

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

Кафедра морского
нефтегазового дела и физики

Расчет распределения давления в пласте при работе скважин

*Методические указания к выполнению расчетно-
графической работы по дисциплине «Моделирование
разработки месторождений нефти и газа» для
обучающихся по специальности 21.05.05 Физические
процессы горного или нефтегазового производства
(специализация «Физические процессы нефтегазового
производства»)*

Мурманск
2021

Составитель – Кортаев Александр
Борисович, старший преподаватель кафедры
Морского нефтегазового дела и физики

*Электронное издание подготовлено в
авторской редакции*

Мурманский государственный технический университет
183010, Мурманск, ул. Спортивная д. 13 тел. (8152) 25-40-72
Уч.-изд. л. 1,125. Заказ -

Мурманский государственный технический университет, 2021

© А. Б. Кортаев, 2021

Оглавление

Введение	3
Общие методические указания к выполнению РГР.....	4
Теоретические сведения	Ошибка! Закладка не определена.
Расчетная часть	Ошибка! Закладка не определена.
Список используемой литературы.....	33
Приложение 1. Пример оформления титульного листа РГР	35

Введение

Расчетно-графическая работа по дисциплине «Моделирование разработки месторождений нефти и газа» выполняется в соответствии с учебным планом по направлению/специальности.

РГР предназначена для закрепления и углубления знаний, полученных при теоретическом изучении дисциплины, для того, чтобы студент смог использовать полученные знания на практике.

Цель методических указаний – оказать помощь студентам при выполнении РГР по расчету распределения давления в пласте при работе скважин. В указаниях изложена последовательность работы, приведены расчетные формулы и графики, даны рекомендации по выполнению и оформлению.

Перед выполнением расчетно-графической работы необходимо ознакомиться с соответствующими разделами программы курса и методическими указаниями.

В ходе выполнения РГР студент должен проявить умение самостоятельно работать с учебной и научной технической литературой, оперировать основными понятиями по изучаемой дисциплине.

РГР должна быть выполнена и представлена в срок, установленный графиком учебного процесса.

Выполнение расчетно-графической работы включает следующие этапы:

- Ознакомление с программой дисциплины «Моделирование разработки месторождений нефти и газа»;
- Ознакомление с вариантом задания;
- Выполнение расчетов с применением освоенных знаний;
- Оформление расчетно-графической работы в соответствии с ГОСТом;
- Защита расчетно-графической работы.

Структура расчетно-графической работы:

- Титульный лист (Приложение 1);
- Теоретические сведения;
- Расчетная часть;
- Заключение;
- Список использованной литературы.

Общие методические указания к выполнению РГР

Расчетно-графическая работа (РГР) – это самостоятельное исследование, которое предназначено для практического применения теоретического материала по основным темам изучаемой дисциплины и выработку навыков практического выполнения расчетов.

Целью РГР является расчет распределения давления в пласте при работе скважин.

Задачами РГР является:

1. Систематизация, закрепление и расширение теоретических знаний и практических умений студента;
2. Приобретение опыта работы с литературой и другими источниками информации, умение обобщать и анализировать научную информацию;
3. Развитие навыков работы в инженерной расчетно-графической среде Mathematica.

Теоретические сведения

Процесс разработки месторождения однократен и не подлежит полному прямому наблюдению.

Поэтому были разработаны методы научного исследования, позволяющие за небольшое время многократно и многовариантно воспроизвести (смоделировать) процесс (процессы) протекающие в пласте при добыче нефти и газа. Более широко цели моделирования формулируются так:

- оценка первоначальных запасов пластовой залежи.
- исследование скважин.
- планирование добычи.
- исследование движения флюидов в пласте.
- оптимизация системы извлечения пластовых флюидов.
- оценка экономической целесообразности.

Для решения перечисленных задач были разработаны следующие методы моделирования:

- Физические модели.
- Математические модели.
- Аналоговые модели.

В данной работе рассматривается математическое моделирование гидродинамики нефтяного пласта.

3. Математические модели.

Модель однородного пласта.

Водонапорный режим залежи с переменной толщиной h (малой, по сравнению с размерами залежи в горизонтальной плоскости вдоль осей x и y , т.е. вертикальной составляющей фильтрации можно пренебречь), проницаемостью k и насыщенной несжимаемой жидкостью с вязкостью μ описывается уравнением:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = 0;$$

Используя конечно-разностные аппроксимации (разложение функций в ряд Тейлора), получим:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p(x + \Delta x) - p(x)}{\Delta x} + \varepsilon. (2)$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{p(x + \Delta x) - 2 * p(x) + p(x - \Delta x)}{(\Delta x)^2} + \varepsilon. (3)$$

Подставляя выражение (3) в исходное (1), мы получим уравнение с пятью неизвестными для каждого элемента пласта с координатами (x,y) . Размеры элемента пласта: $\Delta x \Delta y$.

$$\frac{p_{x+1,y} - 2 * p_{x,y} + p_{x-1,y}}{(\Delta x)^2} + \frac{p_{x,y+1} - 2 * p_{x,y} + p_{x,y-1}}{(\Delta y)^2} = 0. (4)$$

В роли неизвестных выступают давления:

- в данном элементе пласта: $p_{x,y}$.
- в элементах пласта, располагающихся по отношению к данному элементу:
 - слева: $p_{x-1,y}$.
 - сверху: $p_{x,y+1}$.

-- справа: $p_{x+1,y}$.

-- снизу: $p_{x,y-1}$.

Если элемент пласта лежит у внешней границы модели залежи необходимо использовать граничные условия.

Преобразуя уравнение (4) получим.

$$\frac{p_{x+1,y} - p_{x,y}}{(\Delta x)^2} + \frac{p_{x-1,y} - p_{x,y}}{(\Delta x)^2} + \frac{p_{x,y+1} - p_{x,y}}{(\Delta y)^2} + \frac{p_{x,y-1} - p_{x,y}}{(\Delta y)^2} = 0 \quad (5).$$

Принимая, что коэффициенты гидропроводности (значения проницаемости k , высоты элемента h и вязкости μ) имеют конечное значение для каждого интервала падения давления (значения k , h , μ задаются для каждого элемента пласта если пласт неоднородный и могут быть различны по осям элемента). Умножим уравнение (5) на коэффициент гидропроводности $((k \cdot h) / \mu)$ и получим:

$$\frac{p_{x+1,y} - p_{x,y}}{(\Delta x)^2} \frac{k \cdot h}{\mu} + \frac{p_{x-1,y} - p_{x,y}}{(\Delta x)^2} \frac{k \cdot h}{\mu} + \frac{p_{x,y+1} - p_{x,y}}{(\Delta y)^2} \frac{k \cdot h}{\mu} + \frac{p_{x,y-1} - p_{x,y}}{(\Delta y)^2} \frac{k \cdot h}{\mu} = 0. \quad (6)$$

Запишем закон Дарси для фильтрации вдоль оси x и вдоль оси y элемента пласта:

$$Q = \frac{k \cdot S}{\mu} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta L}$$

- для фильтрации по оси x :

$$Q_x = \frac{k \cdot h \cdot \Delta y}{\mu} \frac{(\Delta P)_x}{\Delta x} = \frac{k \cdot h \cdot \Delta y}{\mu} \frac{(\Delta P)_x}{\Delta x} \Rightarrow$$

$$Q_{x1} = \frac{k \cdot h \cdot \Delta y}{\mu} \frac{(\Delta P)_x}{\Delta x} (p_{x-1,y} - p_{x,y}); \quad (7)$$

или

$$Q_{x2} = \frac{k \cdot h \cdot \Delta y}{\mu} \frac{(\Delta P)_x}{\Delta x} (p_{x+1,y} - p_{x,y}); \quad (8)$$

- для фильтрации по оси y :

$$Q_y = \frac{k \cdot h \cdot \Delta x}{\mu} \frac{(\Delta P)_y}{\Delta y} = \frac{k \cdot h \cdot \Delta x}{\mu} \frac{(\Delta P)_y}{\Delta y} \Rightarrow$$

$$Q_{y1} = \frac{k \cdot h \cdot \Delta x}{\mu} \frac{(\Delta P)_y}{\Delta y} (p_{x,y-1} - p_{x,y}); \quad (9)$$

или

$$Q_{y2} = \frac{k \cdot h \cdot \Delta x}{\mu} \frac{(\Delta P)_y}{\Delta y} (p_{x+1,y} - p_{x,y}). \quad (10)$$

Примем, что элемента пласта имеет форму прямоугольного параллелепипеда с квадратным основанием, т.е.

$$\Delta x = \Delta y \quad (11).$$

Выражения (7), (8), (9), (10) примут вид:

$$Q_{x1} = \frac{k * h \Delta y}{\mu \Delta x} (p_{x-1,y} - p_{x,y}); \quad (12)$$

$$Q_{x2} = \frac{k * h}{\mu} * \frac{\Delta y}{\Delta x} * (p_{x+1,y} - p_{x,y}); \quad (13)$$

и

$$Q_{y1} = \frac{k * h \Delta x}{\mu \Delta y} (p_{x,y-1} - p_{x,y}); \quad (14)$$

$$Q_{y2} = \frac{k * h}{\mu} * \frac{\Delta x}{\Delta y} * (p_{x+1,y} - p_{x,y}). \quad (15)$$

Таким образом с учётом (11), (12), (13), (14) и (15) выражение (6) преобразуется в:
 $Q_{x1} + Q_{x2} + Q_{y1} + Q_{y2} = 0 \quad (16).$

То есть в уравнение материального баланса для элемента пласта, то есть алгебраическая сумма объёмов вытекающих в элемент пласта и вытекающих из него равна нулю. Преобразуем уравнение (5) с учетом (11), получим:

$$p_{x+1,y} - p_{x,y} + p_{x-1,y} - p_{x,y} + p_{x,y+1} - p_{x,y} + p_{x,y-1} - p_{x,y} = 0$$

$$4 * p_{x,y} - p_{x+1,y} - p_{x-1,y} - p_{x,y+1} - p_{x,y-1} = 0.$$

Составляя такие уравнения для каждого узла, то есть набирая сетку из N элементов с шагом

$\Delta x = \Delta y$ и учитывая граничные условия, получим систему N уравнений по N переменным (в самом общем случае система имеет N неизвестных с возрастанием числа граничных условий количество неизвестных будет уменьшаться).

