

# Содержание

1	Прогнозирование режима потока	1
2	Градиент давления на трение	4
3	Градиент давления на гравитацию	9
4	Общий градиент давления	12
5	Значение давления в трубе (интегрирование градиента)	13

## 1 Прогнозирование режима потока

Известны следующие параметры:

$x_{go} = 178 \text{ м}^3/\text{ст.м}^3$  – отношение добычи газа к нефти (не знаю на сколько важен параметр)

$q_o = 1590 \text{ ст.м}^3/\text{сутки}$  – дебит нефти

$q_g = 283 \text{ тыс.м}^3/\text{сутки}$  – дебит газа

$q_w = 0 \text{ ст.м}^3/\text{сутки}$  – дебит воды

$B_o = 1.197 \text{ м}^3/\text{ст.м}^3$  – объемный коэффициент нефти

$B_g = 0.0091 \text{ м}^3/\text{ст.м}^3$  – объемный коэффициент газа

$B_w = 1 \text{ м}^3/\text{ст.м}^3$  – объемный коэффициент воды

$R_s = 50.6 \text{ ст.м}^3/\text{ст.м}^3$  – учитывает растворение газа в нефти (конденсацию) или выделение газа из нефти (выкипание)

$R_{sw} = 1$

$d = 0.1524 \text{ м}$  – диаметр трубы

$g = 9.81 \text{ м/с}^2$  – const

$\sigma_o = 8.41 \text{ мН/м} = 8.41 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}^2$  – поверхностное натяжение нефти

$\rho_L = 762.64 \text{ кг/м}^3$  – плотность жидкости

$\rho_g = 94.16 \text{ кг/м}^3$  – плотность газа

$\mu_o = 0.97 \text{ сП} = 0.97 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  – вязкость нефти

$\varepsilon = 18.288 \cdot 10^{-6} \text{ м}$  – абсолютная шероховатость трубы

$L = 2000 \text{ м}$  – длина скважины

Объемные дебиты нефти, воды, газа (делим на  $24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ с/сутки}$ , что бы перейти в СИ)

$$q_o = \frac{q_{o_{н.у.}}}{86400} B_o \quad (3.1)$$

$$q_w = \frac{q_{w_{н.у.}}}{86400} B_w \quad (3.2)$$

$$q_L = q_o + q_w$$

$$q_g = \frac{(q_{g_{н.у.}} - q_{o_{н.у.}} R_s - q_{w_{н.у.}} R_{sw})}{86400} B_g \quad (3.3)$$

Приведенные скорости жидкости и газа а единицу поперечного сечения трубы

$$v_{SL} = \frac{q_L}{A_p} \quad (3.10)$$

$$v_{Sg} = \frac{q_g}{A_p} \quad (3.11)$$

$$A_p = \pi \cdot r^2 = \pi \left( \frac{d}{2} \right)^2 = \pi \frac{d^2}{4}$$

Рассчитать приведенные скорости жидкости и газа:

$$A_p = \pi \frac{d^2}{4} = \frac{\pi}{4} \cdot 0.1524^2 \text{ м}^2 = 0.0182 \text{ м}^2$$

$$q_o = \frac{1590 \text{ ст.м}^3/\text{сутки} \cdot \frac{283 \text{ тыс.м}^3/\text{сутки}}{1590 \text{ ст.м}^3/\text{сутки} \cdot 178 \text{ м}^3/\text{ст.м}^3}}{86400 \text{ с/сутки}} \cdot 1.197 \text{ м}^3/\text{ст.м}^3 = 0.022 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$q_w = \frac{q_{w_{н.у.}}}{86400} B_w = 0$$

$$q_L = q_o + q_w = 0.022 \text{ м}^3/\text{сутки} + 0 = 0.022 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$q_g = \frac{(283 \text{ тыс.м}^3/\text{сутки} - 1590 \text{ ст.м}^3/\text{сутки} \cdot 50.6 \text{ ст.м}^3/\text{ст.м}^3 - 0)}{86400 \text{ с/сутки}} \cdot 0.0091 \text{ м}^3/\text{ст.м}^3 = 0.0214 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$v_{SL} = \frac{q_L}{A_p} = \frac{0.022 \text{ м}^3/\text{с}}{0.0182 \text{ м}^2} = 1.21 \text{ м/с}$$

$$v_{Sg} = \frac{q_g}{A_p} = \frac{0.0214 \text{ м}^3/\text{с}}{0.0182 \text{ м}^2} = 1.176 \text{ м/с}$$

