

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

Кафедра морского
нефтегазового дела

**Растепление ММП при вскрытии их
процессом бурения**

*Методические указания к выполнению расчетно-
графической работы «Технологические расчеты
при бурении скважин в условиях Арктики» для
обучающихся по специальности 21.05.05*

*Физические процессы горного или нефтегазового
производства и по направлению 21.03.01*

Нефтегазовое дело

Очной и заочной формы обучения

Мурманск
2019

Составители – Коротаев 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. Коротаев,

Оглавление

Введение	3
Единицы измерения и соотношения.....	3
Расчет радиуса растепления по Кудряшову	6
Построение графика суточного радиуса растепления ММП	6
Расчет растепления пород ММП при процессе добычи флюида	7
Построение графика распределения температур через ОК и цементный камень	9
Расчёт радиуса растепления по методике УГТУ	9
Варианты заданий.....	10
Справочные данные по глине и песчанику	11
Список литературы	12

Введение

Теплопередачей называют процесс обмена теплом вещества (газ, жидкость, твердое тело) имеющего высокую температуру с веществом, обладающим меньшей температурой, через стенку, которая их разделяет. При вскрытии многолетне-мерзлых пород (ММП) процессом бурения происходит их растепление за счет циркуляции более теплого бурового раствора. Буровой раствор контактирует со стенками ММП. Если тепло передается через стенку трубы, то зная теплопроводность металла, разницу температур, массу газа (нефти, конденсата) и время, в течении которого оно передается, можно найти температуру на внешней стенке..

Процесс теплопередачи можно разделить на теплоотдачу энергии горячим веществом стенке, процесс теплопроводности внутри стенки и теплоотдачу стенки энергии холодному веществу.

Поток тепла при стационарной теплопередаче величина постоянная, то есть не зависит от времени и координат

Единицы измерения и соотношения

$$1 \text{ Дж} = 0.239 \text{ кал}$$

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{час} = 3.6 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ Дж} = 2.78 \cdot 10^{-4} \text{ Вт} \cdot \text{час}$$

$$1 \text{ кал} = 4.19 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ Вт} = 862 \text{ кал/час}$$

κ – коэффициент теплопередачи, Вт/(м² К)

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м К)

c – удельная теплоемкость, Дж/(кг К)

q – плотность теплового потока, Вт/м²

a – температуропроводность, м²/с

$$a = \frac{\lambda}{c \sigma}$$

$c \sigma$ – объемная теплоемкость, Дж/(м³ К)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{d_2}{2 \lambda d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}}$$

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² К)

Рабочая формула для определения λ

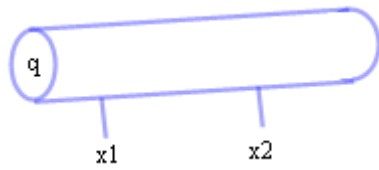


Рис.1 Схема для расчета λ

$$\lambda = \frac{q \cdot (x_2 - x_1)}{T_1 - T_2}$$

Нагретое тело отдает тепло

$$T = T_{oc} - (T_c - T_{oc})e^{-kt}$$

где T_{oc} - температура окружающей среды, T_c - температура стенки горячего тела, k - определяется экспериментально или, если известна, температура в двух точках, t - время.

Закон Фурье

$$Q = \lambda \cdot F \frac{\Delta T \cdot \tau}{n}$$

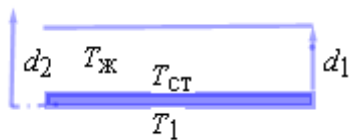
F - площадь стенки через которую передается (отнимается) тепло, n - толщина стенки, ΔT - перепад температур, τ - время за которое тепло передается (отнимается) телу (у тела).

Теплопроводность

1. Количество теплоты на единицу длины

$$\frac{Q}{L} = q = \alpha \pi d_{вн} (T_{ж} - T_{ст})$$

где α - коэффициент теплоотдачи, $d_{вн}$ - внутренний диаметр трубы, $T_{ж}$ - температура жидкости, $T_{ст}$ - температура стенки.