Модель для неоднородного пласта.

Уравнение (1) описывает случай однородного пласта. Для описания процессов происходящих в неоднородном в пласте оно не подходит, так как в нем не фигурируют данные параметрах пласта как функциях от координат.

Рассмотрим уравнение материального баланса (16) для фильтрации по закону Дарси через элемент пласта с координатами (x; y).

$$Q_{x1} + Q_{x2} + Q_{y1} + Q_{y2} = 0.$$

Пусть в соседних узлах следующие давления:

- "слева": $p_{x-1,y}$.
- "сверху": $p_{x,y+1}$.
- "справа": $p_{x+1,y}$.
- "снизу": $p_{x,y-1}$.

Если данный узел лежит на границе, то с одной (или нескольких) сторон, по которым узел (=элемент) граничит с внешней областью вместо давлений в соседних узлах появятся граничные условия, которые задаются дополнительно.

Пусть также гидропроводности ($G = (k * h) / \mu$) на участках падений давлений имеют конечные значения:

- на участке от узла с координатами (x-1;y) до (x;y): $G_1 = \frac{k_1 * h_1}{\mu}$ - "слева".

- на участке от узла с координатами (x;y+1) до (x;y): $G_2 = \frac{k_2 * h_2}{\mu}$ - "сверху".
- на участке от узла с координатами (x+1,y) до (x;y): $G_3 = \frac{k_3 * h_3}{\mu}$ - "справа".
- на участке от узла с координатами (x,y-1) до (x;y): $G_4 = \frac{k_4 * h_4}{\mu}$ - "снизу".

В таком случае закон Дарси запишется в виде:

$$Q_{x1} = (p_{x-1,y} - p_{x,y}) G_1 \quad (17)$$

$$Q_{x2} = (p_{x+1,y} - p_{x,y}) G_2 \quad (18)$$

$$Q_{y1} = (p_{x,y-1} - p_{x,y}) G_3 \quad (19)$$

$$Q_{y2} = (p_{x+1,y} - p_{x,y}) G_4 \quad (20)$$

И уравнение (16) можно преобразовать:

$$(p_{x-1,y} - p_{x,y}) G_1 + (p_{x+1,y} - p_{x,y}) G_2 + (p_{x,y-1} - p_{x,y}) G_3 + (p_{x+1,y} - p_{x,y}) G_4 = 0;$$

$$p_{x,y} (G_1 + G_2 + G_3 + G_4) - p_{x-1,y} G_1 - p_{x+1,y} G_2 - p_{x,y-1} G_3 - p_{x+1,y} G_4 = 0; \quad (21)$$

Задавая значениями G (или значениями k,h,μ по отдельности) для каждого участка между узлами, определяя условия в граничных областях, можно составить систему уравнений подобных (21) для любого количества узлов для данного пласта.

Граничные условия.

Давление в узлах, лежащих на контуре питания, будет равно давлению на контуре питания залежи $p_{кр}$ (принимается известным). Таким образом, если у узла (x;y) есть соседний узел (x-1;y), который лежит на контуре питания, то количество уравнений и неизвестных системы уменьшается на 1, а уравнение (21) для этого случая преобразуется следующим образом:

$$p_{x,y} (G_1 + G_2 + G_3 + G_4) - p_{x+1,y} G_2 - p_{x,y-1} G_3 - p_{x+1,y} G_4 = p_{кр} G_1.$$

Для однородного пласта:

$$4p_{x,y} - p_{x+1,y} - p_{x,y-1} - p_{x-1,y} = p_{кр}.$$

Аналогично уравнение (21) также преобразовывается, если на контуре питания лежит больше одной точки. Если краевой узел лежит не на контуре питания, например, когда пласт выклинивается, то проводимость между этим узлом и узлом (x;y) принимается равной 0 и следовательно:

$$p_{x,y} (G_1 + G_3 + G_4) - p_{x,y-1} G_3 - p_{x+1,y} G_4 = 0.$$

Для частного случая однородного пласта:

$$3p_{x,y} - p_{x+1,y} - p_{x,y-1} - p_{x-1,y} = 0;$$

Если в данном узле находится скважина, то принимая забойное давление известным $p_{заб}$, получаем новое граничное условие.

Так как радиус скважины много меньше шага сетки, то необходимо ввести дополнительную скважинную проводимость для того, чтобы смоделировать сопротивление призабойной зоны

Эта проводимость рассчитывается по формуле:

$$G_{\text{доб}} = \frac{k * h}{\mu} \left(\frac{1}{2 * \pi} \left(-\text{Log} \left[\frac{r_c}{\text{Scale}} \right] - 1.62 \right) \right)$$

где k , h , μ - соответственно проницаемость, толщина пласта, вязкость флюида.

r_c - радиус скважины в м.

Если в данном узле проведена скважина, то уравнение (21) для неоднородного пласта примет вид:

$$p_{x,y}(G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_{\text{доб}}) - p_{x-1,y}G_1 - p_{x+1,y}G_2 - p_{x,y-1}G_3 - p_{x+1,y}G_4 = G_{\text{доб}}p_{\text{заб}}; \quad (23)$$

уравнение (6) для однородного пласта примет вид:

$$\left(4 \frac{k * h}{\mu} + G_{\text{доб}} \right) p_{x,y} - \frac{k * h}{\mu} p_{x+1,y} - \frac{k * h}{\mu} p_{x-1,y} - \frac{k * h}{\mu} p_{x,y+1} - \frac{k * h}{\mu} p_{x,y-1} = G_{\text{доб}}p_{\text{заб}}; \quad (24)$$

Соответственно примерный дебит скважины может быть найден по формуле:

$$Q_c = (p_{x,y} - p_{\text{заб}})G_{\text{доб}} \quad (\text{м}^3/\text{с}).$$

Виды сеток.

Существует два способа построения сеток:

- 1) сетка с распределёнными узлами.
- 2) блочно-центрированная сетка.

На рисунках изображены виды сеток для линейного участка пласта.

В данной работе использована блочно-центрированная сетка поэтому остановимся на ней подробнее.

Различия видов сетки заключается по принципу разбиения моделируемой области. При использовании блочно-центрированной сетки область разбивается на конечное число одинаковых блоков, в каждом из которых принимается значение гидропроводности G , а в центре помещается узловая точка (в разделе "Практическая реализация" они называются "а-узлы"), для которой записываются уравнения.

Гидропроводность по полуоси элемента пласта будет равна $2G$.

Гидропроводность G_{1-2} между двумя соседними узлами с гидропроводностями

$$G_1, G_2, \text{ запишется: } G_{1-2} = \frac{2G_1 \cdot 2G_2}{2G_1 + 2G_2} = \frac{4G_1 G_2}{2G_1 + 2G_2} = \frac{2G_1 G_2}{G_1 + G_2}.$$

Соответственно уравнение (21) при использовании блочно-центрированной сетки примет вид:

$$p_{x,y} \left(\frac{2G_{x,y}G_{x-1,y}}{G_{x,y}+G_{x-1,y}} + \frac{2G_{x,y}G_{x+1,y}}{G_{x,y}+G_{x+1,y}} + \frac{2G_{x,y}G_{x,y-1}}{G_{x,y}+G_{x,y-1}} + \frac{2G_{x,y}G_{x,y+1}}{G_{x,y}+G_{x,y+1}} \right) - p_{x-1,y} \frac{2G_{x,y}G_{x-1,y}}{G_{x,y}+G_{x-1,y}} - p_{x+1,y} \frac{2G_{x,y}G_{x+1,y}}{G_{x,y}+G_{x+1,y}} - p_{x,y-1} \frac{2G_{x,y}G_{x,y-1}}{G_{x,y}+G_{x,y-1}} - p_{x,y+1} \frac{2G_{x,y}G_{x,y+1}}{G_{x,y}+G_{x,y+1}} = 0. \quad (25)$$

