

РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОЗРОБКИ ГАЗОВОГО РОДОВИЩА ЗА ГАЗОВОГО РЕЖИМУ

Задача 1

Газове родовище розробляють в умовах газового режиму при експлуатації свердловин з постійним дебітом газу. Визначити на 10-ий рік розробки родовища поточні пластовий і вибійний тиски, кількість свердловин і депресію тиску на пласт для таких даних:

дебіт середньої свердловини

$$q = 320 \text{ тис.м}^3/\text{д};$$

початковий пластовий тиск

$$p_{\text{поч}} = 37 \text{ МПа};$$

початкові запаси газу

$$Q_{\text{зан.поч}} = 12 \cdot 10^9 \text{ м}^3;$$

пластова температура

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

відносна густина газу

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

темп відбору газу з родовища становить 4,5 %
у рік від початкових запасів

$$Q(t) = 0,045 Q_{\text{зан.поч}};$$

коефіцієнти фільтраційних опорів привибійної
зони свердловин:

$$A = 0,06 \frac{\text{МПа}^2 \cdot \text{д}}{\text{тис.м}^3}$$
$$B = 0,8 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{МПа} \cdot \text{д}}{\text{тис.м}^3} \right)^2.$$

Розв'язування

Переводимо одиниці в систему СІ:

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

Поточний пластовий тиск визначаємо за формулою:

$$\tilde{p}_{\text{пл}}(t) = \left[\frac{p_{\text{поч}}}{z_{\text{поч}}} - \frac{Q_{\text{вид}}(t)}{\Omega^*} \right] \cdot z(\tilde{p}_{\text{пл}})$$

Визначаємо коефіцієнт стисливості газу за початкового пластового тиску і пластової температури

Псевдокритичний тиск:

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

Псевдокритична температура:

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

Псевдозведені тиск і температура:

$$p_{зв} = \frac{p_{noch}}{p_{кр}} = \frac{37}{4,641} = 7,972,$$

$$T_{зв} = \frac{T_{пл}}{T_{кр}} = \frac{343}{200,613} = 1,71,$$

Коефіцієнт стисливості газу:

$$\begin{aligned} z_{noch} &= (0,4 \lg(T_{зв}) + 0,73)^{p_{зв}} + 0,1 \cdot p_{зв} = \\ &= (0,4 \lg(1,71) + 0,73)^{7,972} + 0,1 \cdot 7,972 = 1,009. \end{aligned}$$

Зведений газонасичений поровий об'єм:

$$\Omega^* = Q_{зан.ноч} \cdot \frac{z_{noch}}{p_{noch}} = 12 \cdot 10^9 \cdot \frac{1,009}{37} = 3,272 \cdot 10^8 \frac{\text{м}^3}{\text{МПа}}.$$

Накопичений видобуток газу з родовища:

$$\begin{aligned} Q_{вид}(t) &= Q(t) \cdot t = 0,045 Q_{зан.ноч} \cdot t = \\ &= 0,045 \cdot 12 \cdot 10^9 \cdot 10 = 5,4 \cdot 10^9 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

В першому наближенні приймаємо $z'(\tilde{p}_{пл}) = z_{noch}$.

$$\begin{aligned} \tilde{p}'_{пл}(t) &= \left[\frac{p_{noch}}{z_{noch}} - \frac{Q_{вид}(t)}{\Omega^*} \right] \cdot z'(\tilde{p}_{пл}) = \\ &= \left[\frac{37}{1,009} - \frac{5,4 \cdot 10^9}{3,27 \cdot 10^8} \right] \cdot 1,009 = 20,348 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Виконуємо друге наближення. За знайденим значенням поточного пластового тиску уточнюємо коефіцієнт стисливості газу

$$p''_{зв} = \frac{\tilde{p}'_{пл}(t)}{p_{кр}} = \frac{20,348}{4,641} = 4,384,$$

$$z''_{пл} = (0,4 \lg(1,71) + 0,73)^{4,384} + 0,1 \cdot 4,384 = 0,865,$$

$$\begin{aligned}\tilde{p}''_{nl}(t) &= \left[\frac{p_{noch}}{z_{noch}} - \frac{Q_{вид}(t)}{\Omega^*} \right] \cdot z''(\tilde{p}_{nl}) = \\ &= \left[\frac{37}{1,009} - \frac{5,4 \cdot 10^9}{3,27 \cdot 10^8} \right] \cdot 0,865 = 17,44 \text{ МПа.}\end{aligned}$$

