

**Решение задачи: «РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПО ГЛУБИНЕ ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ» в GNU Octave (Matlab)**

Цель работы: ознакомление с средствами и методическими приемами выполнения научных расчетов в средах научного программирования (на примере GNU Octave (Matlab)).

Задача: Рассчитать распределение температуры по глубине фонтанной добывающей скважины Туймазинского нефтяного месторождения (Башкортостан) с **шагом 200 м** для следующих условий:

- глубина кровли пласта $H = 1700$ м;
- пластовая температура $T = 29$ °С;
- диаметр подъемника $d_{\text{вн}} = 0,0403$ м (подъемник спущен до кровли продуктивного горизонта);
- скважина работает с массовым дебитом $Q_m = 51$ т/сут,
- плотность нефти в стандартных условиях $\rho = 852,5$ кг/м³,
- скважина вертикальная $\alpha = 0$.

Для проверки расчетных данных использовать результаты замеров по скважине:

H, м	0	200	400	600	800	900	1050	1600
t, °C	7	9	11.8	13.3	16.3	17.8	19.9	26

Примечание. Для выполнения настоящей работы используется бесплатная программа GNU Octave (<http://www.octave.org>), имеющая существенную совместимость с Matlab. Для работы программы обработки изображений в Octave, требуется скачать модуль *image* (по [ссылке](#)), а затем установить его с помощью консольной команды Octave:

```
pkg install C:\my_folder\image-2.4.1.tar.gz
```

Здесь C:\my_folder\ – папка, в которой находится скачанный архив с модулем *image*, image-2.4.1.tar.gz – имя файла архива.

После установки необходимо перезапустить программу. Загрузка модулей не автоматизирована и требует ввода консольной команды:

```
pkg load all
```

5.1. Методика выполнения

Распределение температуры по глубине добывающей скважины зависит от способа эксплуатации, дебита скважины, диаметра скважины или насосно-компрессорных труб, обводненности продукции и других параметров. В общем случае распределение температуры можно рассчитать, используя уравнение теплопроводности, записанное в следующем виде:

$$t(h) = t_{\text{заб}} - \omega h + \omega \frac{2c\rho q}{K\pi d} \left[1 - \exp\left(-\frac{\pi d K h}{2c\rho q}\right) \right] \quad (1)$$

где $t(h)$ — температура на глубине h , отсчитываемой от забоя скважины, °C; $t_{заб}$ — температура на забое скважины (принимается равной пластовой температуре пл.), °C; ω — геотермический градиент, град/м; c — удельная теплоемкость жидкости, Дж/(кг*град); ρ — плотность жидкости, кг/м³; q — объемный расход жидкости, м³/с; K — коэффициент теплопередачи через стенку трубы, Вт/(м² • град); d — внутренний диаметр подъемника скважины, м.

Обобщенно, формула (1) может быть представлена:

$$t(h) = t_{пл} \left(1 - St \frac{h}{d} \cos \alpha \right), \quad (2)$$

где $t_{пл}$, t_y — соответственно температура пластовая и на устье скважины, °C; h — расстояние, отсчитываемая *от забоя*, м; H — глубина, отсчитываемая от устья, м; St — безразмерный критерий Стантона; α — угол отклонения скважины от вертикали, градус.

$$St = \frac{1,763 \cdot 10^{-4}}{\ln(Q_m + 40)} - 0,202 \cdot 10^{-4}, \quad (3)$$

где Q_m — массовый дебит скважины, т/сут.

Критерий Стантона может быть так же найден по номограмме (рис. 1), справедливой для малых диаметров НКТ.

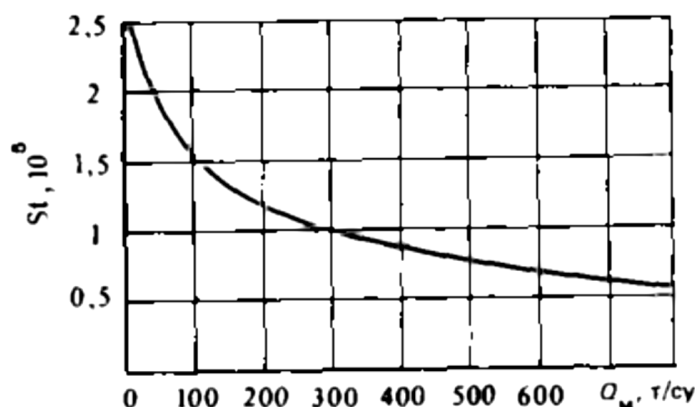


Рис. 1. Номограмма нахождения критерия Стантона в зависимости от суточного дебита

Геотермический градиент рассчитывается по формуле (4):

$$\omega = \frac{T_{пл} - T_{нс}}{(H_{кп} - H_{нс}) \cos \alpha}, \quad (5)$$

где $T_{нс}$ — температура нейтрального слоя, К; H — глубина нейтрального слоя, м (может быть принята, в среднем, равной 30 м).

При известном массовом дебите скважины Q и известной плотности нефти в стандартных условиях $\rho_{нд}$ дебит жидкости q рассчитывается по (5):

$$q = Q_m / (86,4 \rho_{нд}), \quad (5)$$

где q — дебит жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$; Q_m — массовый дебит жидкости, $\text{т}/\text{сут}$.