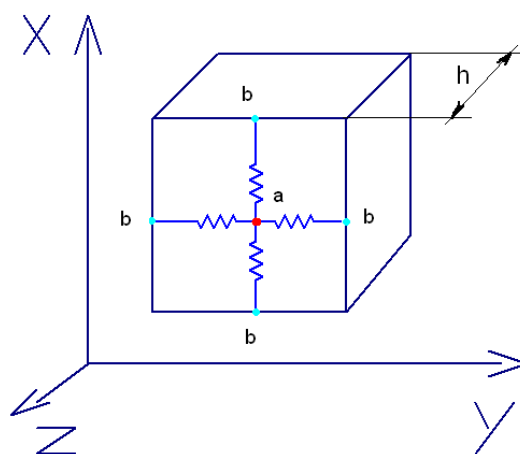
Если слева возникает граничное условие, то уравнение примет вид:

$$p_{x,y} \left(2G_{x,y} + \frac{2G_{x,y}G_{x+1,y}}{G_{x,y}+G_{x+1,y}} + \frac{2G_{x,y}G_{x,y-1}}{G_{x,y}+G_{x,y-1}} + \frac{2G_{x,y}G_{x,y+1}}{G_{x,y}+G_{x,y+1}} \right) - p_{x+1,y} \frac{2G_{x,y}G_{x+1,y}}{G_{x,y}+G_{x+1,y}} - p_{x,y-1} \frac{2G_{x,y}G_{x,y-1}}{G_{x,y}+G_{x,y-1}} - p_{x,y+1} \frac{2G_{x,y}G_{x,y+1}}{G_{x,y}+G_{x,y+1}} = 2p_{\text{КП}} G_{x,y}$$

Если проведена скважина:

$$p_{x,y} \left(\frac{2G_{x,y}G_{x-1,y}}{G_{x,y}+G_{x-1,y}} + \frac{2G_{x,y}G_{x+1,y}}{G_{x,y}+G_{x+1,y}} + \frac{2G_{x,y}G_{x,y-1}}{G_{x,y}+G_{x,y-1}} + \frac{2G_{x,y}G_{x,y+1}}{G_{x,y}+G_{x,y+1}} + G_{\text{доб}} \right) - p_{x-1,y} \frac{2G_{x,y}G_{x-1,y}}{G_{x,y}+G_{x-1,y}} - p_{x+1,y} \frac{2G_{x,y}G_{x+1,y}}{G_{x,y}+G_{x+1,y}} - p_{x,y-1} \frac{2G_{x,y}G_{x,y-1}}{G_{x,y}+G_{x,y-1}} - p_{x,y+1} \frac{2G_{x,y}G_{x,y+1}}{G_{x,y}+G_{x,y+1}} = G_{\text{доб}} p_{\text{заб}}.$$

Блочно-центрированная сетка, по сравнению с сеткой с распределёнными узлами, для данной задачи на порядок удобнее для задания больших массивов данных для неоднородных пластов, но сетка с распределёнными узлами считается более точной. Если необходима дополнительная точность решения, то давления в точках, лежащих на границе элемента пласта (b-точки) может быть рассчитано после нахождения давлений в а-точках.



Элемент блочно-центрированной сетки.

4. Разработка численной модели.

Теперь, на основе принципов, сформулированных в п. 3 создадим машинную модель для составления и решения системы конечно-разностных уравнений, описывающих фильтрацию жидкости в пласте.

Смоделируем залежь прямоугольной формы, с 2-мя скважинами. Размеры пласта 2000x1100 м. Диаметр пробуренных скважин $d=0.2$ м. Проницаемость пород колеблется в пределах 0.2 до 0.5 Дарси. Вязкость нефти 0.005 Па*с. Толщина пласта 5 м.

Постановка задачи

Необходимо составить программу для расчёта распределения давлений в нефтяной залежи небольшой переменено малой толщины на основе конечно-разностной численной модели.

Известны следующие параметры пласта:

- проницаемости;
- эффективные толщины;
- вязкость насыщающего флюида;

Режим работы залежи - водонапорный. Давление на контуре питания пласта известно.

Забойные давления скважин также известны.

Ход математического моделирования

1.1. Ввод исходных данных.

Масштабный коэффициент (размер блока), м/элемент:

Scale1 = 600;

Габаритные размеры модели пласта, (количество элементов по горизонтали II и вертикали JJ).

II = 20;

JJ = 11;

Давление на ВНК (начальное пластовое давление), МПа:

$$P_{kr} = 25;$$

Забойное скважинное давление, МПа:

$$P_{zab} = 16;$$

Массив данных о параметрах элементов пласта:

- 1-й столбец порядковый номер элемента пласта.
- 2-й столбец - координата центра элемента пласта по x.
- 3-й столбец - координата центра элемента пласта по y.
- 4-й столбец - проницаемость элемента пласта (10^{-6} м^2 - для того, чтобы выполнять расчёт давлений в МПа).
- 5-й - толщина элемента пласта (м).
- 6-й - динамическая вязкость насыщающего флюида (Па*с).
- 7-й столбец - указывает проходит ли или нет через центр данного элемента пласта скважина. Если нет - то значение равно 0, если есть - то указывается значение добавочной гидропроводности. Значение добавочной проводимости скважины рассчитывается по формуле.

$$G_{доб} = \frac{k * h}{\mu} \left(\frac{1}{2 * \pi} (-\text{Log}[\frac{r_c}{S_c}] - 1.62) \right)^{-1}$$

где k, h, μ - соответственно проницаемость (10^{-6} м^2), толщина пласта (м^2), вязкость флюида (Па*с).

r_c - радиус скважины в м.

Для данной задачи принимаем пласт однородным со следующими параметрам (проницаемость задается в 10^{-6} м^2):

$$k = 0.5 * 10^{-10};$$

$$h = 5;$$

$$\mu = 5 * 10^{-3};$$

$$r_c = 0.1;$$

Рассчитываем значение добавочной скважинной проводимости.

$$G_{доб} = \frac{k * h}{\mu} \left(\frac{1}{2 * \pi} * (-\text{Log}[\frac{r_c}{\text{Scale1}}] - 1.62) \right)^{-1};$$

№	x	y	k*10 ⁻⁶ м ²	h	μ	скважина
1	1	1	0	0	0	0
2	1	2	0	0	0	0
3	1	3	0	0	0	0

4	1	4	0	0	0	0
5	1	5	0	0	0	0
6	1	6	0	0	0	0
7	1	7	0	0	0	0
8	1	8	0	0	0	0
9	1	9	0	0	0	0
10	1	10	0	0	0	0
11	1	11	0	0	0	0
12	1	12	0	0	0	0
13	1	13	0	0	0	0
14	1	14	0	0	0	0
15	1	15	0	0	0	0
16	1	16	0	0	0	0
17	1	17	0	0	0	0
18	1	18	0	0	0	0
19	1	19	0	0	0	0
20	1	20	0	0	0	0
21	2	1	0	0	0	0
22	2	2	0	0	0	0
23	2	3	0	0	0	0
24	2	4	0	0	0	0
25	2	5	0	0	0	0
26	2	6	0	0	0	0
27	2	7	0	0	0	0
28	2	8	0	0	0	0
29	2	9	0	0	0	0

30	2	10	0	0	0	0
31	2	11	0	0	0	0
32	2	12	0	0	0	0
33	2	13	0	0	0	0
34	2	14	0	0	0	0
35	2	15	0	0	0	0
36	2	16	0	0	0	0
37	2	17	0	0	0	0
38	2	18	0	0	0	0
39	2	19	0	0	0	0
40	2	20	0	0	0	0
41	3	1	0	0	0	0
42	3	2	0	0	0	0
43	3	3	0	0	0	0
44	3	4	0	0	0	0
45	3	5	0	0	0	0
46	3	6	0	0	0	0
47	3	7	0	0	0	0
48	3	8	0	0	0	0
49	3	9	0	0	0	0
50	3	10	0	0	0	0
51	3	11	0	0	0	0
52	3	12	0	0	0	0
53	3	13	0	0	0	0
54	3	14	0	0	0	0
55	3	15	0	0	0	0

56	3	16	0	0	0	0
57	3	17	0	0	0	0
58	3	18	0	0	0	0
59	3	19	0	0	0	0
60	3	20	0	0	0	0
61	4	1	0	0	0	0
62	4	2	0	0	0	0
63	4	3	0	0	0	0
64	4	4	0	0	0	0
65	4	5	0	0	0	0
66	4	6	0	0	0	0
67	4	7	0	0	0	0
68	4	8	0	0	0	0
69	4	9	0	0	0	0
70	4	10	0	0	0	0
71	4	11	0	0	0	0
72	4	12	0	0	0	0
73	4	13	0	0	0	0
74	4	14	0	0	0	0
75	4	15	0	0	0	0
76	4	16	0	0	0	0
77	4	17	0	0	0	0
78	4	18	0	0	0	0
79	4	19	0	0	0	0
80	4	20	0	0	0	0
81	5	1	0	0	0	0

