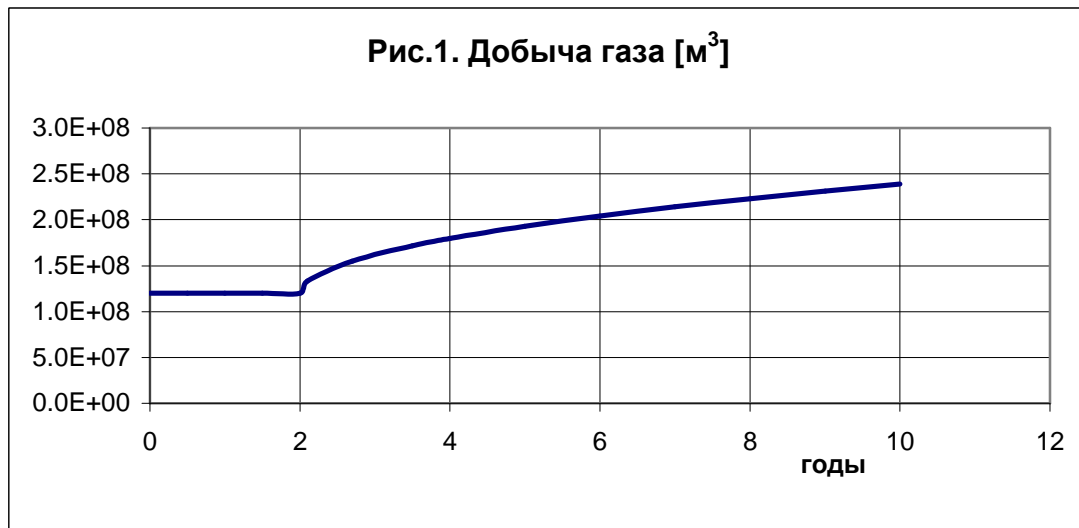


Тема 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИ ГАЗОНАПОРНОМ РЕЖИМЕ

Нефтяное месторождение имеет в плане форму близкую к круговой. Продуктивный пласт выклинивается непосредственно за этим контуром, так что из законтурной области в нефтенасыщенную часть пласта вода практически не поступает. Месторождение начали разрабатывать при среднепластовом давлении равном давлению насыщения: $P_{cp}=P_{нас}$. Отбор газа (текущая объемная добыча газа, замеренная при атмосферных условиях) из месторождения изменяется в течение 10 лет по следующему закону (Рис.1):

$$q_r [\text{м}^3/\text{год}] = \begin{cases} q_0 & \text{при } 0 \leq t \leq 2 \\ q_0 + \beta\sqrt{t-2}, & \text{при } 2 \leq t \leq 10 \end{cases}, \text{ где } q_0=120 \cdot 10^6, \beta=42 \cdot 10^6.$$



Даны параметры (в таблице): радиус контура нефтеносности R [м], давление насыщения $P_{нас}$ [МПа], пористость пород пласта m , толщина пласта h [м], насыщенность пласта связанной водой $S_{св}$, коэффициент охвата пласта разработкой η_2 , плотность нефти в пласте ρ_2 [т/м³], плотность газа в атмосферных условиях $\rho_{1ат}$ [т/м³], кажущаяся плотность газа, растворенного в нефти $\rho_{1к}$ [т/м³], коэффициент растворимости газа в нефти α [т/(т·Па)], среднее отношение коэффициентов сверхсжимаемости газа при пластовом и атмосферном давлении $\phi_{ср}$, текущая добыча дегазированной нефти из месторождения в течение 10 лет после начала разработки q_n [м³/год].

Определить, как изменяются в течение 10 лет после начала разработки:

- 1) Значение среднего пластового давления.
- 2) Объем газовой шапки и ее доля от порового объема пласта, охваченного разработкой.
- 3) Нефтеотдача месторождения.

Построить графики изменения этих параметров от времени.

РЕШЕНИЕ

1) Определим объем пласта, охваченный разработкой

$$V_{оп} = m(1 - S_{св})\eta_2\pi R^2 h.$$

В начальном состоянии в пласте, кроме связанной воды, содержались только нефть и растворенный в ней газ. Поэтому в начале разработки соотношение материального баланса для суммы объемов компонентов в пласте имеет вид:

$$\frac{N_{02}}{\rho_2} + \frac{N_{01}}{\rho_{1к}} = V_{оп},$$

где N_{01} , N_{02} – начальные массы газа и нефти в пласте. Считаем, что газ растворяется в нефти по закону Генри:

$$N_{01} = \alpha N_{02} P_{нас}.$$

Тогда величина начальной массы нефти в пласте будет:

$$N_{02} = V_{оп} / \left(\frac{1}{\rho_2} + \frac{\alpha P_{нас}}{\rho_{1к}} \right).$$

- 2) Полная масса дегазированной нефти, оставшейся в пласте к моменту времени t , при известном значении начальной массы нефти определяется с учетом накопленной добычи:

$$N_2 = N_{02} - \int_0^t \rho_2 q_H dt = N_{02} - \rho_2 q_H t.$$

При известном значении начальной массы газа и текущей объемной добыче газа, полная масса газа в пласте (включая свободный газ и газ, растворенный в нефти) определяется, как разность между начальной массой и накопленной добычей к моменту времени t :

$$N_1 = N_{01} - \int_0^t \rho_{1AT} q_G dt = \begin{cases} N_{01} - \rho_{1AT} q_0 t, & \text{при } 0 \leq t \leq 2 \\ N_{01} - \rho_{1AT} [q_0 t + \beta(t-2)^{3/2}], & \text{при } 2 \leq t \leq 10 \end{cases}.$$