Рассчитаем четыре безразмерные группы величин:

1. Показатель скорости жидкости:

$$N_{Lv} = v_{SL} \sqrt[4]{\frac{\rho_L}{g \sigma_L}} \quad (4.3)$$

2. Показатель скорости газа:

$$N_{gv} = v_{Sg} \sqrt[4]{\frac{\rho_L}{g \sigma_L}} \quad (4.4)$$

3. Показатель диаметра трубы:

$$N_d = d \sqrt{\frac{g \rho_L}{\sigma_L}} \quad (4.5)$$

4. Показатель вязкости жидкости:

$$N_L = \mu_L \sqrt[4]{\frac{g}{\rho_L \sigma_L^3}} \quad (4.6)$$

Рассчитать четыре безразмерные группы величин :

$$N_{Lv} = v_{SL} \sqrt[4]{\frac{\rho_L}{g \sigma_L}} = 1.21 \text{ м/с} \left( \frac{762.64 \text{ кг/м}^3}{9.8 \text{ м/с}^2 \cdot 8.41 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}^2} \right)^{0.25} = 11.87 \text{ б/п}$$

$$N_{gv} = v_{Sg} \sqrt[4]{\frac{\rho_L}{g \sigma_L}} = 1.176 \text{ м/с} \left( \frac{762.64 \text{ кг/м}^3}{9.8 \text{ м/с}^2 \cdot 8.41 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}^2} \right)^{0.25} = 11.54 \text{ б/п}$$

$$N_d = d \sqrt{\frac{g \rho_L}{\sigma_L}} = 0.152 \text{ м} \sqrt{\frac{762.64 \text{ кг/м}^3 \cdot 9.8 \text{ м/с}^2}{8.41 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}^2}} = 143.8 \text{ б/п}$$

$$N_L = \mu_L \sqrt[4]{\frac{g}{\rho_L \sigma_L^3}} = 0.97 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} \left( \frac{9.8 \text{ м/с}^2}{762.64 \text{ кг/м}^3 \cdot (8.41 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}^2)^3} \right)^{0.25} = 0.0118 \text{ б/п}$$

По рисунку 4.6 определяем  $L_1$  и  $L_2$  – зависимости от  $N_d$ .

График превратили в матрицу, состоящую из двух массивов точек  $[[X][Y]]$ . Бинарным поиском находим в  $[X]$  интервал, в который попадает значение  $N_d$ . Затем берем среднее арифметическое концов выбранного отрезка на оси значений  $[Y]$  - это будет значение графика в точке  $N_d$ .

На рисунке 4.5 показаны четыре режима потока в зависимости от показателя скорости жидкости  $N_{Lv}$  и газа  $N_{gv}$

1. Пузырьковый режим, если  $10^{-1} < N_{gv} \leq L_1 + L_2 \cdot N_{Lv}$
2. Пробковый режим, если  $L_1 + L_2 \cdot N_{Lv} < N_{gv} \leq 50 + 36 \cdot N_{Lv}$
3. Переходный режим, если  $50 + 36 \cdot N_{Lv} < N_{gv} \leq 75 + 84 \cdot N_{Lv}^{0.75}$
4. Эмульсионный режим, если  $75 + 84 \cdot N_{Lv}^{0.75} < N_{gv} \leq 10^3$

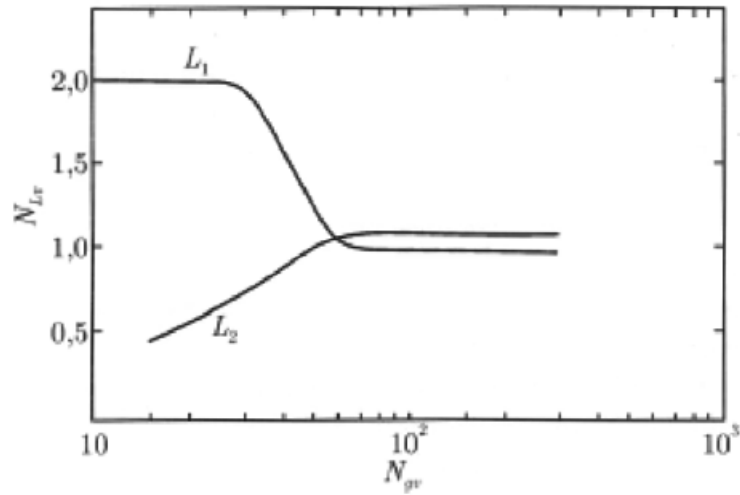


Рис. 4.6. Параметры, характеризующие переход из пузырькового в пробковый режим потока по методу Данса и Роса