82	5	2	0	0	0	0
83	5	3	0	0	0	0
84	5	4	0	0	0	0
85	5	5	0	0	0	0
86	5	6	0	0	0	0
87	5	7	0	0	0	0
88	5	8	0	0	0	0
89	5	9	0	0	0	0
90	5	10	0	0	0	0
91	5	11	0	0	0	0
92	5	12	0	0	0	0
93	5	13	0	0	0	0
94	5	14	0	0	0	0
95	5	15	0	0	0	0
96	5	16	0	0	0	0
97	5	17	0	0	0	0
98	5	18	0	0	0	0
99	5	19	0	0	0	0
100	5	20	0	0	0	0
101	6	1	0	0	0	0
102	6	2	0	0	0	0
103	6	3	0	0	0	0
104	6	4	0	0	0	0
105	6	5	0	0	Г доб	0
106	6	6	0	0	0	0
107	6	7	0	0	0	0

108	6	8	0	0	0	0
109	6	9	0	0	0	0
110	6	10	0	0	0	0
111	6	11	0	0	0	0
112	6	12	0	0	0	0
113	6	13	0	0	0	0
114	6	14	0	0	Г доб	0
115	6	15	0	0	0	0
116	6	16	0	0	0	0
117	6	17	0	0	0	0
118	6	18	0	0	0	0
119	6	19	0	0	0	0
120	6	20	0	0	0	0
121	7	1	0	0	0	0
122	7	2	0	0	0	0
123	7	3	0	0	0	0
124	7	4	0	0	0	0
125	7	5	0	0	0	0
126	7	6	0	0	0	0
127	7	7	0	0	0	0
128	7	8	0	0	0	0
129	7	9	0	0	0	0
130	7	10	0	0	0	0
131	7	11	0	0	0	0
132	7	12	0	0	0	0
133	7	13	0	0	0	0

134	7	14	0	0	0	0
135	7	15	0	0	0	0
136	7	16	0	0	0	0
137	7	17	0	0	0	0
138	7	18	0	0	0	0
139	7	19	0	0	0	0
140	7	20	0	0	0	0
141	8	1	0	0	0	0
142	8	2	0	0	0	0
143	8	3	0	0	0	0
144	8	4	0	0	0	0
145	8	5	0	0	0	0
146	8	6	0	0	0	0
147	8	7	0	0	0	0
148	8	8	0	0	0	0
149	8	9	0	0	0	0
150	8	10	0	0	0	0
151	8	11	0	0	0	0
152	8	12	0	0	0	0
153	8	13	0	0	0	0
154	8	14	0	0	0	0
155	8	15	0	0	0	0
156	8	16	0	0	0	0
157	8	17	0	0	0	0
158	8	18	0	0	0	0
159	8	19	0	0	0	0

160	8	20	0	0	0	0
161	9	1	0	0	0	0
162	9	2	0	0	0	0
163	9	3	0	0	0	0
164	9	4	0	0	0	0
165	9	5	0	0	0	0
166	9	6	0	0	0	0
167	9	7	0	0	0	0
168	9	8	0	0	0	0
169	9	9	0	0	0	0
170	9	10	0	0	0	0
171	9	11	0	0	0	0
172	9	12	0	0	0	0
173	9	13	0	0	0	0
174	9	14	0	0	0	0
175	9	15	0	0	0	0
176	9	16	0	0	0	0
177	9	17	0	0	0	0
178	9	18	0	0	0	0
179	9	19	0	0	0	0
180	9	20	0	0	0	0
181	10	1	0	0	0	0
182	10	2	0	0	0	0
183	10	3	0	0	0	0
184	10	4	0	0	0	0
185	10	5	0	0	0	0

186	10	6	0	0	0	0
187	10	7	0	0	0	0
188	10	8	0	0	0	0
189	10	9	0	0	0	0
190	10	10	0	0	0	0
191	10	11	0	0	0	0
192	10	12	0	0	0	0
193	10	13	0	0	0	0
194	10	14	0	0	0	0
195	10	15	0	0	0	0
196	10	16	0	0	0	0
197	10	17	0	0	0	0
198	10	18	0	0	0	0
199	10	19	0	0	0	0
200	10	20	0	0	0	0
201	11	1	0	0	0	0
202	11	2	0	0	0	0
203	11	3	0	0	0	0
204	11	4	0	0	0	0
205	11	5	0	0	0	0
206	11	6	0	0	0	0
207	11	7	0	0	0	0
208	11	8	0	0	0	0
209	11	9	0	0	0	0
210	11	10	0	0	0	0
211	11	11	0	0	0	0

212	11	12	0	0	0	0
213	11	13	0	0	0	0
214	11	14	0	0	0	0
215	11	15	0	0	0	0
216	11	16	0	0	0	0
217	11	17	0	0	0	0
218	11	18	0	0	0	0
219	11	19	0	0	0	0
220	11	20	0	0	0	0

Заполнение 3,4,5 столбцов массива layer.

Значения проницаемости k , высоты h и вязкости μ принимаются одинаковыми для всех элементов пласта.

$$k = 0.5 * 10^{-10};$$

$$h = 5;$$

$$\mu = 5 * 10^{-3};$$

Рассчитываем значение добавочной скважинной проводимости.

$$G_{\text{доб}} = \frac{k * h}{\mu} \left(\frac{1}{2 * \pi} * (-\text{Log}[\frac{r_c}{\text{Scale1}}] - 1.62) \right)^{-1};$$

`Do[{layer[[i, 4]] = 0.3 * 10^ - 6 * Random[] + 0.2 * 10^ - 6, layer[[i, 5]] = 5, layer[[i, 6]] = 5 * 10^ - 3}, {i, 1, Length[layer], 1}];`

Создание массива el: копирование данных из 7 столбцов из layer и добавление 8-го столбца со значениями гидропроводности($(k*h)/\mu$).

```
el=Table[0, {i, 1, Length[layer], 1}, {j, 1, 8, 1}];
```

```
Do[{el[[i, 1]]=layer[[i, 1]], el[[i, 2]]=layer[[i, 2]], el[[i, 3]]=layer[[i, 3]], el[[i, 4]]=layer[[i, 4]], el[[i, 5]]=layer[[i, 5]], el[[i, 6]]]=layer[[i, 6]], , el[[i, 7]]=layer[[i, 7]], el[[i, 8]]=layer[[i, 4]] * layer[[i, 5]]/layer[[i, 6]]}, {i, 1, Length[layer], 1}
```

Табличный вид исходных данных.

```
TableForm[el];
```

1.2. Обработка данных.

Создание массива данных nn о элементах пласта соседних по отношению к данному элементу. 1- слева, 2-сверху, 3 - справа, 4- снизу. То есть для каждого элемента пласта с координатами (x; y) определяются номера соседних элементов с координатами:

(x-1; y) - номер элемента пласта удовлетворяющего такому условию заносится в 1-й столбец массива nn ("справа").

(x; y+1) - номер элемента пласта удовлетворяющего такому условию заносится во 2-й столбец массива nn ("сверху").

(x+1; y) - номер элемента пласта удовлетворяющего такому условию заносится в 3-й столбец массива nn ("справа").

(x; y-1) - номер элемента пласта удовлетворяющего такому условию заносится во 4-й столбец массива nn ("снизу").

Если какой-либо элемент пласта является краевым, то есть с одной или нескольких сторон у него нет соседних элементов, то значение номера соседнего элемента (элементов) с этой стороны (сторон) принимается равным 0. В дальнейшем это используется для задания краевых условий

Создание массива nn состоящего из нулей.

```
nn = Table[0, {i, 1, Length[el], 1}, {j, 1, 4}];
```

Заполнение массива nn в соответствии с приведёнными выше условиями.

```
Do[Do[{If[And[el[[i, 2]] == el[[j, 2]] + 1, el[[i, 3]] == el[[j, 3]]], nn[[i, 1]]
= j, None], If[And[el[[i, 3]] == el[[j, 3]] - 1, el[[i, 2]] == el[[j, 2]]], nn[[i, 2]]
= j, None], If[And[el[[i, 2]] == el[[j, 2]] - 1, el[[i, 3]] == el[[j, 3]]], nn[[i, 3]]
= j, None], If[And[el[[i, 3]] == el[[j, 3]] + 1, el[[i, 2]] == el[[j, 2]]], nn[[i, 4]]
= j, None}], {j, 1, Length[el], 1}], {i, 1, Length[el], 1}]
```

Заполненный массив nn.

