

# Решение задачи пьезопроводности в плоской постановке с неоднородностью в проницаемости

Ваше имя

12 ноября 2024 г.

## 1 Описание задачи

В данной программе решается задача пьезопроводности в плоской постановке с учетом неоднородности в проницаемости пласта. Задача формулируется следующим образом:

### 1.1 Уравнение пьезопроводности

Уравнение пьезопроводности в двумерной постановке имеет вид:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \eta \left( \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right)$$

где:

- $p$  - давление в пласте,
- $t$  - время,
- $x, y$  - пространственные координаты,
- $\eta = \frac{k}{\phi \mu c}$  - коэффициент пьезопроводности,
- $k$  - проницаемость,
- $\phi$  - пористость,
- $\mu$  - вязкость флюида,
- $c$  - сжимаемость.

### 1.2 Граничные условия

#### 1. На бесконечности:

$$\lim_{x, y \rightarrow \infty} p(x, y, t) = 0$$

#### 2. На скважинах: На каждой скважине задается постоянный дебит $q$ . Граничное условие на скважине можно записать как:

$$\left( r \frac{\partial p}{\partial r} \right) \Big|_{r=r_w} = - \frac{q B \mu}{2 \pi k h}$$

где:

- $B$  - объемный коэффициент,
- $h$  - толщина пласта,
- $r_w$  - радиус скважины.

### 1.3 Начальные условия

Начальное распределение давления в пласте:

$$p(x, y, 0) = p_0,$$

где  $p_0$  - начальное давление в пласте.

## 2 Схема расчета

Для решения задачи используется явный метод конечных разностей. Схема расчета выглядит следующим образом:

### 1. Дискретизация уравнения:

$$\frac{p_{i,j}^{n+1} - p_{i,j}^n}{\Delta t} = \eta_{i,j} \left( \frac{p_{i+1,j}^n - 2p_{i,j}^n + p_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + \frac{p_{i,j+1}^n - 2p_{i,j}^n + p_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} \right)$$

где:

- $p_{i,j}^n$  - значение давления в узле  $(i, j)$  в момент времени  $n$ ,
- $\Delta t$  - шаг по времени,
- $\Delta x, \Delta y$  - шаги по пространству.

### 2. Обновление давления:

$$p_{i,j}^{n+1} = p_{i,j}^n + \eta_{i,j} \Delta t \left( \frac{p_{i+1,j}^n - 2p_{i,j}^n + p_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + \frac{p_{i,j+1}^n - 2p_{i,j}^n + p_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} \right)$$

## 3 Обзор программы

Программа состоит из нескольких модулей:

- **main.py**: Основной скрипт, который инициализирует параметры модели, задает начальные и граничные условия, а также запускает расчет.
- **Solve.py**: Содержит функцию `solve_for_one_well_explicit`, которая реализует явный метод конечных разностей для решения уравнения пьезопроводности для одной скважины.
- **well.py**: Определяет класс `Well`, который представляет скважину с заданными параметрами (координаты, радиус, дебит и т.д.).
- **Results.py**: Содержит функции для визуализации результатов расчета (распределение давления, проницаемости, продуктивности скважин и т.д.) и их сохранения.

## 4 Пример использования

В программе заданы следующие параметры:

- **Геометрические размеры рассчитываемой области**: 2500x2500 м.
- **Количество скважин**: 4.
- **Дебиты скважин**: 800, 1000, -700, -800 м<sup>3</sup>/сут.
- **Проницаемость**:  $100 \times 10^{-16}$  м<sup>2</sup> (с неоднородностью).
- **Вязкость**:  $10 \times 10^{-7}$  Па·с.
- **Сжимаемость**:  $5 \times 10^{-5}$  1/Па.

- **Пористость:** 0.05.
- **Объемный коэффициент:** 1.2.
- **Толщина пласта:** 10 м.
- **Время работы:** 5 лет ( $365 \times 5$  дней).

