

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

Кафедра морского
нефтегазового дела

**Расчет фронта продвижения воды и
скоростей вытесняемой нефти в
окрестности добычной скважины**

*Методические указания к выполнению расчетно-
графической работы по дисциплине «Геофизические
исследования при разработке месторождений
углеводородов» для обучающихся по специальности
21.05.05 Физические процессы горного или
нефтегазового производства по специализации №2
«Физические процессы нефтегазового производства»
очной формы обучения*

Мурманск
2019

Составители – Кортаев Борис
Александрович, доцент кафедры морского
нефтегазового дела

Методические указания рассмотрены и
одобрены кафедрой морского нефтегазового
дела 17 января 2019 г., протокол №5/18.

Рецензент – Васёха Михаил Викторович,
доктор технических наук, директор
Института арктических технологий МГТУ.

*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, 2019

© Б. А. Кортаев, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| Расчетно-графическое задание | 3 |
| Часть 1. Расчет времени продвижения фронта закачиваемой воды | 3 |
| Часть 2. Задача о притоке нефти к скважине №1 | 4 |
| Уравнение 1. | 4 |
| Исходные данные. | 4 |
| Схема притока нефти в окрестности скважины | 5 |
| Часть 3. Расчет распределения скорости движения нефти в окрестности скважины | 5 |
| Расчет и построение совмещенного графика градиентов давления для уравнения (1) | 6 |
| Моделирование движения нефти в окрестности добычной скважины | 7 |
| Уравнение нелинейной фильтрации жидкости в пласте | 8 |
| Варианты заданий | 12 |

Расчетно-графическое задание

Часть 1. Расчет времени продвижения фронта закачиваемой воды.

Дана нефтяная залежь. Нефть вытесняется 2 нагнетательными скважинами. Пласт однородный. Пористость пласта $m = 0.21$. Мощность пласта составляет (отсчет с левой стороны) 10 м, 10 м, 10 м, 9 м, 9 м, 9 м, 9 м, 9 м и последней нагнетательной 8 м. Однородная круговая залежь. Расстояния между скважинами соответственно составляет 1 км, 2 км, 1 км, 1 км, 1 км, 1 км, 4 км, 3 км. Производительность каждой из двух нагнетательных скважин составит от 0.1 до 0.3 м³/с на 1 метр мощности пласта. Необходимо рассчитать время продвижения фронта воды и сколько воды будет закачено к интервалам времени t_0, t_1, t_2 . Залежь считать симметричной. Угол наклона пласта принять равным 45 градусам.

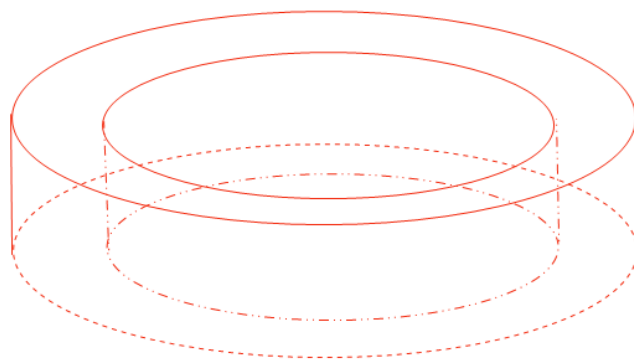
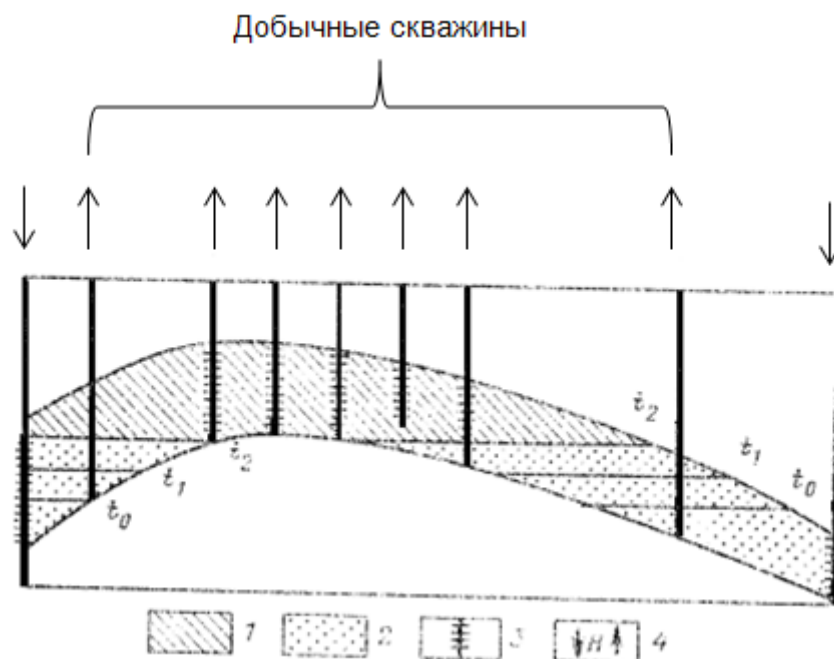