Умова $\left| \tilde{p}''_{nl}(t) - \tilde{p}'_{nl}(t) \right| = |17,44 - 20,348| = 2,908 \text{ МПа}$ не виконується. Тому проводимо наступні наближення доти, поки в останньому і передостанньому наближеннях поточний пластовий тиск буде відрізнятися не більше ніж на задану величину похибки $\left| \tilde{p}'_{nl}(t) - \tilde{p}_{nl}(t) \right| = \varepsilon, \quad \varepsilon \leq 0,1 \text{ МПа}$.

Третє наближення

$$p'''_{3в} = \frac{\tilde{p}''_{nl}(t)}{p_{кр}} = \frac{17,44}{4,641} = 3,758,$$

$$z'''_{nl} = (0,4 \lg(1,71) + 0,73)^{3,758} + 0,1 \cdot 3,758 = 0,857,$$

$$\begin{aligned}\tilde{p}'''_{nl}(t) &= \left[\frac{p_{noch}}{z_{noch}} - \frac{Q_{вид}(t)}{\Omega^*} \right] \cdot z'''(\tilde{p}_{nl}) = \\ &= \left[\frac{37}{1,009} - \frac{5,4 \cdot 10^9}{3,27 \cdot 10^8} \right] \cdot 0,857 = 17,283 \text{ МПа.}\end{aligned}$$

Умова $\left| \tilde{p}'''_{nl}(t) - \tilde{p}''_{nl}(t) \right| = |17,283 - 17,44| = 0,157 \text{ МПа}$ не виконується.

Отже, визначаємо поточний пластовий тиск у четвертому наближенні

$$p^{IV}_{3в} = \frac{\tilde{p}'''_{nl}(t)}{p_{кр}} = \frac{17,283}{4,641} = 3,724,$$

$$z^{IV}_{nl} = (0,4 \lg(1,71) + 0,73)^{3,724} + 0,1 \cdot 3,724 = 0,857,$$

$$\begin{aligned}\tilde{p}^{IV}_{nl}(t) &= \left[\frac{p_{noch}}{z_{noch}} - \frac{Q_{вид}(t)}{\Omega^*} \right] \cdot z^{IV}(\tilde{p}_{nl}) = \\ &= \left[\frac{37}{1,009} - \frac{5,4 \cdot 10^9}{3,27 \cdot 10^8} \right] \cdot 0,857 = 17,283 \text{ МПа.}\end{aligned}$$

Умова $\left| \tilde{p}'''_{nl}(t) - \tilde{p}^{IV}_{nl}(t) \right| = |17,283 - 17,283| = 0$ виконується. Отже поточний пластовий тиск дорівнює $\tilde{p}_{nl}(t) = 17,283 \text{ МПа}$.

Поточний вибійний тиск:

$$\begin{aligned}\tilde{p}_{виб}(t) &= \sqrt{\tilde{p}_{пл}(t)^2 - A \cdot q - B \cdot q^2} = \\ &= \sqrt{17,283^2 - 0,06 \cdot 320 - 0,8 \cdot 10^{-4} \cdot 320^2} = 16,471 \text{ МПа.}\end{aligned}$$

Кількість свердловин:

$$n(t) = K_p \frac{Q(t)}{q(t) \cdot 365 \cdot 10^3} = 1,15 \frac{0,045 \cdot 12 \cdot 10^9}{320 \cdot 365 \cdot 10^3} = 5.$$