2. Поток тепла через стенку

$$q = \frac{2 \pi \cdot \lambda \cdot (T_{ст} - T_1)}{\ln (d_2/d_1)}$$

3. Поток тепла к жидкости через цемент

$$q = \alpha_2 \pi d_2 (T_1 - T)$$

$$4. \Delta T = \frac{q}{\pi} r$$

r – термическое сопротивление теплопередаче

Для ламинарного режима с точностью до 1% интервал, на котором происходит температурная стабилизация.

$$P_e = \frac{v d}{a}$$

a – температуропроводность, м²/с

v – скорость распространения тепла

$$x = P_e d 0.05$$

Передача тепла лучеиспусканием

Закон Стефана – Больцмана

$$Q = c \cdot F \left(\frac{T}{100} \right)^4$$

c – коэффициент лучеиспускания, л

C_s – лучеиспускание абсолютно черного тела

$$C_s = 5.68 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$$

Для нержавеющей стали $c = C_s \cdot (0.64 - 0.76)$; $\epsilon = (0.64 - 0.76)$

$$Q_{\text{л}} = \epsilon \cdot C_s \cdot F \cdot \left(\left(\frac{T_{\text{ст}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ос}}}{100} \right)^4 \right)$$

Передача тепла конвекцией

$$Q = (\alpha_k + \alpha_{\text{л}}) F (T_{\text{ст}} - T_{\text{ос}})$$

α_k – коэффициент теплоотдачи при передаче тепла конвекцией, Вт/(м² К)

$\alpha_{\text{л}}$ – коэффициент теплоотдачи при передаче тепла лучеиспусканием, Вт/(м² К)

Расчет радиуса растепления по Кудряшову

Рассмотрим растепление МПП при вскрытии данного интервала процессом бурения.

$h=25$ - мощность пласта, м

$\rho=916$ - плотность льда, кг/м³

$RL=0.168$ - радиус скважины, м

$k_R=4.8$ - поправочный коэффициент

$t=45$ - температура промывочной жидкости в КЗП, град

$c_{\Pi}=2 \cdot 10^3$ – удельная теплоемкость пород, Дж/кг С

$T_{\Pi}=-5$ - температура мерзлых пород, град

$\psi=3.34 \cdot 10^5$ – удельная теплота плавления льда, Дж/кг

$w_{\Pi}=0.015$ - влажность породы, д.е

$\lambda_{\Pi}=2.23$ - удельная теплопроводность пород, Вт/м С:

Поправочный множитель, коэффициент нестационарного теплообмена, $k_{\text{опр}}$,

$$k_{\text{опр}} = 1 + \frac{2 \psi w_{\Pi}}{k_R t c_{\Pi}}$$

Построение графика суточного радиуса растепления ММП

Построим график растепления за суточный интервал времени.

$$R = \sqrt{\left((RL * 2 * (k_{\text{опр}} - 1)) * \frac{\sqrt[4]{\lambda_{\Pi}}}{\sqrt{RL}} * \sqrt[4]{\frac{c_{\Pi} * \rho_{\Pi}}{\tau}} * (t + T_{\Pi}) * \tau \right) / (\psi * \rho_{\Pi} * w_{\Pi}) + RL^2}$$