По рисунку 4.6 видим, что при  $N_d = 146.8$  параметры равны  $L_1 = 1$ ,  $L_2 = 1.1$ . Проверяем к какой режим потока в нашем случае

1. Пузырьковый режим, если  $10^{-1} < 11.54 \leq 1 + 1.1 \cdot 11.87 = 14 \rightarrow$  да
2. Пробковый режим, если  $14 = 1 + 1.1 \cdot 11.87 < 11.54 \leq 50 + 36 \cdot 11.87 = 477 \rightarrow$  нет
3. Переходный режим, если  $477 = 50 + 36 \cdot 11.87 < 11.54 \leq 75 + 84 \cdot 11.87^{0.75} = 612 \rightarrow$  нет
4. Эмульсионный режим, если  $612 = 75 + 84 \cdot 11.87^{0.75} < 11.54 \leq 10^3 \rightarrow$  нет

## 2 Градиент давления на трение

Составляющая градиента давления по трению определяется в зависимости режима потока

1. Пузырьковый режим

Определяем число Рейнольдса для жидкой фазы

$$N_{ReL} = \frac{\rho_L \cdot v_{SL} \cdot d}{\mu_L} \quad (4.41)$$

и соотношение

$$\frac{\varepsilon}{d}$$

по ним определяем поправочный коэффициент трения  $f_1$  (вместо диа-

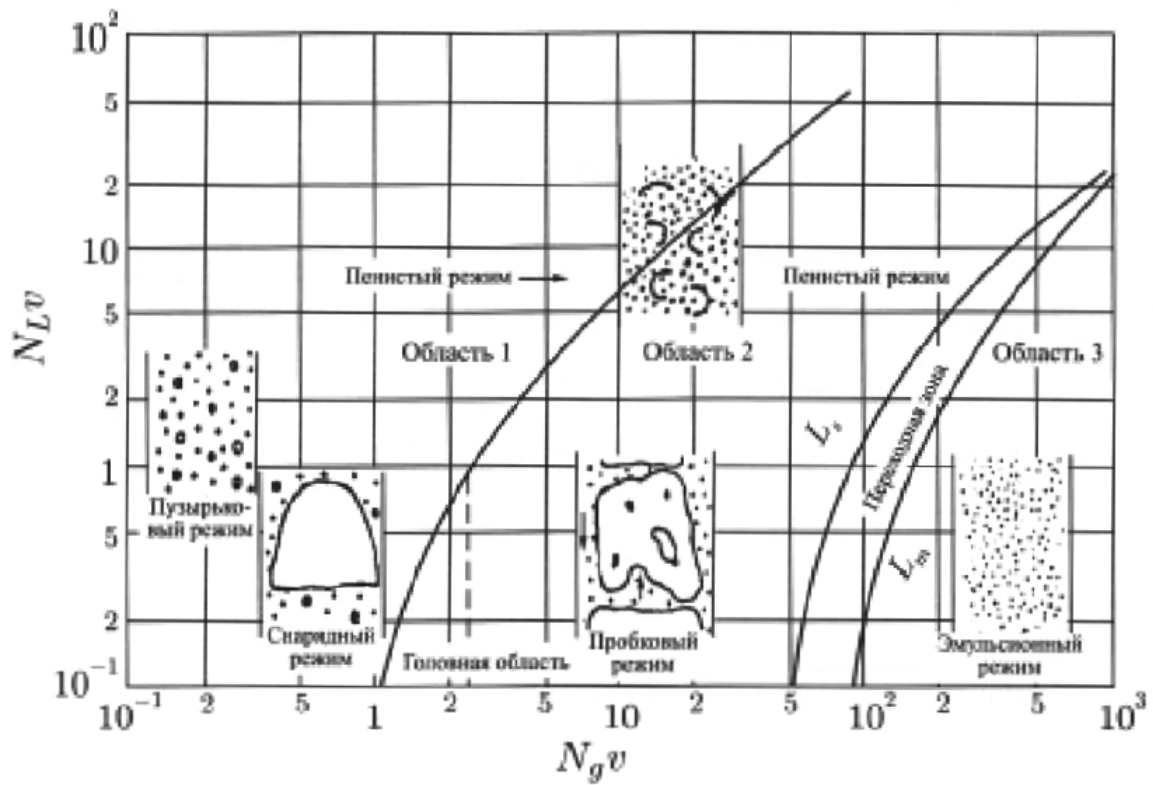


Рис. 4.5. Карта режимов потока, разработанная Дансом и Росом

граммы Муди)

$$\frac{1}{\sqrt{f_1}} = -2 \lg \left( \frac{2\varepsilon}{3.7d} - \frac{5.02}{N_{ReL}} \cdot \lg \left( \frac{2\varepsilon}{3.7d} + \frac{13}{N_{ReL}} \right) \right) \quad (2.19)$$

Считаем

$$\frac{f_1 \cdot v_{Sg} \cdot N_d^{2/3}}{4 \cdot v_{SL}}$$

и по рисунку 4.8 определяем  $f_2$  – зависимость от  $f_1$

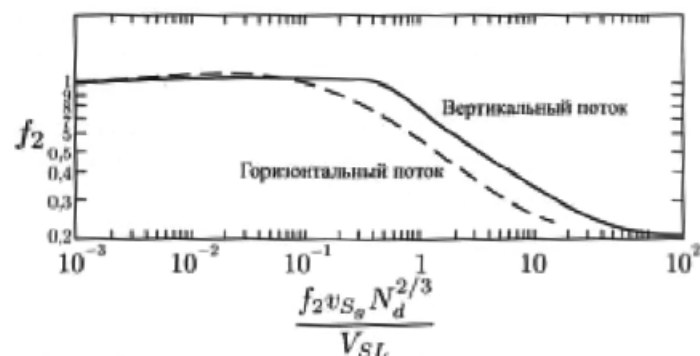


Рис. 4.8. Поправочный коэффициент (на газовый фактор) для расчета трения в пузырьковом режиме потока по методу Данса и Роса

Третий поправочный коэффициент

$$f_3 = 1 + \frac{f_1}{4} \sqrt{\frac{v_{Sg}}{50 \cdot v_{SL}}} \quad (4.42)$$