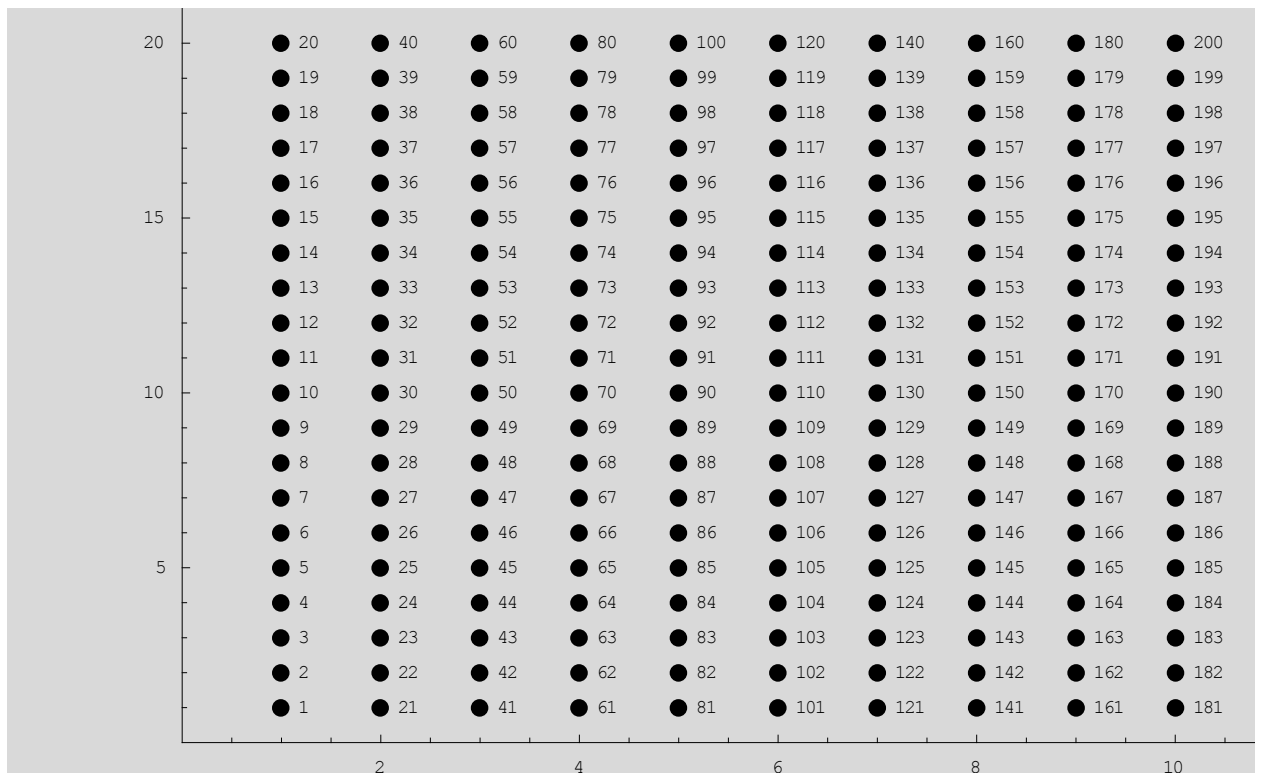
```
TableForm[nn];
```

```
nna=Table[0, {i, 1, Length[el]}, {j, 1, 3}];
```

```
Do[{nna[[i, 1]]==el[[i, 2]], nna[[i, 2]]==el[[i, 3]], nna[[i, 3]]==el[[i,
1]]}, {i, 1, Length[nna], 1}]
```

График расположения узлов.

```
numbersofelements = LabeledListPlot[nna, PlotRange -> {{0, J} + 1}, {0, I} + 1}];
```

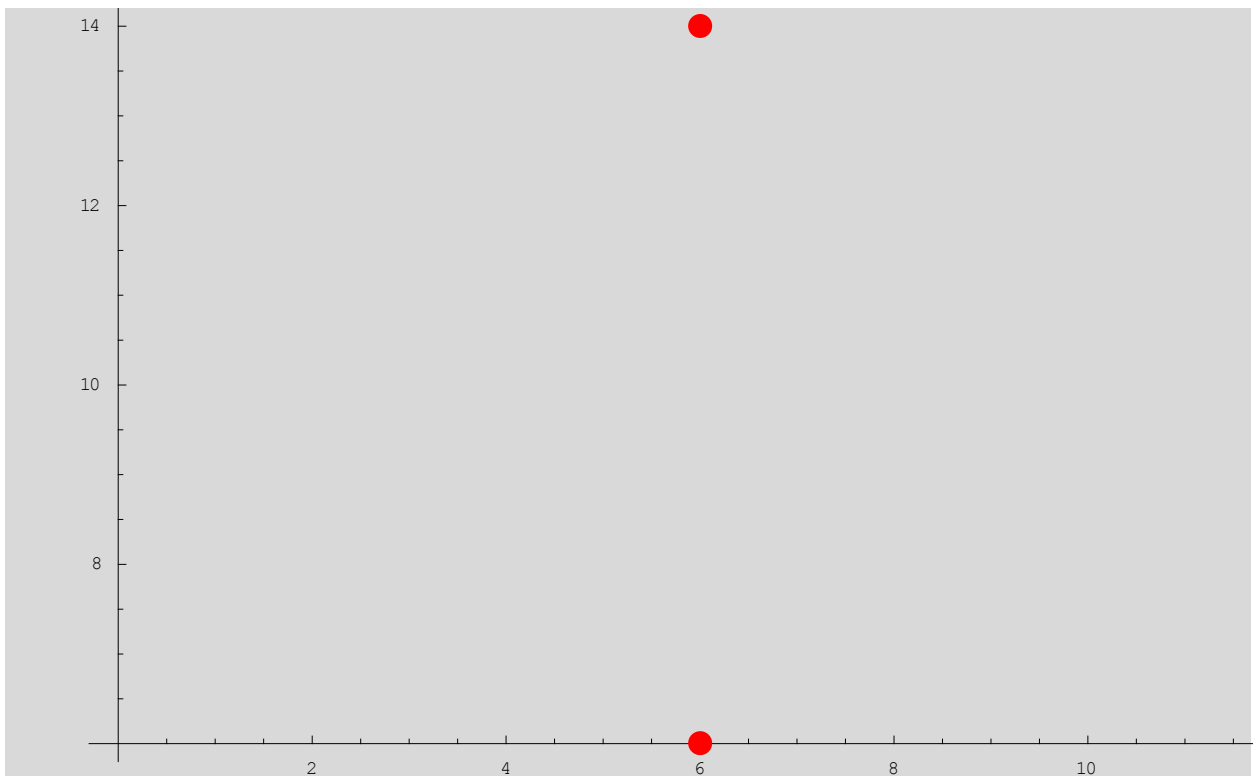


Создание массива данных о скважинах:

```
nwell=0;
wells=Table[0,{i,1,40,1},{j,1,3,1}];
wellsprgraphic=Table[0,{i,1,40,1},{j,1,2,1}];
Do[If[e1[[i,7]]>0,{nwell=nwell+1,wellsprgraphic[[nwell,1]]=e1[[i,2]],wellsprgraphic[[nwell,2]]=e1[[i,3]]},None],{i,1,Length[e1],1}]
wellsprgraphic=Take[wellsprgraphic,nwell];
```

График расположения добывающих скважин.

```
graphicwellpr = ListPlot[wellsprgraphic, PlotStyle -> {PointSize[0.02], RGBColor[1,0,0]}];
```

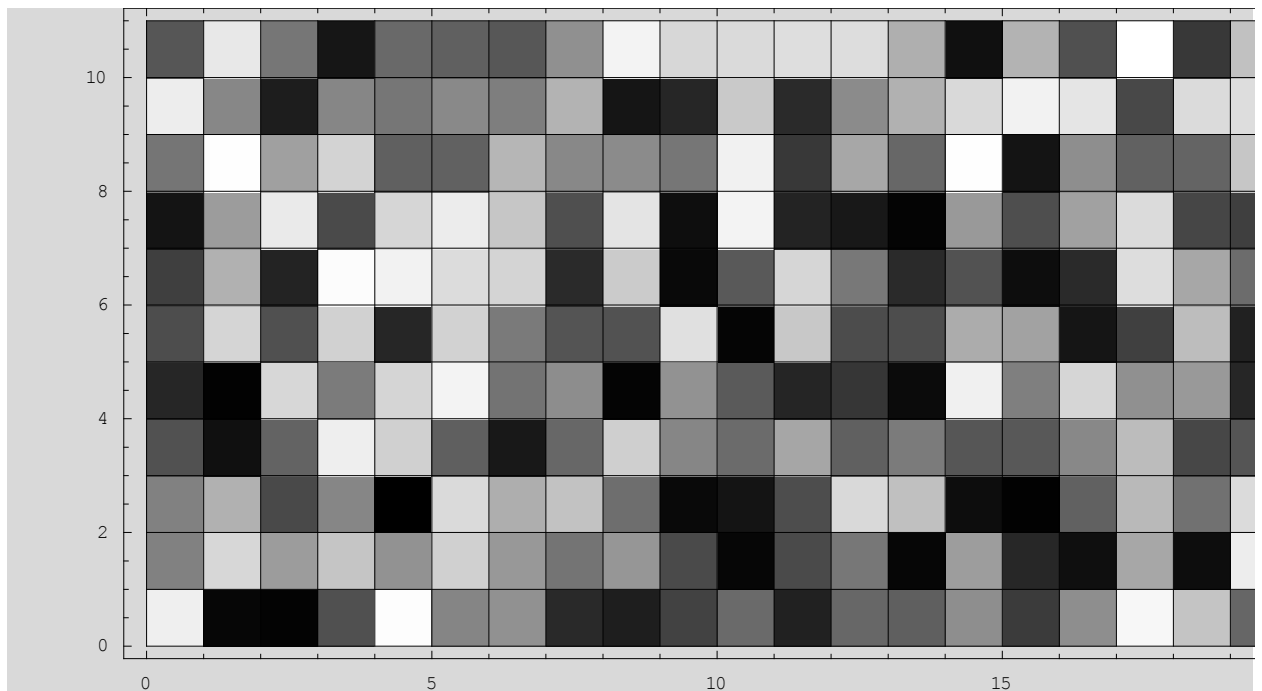


Создание массива b - точек.