Рис. 2. К расчету объема порового пространства

Часть 2. Задача о притоке нефти к скважине №1

Уравнение 1.

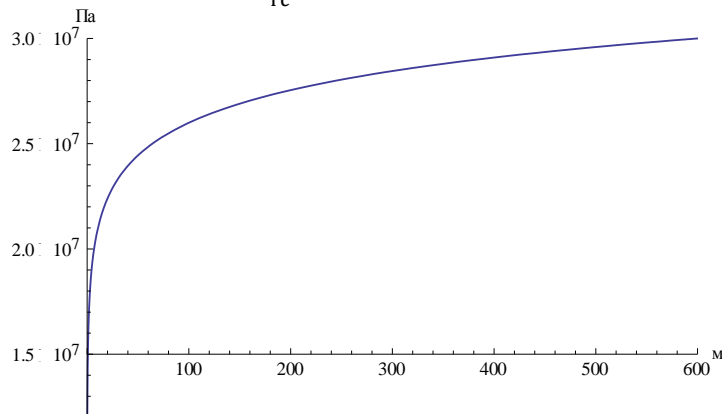
$$\frac{\partial U}{\partial t} + v \frac{\partial U}{\partial x} = \frac{U(x, t)}{\Delta t}$$

Исходные данные.

Вязкость нефти $\mu = 1.5 \cdot 10^{-3}$ Па с; дебит скважины $Q = 0.083$ м³/с; радиус контура питания – половина расстояния между скважинами $R_k = 600$ м; радиус эксплуатационной колонны $r_c = 0.168/2$ м; проницаемость пласта $k = 10^{-12}$ м²; пористость пласта $m = 0.2$; пластовое давление (контурное) $P_k = 30 \cdot 10^6$ Па; забойное давление $P_z = 10.1 \cdot 10^6$ Па. $\Delta t = 86400$ с, по сравнению с периодом разработки месторождений. Необходимо решить уравнение (1) и построить совмещенный график градиентов на данный момент времени

Построим график распределения давления в окрестности скважины по Дюпюи и построим график:

$$P = P_k - \frac{\mu Q \text{Log}\left[\frac{R_k}{r}\right]}{2.3.14 k \text{Log}\left[\frac{R_k}{r_c}\right]}$$



Возьмем производную от P по расстоянию и составим матрицу данных dataPr:

$$\text{dataPr} = \frac{\partial P}{\partial r}$$

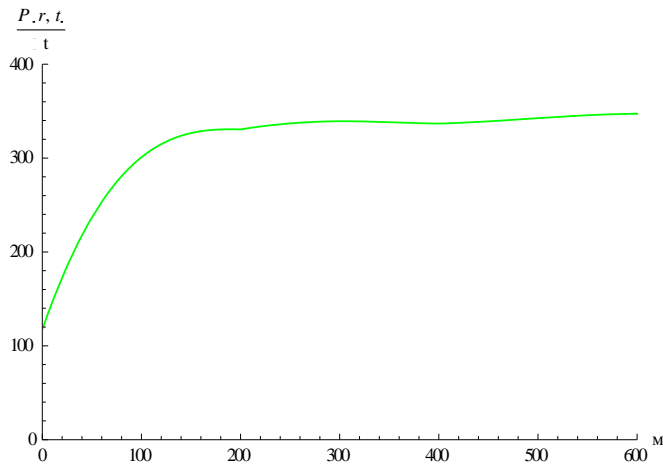
dataPr

= {{0.084, 28.810⁶}, {100, 24233.61}, {200, 12116.8}, {300, 8077.8}, {400, 6058.4}, {500, 4846.7}, {600, 3723.5}};