Депресія тиску на пласт:

$$\Delta p(t) = \tilde{p}_{пл}(t) - \tilde{p}_{виб}(t) = 17,283 - 16,471 = 0,812 \text{ МПа.}$$

Задача 2

Газовий поклад розробляють в умовах газового режиму при експлуатації свердловин з постійною швидкістю руху газу на вході в насосно-компресорні труби. Визначити дебіт “середньої” свердловини і поточний вибійний тиск для таких даних:

поточний пластовий тиск

$$\tilde{p}_{пл}(t) = 30 \text{ МПа;}$$

пластова температура

$$t_{пл} = 76 \text{ }^\circ\text{C;}$$

швидкість руху газу на вході в насосно-компресорні труби

$$W_{виб} = 4,4 \text{ м/с;}$$

внутрішній діаметр насосно-компресорних труб

$$d_{вн} = 0,062 \text{ м;}$$

відносна густина газу

$$\bar{\rho}_g = 0,57;$$

коефіцієнти фільтраційних опорів привибійної зони пласта:

$$A = 8 \cdot 10^{-2} \frac{(\text{МПа})^2 \text{ д}}{\text{тис.м}^3}$$

$$B = 3 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{МПа} \cdot \text{д}}{\text{тис.м}^3} \right)^2.$$

Розв’язування

Переводимо одиниці в систему СІ:

$$T_{пл} = 76 + 273 = 349 \text{ К.}$$

Комплексний параметр N визначаємо за формулою:

$$N = \frac{p_{at} \cdot T_{nl}}{0,785 \cdot d_{вн}^2 \cdot W_{виб} \cdot T_{ст} \cdot 86,4} =$$

$$= \frac{0,1013 \cdot 349}{0,785 \cdot 0,062^2 \cdot 4,4 \cdot 293 \cdot 86,4} = 0,105 \frac{\text{МПа} \cdot \text{д}}{\text{тис.м}^3}.$$

У першому наближенні приймаємо $z'_{виб} = 1$.

Дебіт “середньої” свердловини визначаємо за формулою:

$$q'(t) = -\frac{A}{2(B + N^2 z_{виб}'^2)} + \sqrt{\left(\frac{A}{2(B + N^2 z_{виб}'^2)}\right)^2 + \frac{\tilde{p}_{nl}^2(t)}{B + N^2 z_{виб}'^2}} =$$

$$= -\frac{8 \cdot 10^{-2}}{2(3 \cdot 10^{-4} + 0,105^2 \cdot 1^2)} +$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{8 \cdot 10^{-2}}{2(3 \cdot 10^{-4} + 0,105^2 \cdot 1^2)}\right)^2 + \frac{30^2}{3 \cdot 10^{-4} + 0,105^2 \cdot 1^2}} = 278,4 \frac{\text{тис.м}^3}{\text{д}}.$$

Поточний вибійний тиск визначаємо за формулою:

$$p'_{виб}(t) = N \cdot z'_{виб} \cdot q'(t) = 0,105 \cdot 1 \cdot 278,4 = 29,232 \text{ МПа}.$$

Виконуємо друге наближення. За знайденим значенням поточного вибійного тиску уточнюємо коефіцієнт стисливості газу.

Псевдокритичний тиск:

$$p_{кр} = 4,892 - 0,4048 \cdot \bar{\rho}_z = 4,892 - 0,4048 \cdot 0,57 = 4,661 \text{ МПа},$$

Псевдокритична температура:

$$T_{кр} = 94,717 + 170,8 \cdot \bar{\rho}_z = 94,717 + 170,8 \cdot 0,57 = 192,073 \text{ К}.$$