1.3 Визуализация данных о параметрах пласта.

Карта проницаемостей.

```
Do[kk[e1[[i,2]],e1[[i,3]]]=10^12*e1[[i,4]],{i,1,Length[e1],1}]
Show[DensityGraphics[Table[kk[i,j],{i,1,JJ,1},{j,1,II,1}],ColorOutput->Automatic,AspectRatio->JJ/II];
```

1.4. Расчёт распределений давлений и дебитов в пласте.

Расчёт давлений.

Решение системы из Length[el] уравнений (21) по Length[el] переменным по методу Крамера. Найденные значения потенциалов а-точек заносятся в массивы Φ и figraphic.

Создание пустых массивов для главной матрицы (fi) и для правой численной части (rt)

```
fi=Table[0,{i,1,Length[el],1},{j,1,Length[el],1}];
rt=Table[0,{i,1,Length[el],1}];
```

Запуск цикла для заполнения главной матрицы fi и правой части коэффициентами уравнения (25) для каждого элемента пласта и с учётом граничных условий.

$$p_{x,y} \left(\frac{2G_{x,y}G_{x-1,y}}{G_{x,y} + G_{x-1,y}} + \frac{2G_{x,y}G_{x+1,y}}{G_{x,y} + G_{x+1,y}} + \frac{2G_{x,y}G_{x,y-1}}{G_{x,y} + G_{x,y-1}} + \frac{2G_{x,y}G_{x,y+1}}{G_{x,y} + G_{x,y+1}} \right) - p_{x-1,y} \frac{2G_{x,y}G_{x-1,y}}{G_{x,y} + G_{x-1,y}} - p_{x+1,y} \frac{2G_{x,y}G_{x+1,y}}{G_{x,y} + G_{x+1,y}} - p_{x,y-1} \frac{2G_{x,y}G_{x,y-1}}{G_{x,y} + G_{x,y-1}} - p_{x,y+1} \frac{2G_{x,y}G_{x,y+1}}{G_{x,y} + G_{x,y+1}} = 0.$$

1) i-й элемент пласта проверяется на наличие скважины (т.е. равен ли 7-й столбец массива el нулю) если равен, то не выполняется никаких действий, если нет, то к правой части rt[[i,1]] прибавляется $G_{\text{доб}}p_{\text{заб}}$, а к элементу fi[[i,i]] значение $G_{\text{доб}}$ (el[[i,7]]):

$$\begin{aligned}
& p_{x,y} \left(\frac{2G_{x,y}G_{x-1,y}}{G_{x,y} + G_{x-1,y}} + \frac{2G_{x,y}G_{x+1,y}}{G_{x,y} + G_{x+1,y}} + \frac{2G_{x,y}G_{x,y-1}}{G_{x,y} + G_{x,y-1}} + \frac{2G_{x,y}G_{x,y+1}}{G_{x,y} + G_{x,y+1}} + G_{\text{доб}} \right) \\
& - p_{x-1,y} \frac{2G_{x,y}G_{x-1,y}}{G_{x,y} + G_{x-1,y}} - p_{x+1,y} \frac{2G_{x,y}G_{x+1,y}}{G_{x,y} + G_{x+1,y}} - p_{x,y-1} \frac{2G_{x,y}G_{x,y-1}}{G_{x,y} + G_{x,y-1}} \\
& - p_{x,y+1} \frac{2G_{x,y}G_{x,y+1}}{G_{x,y} + G_{x,y+1}} = G_{\text{доб}} p_{\text{заб}}.
\end{aligned}$$

2) Далее следует проверка не лежит ли какая-либо сторона элемента пласта на контуре питания.

Проверяются значения массива nn, содержащие номера соседних элементов (см. выше)

nn[[i,1]]□0 - проверка "слева".

nn[[i,2]]□0 - проверка "сверху".

nn[[i,3]]□0 - проверка "справа".

nn[[i,4]]□0 - проверка "снизу".

Для nn[[i,1]]==0;

Если условие выполняется, то к fi[[i,i]] добавляется $2G_{x,y} (2*el[[i,8]])$, а к правой части rt[[i]] - значение $2p_{\text{к.п.}} G_{x,y} (2*Pkr*el[[i,8]])$.

Если условие не выполняется, то к элементу fi[[i,i]] прибавляется значение межузловой проводимости $\frac{(2G_{x,y} G_{x-1,y})}{(G_{x,y}+G_{x-1,y})}$ $(4*el[[i,8]]*el[[nn[[i,1]],8]])/(2*el[[i,8]]+2*el[[nn[[i,1]],8]])$,

а элементу главной матрицы fi[[i,nn[[i,1]]]] присваивается тоже самое значение, что и fi[[i,i]], но со знаком "-".

$$\begin{aligned}
& p_{x,y} \left(2G_{x,y} + \frac{2G_{x,y}G_{x+1,y}}{G_{x,y} + G_{x+1,y}} + \frac{2G_{x,y}G_{x,y-1}}{G_{x,y} + G_{x,y-1}} + \frac{2G_{x,y}G_{x,y+1}}{G_{x,y} + G_{x,y+1}} \right) - p_{x+1,y} \frac{2G_{x,y}G_{x+1,y}}{G_{x,y} + G_{x+1,y}} \\
& - p_{x,y-1} \frac{2G_{x,y}G_{x,y-1}}{G_{x,y} + G_{x,y-1}} - p_{x,y+1} \frac{2G_{x,y}G_{x,y+1}}{G_{x,y} + G_{x,y+1}} == 2p_{\text{к.п.}} G_{x,y}
\end{aligned}$$

Для случаев nn[[i,2]], nn[[i,3]]==0, nn[[i,4]]==0 проверка производится точно также.

```

Do[{If[el[[i, 7]] == 0, fi[[i, i]] = 0, {fi[[i, i]] = fi[[i, i]] + el[[i, 7]], rt[[i]]
= rt[[i]] + Pzab * el[[i, 7]]}], If[nn[[i, 1]] == 0, {rt[[i]]
= rt[[i]] + 2 * Pkr * el[[i, 8]], fi[[i, i]] = fi[[i, i]] + 2 * el[[i, 8]]}, {fi[[i, i]]
= fi[[i, i]]
+ (4 * el[[i, 8]] * el[[nn[[i, 1], 8]]) / (2 * el[[i, 8]] + 2 * el[[nn[[i, 1], 8]]), fi[[i, nn[[i, 1]]]]
= -(4 * el[[i, 8]] * el[[nn[[i, 1], 8]]) / (2 * el[[i, 8]] + 2 * el[[nn[[i, 1], 8]])}, If[nn[[i, 2]] =
= 0, {rt[[i]] = rt[[i]] + 2 * Pkr * el[[i, 8]], fi[[i, i]] = fi[[i, i]] + 2 * el[[i, 8]]}, {fi[[i, i]]
= fi[[i, i]]
+ (4 * el[[i, 8]] * el[[nn[[i, 2], 8]]) / (2 * el[[i, 8]] + 2 * el[[nn[[i, 2], 8]]), fi[[i, nn[[i, 2]]]]
= -(4 * el[[i, 8]] * el[[nn[[i, 2], 8]]) / (2 * el[[i, 8]] + 2 * el[[nn[[i, 2], 8]])}, If[nn[[i, 3]] =
= 0, {rt[[i]] = rt[[i]] + 2 * Pkr * el[[i, 8]], fi[[i, i]] = fi[[i, i]] + 2 * el[[i, 8]]}, {fi[[i, i]]
= fi[[i, i]]
+ (4 * el[[i, 8]] * el[[nn[[i, 3], 8]]) / (2 * el[[i, 8]] + 2 * el[[nn[[i, 3], 8]]), fi[[i, nn[[i, 3]]]]
= -(4 * el[[i, 8]] * el[[nn[[i, 3], 8]]) / (2 * el[[i, 8]] + 2 * el[[nn[[i, 3], 8]])}, If[nn[[i, 4]] =
= 0, {rt[[i]] = rt[[i]] + 2 * Pkr * el[[i, 8]], fi[[i, i]] = fi[[i, i]] + 2 * el[[i, 8]]}, {fi[[i, i]]
= fi[[i, i]]
+ (4 * el[[i, 8]] * el[[nn[[i, 4], 8]]) / (2 * el[[i, 8]] + 2 * el[[nn[[i, 4], 8]]), fi[[i, nn[[i, 4]]]]
= -(4 * el[[i, 8]] * el[[nn[[i, 4], 8]]) / (2 * el[[i, 8]] + 2 * el[[nn[[i, 4], 8]])}, {i, 1, Length[el], 1}]

```

Далее значение сформированной главной матрицы fi присваивается матрице для промежуточных вычислений kjk и запускается цикл реализующий метод Крамера, то есть поочерёдно замещающий i-й столбец матрицы kjk массивом правой части rt. Давление в i-м узле равно отношению определителя kjk к определителю fi. Также производится округление значений давления до тысячных долей мегапаскаля.

```
kjk=fi;
```

```
figraphic=Table[Pkr, {i, 1, Length[el], 1}, {j, 1, 3}];
```

```
Do[{figraphic[[i, 1]]=el[[i, 2]], figraphic[[i, 2]]=el[[i, 3]]-0.1}, {i, 1, Length[el], 1}]
```

```
φ=Table[0, {i, 1, Length[el], 1}];
```