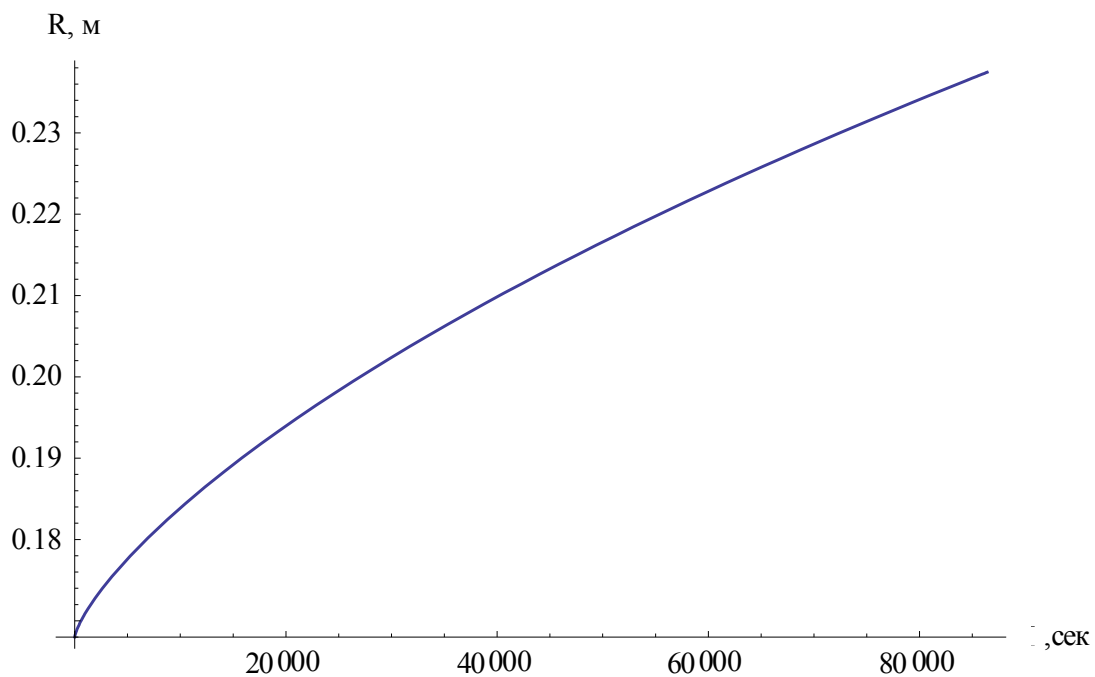


Рис.2 График радиуса растепления по Кудряшову

Расчет растепления пород ММП при процессе добычи флюида

Растепление зоны ММП происходит за счет добычной нефтяной скважины. На рис.2 приведена схема контакта нефти через ОК и цементный камень



Рис.3 Схема фрагмента скважины

$Q=20$ - Дебит скважины, т/сутки:

$a_v = 24$ –Температура в кровле интервала, С:

$a_n = 27$ –Температура в подошве интервала,С:

$l = 98$ –Длина интервала, м:

$t = 1$ –Время работы, сутки:

$M=20$ –Масса перекачанного за сутки флюида, т:

$c = 0.015$ –Теплоемкость воды, кал/С г:

Массовый расход теплоносителя, г/сек

$$m = 1000 \cdot 20000 / (24 \cdot 3600) = 231.48$$

Количество потерянного тепла за сутки, кал на интервале в 100 м.

$$Q = c \cdot m \cdot 24 \cdot 3600 (27 - 24) = 900000 \text{ кал}$$

Количество потерянного тепла за 1 час, кал на интервале в 1 м.

$$q_1 = Q / (l \times 24)$$

$\alpha = 200$ –Коэффициент теплоотдачи для воды, Вт/м² С

$d_1 = 0.34$ –Внутренний диаметр обсадной колонны, м:

$t_0 = 25.5$ С -Температура флюида в центральной части трубы

Температура на внутренней стенке скважины, С:

$$\text{Solve}[q_1 == 862 \alpha \pi d_1 (t_0 - tsR), tsR]$$

$$tsR = 25.4$$

$$ts1 = 24.9$$

$\lambda = 78$ –Коэффициент теплопроводности для стали, Вт/м С:

$d_2 = 0.348$ –Наружный диаметр обсадной колонны, м:

$d_1 = 0.34$ -Внутренний диаметр обсадной колонны, м:

Температура на наружной стенке обсадной трубы:

$$\text{Solve}[q_1 == (862 \times 2 \pi \lambda (ts1 - ts2)) / \text{Log}[\frac{d_2}{d_1}], ts2]$$

$$ts2 = 24.9$$

$\lambda_{цк} = 0.35$ –Коэффициент теплопроводности для цементного камня, Вт/м С::

$d_3 = 0.356$ –Внешний диаметр цементного кольца, м:

