

ВИЗНАЧЕННЯ ПЛАСТОВОГО ТИСКУ І ТЕМПЕРАТУРИ В ЗУПИНЕНІЙ ГАЗОВІЙ СВЕРДЛОВИНІ І РОЗПОДІЛУ ТИСКУ І ТЕМПЕРАТУРИ ПО ДОВЖИНІ КОЛОНИ ЛІФТОВИХ ТРУБ У ПРАЦЮЮЧІЙ СВЕРДЛОВИНІ ЗА ЗНАЧЕННЯМИ ТИСКУ І ТЕМПЕРАТУРИ НА ГИРЛІ І ДЕБІТУ ГАЗУ

Пластовий тиск визначають за значення статичного тиску на гирлі зупиненої свердловини, використовуючи барометричну формулу Лапласа-Бабіне.

$$p_{nl} = p_{cm} \cdot e^s,$$

де
$$s = 0,03415 \frac{\bar{\rho}_g \cdot L}{z_{cp} \cdot T_{cp}},$$

p_{cm} – статичний тиск на гирлі зупиненої свердловини, МПа;

s – комплексний параметр;

$\bar{\rho}$ – відносна густина газу;

L – відстань від гирла до середини інтервалу перфорації, м;

T_{cp} – середня температура в стовбурі свердловини, К;

z_{cp} – коефіцієнт стисливості газу за середнього тиску p_{cp} і середньої температури T_{cp} у стовбурі свердловини.

$$p_{cp} = \frac{p_{nl} + p_{stat}}{2},$$

$$T_{cp} = \frac{T_{nl} - T_y}{\ln \left(\frac{T_{nl}}{T_y} \right)},$$

де T_{nl} , T_y – відповідно пластова температура і температура на усті свердловини, К.

Оскільки коефіцієнт стисливості газу z_{cp} є функцією середнього тиску в стовбурі свердловини p_{cp} і відповідно пластового тиску p_{nl} , то p_{nl} знаходять методом послідовних наближень. У першому наближенні приймають $p'_{cp} = p_y$,

знаходять $z'_{cp} = z(p'_y, T_{cp})$ і p'_{nl} . За значенням p'_{nl} знаходять p''_{cp} , z''_{cp} та нове значення p''_{nl} і т.д до одержання різниці у значеннях p_{nl} в останньому і передостанньому наближеннях не більше ніж на задану похибку $\varepsilon = |p''_{nl} - p'_{nl}|$; $\varepsilon = 0,01 \text{ МПа}$.

У наближених розрахунках можна приймати $\varepsilon = 0,1 \text{ МПа}$.

Задача

Визначити пластовий тиск у зупиненій газовій свердловині за значенням статичного тиску на гирлі для таких даних:

статичний тиск на гирлі зупиненої

газової свердловини

$$p_{cm} = 26 \text{ МПа};$$

глибина свердловини

$$H = 3210 \text{ м};$$

товщина пласта

$$h = 20 \text{ м};$$

температура газу на усті

$$t_y = 8^\circ\text{C};$$

пластова температура

$$t_{nl} = 70^\circ\text{C};$$

відносна густина газу

$$\bar{\rho}_g = 0,62.$$

Розв'язування

Переводимо одиниці в систему СІ:

$$T_y = 8 + 273 = 281 \text{ К},$$

$$T_{nl} = 70 + 273 = 343 \text{ К}.$$

Пластовий тиск визначаємо за барометричною формулою Лапласа-Бабіне :

$$p_{nl} = p_{cm} \cdot e^S.$$

Задачу розв'язуємо методом послідовних наближень. У першому наближенні приймаємо $p'_{cp} = p_{cm} = 26 \text{ МПа}$.

Середню температуру газу в стовбурі свердловини визначаємо за формулою:

$$T_{cp} = \frac{T_{nl} - T_y}{\ln\left(\frac{T_{nl}}{T_y}\right)} = \frac{343 - 281}{\ln\left(\frac{343}{281}\right)} = 310,97 \text{ К.}$$

Визначаємо комплексний параметр s :

$$s' = 0,03415 \frac{\bar{\rho}_2 \cdot L}{z'_{cp} \cdot T_{cp}}$$

L – відстань від гирла свердловини до середини інтервалу перфорації

$$L = H - \frac{h}{2} = 3210 - \frac{20}{2} = 3200 \text{ м.}$$

Визначаємо псевдокритичні тиск і температуру:

$$p_{кр} = 4,892 - 0,4048 \cdot \bar{\rho}_2 = 4,892 - 0,4048 \cdot 0,62 = 4,641 \text{ МПа,}$$

$$T_{кр} = 94,717 + 170,8 \cdot \bar{\rho}_2 = 94,717 + 170,8 \cdot 0,62 = 200,613 \text{ К.}$$