## 5 Результаты

Результаты расчета сохраняются в файлы Excel и изображения:

- **history\_field\_pressure.xlsx:** Содержит историю изменения давления в каждой точке расчетной области.
- **well\_information.xlsx:** Содержит информацию о давлении на забоях скважин и их продуктивности.
- **проницаемость.png:** Визуализация распределения проницаемости.
- **результат\_давление.png:** Визуализация распределения давления в пласте.
- **давление\_забой.png:** Изменение давления на забоях скважин во времени.
- **продуктивность.png:** Продуктивность добывающих скважин.

## 6 Примеры изображений

Здесь можно добавить примеры изображений, полученных в результате работы программы.

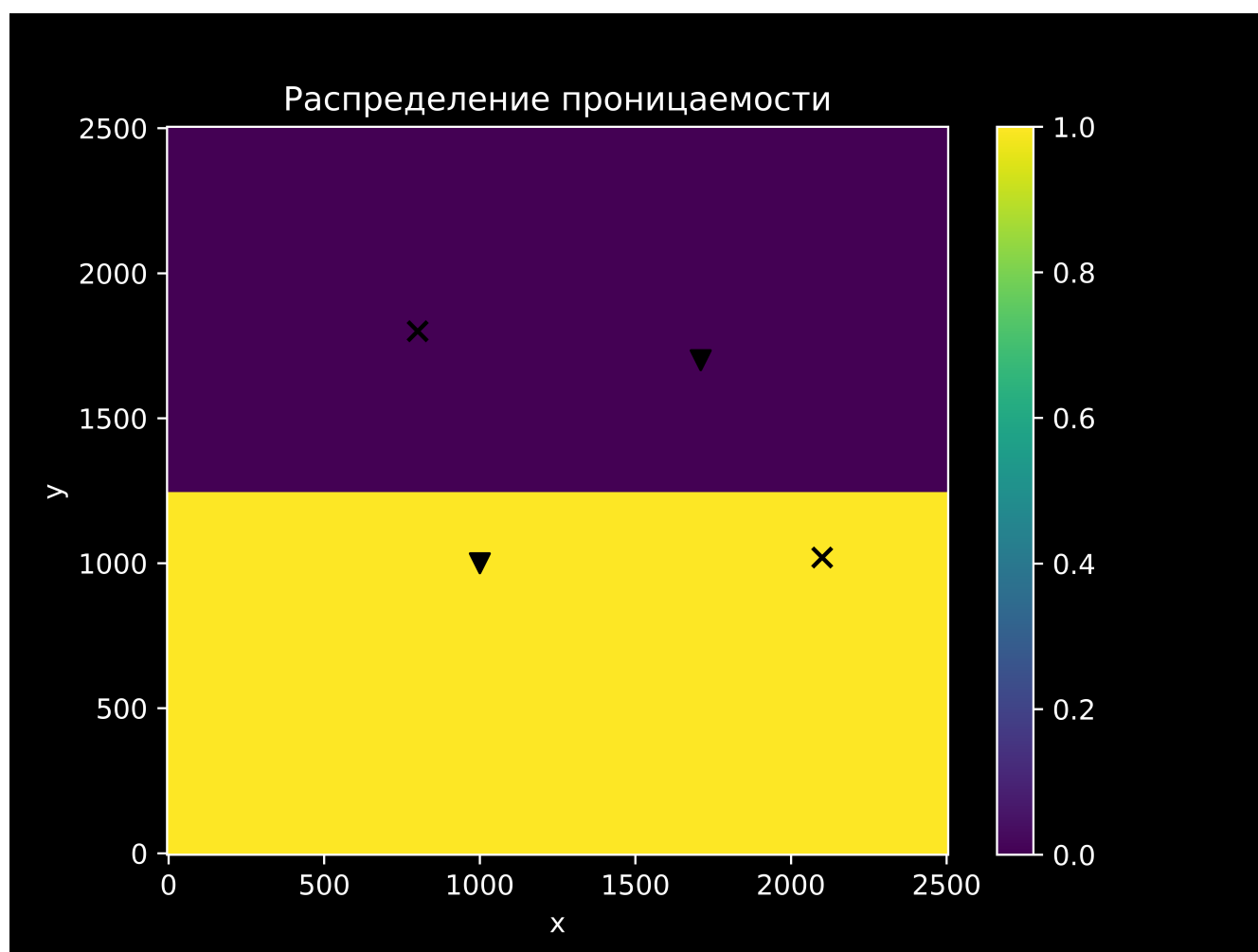


Рис. 1: Пример проницаемости пласта