После определения температур на глубине рассчитать *относительную ошибку для каждого расчета (%)*, а также *среднюю относительную ошибку для всех расчетов (%)*:

$$\varepsilon = \frac{|t_r - t_n|}{t_r} \cdot 100\%$$

Ход выполнения задачи

- 1) Рассчитаем по формуле (3) критерий Стантона;
- 2) Рассчитаем по формуле (2) температуру на глубине, равной шагу температуры;
- 3) Выполнить расчет для ряда температур до глубин 1600 м (включительно), температура должна быть представлена в расчетах в виде числового ряда;
- 4) Провести сопоставление расчета температуры с результатами экспериментальных данных, получить значения ошибок;
- 5) Определить секундный дебит скважины q , ($\text{м}^3/\text{с}$);
- 6) Сделать необходимые выводы.

Требования к отчету

- Файл программы Octave/Matlab, содержащий все необходимые комментарии и выполняющий автоматизированные расчеты по заданию, действия должны комментироваться пользователем;
- Файл Microsoft Word, содержащий описание произведенных вычислений и выводы;
- Графики изменения температур с глубиной (сопоставление практических измерений и теоретического решения).

Методические рекомендации

Формула в Matlab:

```
Var3=(1.763e-4)/(log((Var1+40)))-0.202e-4
```

Числовой ряд значений:

```
Var0=1:100:2200 %значения от 1 до 2200 с шагом 100
```

Вывод графика функцией plot и подписи графика:

```
plot(h,t); %вывод графика зависимости глубины и темп
%заголовок графика
title('Temperature encreasing with depth');
%подписи осей графика
xlabel('Depth, h');
ylabel('Temperature, t oC');
```

Запись матрицы в таблицу MS Excel:

```
xlswrite('tmp_result.xls',src_data);  
%сохранение таблицы src_data в файл tmp_result.xls
```

Рекомендуемая литература

1. Поршнев С. В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB / М.:, 2003. 593 с.
2. Алексеев Е.Р. , Чеснокова О.В. Введение в Octave для инженеров и математиков: / Е.Р. Алексеев, О.В.Чеснокова М.: ALT Linux, 2012. 368 с.
3. Материалы по продуктам MATLAB & Toolboxes // [Электронный ресурс]: Математический сайт Exponenta.ru. Веб-сайт. URL: <http://matlab.exponenta.ru/index.php> (Дата обращения: 05.11.2015)

Приложение. Варианты заданий к лабораторной работе

Глубина кровли пласта Н (м); пластовая температура Т (°С); диаметр подъемника dBH (м); скважина работает с массовым дебитом Qm (т/сут); плотность нефти в стандартных условиях ρ (кг/м³)

Вариант	Исходные данные					Экспериментальная заверка температуры									
	Н	Т	dBH	Qm	ρ	h, м	0	200	400	600	800	900	1050	1600	
1	1700	29	0.0403	51	825	th, ° C	7	9	11.8	13.3	16.3	17.8	19.9	26	
2	1800	29	0.055	45	839		6	10	13.2	15.1	16.9	20.1	22.3	27.3	
3	1650	28	0.055	45	832		4	11.0	12.7	14.8	17.7	19.1	20.8	27.18	
4	1700	29.3	0.055	48	827		5	9.5	13	14.4	16.7	18.33	20.3	26.33	
5	1800	28.5	0.055	61	827		7	10.2	14.1	15.9	18.2	19.15	21.7	26.87	
6	1700	29.2	0.055	49	832		6	11.2	13.4	15.6	17.6	19.9	21.3	27.42	
7	1700	31.5	0.055	49	823		5	10.2	14.9	16.6	18.8	21.39	23.1	29.7	
8	1850	28.5	0.043	41	834		5	8.0	8.47	10.8	13.6	15.66	18.8	27.06	
9	1600	28.7	0.064	46	823		5	11.0	14.7	16.5	18.4	20.37	22.4	27.08	
10	1700	28.3	0.064	43	848		5	12.0	15	16.1	18.5	20.31	22.1	26.88	
11	1700	29	0.064	47	823		5	10.8	15.6	17.4	19	20.21	22.6	27.31	
12	1800	32	0.064	45	837		5	10.8	16.8	18.8	20.5	22.88	24.7	30.41	
13	1650	32	0.064	45	847		5	10.9	16.8	18.8	20.5	22.88	24.7	30.41	
14	1700	28	0.064	49	835		5	11.0	14.7	17	18.5	20.48	21.7	26.6	
15	1800	28	0.055	46	839		5	11.1	12.5	14.9	16.5	18.96	20.6	26.7	
16	1700	29	0.055	48	834		5	11.2	12.9	15.6	17.8	19.45	21.2	27.3	
17	1700	26	0.055	49	828		4	11.3	11.6	13.5	15.3	17.88	18.7	24.99	
18	1850	30	0.0825	52	835		4	11.3	19.2	20.2	22.3	23.71	25	29.13	
19	1600	29.5	0.0825	50.5	835		4	11.4	18.8	20.3	21.4	22.55	24.6	28.27	
20	1700	27	0.0825	48	838		4	11.5	17.3	18.7	20	21.11	22.5	25.97	