Найдем правую часть уравнения (1). Для этого значения давления в дискретных точках поделим на Δt , составим матрицу данных dataPrDelta и построим график $\frac{P(r, t)}{\Delta t}$:

dataPrDelta

= {{0.084, 117.77}, {100, 300.89}, {200, 330.5}, {300, 339.3}, {400, 336.7}, {500, 342.5}, {600, 347.2}};



Рассчитаем и построим график распределения скорости притока нефти в окрестности скважины через сектор. Приведем схему притока нефти

Схема притока нефти в окрестности скважины

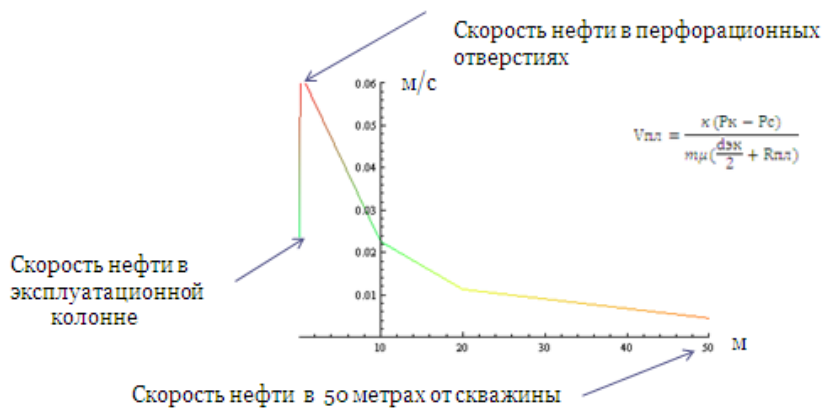
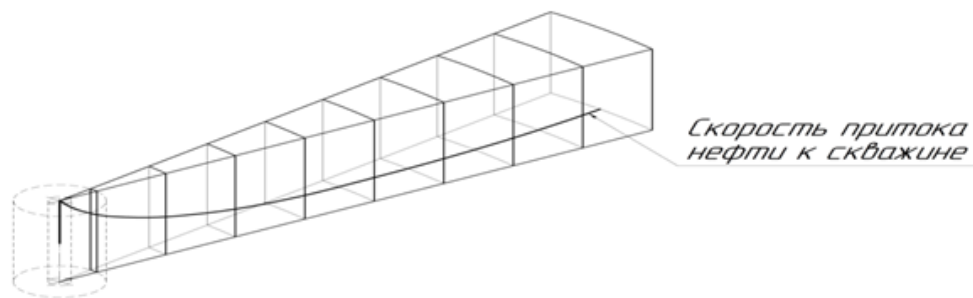
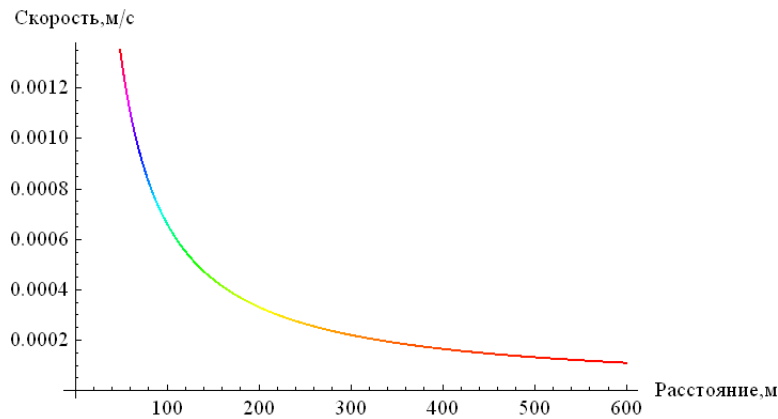


Схема притока нефти в окрестности скважины.