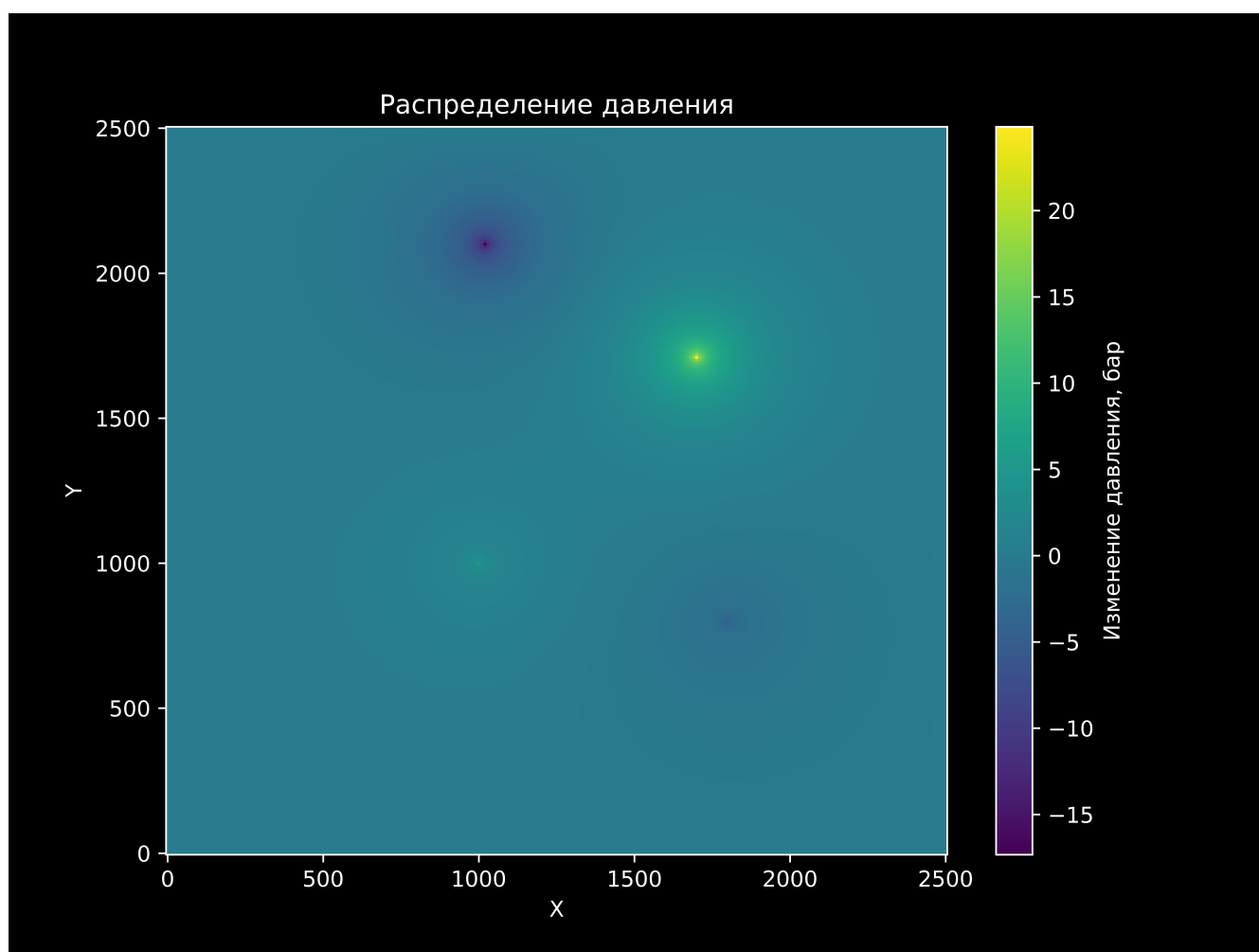


Рис. 2: Пример результирующего давления в пласте

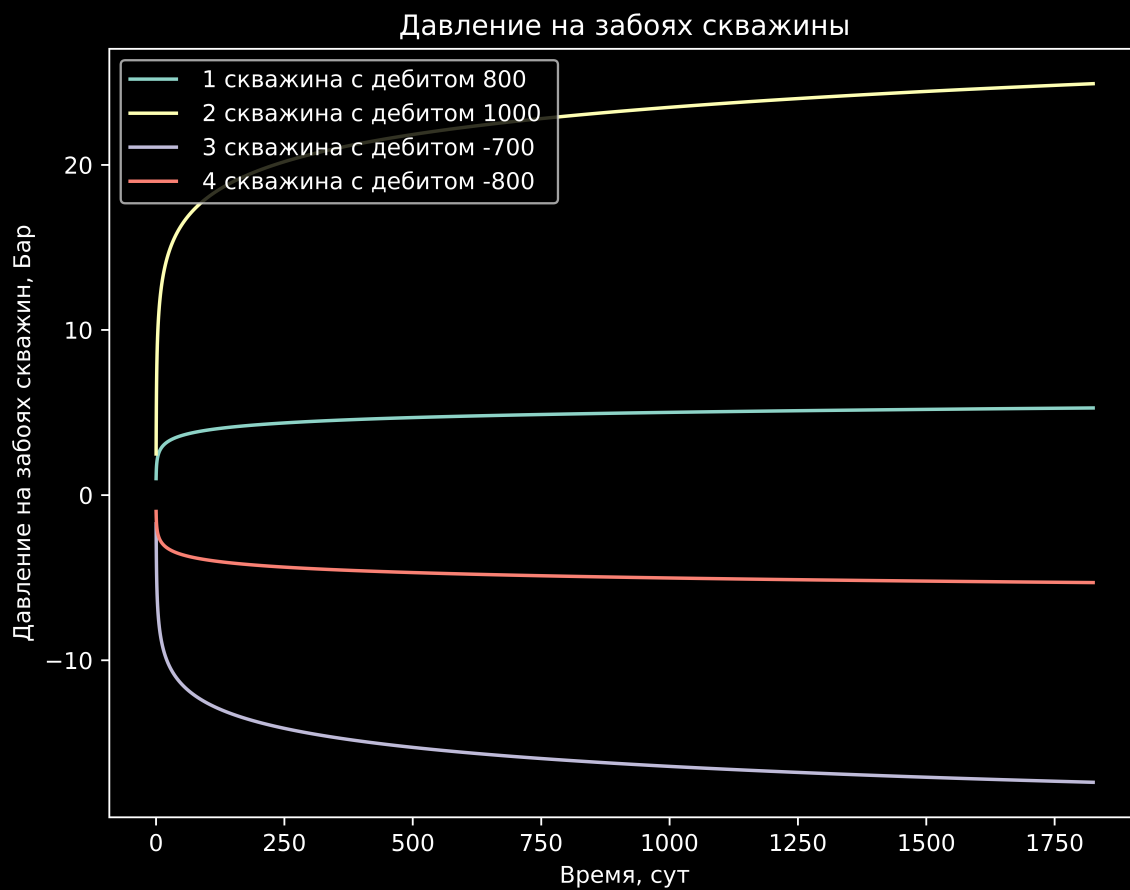


Рис. 3: Пример давлений на забоях скважин

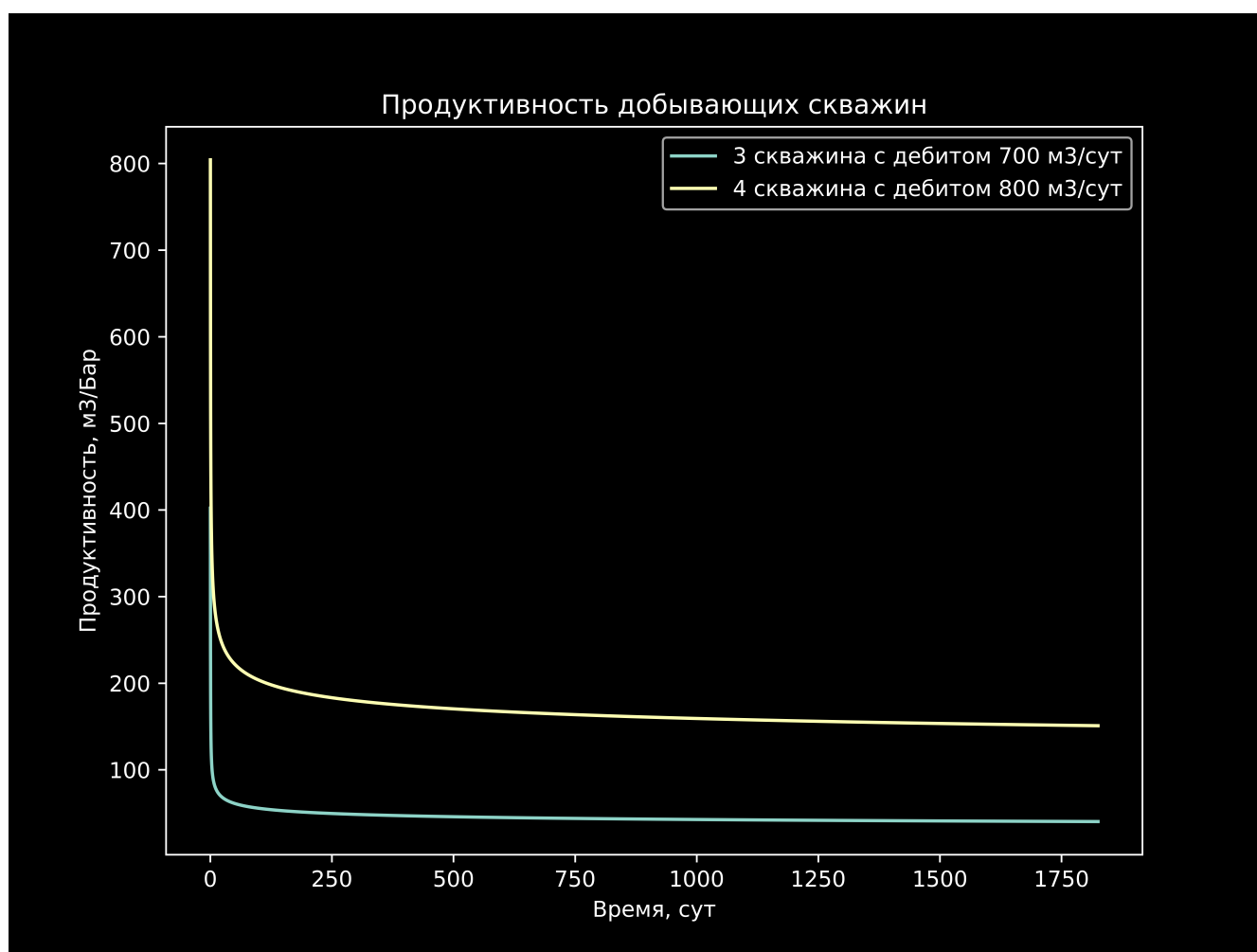


Рис. 4: Пример продуктивностей