Знаходимо псевдозведені тиск і температуру:

$$p'_{36} = \frac{p_{cp}}{p_{кр}} = \frac{26}{4,641} = 5,602,$$

$$T'_{36} = \frac{T_{cp}}{T_{кр}} = \frac{310,97}{200,613} = 1,55.$$

Визначаємо коефіцієнт стисливості газу:

$$z'_{cp} = (0,4 \lg(T'_{36}) + 0,73)^{p'_{36}} + 0,1 \cdot p'_{36} =$$

$$= (0,4 \lg(1,55) + 0,73)^{5,602} + 0,1 \cdot 5,602 = 0,859,$$

$$s' = 0,03415 \frac{\bar{\rho}_2 \cdot L}{z'_{cp} \cdot T_{cp}} = 0,03415 \frac{0,62 \cdot 3200}{0,859 \cdot 310,97} = 0,253,$$

$$p'_{nl} = p_{cm} \cdot e^{s'} = 26 \cdot e^{0,253} = 33,485 \text{ МПа.}$$

Виконуємо друге наближення. Середній тиск у стовбурі свердловини визначаємо за формулою (3.3):

$$p_{cp}'' = \frac{p_{nl}' + p_{cm}}{2} = \frac{33,485 + 26}{2} = 29,742 \text{ МПа.}$$

Визначаємо коефіцієнт стисливості газу z_{cp}'' , комплексний параметр s'' і пластовий тиск $p_{іє}''$ у другому наближенні.

$$p_{3\phi}'' = \frac{p_{cp}''}{p_{kp}} = \frac{29,742}{4,641} = 6,409,$$

$$z_{cp}'' = (0,4 \lg(T_{3\phi}) + 0,73) p_{3\phi}'' + 0,1 \cdot p_{3\phi}'' = \\ = (0,4 \lg(1,55) + 0,73) 6,409 + 0,1 \cdot 6,409 = 0,892,$$

$$s'' = 0,03415 \frac{\bar{\rho}_z \cdot L}{z_{cp}'' \cdot T_{cp}} = 0,03415 \frac{0,62 \cdot 3200}{0,892 \cdot 310,97} = 0,244,$$

$$p_{nl}'' = p_{cm} \cdot e^{s''} = 26 \cdot e^{0,244} = 33,185 \text{ МПа.}$$

Визначаємо похибку:

$\varepsilon = |33,185 - 33,428| = 0,243 \text{ МПа} > \varepsilon = 0,01 \text{ МПа}$. Умова не виконується. Отже, виконуємо третє наближення.

Визначаємо середній тиск у стовбурі свердловини у третьому наближенні.

$$p_{cp}''' = \frac{p_{nl}'' + p_{cm}}{2} = \frac{33,485 + 26}{2} = 29,743 \text{ МПа.}$$

Визначаємо коефіцієнт стисливості газу z_{cp}''' , комплексний параметр s''' і пластовий тиск p_{nl}''' у третьому наближенні.

$$p_{3\phi}''' = \frac{p_{cp}'''}{p_{kp}} = \frac{29,743}{4,641} = 6,409,$$

$$z_{cp}''' = (0,4 \lg(T_{3\phi}) + 0,73) p_{3\phi}''' + 0,1 \cdot p_{3\phi}''' = \\ = (0,4 \lg(1,55) + 0,73) 6,409 + 0,1 \cdot 6,409 = 0,892,$$

$$s''' = 0,03415 \frac{\bar{\rho}_z \cdot L}{z_{cp}''' \cdot T_{cp}} = 0,03415 \frac{0,62 \cdot 3200}{0,892 \cdot 310,97} = 0,244,$$

$$p_{nl}''' = p_{cm} \cdot e^{s'''} = 26 \cdot e^{0,244} = 33,184 \text{ МПа.}$$

Визначаємо похибку:

$$\varepsilon = |33,184 - 33,185| = 0,001 \text{ МПа} < \varepsilon = 0,01 \text{ МПа.}$$

Умова виконується. Отже, пластовий тиск у зупиненій газовій свердловині $p_{nl} = 33,184 \text{ МПа.}$

За формулою Шухова визначають **розподіл температури по стовбуру** свердловини на кожному відрізку x :

$$t(x) = t_{nl} - \Gamma x - \Delta t_i e^{-ax} + \frac{1 - e^{-ax}}{a} \left(\Gamma - D_i \frac{p_{воб} - p_x}{x} - \frac{A}{c_p} \right),$$

$$\Delta t_i = D_i (p_{nl} - p_{воб}) \frac{\lg \left(1 + \frac{G \cdot c_p \cdot \tau}{\pi \cdot h \cdot c_n \cdot r_c^2} \right)}{\lg \frac{R_k}{r_c}},$$

$$a = \frac{2\pi\lambda_n}{Gc_p f(t)},$$

$$f(t) = \ln \left(1 + \sqrt{\frac{\pi\lambda_n \tau}{c_n r_c^2}} \right),$$

$t(x)$ – температура газу на відстані x від середини інтервалу перфорації, °С;

Γ – геотермічний градієнт, °С/м;

D_i – диференціальний коефіцієнт Джоуля–Томсона, °С/МПа;

A – термічний еквівалент роботи, рівний $1/427$ ккал/кг·м;

Δt_i – зниження температури газу в привибійній зоні свердловини за рахунок ефекту Джоуля-Томсона з врахуванням теплообміну з навколишнім середовищем, °С;

c_p – ізобарна теплоємність газу при середньому тиску, Дж/кг·°С;

G – масова витрата газу, кг/год;

τ – сумарний час роботи свердловини, год;

c_n – об’ємна теплоємність гірських порід, Дж/м³·°С (ккал/м³·°С);

r_c, R_k – відповідно радіус свердловини і контуру живлення, м;

λ_n – теплопровідність гірських порід, Дж/м·год·°С;

$f(t)$ – безрозмірна функція часу.