Часть 3. Расчет распределения скорости движения нефти в окрестности скважины

Рассчитаем распределение скорости притока нефти к скважине и построим график

$$v = \frac{k(P_k - P_3)}{m\mu\left(\frac{d_{эк}}{2} + r\right)}, \text{ м/с}$$



Расчет и построение совмещенного графика градиентов давления для уравнения (1)

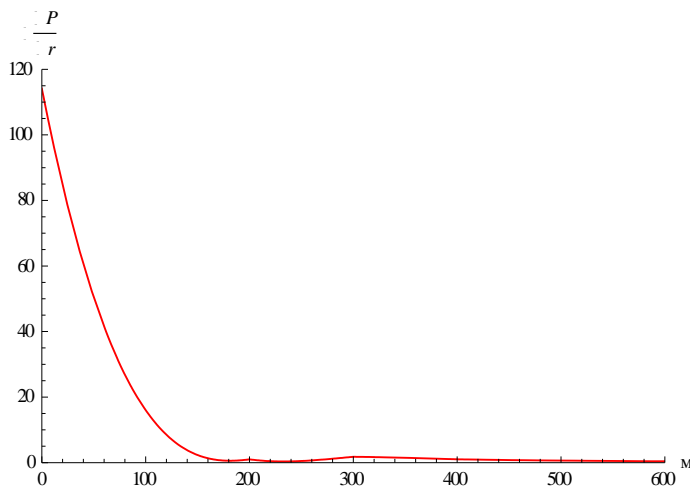
Составим матрицу скорости в дискретных точках $data_v$

$data_v$

$= \{\{0.084, 0.395\}, \{100, 0.00066\}, \{200, 0.00033\}, \{300, 0.00022\}, \{400, 0.00017\}, \{500, 0.00013\}, \{600, 0.00011\}\}$

Умножим соответствующие ячейки матрицы $data_v$ на $dataPr$ и составим матрицу $data_{prv} = \{\{0.084, 11.410^1\}, \{100, 15.99\}, \{200, 1\}, \{300, 1.78\}, \{400, 1.02\}, \{500, 0.63\}, \{600, 0.41\}\}$.

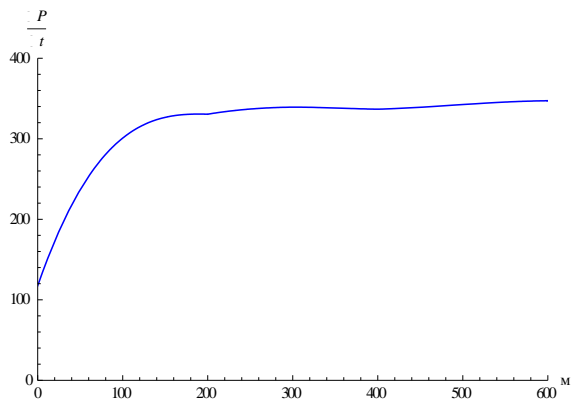
Так как градиент на стенке скважины очень большой понизим степень в этой точке с 6 на 1.



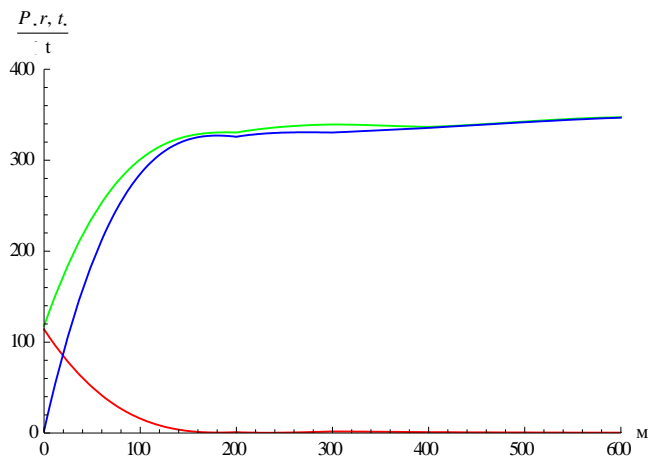
Вычтем соответствующие ячейки матрицы $data_{prv} = v \frac{\partial P}{\partial r}$ из матрицы $\frac{P(r,t)}{\Delta t} = data_{pr}\Delta t$ и получим матрицу $data_{prt} = \frac{\partial P}{\partial t}$.

$data_{prt} = \{\{0.084, 3\}, \{100, 284.9\}, \{200, 325.83\}, \{300, 330.5\}, \{400, 335.6\}, \{500, 341.8\}, \{600, 346.8\}\}$

Построим график $\frac{\partial P}{\partial t}$



Построим совмещенные графики градиентов



Совмещенные графики градиентов давления для уравнения (1).