$d_2 = 0.348$ – Внутренний диаметр

Температура на наружной стенке цементного камня:

$$\text{Solve}[q_1 == (2 \pi \lambda_{\text{цк}} (ts_{\text{OK}} - ts_3) / 0.862) / \text{Log}[\frac{d_3}{d_2}], ts_3]$$

$$ts_3 = 20.6$$

Построение графика распределения температур через ОК и цементный камень

Построим график распределения температур

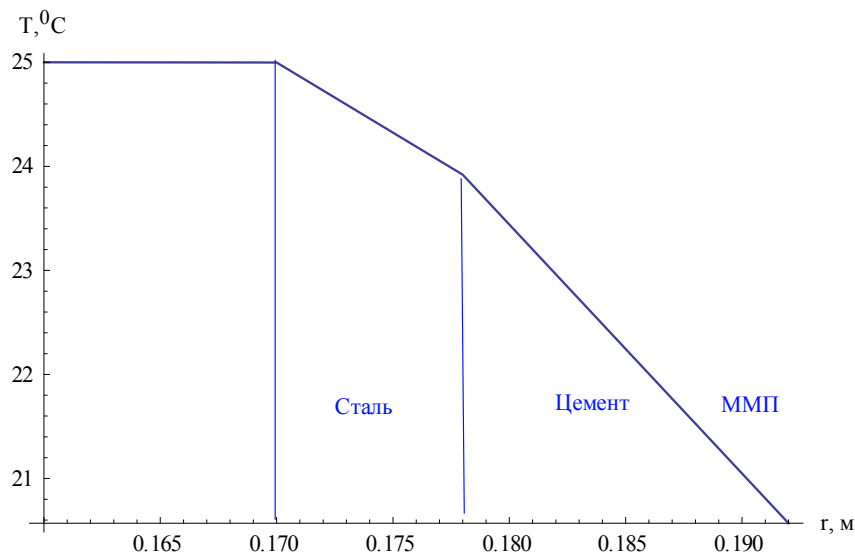


Рис. 4. График распределения температуры по радиусу от центра скважины

Расчёт радиуса растепления по методике УГТУ

$$K_B = \frac{2.7}{\lambda_M} = 0.9643 \quad (\text{критерий Ковнера})$$

$$R_C = 0.168 \quad (\text{диаметр добычной скважины, м});$$

$$\lambda_T = 2.7 \quad (\text{коэффициент теплопроводности талых пород});$$

$$\lambda_M = 2.8 \quad (\text{коэффициент теплопроводности мёрзлых пород});$$

$$L = 2100 \quad (\text{теплота фазового перехода, Дж/кг});$$

$$T_{\text{п}} = -3 \quad (T_{\text{п}} - \text{температура пород, } ^\circ\text{C});$$

$$T_{\text{ст}} = 20 \quad (\text{температура стандартная, } ^\circ\text{C});$$

$$\theta = \frac{T_{\text{п}}}{T_{\text{ст}}} = -0.15 \quad (\text{безразмерная температура});$$

$$F_0 \quad (\text{Критерий Фурье});$$

$a_T = 0.6 * 10^{-6}$ (коэффициент температуропроводности талых пород, м²/с *);

$$F_0 = \frac{a_T \tau}{R_c^2} = 0.000021258 \cdot \tau$$

τ (время воздействия);

$$C_M = 150;$$

$$R_{пр} = R_c * (1 + \psi^* + F_0^{0.43})$$

$$\{0.168(1 + 0.00979 \tau^{0.43} + 0.8497(0.55 + 0.0105 \exp[-0.1288]))\}$$

ψ^* (Сконцентрированный коэффициент, учитывающий влияние влагосодержания мёрзлых пород на динамику их протаивания)

ψ^*

$$= \{ (0.55 + \exp[-2.5 * 10^{-5} * (w_{п} - 71.8)^2] K_0) (1.4 - 0.5 * K_B) \} / (1 - 0.922 * \theta + 0.152 * \theta^2)$$

$w_{п}=0.015$ - массовая влажность породы, кг/м³.

K_0 - критерий Коссовича;

$$K_0 = \frac{L * w_{п}}{C_M * T_{ст}}$$

$C_M = 3200$ теплоёмкость мерзлой породы, Дж/(кг⁰С).