Получаем значение коэффициента трения

$$f = f_1 \frac{f_2}{f_3} \quad (4.40)$$

Общая скорость смеси

$$v_m = v_{SL} + v_{Sg} \quad (3.12)$$

Градиент давления по трению равен

$$\frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{трения}} = \frac{1}{g} \cdot \frac{f \cdot \rho_L \cdot v_{SL} \cdot v_m}{2 \cdot d} \quad (4.39)$$

## 2. Пробковый режим

Расчитывается так же, как и для Пузырькового режима

## 3. Переходный режим

Для градиента давления Переходного режима используем линейную интерполяцию для переходных потоков.

Считаем градиент давления на трение для Пробкового режима  $\frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{трения}}^{\text{Проб}}$ .

Задаем плотность газа как

$$\rho'_g = \frac{\rho_g \cdot N_{gv}}{75 + 84 \cdot N_{Lv}^{0.75}} \quad (4.57)$$

и считаем градиент давления на трение для Эмульсионного режима  $\frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{трения}}^{\text{Эмульс}}$ .

$$A = \frac{(75 + 84 \cdot N_{Lv}^{0.75}) - N_{gv}}{(75 + 84 \cdot N_{Lv}^{0.75}) - (50 + 36 \cdot N_{Lv})} \quad (4.56)$$

Получаем итоговое значение градиента на трение

$$\frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{трения}} = A \cdot \frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{трения}}^{\text{Проб}} + (1 - A) \cdot \frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{трения}}^{\text{Эмульс}} \quad (4.55)$$

#### 4. Эмульсионный режим

Определяем число Рейнольдса для газовой фазы

$$N_{Reg} = \frac{\rho_g \cdot v_{Sg} \cdot d}{\mu_g} \quad (4.46)$$

Число Вебера

$$N_{We} = \frac{\rho_g \cdot v_{Sg}^2 \cdot \varepsilon}{\sigma_L} \quad (4.47)$$