Псевдозведені тиск і температура:

$$p''_{зв} = \frac{p'_{виб}(t)}{p_{кр}} = \frac{29,232}{4,661} = 6,272,$$

$$T_{зв} = \frac{T_{nl}}{T_{кр}} = \frac{349}{192,073} = 1,817.$$

Коефіцієнт стисливості газу:

$$z''_{виб} = (0,4 \lg(T_{36}) + 0,73) p''_{36} + 0,1 \cdot p''_{36} =$$

$$= (0,4 \lg(1,817) + 0,73)^{6,272} + 0,1 \cdot 6,272 = 0,947$$

$$q''(t) = -\frac{A}{2(B + N^2 z''_{виб}{}^2)} + \sqrt{\left(\frac{A}{2(B + N^2 z''_{виб}{}^2)}\right)^2 + \frac{\tilde{p}_{nl}^2(t)}{B + N^2 z''_{виб}{}^2}} =$$

$$= -\frac{8 \cdot 10^{-2}}{2(3 \cdot 10^{-4} + 0,105^2 \cdot 0,947^2)} +$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{8 \cdot 10^{-2}}{2(3 \cdot 10^{-4} + 0,105^2 \cdot 0,947^2)}\right)^2 + \frac{30^2}{3 \cdot 10^{-4} + 0,105^2 \cdot 0,947^2}} = 293,3 \frac{\text{тис.м}^3}{\text{д}},$$

$$p''_{виб}(t) = N \cdot z''_{виб} \cdot q''(t) = 0,105 \cdot 0,947 \cdot 293,3 = 29,164 \text{ МПа.}$$

Визначаємо похибку:

$$\varepsilon = \left| p''_{виб}(t) - p'_{виб}(t) \right| = |29,164 - 29,232| =$$

$$= 0,068 \text{ МПа} > \varepsilon = 0,01 \text{ МПа.}$$

Умова не виконується. Отже, виконуємо третє наближення.

Визначаємо коефіцієнт стисливості газу $z'''_{виб}$, дебіт “середньої” свердловини $q'''(t)$ і поточний вибійний тиск $p'''_{виб}(t)$ у третьому наближенні.

$$p'''_{36} = \frac{p''_{виб}(t)}{p_{кр}} = \frac{29,164}{4,661} = 6,257,$$

$$z'''_{виб} = (0,4 \lg(T_{36}) + 0,73) p'''_{36} + 0,1 \cdot p'''_{36} =$$

$$= (0,4 \lg(1,817) + 0,73)^{6,257} + 0,1 \cdot 6,257 = 0,946,$$

$$q'''(t) = -\frac{A}{2(B + N^2 z'''_{виб}{}^2)} + \sqrt{\left(\frac{A}{2(B + N^2 z'''_{виб}{}^2)}\right)^2 + \frac{\tilde{p}_{nl}^2(t)}{B + N^2 z'''_{виб}{}^2}} =$$

$$= -\frac{8 \cdot 10^{-2}}{2(3 \cdot 10^{-4} + 0,105^2 \cdot 0,946^2)} +$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{8 \cdot 10^{-2}}{2(3 \cdot 10^{-4} + 0,105^2 \cdot 0,946^2)}\right)^2 + \frac{30^2}{3 \cdot 10^{-4} + 0,105^2 \cdot 0,946^2}} =$$

$$= 293,6 \frac{\text{тис.м}^3}{\text{д}},$$

$$p_{виб}'''(t) = N \cdot z_{виб}''' \cdot q'''(t) = 0,105 \cdot 0,946 \cdot 293,6 = 29,163 \text{ МПа.}$$

Визначаємо похибку:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \left| p_{виб}'''(t) - p_{виб}''(t) \right| = |29,163 - 29,164| = \\ &= 0,001 \text{ МПа} < \varepsilon = 0,01 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Умова виконується. Отже, дебіт “середньої” свердловини $q(t) = 293,6$ тис.м³/д, поточний вибійний тиск $p_{виб}(t) = 29,163$ МПа.