$T_{ст} = 5$ - температура стенки скважины ⁰С*

$$R_{пр} = 0.168(1 + 0.00979127\tau^{0.43} + 0.803925(0.55 + 0.01052.71^{-0.128827}))$$

$$gr = \text{Plot}\{R_{пр}, \{\tau, 1, 25920000\}\}$$

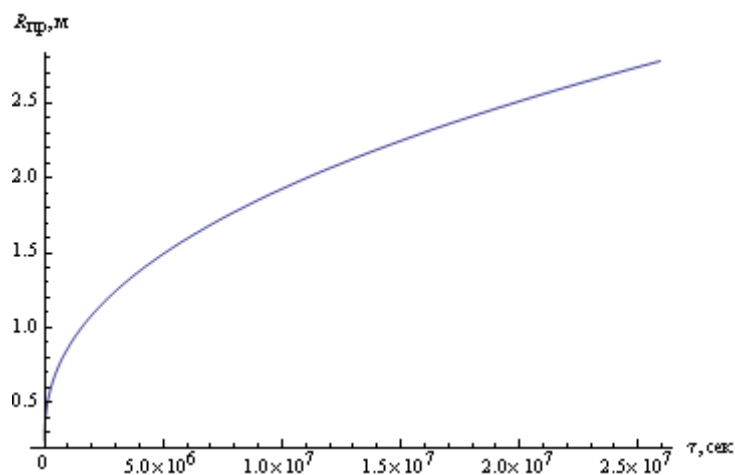


Рис. 5 График распределения радиуса растепления ММП во времени

Сопоставим расчетные радиусы растепления ММП по двум методикам УГТУ и по Кудряшову

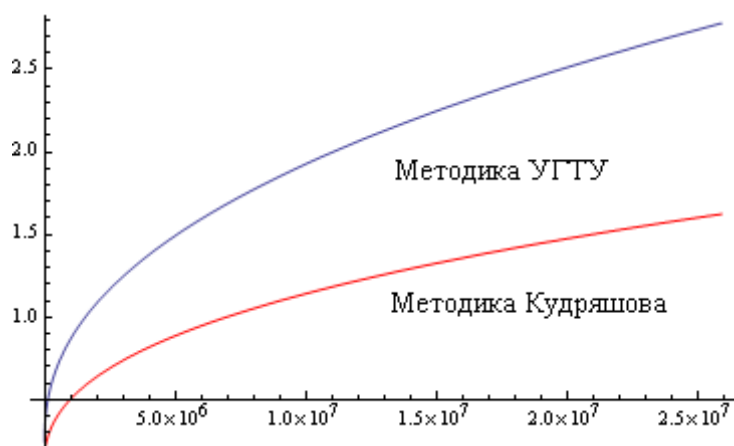


Рис.6. Совмещенный график радиусов растепления ММП

Варианты заданий.

Варианты заданий	ММП, м	T, град (ММП)	T _{ос} , град	T, град	T _{бр} , град
1	20	-2	20	45	10
2	40	-5	10	35	8
3	50	-4	8	50	5
4	55	-5	5	46	12
5	60	-6	2	17	20
6	65	-1	5	20	15
7	70	-2	7	57	13
8	75	-3	8	34	10
9	80	-5	9	46	11
10	85	-4	10	49	12
11	90	-3	15	50	8
12	95	-2	20	23	6

где T – температура движущегося продукта (нефти, газа, конденсата) в интервале ММП по середине добычной трубы, или T_{бр} температура бурового раствора контактирующего с МПП. T_{ос} – температура окружающей среды.

Справочные данные по глине и песчанику

Справочные данные для глины: $\lambda_r = 0.12 \div 3.1$, среднее значение $\lambda_r = 1.6$, Вт/(м К)

Справочные данные температуропроводности для глины: $a_r = (0.05 \div 1.15) \cdot 10^{-6}$, среднее значение $a_r = 0.6 \cdot 10^{-6}$

Справочные данные для песчаника: $a_n = (0.2 \div 1.97) 10^{-6}$ среднее значение $a_n = 0.96 \cdot 10^{-6}$

Справочные данные для песчаника: $\lambda_n = 0.24 \div 4.41$, среднее значение $\lambda_n = 1.81$, Вт/(м К)

Список литературы

1. Б.И. Есьман, Г.Г. Габузов. Термогидравлические процессы в бурении. /М: Недра. 1991, 214 с.
2. Е.А. Краснощеков, А.С. Сукомел. Задачник по теплотехнике./М: Энергия. 1980, 285 с.