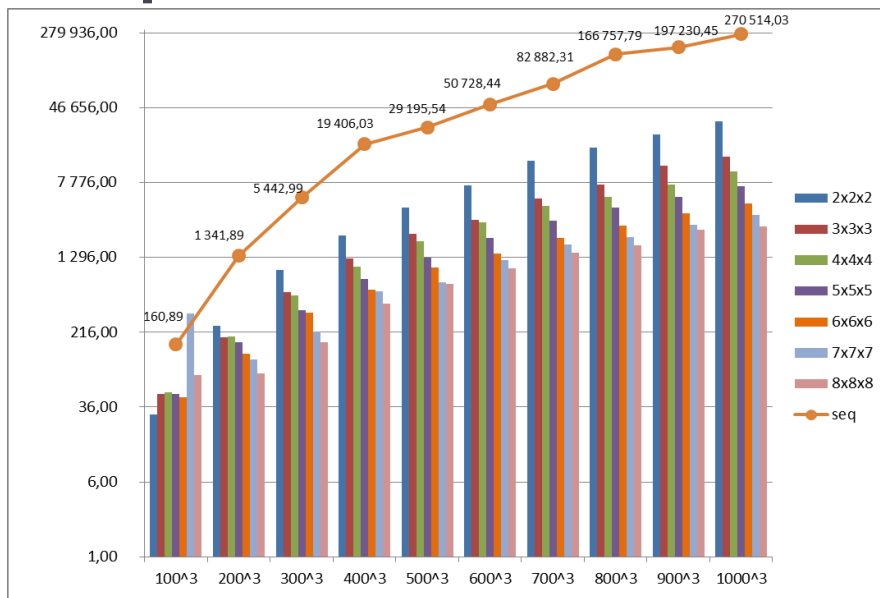
Декомпозиция по трехмерной области



Сравнение других алгоритмов



Параллельно-конвейерный алгоритм



Спасибо за внимание!