

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ
РАЗРАБОТКИ И
ОБУСТРОЙСТВА УГЛЕВОДОРОДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ЧАСТЬ 2 ГАЗОВЫЕ И ГАЗОКОНДЕНСАТНЫЕ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Лекция №6

Хромых Людмила Николаевна

Газогидратные залежи.

- В 1969 г. в комитете по делам изобретений и открытий было зарегистрировано открытие: "Свойство природных газов в определенных термодинамических условиях находиться в земной коре в твердом состоянии и образовывать газогидратные залежи" Васильев В.Г., Ю.Ф. Макагон, Ф.А. Требин и др.
- В 1970г в опытно - промышленную эксплуатацию было введено Мессояхское газогидратное месторождение. Геолого-геофизическими и промысловыми исследованиями было установлено, что в верхней части месторождения газ находится в гидратном состоянии, в нижней части в газовой фазе. На границах этих двух зон $T_{пл}$ - равна равновесной температуре гидратообразования. Отбор газа начали осуществлять из нижней части Мессояхского месторождения.
- При снижении пластового давления в газоносной зоне пласта осуществлялись фазовые превращения на границе газогидратной и газоносной зон и в газогидратной части залежи.
- Было исследовано три модели процессов, протекающих в залежи подобного типа:

- I модель. Предполагается, что гидраты разлагаются по всей газогидратной части залежи (объемный процесс). При этом коэффициент гидратонасыщения уменьшается во времени.
- Образовавшаяся газовая фаза частично поступает к эксплуатационным скважинам, перетекая в нижнюю часть благодаря разности давлений в верхней и нижней зонах продуктивного пласта.
- II модель. Гидраты разлагаются только на границе раздела газогидратной и газоносной частей залежи. Предполагается контактный механизм разложения гидратов.
- Принимается (в соответствии с фактом), что отбор газа осуществляется из газоносной зоны залежи.
- При этом в газогидратной части сохраняются первоначальные пластовые давление и температура, а так же коэффициенты газо - и гидратонасыщенности пласта. Гидрато-содержащий поровый объем уменьшается за счет объема, в котором разложились гидраты. Соответственно на такой же объем возрастает поровой объем газоносной части залежи.