Безразмерный показатель

$$N_\mu = \frac{\mu_L^2}{\rho_L \cdot \sigma_L \cdot \varepsilon} \quad (4.48)$$

Тогда  $\varepsilon/d$  считаем в зависимости от  $N_{We}N_\mu$

$$N_{We}N_\mu \leq 0.005 \rightarrow \frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.0749 \cdot \sigma_L}{\rho_g \cdot v_{Sg}^2 \cdot d} \quad (4.49)$$

$$N_{We}N_\mu > 0.005 \rightarrow \frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.3713 \cdot \sigma_L}{\rho_g \cdot v_{Sg}^2 \cdot d} \cdot (N_{We}N_\mu)^{0.302} \quad (4.50)$$

В зависимости от  $\varepsilon/d$  считаем коэффициент трения  $f$

$$\frac{\varepsilon}{d} \leq 0.05 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \lg \left( \frac{2\varepsilon}{3.7d} - \frac{5.02}{N_{Reg}} \cdot \lg \left( \frac{2\varepsilon}{3.7d} + \frac{13}{N_{Reg}} \right) \right) \quad (2.19)$$

$$\frac{\varepsilon}{d} > 0.05 \rightarrow f = 4 \left( \frac{1}{(4 \lg (0.27 \frac{\varepsilon}{d}))^2} + 0.067 \left( \frac{\varepsilon}{d} \right)^{1.73} \right) \quad (4.51)$$

Градиент давления по трению равен

$$\frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{трения}} = \frac{1}{g} \cdot \frac{f \cdot \rho_g \cdot v_{Sg}^2}{2 \cdot d} \quad (4.45)$$

В рассматриваемом примере Пузырьковый режим. Число Рейнольдса

$$N_{ReL} = \frac{\rho_L \cdot v_{SL} \cdot d}{\mu_L} = \frac{762.64 \text{ кг/м}^3 \cdot 1.21 \text{ м/с} \cdot 0.1524 \text{ м}}{0.97 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}} = 1.45 \cdot 10^5 \text{ б/р}$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{18.288 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{0.1524 \text{ м}} = 1.2 \cdot 10^{-4} \text{ б/р}$$

по ним определяем поправочный коэффициент трения  $f_1$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{f_1}} &= -2 \lg \left( \frac{2\varepsilon}{3.7d} - \frac{5.02}{N_{ReL}} \cdot \lg \left( \frac{2\varepsilon}{3.7d} + \frac{13}{N_{ReL}} \right) \right) = \\ &= -2 \lg \left( \frac{2 \cdot 1.2 \cdot 10^{-4}}{3.7} - \frac{5.02}{1.44 \cdot 10^5} \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot 1.2 \cdot 10^{-4}}{3.7} + \frac{13}{1.44 \cdot 10^5} \right) \right) = 0.0182 \end{aligned}$$

Считаем

$$\frac{f_1 \cdot v_{Sg} \cdot N_d^{2/3}}{4 \cdot v_{SL}} = \frac{0.0182 \cdot 1.176 \text{ м/с} \cdot 143.8^{2/3}}{4 \cdot 1.21 \text{ м/с}} = 1.2 \cdot 10^{-1}$$

и по рисунку 4.8 определяем  $f_2 = 1$  – зависимость от  $f_1$  Третий поправочный коэффициент

$$f_3 = 1 + \frac{f_1}{4} \sqrt{\frac{v_{Sg}}{50 \cdot v_{SL}}} = 1 + \frac{0.0182}{4} \sqrt{\frac{1.176 \text{ м/с}}{50 \cdot 1.21 \text{ м/с}}} = 1.0006$$

Получаем значение коэффициента трения

$$f = f_1 \frac{f_2}{f_3} = 0.0182 \cdot \frac{1}{1.0006} = 0.0182$$

Градиент давления по трению равен

$$\begin{aligned} \frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{трения}} &= \frac{1}{g} \cdot \frac{f \cdot \rho_L \cdot v_{SL} \cdot v_m}{2 \cdot d} = \\ &= \frac{1}{9.81 \text{ м/с}^2} \cdot \frac{0.0182 \cdot 762.64 \text{ кг/м}^3 \cdot 1.21 \text{ м/с} \cdot 2.386 \text{ м/с}}{2 \cdot 0.1524 \text{ м}} = 13.40 \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$