Моделирование движения нефти в окрестности добычной скважины

Исходные данные

$$Q = 0.000524 + 4 * 10^{-4}$$

$$Q = 0.000924; \text{ (дебит по жидкости, м}^3/\text{с)}$$

$$\rho = 850; \text{ (плотность жидкости, кг/м}^3\text{)}$$

$$P_c = 16.4 \times 10^6; \text{ (забойное давление, Па)}$$

$$h = 4; \text{ (эффективная мощность пласта, м)}$$

$$\mu = 0.7 \times 10^{-3}; \text{ (*вязкость в пластовых условиях, Па * с*)}$$

$$P_k = 24.881 \times 10^6; \text{ (пластовое давление, Па)}$$

$$k = 0.958 \times 10^{-12}; \text{ (проницаемость по жидкости, м}^2\text{)}$$

$m = 0.15$; (пористость пласта по жидкости)

Уравнение нелинейной фильтрации жидкости в пласте

$$\frac{\partial P}{\partial r} = aw + bw^2 \quad (a \text{ и } b - \text{коэффициенты А. И. Ширковского, } w - \text{ скорость})$$

$$z = \frac{\partial P}{\partial r}$$

$$Rk = 600;$$

$$d_{\text{эк}} = 0.168;$$

$$P_H = P_K - \frac{(P_K - P_C) \text{Log} \left[\frac{Rk}{r} \right]}{\text{Log} \left[\frac{Rk}{d_{\text{эк}}/2} \right]}$$

$$2.048 \times 10^7$$

$$Q = 0.0085; \quad (\text{м}^3/\text{с}, \text{ суточный дебит скважины } 734 \text{ м}^3/\text{сутки});$$

$$\mu = 5 \times 10^{-3}; \quad (\text{Па} \cdot \text{с})$$

$$h = 4; \quad (\text{м}, \text{ эффективная мощность пласта})$$

$$P = P_K - \frac{\mu Q \text{Log} \left[\frac{Rk}{r} \right]}{2 \times 3.14 \kappa \text{Log} \left[\frac{Rk}{\frac{d_{\text{эк}}}{2}} \right]}$$

(формула Дюпюи – распределения давления в окрестности
нефтяной добычной скважины)

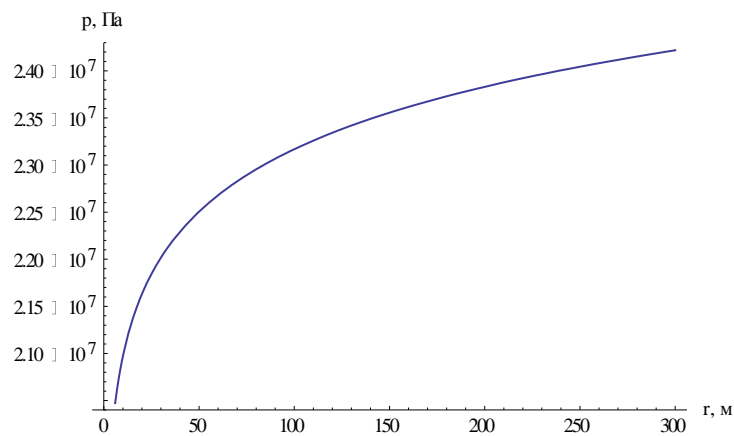
$$2.048 \times 10^7$$

$$\text{Из уравнения } \frac{\partial P}{\partial r} = P_K - \frac{\mu Q \text{Log} \left[\frac{Rk}{r} \right]}{2 \times 3.14 \kappa \text{Log} \left[\frac{Rk}{\frac{d_{\text{эк}}}{2}} \right]} = 2.048 \times 10^7, \text{ найдём } z$$