Задача 3

Газове родовище розробляється в умовах газового режиму при експлуатації свердловин з постійним тиском на гирлі. Визначити дебіт “середньої” свердловини і темп відбору газу з родовища для таких даних: тиск на гирлі свердловини – 7 МПа, поточний пластовий тиск – 25 МПа, глибина свердловини до середини інтервалу перфорації (глибина опускання насосно-компресорних труб) – 2500 м, внутрішній діаметр насосно-компресорних труб – 0,062 м, температура газу на вибої свердловини – 72 °С, температура газу на гирлі свердловини – 18 °С, коефіцієнт гідравлічного опору насосно-компресорних труб – 0,025; кількість свердловин – 6, відносна густина газу – 0,65; коефіцієнти фільтраційних опорів привибійної зони пласта:

$$A = 5 \cdot 10^{-2} \frac{(\text{МПа})^2 \text{ д}}{\text{тис.м}^3}, \quad B = 7 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{МПа} \cdot \text{д}}{\text{тис.м}^3} \right)^2.$$

Задача 4

Газове родовище розробляється в умовах газового режиму при експлуатації свердловин з постійною депресією тиску на пласт. Визначити дебіт “середньої” свердловини, якщо відомо: пластовий тиск – 20 МПа, депресія тиску на пласт – 2,2 МПа, коефіцієнти фільтраційних опорів привибійної зони пласта:

$$A = 4 \cdot 10^{-2} \frac{(\text{МПа})^2 \text{ д}}{\text{тис.м}^3}; \quad B = 2,5 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{МПа} \cdot \text{д}}{\text{тис.м}^3} \right)^2.$$

Задача 5

Газове родовище розробляється в умовах газового режиму при експлуатації свердловин з постійною депресією тиску на пласт. Визначити для $t = 9$ років дебіт “середньої” свердловини для таких даних: початкові запаси газу – $130 \cdot 10^9$ м³, пластова температура – 79°С, початковий пластовий тиск – 40 МПа, темп відбору газу з родовища – 3,6% в рік від початкових запасів,

депресія тиску на пласт – 1,8 МПа, відносна густина газу – 0,59, коефіцієнти фільтраційних опорів приви́бійної зони пласта:

$$A = 3,8 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(\text{МПа})^2 \cdot \text{д}}{\text{тис.м}^3}; \quad B = 0,03 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\text{МПа} \cdot \text{д}}{\text{тис.м}^3} \right)^2.$$

Задача 6

Газове родовище розробляється в умовах газового режиму при експлуатації свердловин з постійною швидкістю руху газу гирлі. Визначити дебіт середньої свердловини для таких даних: поточний пластовий тиск – 22 МПа, пластова температура – 75 °С, температура газу на гирлі свердловини – 18 °С, швидкість руху газу на гирлі свердловини – 11 м/с, внутрішній діаметр насосно-компресорних труб – 0,062 м, коефіцієнт гідравлічного опору насосно-компресорних труб – 0,025, відносна густина газу – 0,6, коефіцієнти фільтраційних опорів приви́бійної зони пласта:

$$A = 0,025 \frac{(\text{МПа})^2 \cdot \text{д}}{\text{тис.м}^3}; \quad B = 0,012 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\text{МПа} \cdot \text{д}}{\text{тис.м}^3} \right)^2.$$

Задача 7

Газове родовище розробляється в умовах газового режиму при експлуатації свердловин з постійною швидкістю руху газу гирлі свердловин. Визначити тиск на гирлі “середньої” свердловини для таких даних: поточний пластовий тиск – 25 МПа, пластова температура – 69 °С, температура газу на гирлі свердловини – 18 °С, швидкість руху газу на гирлі свердловини – 11 м/с, внутрішній діаметр насосно-компресорних труб – 0,062 м, коефіцієнт гідравлічного опору насосно-компресорних труб – 0,024, відносна густина газу – 0,58, коефіцієнти фільтраційних опорів приви́бійної зони пласта:

$$A = 0,06 \frac{(\text{МПа})^2 \cdot \text{д}}{\text{тис.м}^3}; \quad B = 0,012 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\text{МПа} \cdot \text{д}}{\text{тис.м}^3} \right)^2.$$