- 3) Изменение во времени среднего пластового давления находится из материального баланса компонент в пласте в каждый момент времени:

$$\begin{aligned} N_1 &= G_1 + L_1; \\ \frac{G_1}{\rho_1} + \frac{L_1}{\rho_{1K}} + \frac{N_2}{\rho_2} &= V_{оп}; \end{aligned} \quad (1)$$

где: G_1 – полная масса свободного газа; L_1 – полная масса газа, растворенного в нефти; ρ_1 – плотность свободного газа в пласте; N_1 – полная масса газа в пласте, включая свободный газ и газ, растворенный в нефти; N_2 – масса дегазированной нефти в пласте. Кроме этого, используется закон Генри и уравнение состояния реального газа:

$$\frac{P_{CP}}{\rho_1} = \frac{P_{AT} \Phi_{CP}}{\rho_{1AT}}.$$

После подстановки в (1) получается квадратное уравнение относительно среднего пластового давления:

$$a \cdot P_{CP}^2 - b \cdot P_{CP} + c = 0,$$

где:

$$\begin{aligned} a &= \frac{N_2 \alpha}{\rho_{1K}}, \\ b &= V_{оп} + \frac{N_2 \alpha P_{AT} \Phi_{CP}}{\rho_{1AT}} - \frac{N_2}{\rho_2}, \\ c &= \frac{N_1 P_{AT} \Phi_{CP}}{\rho_{1AT}}. \end{aligned}$$

- 4) Решение этого уравнения имеет два корня:

$$P_{CP} = \frac{b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}.$$

Если $2 \cdot a \cdot P_{НАС} - b < 0$, то используется меньший корень.

Если $2 \cdot a \cdot P_{НАС} - b > 0$, то используется больший корень.

- 5) Объем образующейся в процессе разработки залежи вторичной газовой шапки в каждый момент времени можно определить, учитывая закон Генри и уравнение состояния реального газа из следующего соотношения:

$$V_1 = \frac{N_1 - N_2 \alpha P_{CP}}{\rho_1} = \frac{P_{AT} \Phi_{CP}}{\rho_{1AT}} \left(\frac{N_1}{P_{CP}} - N_2 \alpha \right),$$

Отсюда доля объема газовой шапки от порового объема пласта, охваченного разработкой, будет определяться как отношение:

$$\lambda = \frac{V_1}{V_{оп}}.$$

- 6) Нефтеотдача на каждый момент времени разработки пласта составит:

$$\eta = \left(\int_0^t \rho_2 q_H dt \right) / N_{02} = \rho_2 q_H t / N_{02},$$

где $\rho_2 q_H t$ – накопленная добыча нефти.

Рекомендация. Для удобства расчеты желательно свести в таблицу:

| Расчет показателей разработки | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|--------------------------------------|------------------------|--------------------|--|-----------------|
| Время, годы | Масса дегазированной нефти в пласте N_2 [Т] | Полная масса газа N_1 [Т] (свободного и раств.) | a | b | c | Ср. пластовое давление P_{cp} [Па] | Накопленная добыча [Т] | Нефтеотдача η | Объем газ. шапки V_1 [м ³] | Доля газ. шапки |
| 0 | (N_{02}) | (N_{01}) | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | |

Сводка формул:

$$V_{оп} = m(1 - S_{CB})\eta_2\pi R^2 h$$

$$N_{02} = V_{оп} / \left(\frac{1}{\rho_2} + \frac{\alpha P_{Hac}}{\rho_{1K}} \right)$$

$$N_{01} = \alpha N_{02} P_{Hac}$$

$$N_2 = N_{02} - \rho_2 q_H t$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N_1 = N_{01} - \rho_{1AT} q_0 t, \quad \text{при } 0 \leq t \leq 2 \\ N_1 = N_{01} - \rho_{1AT} [q_0 t + \beta(t-2)^{3/2}], \quad \text{при } 2 \leq t \leq 10 \end{array} \right.$$

$$a = \frac{N_2 \alpha}{\rho_{1K}}$$

$$b = V_{оп} + \frac{N_2 \alpha P_{AT} \Phi_{CP}}{\rho_{1AT}} - \frac{N_2}{\rho_2}$$

$$c = \frac{N_1 P_{AT} \Phi_{CP}}{\rho_{1AT}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot a \cdot P_{Hac} - b < 0 \Rightarrow P_{CP} = \frac{b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} \\ 2 \cdot a \cdot P_{Hac} - b > 0 \Rightarrow P_{CP} = \frac{b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} \end{array} \right.$$

$$V_1 = \frac{P_{AT} \Phi_{cp}}{\rho_{1AT}} \left(\frac{N_1}{P_{CP}} - N_2 \alpha \right)$$

$$\lambda = \frac{V_1}{V_{оп}}$$

$$\eta = \rho_2 q_H t / N_{02}$$