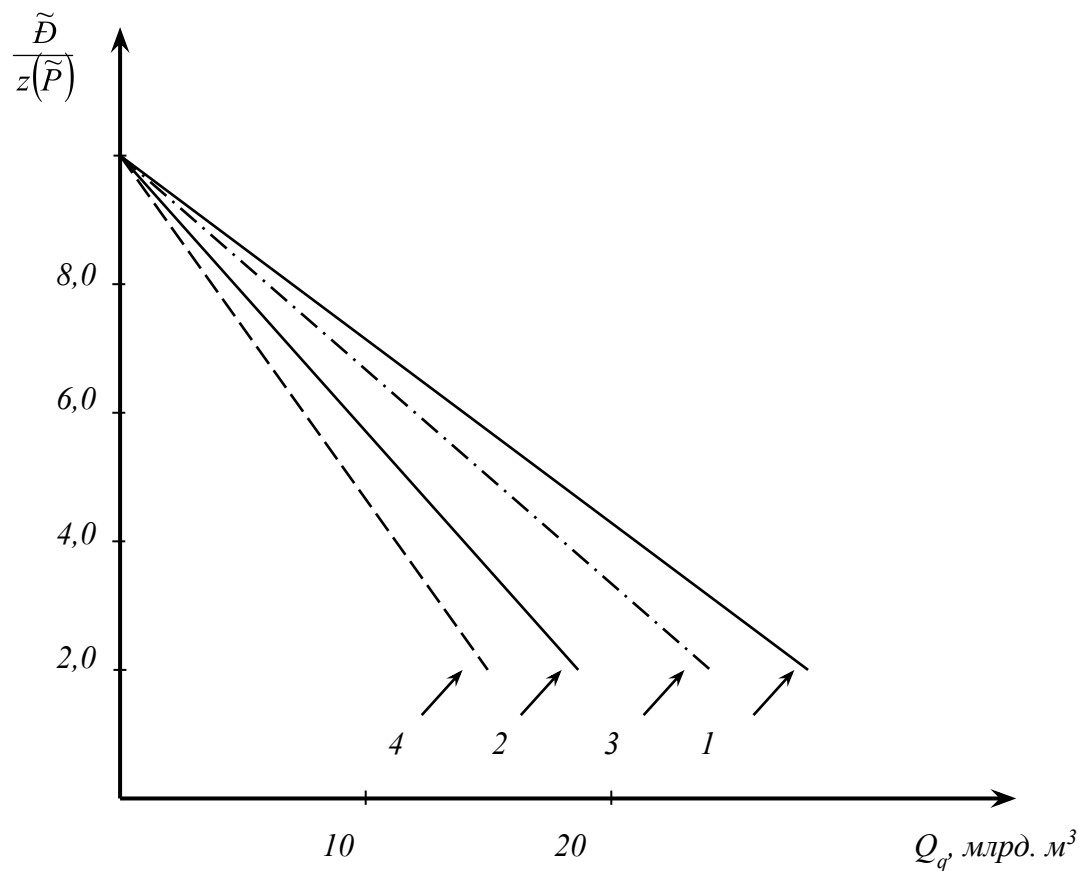
- III модель. Учитывается одновременное разложение гидратов в газогидратной части и разложение их на контакте газогидратной и газоносной зон пласта. Предполагается, что газ отбирается из обеих частей залежи, изменяются поровые объемы, снижаются пластовые давление и температура, изменяются коэффициенты газо – и гидратонасыщенности в верхней части залежи, при этом газ перетекает из газогидратной в газоносную часть пласта.
- Рассмотрим балансовые состояния для газогидратной залежи применительно ко 2 модели.
- Уравнение материального баланса для газоносной зоны пласта в интервале времени $t - \Delta t, t$; имеет вид:

$$\rho_2 \cdot [\tilde{D}_1 \cdot (t - \Delta t), T_1(t - \Delta t)] \cdot \alpha_1 \cdot \Omega_1 \cdot (t - \Delta t) = \rho_2 \cdot [\tilde{P}_1(t), T_1(t)] \cdot \alpha_1 \cdot \Omega_1(t) + \Delta Q_q \cdot (t - \Delta t) \cdot \rho_2 \cdot (P_{\dot{a}0}, T_0) - \Delta Q_2 \cdot (t - \Delta t) \cdot \rho_2 \cdot [\tilde{P}_{\dot{a}0}, T_2(t)] - \Delta \Omega_2 \cdot (t - \Delta t) \cdot \{ \rho_2 \cdot [P_i, \dot{O}_{i \cdot 2}] \cdot \alpha_2 - \rho_2 \cdot [\tilde{D}_1(t), \dot{O}_1(t)] \cdot \alpha_1 \}$$

(1)

- где: $\rho_2 \cdot [\tilde{P}(t), T(t)]$ - плотность газа при давлении , $T(t)$,
- P и T – с индексом 1 относятся к газоносной,
с индексом 2 – к гидратонасыщенным зонам пласта,
- $T_1(t)$ – температура в газоносной части в момент t ,
- $T_{2P}(t)$ – равновесная температура гидратообразования (на границе газоносной и гидратонасыщенных зон пласта),
- α_1, α_2 – коэффициенты газонасыщенности газоносной и гидратной частей залежи,
- $\Omega_1(t)$ – поровый объём газонасыщенной части залежи в момент времени t ,
- $\Delta\Omega_2(t - \Delta t, t)$ - часть порового объёма, в котором произошло разложение гидратов за интервал времени $[t - \Delta t, t]$,
- $\Delta Q_q(t - \Delta t, t)$ - добытое количество газа за интервал времени $[t - \Delta t, t]$.
- Для 3-х этих моделей были получены уравнения материального баланса и уравнения теплового баланса. Необходимость уравнений теплового баланса связана с тем, что при разработке газогидратных месторождений фильтрационные процессы в пласте не изотермичны.