$$z = 0.036$$

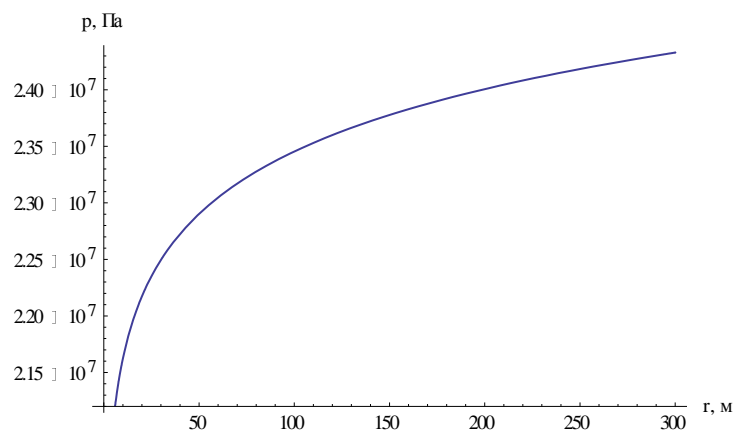
Построим график изменения давления, рассчитанного с учётом забойных давлений, от расстояния:

```
y1 = Plot[Pн, {r, 0.168, 300}, AxesLabel -> {"r, м", "p, Па"}]
```



Построим график изменения давления, рассчитанного с учётом параметров нефти, от расстояния:

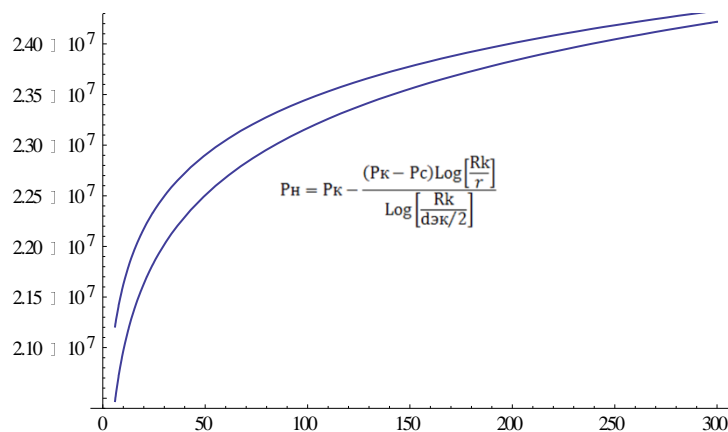
```
y2 = Plot[P, {r, 0.168, 300}, AxesLabel -> {"r, м", "p, Па"}]
```



Сопоставим графики зависимостей давлений от расстояний:

```
Show[y1, y2]
```

$$P_k - \frac{\mu Q \text{Log} \left[\frac{R_k}{r} \right]}{2 \times 3.14 \kappa \text{Log} \left[\frac{R_k}{\frac{d_{\text{ЭК}}}{2}} \right]} = 2.048 * 10^7$$



Зададим распределение температуры в окрестности скважины

$$t_n = 64; (^{\circ}C^*)$$

$$T_g = 66;$$

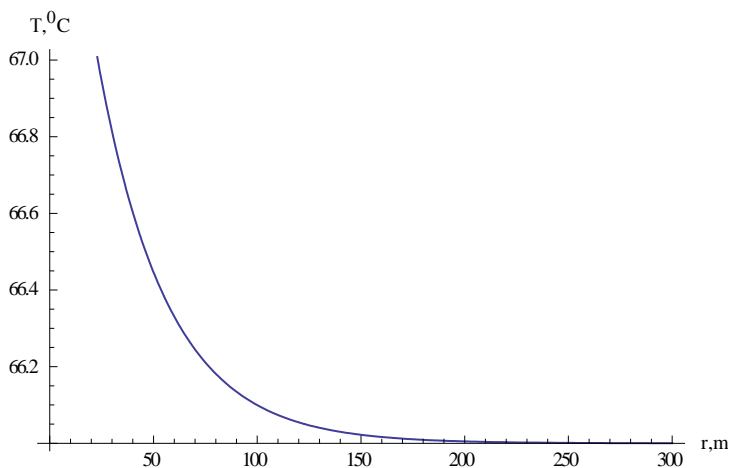
$$k = 0.03;$$

$$T = T_g + (-t_n + T_g)e^{-kr}$$

66

Построим график зависимости температуры от расстояния:

$$y3 = \text{Plot}[T, \{r, 0.168, 300\}, \text{AxesLabel} \rightarrow \{"r, m", "T, C^0"\}]$$



$$y = \frac{\partial P}{\partial r}$$

$$y = \partial_r P$$

$r = 300$; (*переменное расстояние от стенки скважины для определения скорости в данной точке*)