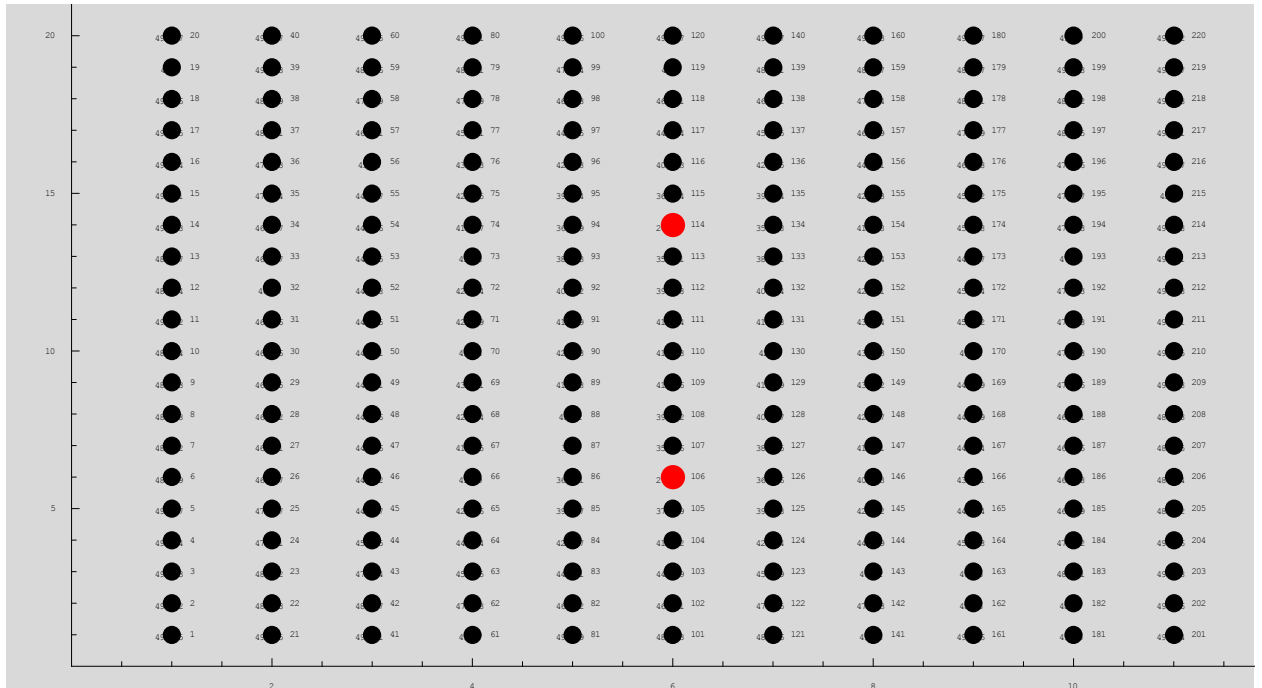
```
Do[{Do[kjk[[i, j]]=rt[[i]], {i, 1, Length[el], 1}], pressure=Det[kjk]/Det[fi], pressure=Round[1000*pressure]/1000//N, φ[[j]]=pressure, figraphic[[j, 3]]=pressure, Print["φ", j, "=", pressure], kjk=fi}, {j, 1, Length[el], 1}];
```

Расчёт дебитов скважин.

```
counter4=1;
```

```
Do[If[el[[i, 7]]!=0, {Print["Скважина, расположенная в блоке с координатами (i=", el[[i, 2]], "; ", "j=", el[[i, 3]], ") работает с дебитом ", 24*3600(φ[[i]]- Pzab)*Gдоб, " м3/сут"], counter4=counter4+1}, None], {i, 1, Length[el], 1}];
```


Show[numbersofelements, graphicofpressures, graphicwellpr, AspectRatio → J]/II];



Определение направлений и скоростей течений в пласте.

Создание массивов: одномерного current (для занесения величин токов), tok2 (для построения схемы течений между узлами).

```
tok2=Table[0,{i,1,Length[el],1},{j,1,4,1}];
```

```
Do[{If[nn[[i,1]]==0,tok2[[i,1]]=(Pkr-
 $\Phi$ [[i]])*2*el[[i,8]],tok2[[i,1]]=-( $\Phi$ [[i]]-
 $\Phi$ [[nn[[i,1]]]) *2*el[[i,8]]*el[[nn[[i,1]],8]]/(el[[i,8]]+el[[nn
[[i,1]],8]]),If[nn[[i,2]]==0,tok2[[i,2]]=(Pkr-
 $\Phi$ [[i]])*2*el[[i,8]],tok2[[i,2]]=-( $\Phi$ [[i]]-
 $\Phi$ [[nn[[i,2]]]) *2*el[[i,8]]*el[[nn[[i,2]],8]]/(el[[i,8]]+el[[nn
[[i,2]],8]]),If[nn[[i,3]]==0,tok2[[i,3]]=(Pkr-
 $\Phi$ [[i]])*2*el[[i,8]],tok2[[i,3]]=-( $\Phi$ [[i]]-
 $\Phi$ [[nn[[i,3]]]) *2*el[[i,8]]*el[[nn[[i,3]],8]]/(el[[i,8]]+el[[nn
[[i,3]],8]]),If[nn[[i,4]]==0,tok2[[i,4]]=(Pkr-
 $\Phi$ [[i]])*2*el[[i,8]],tok2[[i,4]]=-( $\Phi$ [[i]]-
 $\Phi$ [[nn[[i,4]]]) *2*el[[i,8]]*el[[nn[[i,4]],8]]/(el[[i,8]]+el[[nn
[[i,4]],8]]),If[el[[i,7]]!=0,{tok2[[i,1]]=0,tok2[[i,2]]=0,tok2
[[i,3]]=0,tok2[[i,4]]=0}}},{i,1,Length[el],1}
```

Заполнение массива данных для построения векторного поля течений в пласте.

```
current = Table[0,{i,1,Length[el],1},{j,1,2,1},{k,1,2,1};
```

```

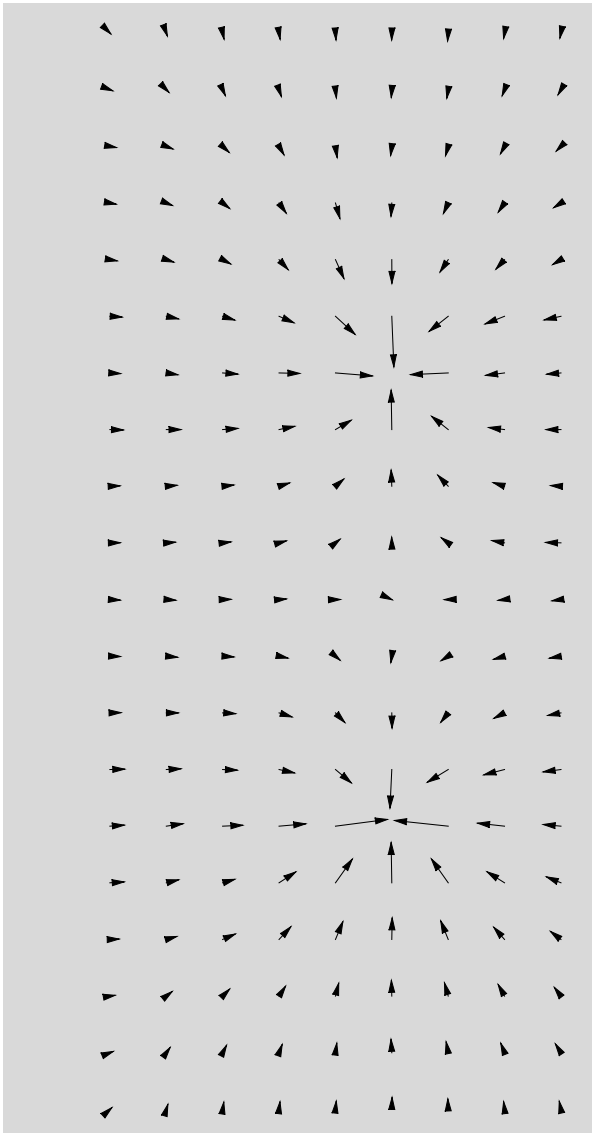
Do[{current[[i, 1, 1]] = el[[i, 2]], current[[i, 2, 1]]
    = 0.3 * (tok2[[i, 1]] - tok2[[i, 3]])/Max[tok2], current[[i, 1, 2]]
    = el[[i, 3]], current[[i, 2, 2]]
    = 0.3 * (-tok2[[i, 2]] + tok2[[i, 4]])/Max[tok2]}, {i, 1, Length[el], 1}]

```

```
<<Graphics`PlotField`
```

Создание графика векторного поля для наглядного отображения течений между узлами.

```
flows = ListPlotVectorField[current];
```