- С использованием соответствующих балансовых соотношений для указанных 3-х моделей был выполнен прогноз процесса разработки Мессояхского газогидратного месторождения.



1. - объемно - контактный механизм
 2. - контактный механизм
 3. - объемный механизм
 4. - для запасов в газонасыщенной части пласта
 5. - факт
- Фактические показатели разработки газогидратные залежи показали, что модель контактного разложения гидратов (2 модель) позволяет наилучшим образом достичь совпадения расчетных и фактических показателей, которые приведены к средним пластовым, давлениям.
 - Для расчетов прогнозных показателей была принята 2-я модель.
 - Газонасыщенный объем залежи на момент прекращения закачки воды T будет равен $\tilde{\alpha}\Omega(\dot{O})$, а обводненная толщина – $h_g(t)$.
 - После прекращения закачки разработка залежи продолжается в режиме истощения пластовой энергии. Давление падает как в газоносной так и в обводненной зонах пласта. Защемленный газ начинает расширяться. Газоносная часть залежи уменьшается. В момент t ($t > T$) толщина обводненной зоны пласта будет равна $h_g(t)$.

- При заводнении пласта газ в обводненной зоне защемляется при одном и том же давлении \tilde{D}_C и коэффициенте остаточной газонасыщенности $\alpha_{ост}$.
- К концу заводнения защемленный газ в обводненной зоне будет находиться при среднем давлении $D_C^*(t) = \tilde{P}_C + \frac{\rho_A \cdot q \cdot h_a(\dot{O})}{2}$, а в момент t ($t > T$) при давлении $D_C^*(t) = \tilde{P}(t) + \rho_a \cdot \frac{q \cdot h_a(t)}{2}$.
- Согласно лабораторным экспериментам защемленный газ приобретает подвижность после снижения давления до 0,65 - 0,75 по сравнению с давлением при котором газ защемился. Или можно принять, что защемленный газ начинает двигаться после того, как коэффициент остаточной газонасыщенности достигает соответствующей величины, которая называется критической
- Можно принять, что при $\alpha_{ост} \approx 0,2$, $\alpha_{ост.кр.} \approx 0,3$. Пока $\alpha_{ост} < \alpha_{ост.кр.}$ масса защемленного газа в обводненной зоне пласта остается неизменной. Справедливо равенство:

$$\alpha_{инд.} \cdot [\Omega_f - \Omega(\dot{O})] \cdot \frac{\tilde{D}_C^*}{z(\tilde{P}_C) \cdot D_{a\dot{O}}} = \alpha_{инд.}(t) \cdot [\Omega_f - \Omega(t)] \cdot \frac{\tilde{P}^*(t)}{z[\tilde{P}^*(t)] \cdot P_{a\dot{O}}} \quad (4)$$

- При снижении \tilde{E}_c^* до \tilde{E}_i^* $\alpha_{ост} = \alpha_{ост.i}$ находится соответствующий им объём Ω_i .
- По зависимости $h_g = f(\alpha\Omega)$ определяют h_{gi} .
- Вычисляется соответствующее среднее пластовое давление в залежи \tilde{D}_i
- Уравнение материального баланса для газоносной части пласта будет иметь вид:

$$\frac{\tilde{D}_c \cdot \tilde{\alpha} \cdot \Omega(t)}{z(\tilde{P}_c)} = \frac{\tilde{D}(t) \cdot \tilde{\alpha} \cdot \Omega(t)}{z(\tilde{P})} + P_{\Delta \dot{O}} \cdot Q_q(t) \cdot \frac{T_{i\tilde{E}}}{\dot{O}_0} \quad (5)$$

- Для рассматриваемого периода, когда $\alpha_{ост} < \alpha_{ост.кр}$ и задан отбор газа из месторождения во времени $Q_q = Q(t)$ легко установить временные зависимости для искомых параметров $\tilde{D}^* = \tilde{D}^*(t)$ и $\tilde{D} = \tilde{D}(t)$ используя уравнения (4) и (5).
- Подстановка в уравнение (4) вместо $\alpha_{ост}(t)$ величины $\alpha_{ост.кр}$ и использование уравнения (5) позволяет получить время T_{II} , после которого заземлённый газ начинает поступать из обводнённой зоны в газоносную зону пласта.