$$a = \frac{\mu}{\kappa 10^{12}};$$

$$b = \rho \frac{63 \times 10^6}{\left(\frac{\kappa 10^{12}}{m}\right)^{3/2}}; (*\text{пористость в долях единицы}*)$$

y

2653.56

$$\frac{\partial P}{\partial r} = aw + bw^2$$

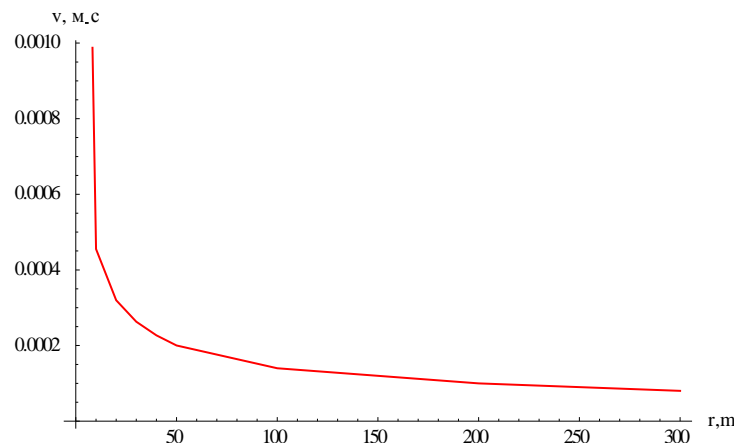
Из уравнения: $aw + bw^2 = y$, найдём w

$$w = -0.0008943; w = 0.0008943$$

data = {{0.168,0.00351}, {10,0.000455}, {20,0.00032}, {30,0.000263},
{40,0.000227}, {50,0.0002}, {100,0.00014}, {200,0.0001}, {300,0.00008}}

Построим график зависимости скорости от расстояния:

y1 = ListLinePlot[data, PlotStyle-> Red, AxesLabel-> {"r, m", "v, м/с"}]



Варианты заданий

В таблице приведены варианты заданий

| месторождение | $\mu 10^{-3}$ | Q | Rk | $k 10^{-12}$ | $m, \%$ | $Pk 10^6$ | $Pз 10^6$ | ρ | № |
|---------------|---------------|-------|-----|--------------|---------|-----------|-----------|--------|----|
| №1 | 1 | 0.083 | 300 | 1 | 27 | 27 | 20 | 806 | 1 |
| №2 | 3 | 0.085 | 500 | 2 | 20 | 20 | 15 | 850 | 2 |
| №3 | 3 | 0.08 | 400 | 3 | 21 | 21 | 16 | 810 | 3 |
| №4 | 2 | 0.086 | 500 | 4 | 30 | 30 | 22 | 780 | 4 |
| №5 | 4 | 0.087 | 350 | 0.3 | 20 | 20 | 13 | 843 | 5 |
| №6 | 0.5 | 0.088 | 340 | 0.5 | 19 | 19 | 13 | 842 | 6 |
| №7 | 2 | 0.081 | 350 | 0.7 | 18 | 18 | 12 | 843 | 7 |
| №8 | 0.4 | 0.083 | 360 | 2.1 | 17 | 17 | 10 | 844 | 8 |
| №9 | 0.5 | 0.085 | 300 | 3.9 | 16 | 16 | 12 | 805 | 9 |
| №10 | 3 | 0.083 | 400 | 1.6 | 19 | 19 | 13 | 900 | 10 |
| №11 | 6 | 0.089 | 550 | 4.0 | 22 | 22 | 17 | 830 | 11 |
| №12 | 8 | 0.088 | 600 | 0.4 | 23 | 23 | 18 | 837 | 12 |
| №13 | 5 | 0.087 | 370 | 0.46 | 16 | 16 | 10 | 815 | 13 |
| №14 | 1 | 0.086 | 380 | 0.3 | 17 | 17 | 11 | 856 | 14 |
| №15 | 2 | 0.085 | 340 | 0.7 | 19 | 19 | 13 | 813 | 15 |

ρ – в таблице приведена плотность нефти кг/см³

Остальные параметры приведены в системе СИ

Список литературы

1. Ю. Ф Макогон. Газовые гидраты, предупреждение их образования. М: Недра 1986.
2. А.И Ширковский. Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. М: Недра 1987.
3. Справочник. Спутник нефтяника и газовика. И.Г Середа и др. М: Недра 1986.