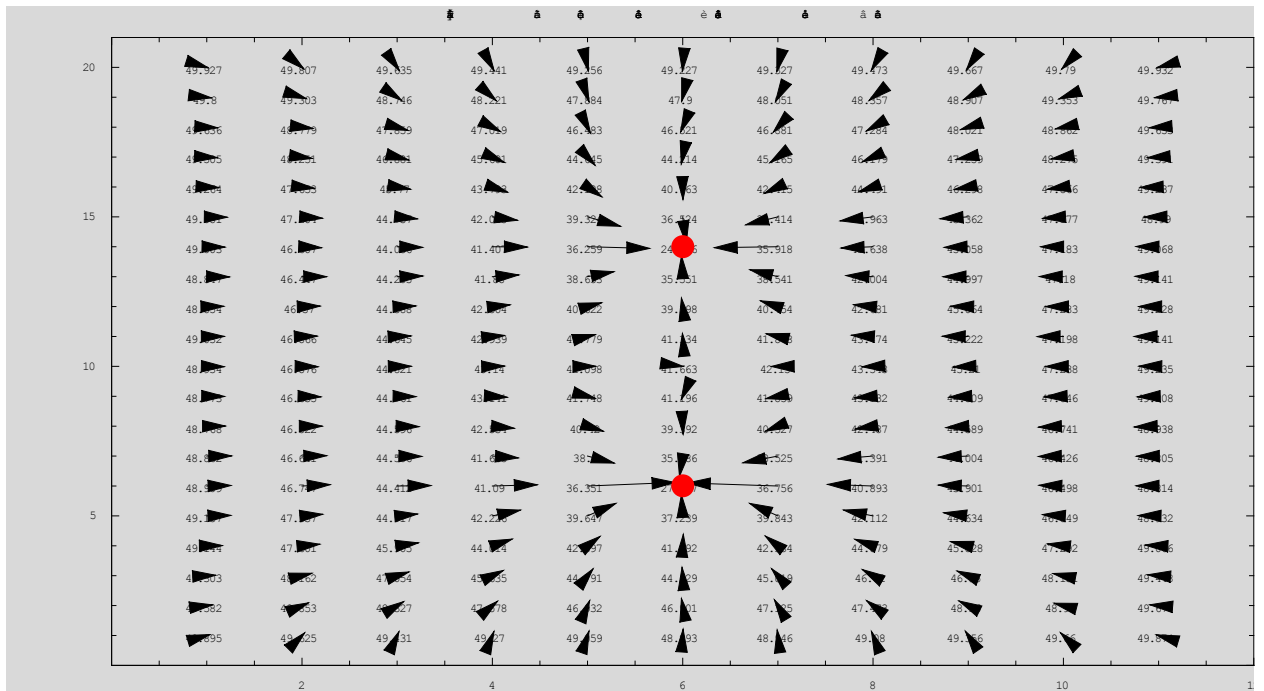
Итоговые графики.,

Совмещённая схема узловых давлений и направлений течений в пласте.

```

Show[flows, graphicofpressures, graphicwellpr, PlotRange
    → {{0, Jj + 1}, {0, Ii + 1}}, AspectRatio → Jj/Ii, Axes → True, Frame → True, PlotLabel
    → Совмещённая схема узловых давлений и направлений течений в пласте];

```



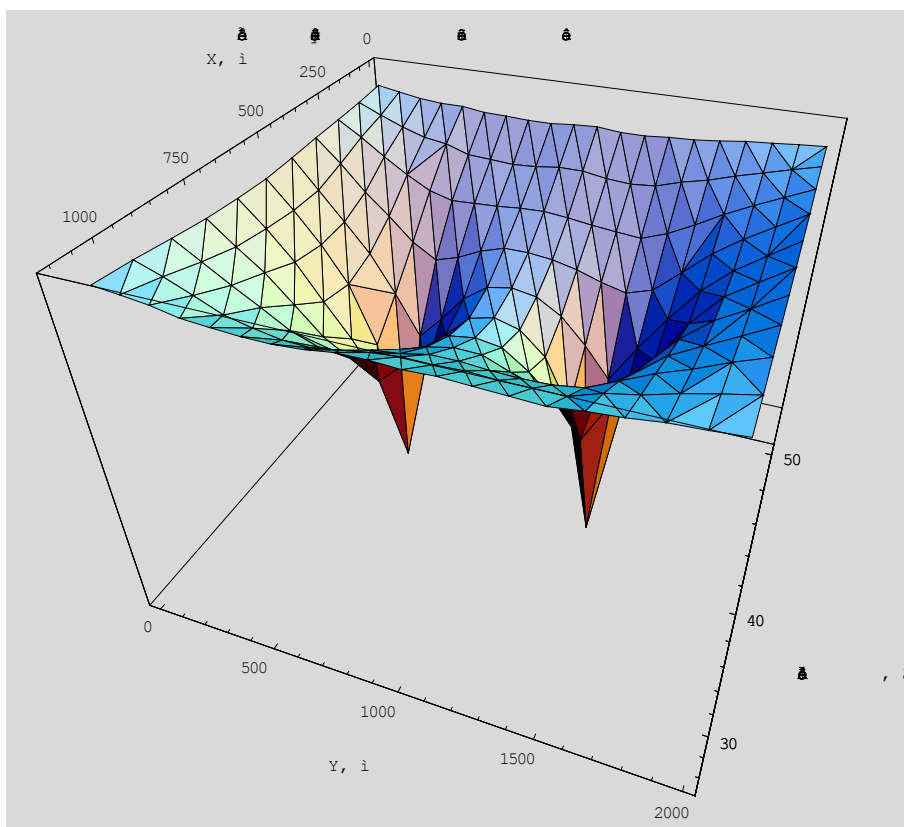
```
data3d=Table[0,{i,1,Length[el],1},{j,1,3,1}];
```

```
Do[{figraphic[[i,1]]=Scale*figraphic[[i,1]],figraphic[[i,2]]=Scale*figraphic[[i,2]]},{i,1,Length[el],1}];
```

Трёхмерный график распределения давления.

```
<<DiscreteMath`ComputationalGeometry`
```

```
TriangularSurfacePlot[figraphic,BoxRatios->{2,2,1.4},Axes->True, AxesLabel->{"X, м","Y, м","Давление, МПа"},ViewPoint->{1.3,0.5,1},PlotLabel->"График распределения пластовых давлений"];
```



Анализ полученных результатов.

Рассмотрим график распределения пластового давления. На нем чётко обозначены депрессионные воронки вокруг скважин. По краям пласта давление постоянно, как это и было сформулировано в математической модели п.3.

На графике течений в пласте хорошо просматривается интерференция скважин (искривление векторов потока около скважин).

Минимальное давление в пласте, МПа:

$$\text{Min}[\varphi] \\ 24.766$$

Список используемой литературы

1. Азиз, Халид. Математическое моделирование пластовых систем / Х. Азиз, Э. Сеттари; Пер. с англ. А. В. Королева, В. П. Кестнера. - М. : Недра, 1982. - 407 с. : ил.; 22 см.; ISBN В пер. (В пер.) : 1 р. 90 к.

Перевод изд.: Petroleum reservoir simulation / Khalid Aziz Antonin Settari (London)

2. Научные основы разработки нефтяных месторождений [Текст] / А. П. Крылов, М. М. Глоговский, М. Ф. Мирчинк [и др.] ; [Предисл. проф. д-ра А. Топчиева, с. 3-4] ; М-во нефт. пром-сти вост. районов СССР и М-во высш. образования СССР. Моск. нефт. ин-т им. акад. И. М. Губкина. - Москва ; Ленинград : Гостоптехиздат, 1948 (Ленинград : тип. "Кр. печатник"). - 416 с. : черт.; 25 см.

3. Бойко В. С. Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений : [Учеб. по спец. "Разраб. и эксплуатация нефт. и газовых месторождений"] / В. С. Бойко. - М. : Недра, 1990. - 426,[1] с. : ил.; 22 см. - (Высш. образование).; ISBN 5-247-01546-0

Примерные варианты заданий для выполнения расчетно-графической работы

Исходные данные для моделирования разработки нефтяной залежи

Вар.	P, bar	P _{заб} , bar	Число скважин	K _{пр} , 10 ⁻¹² м ²	h _{эф} , м	Rc, м
1	200	160	2	40	5	0.1
2	220	170	3	60	10	0.1
3	240	180	4	40	11	0.1
4	260	180	5	60	12	0.1
5	500	430	2	10	13	0.1
6	270	180	3	40	14	0.1
7	275	180	4	40	15	0.1
8	200	160	5	50	16	0.1
9	350	280	2	50	17	0.1
10	280	220	4	30	15	0.1
11	500	440	2	12	20	0.1
12	250	200	1	30	16	0.1
13	200	150	3	40	17	0.1
14	250	180	5	50	18	0.1
15	300	200	4	60	26	0.1

Приложение 1. Пример оформления титульного листа РГР

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ"

Институт арктических технологий

Кафедра морского нефтегазового дела и физики

Специальность: 21.05.05 «Физические процессы горного или нефтегазового
производства»

Специализация: «Физические процессы нефтегазового производства»

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

По дисциплине: Моделирование разработки месторождений нефти и газа

На тему: «Расчет распределения давления в пласте при работе скважин»

Выполнил (-а) студент (-ка) _____ курса, группы _____

ФИО студента

Направления подготовки/специальности _____

Форма обучения: очная

Преподаватель: Коротаев Александр Борисович, старший преподаватель

Мурманск, 20__ г.