- Уравнение (4) для момента T_{II} имеет вид:

$$\alpha_{\text{тò}} \cdot [\Omega_f - \Omega(\dot{O})] \cdot \frac{\tilde{D}_c^*}{z(\tilde{P}_c)} = \alpha_{\text{тò}} \cdot \dot{e} \cdot [\Omega_f - \Omega(\dot{O}_i)] \cdot a \quad (6)$$

- где: a – безразмерное приведённое давление при котором заземлённый газ приобретает подвижность.
- По формуле (6) вычисляется $\Omega(T_{II})$ – этот поровый объём должен быть несколько больше порового объёма, отсекаемого плоскостью, проведённой через нижние отверстия интервалов перфорации в эксплуатационных скважинах.
- После достижения условия $\alpha_{\text{ост}} = \alpha_{\text{ост.кр}}$ уравнение материального баланса для газоносной части пласта залежи записывается в виде:

$$\frac{\tilde{D}(\dot{O}_i) \cdot \tilde{\alpha} \cdot \Omega(t)}{z[\tilde{D}(\dot{O}_i)]} = \frac{\tilde{D}(t) \cdot \tilde{\alpha} \cdot \Omega(\dot{O}_i)}{z(\tilde{P})} + P_{\dot{A}\dot{O}} - Q_q(t) \cdot \frac{T_{IE}}{\dot{O}_0} - D_{\dot{A}\dot{O}} \cdot Q_{\text{защ.}}(t) \quad (7)$$

- где: $Q_{\text{защ.}}(t)$ – количество заземлённого газа, перетекшего из обводнённой зоны в газоносную зону пласта на момент времени t .
- Для вычисления $Q_{\text{защ.}}(t)$ используют следующее соотношение:

$$\alpha_{\text{инд.эд.}} \cdot [\Omega_f - \Omega(\dot{O}_f)] \cdot \left\{ \frac{\tilde{D}(\dot{O}_f)}{z[\tilde{D}^*(\dot{O}_f)]} - \frac{\tilde{D}^*(t)}{z[\tilde{P}^*(t)]} \right\} = P_{A\dot{O}} \cdot Q_{\text{çàù.}} \quad (8)$$

- где: $\tilde{P}^*(T_f) = \tilde{D}(\dot{O}_f) + \rho_A \cdot q \cdot \frac{h_A(\dot{O}_f)}{2}$
 $\tilde{P}^*(t) = \tilde{D}(t) + \rho_A \cdot q \cdot \frac{h_A(t)}{2}$
- По уравнению (7) с учетом уравнения (8) определяется зависимость среднего давления в залежи после времени T_{IT} , т.е. после приобретения защемленным газом подвижности.
- В изложенном алгоритме деформирование пласта коллектора учтено в изменении продуктивных характеристик эксплуатационных скважин (A и B) при снижении пластового давления. Однако изменением порового объема залежи при снижении пластового давления пренебрегли.
- Суммарные потери газа к концу разработки определяются по формуле:

$$Q_{\text{инд.}} = \frac{\tilde{\alpha} \cdot \Omega(\dot{O}_f)}{D_{A\dot{O}}} \cdot \frac{\tilde{D}_{\text{éii}}}{z(\tilde{D}_{\text{éii}})} + \alpha_{\text{инд.эд.}} \cdot [\Omega_f - \Omega(\dot{O}_f)] \cdot \frac{\tilde{D}_{\text{éii}}^*}{D_{\dot{A}\dot{O}} \cdot z(\tilde{D}_{\text{éii}}^*)} \quad (9)$$

- Это позволяет определить конечный коэффициент газоотдачи и соответственно конденсатоотдачи при реализации процесса заводнения.