### 3 Градиент давления на гравитацию

При восходящем потоке в вертикальной скважине уравнение градиента давления имеет вид

$$\left(\frac{dp}{dZ}\right)_{\text{общ}} = \frac{1}{g} \left( \left(\frac{dp}{dZ}\right)_{\text{трения}} + \left(\frac{dp}{dZ}\right)_{\text{гравит}} + \left(\frac{dp}{dZ}\right)_{\text{уск}} \right) \quad (3.27)$$

Градиент давления по трению вычислили выше.

Составляющей градиента давления по ускорению, как правило, можно пренебречь, ее учитывают лишь при высоких скоростях течения.

Теперь рассчитаем гравитационную составляющую градиента давления. Падение давления в восходящем потоке в основном определяется именно этой составляющей, за исключением случаев, когда скорость потока является очень высокой.

Значение безразмерного показателя скорости проскальзывания  $S$  определяется в зависимости режима потока

#### 1. Пузырьковый режим

По рисунку 4.7 определяем  $F_1, F_2, F_3, F_4$  – зависимости от  $N_L$

Графики функций  $F_3$  и  $F_4$  также изображены на рис. 4.7.

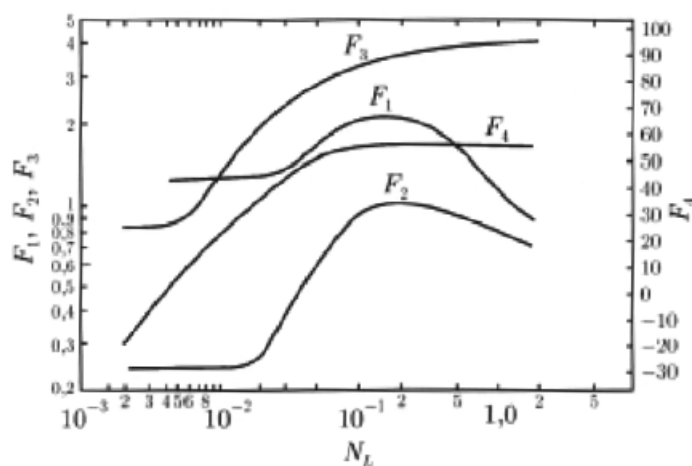


Рис. 4.7. Параметры, характеризующие скорость проскальзывания для пузырькового режима потока по методу Данса и Роса

$$F'_3 = F_3 - \frac{F_4}{N_d} \quad (4.38)$$

тогда

$$S = F_1 + F_2 \cdot N_{Lv} + F'_3 \left( \frac{N_{gv}}{1 + N_{Lv}} \right)^2 \quad (4.37)$$

## 2. Пробковый режим

По рисунку 4.9 определяем  $F_5$ ,  $F_6$ ,  $F_7$  – зависимости от  $N_L$

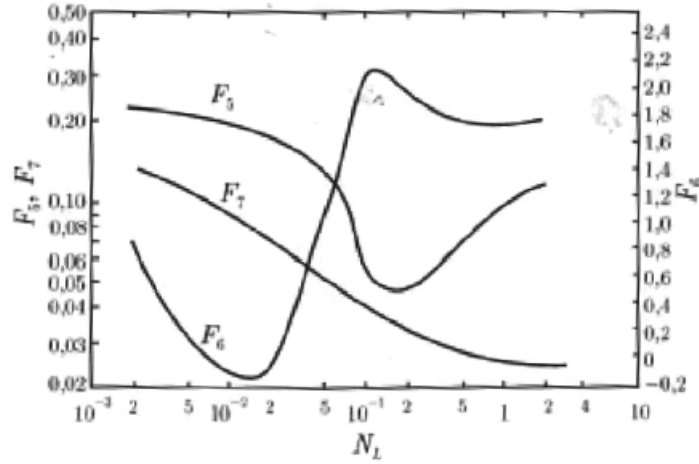


Рис. 4.9. Параметры, определяющие скорость проскальзывания для пробкового режима потока по методу Данса и Роса

$$F'_6 = 0.029 \cdot N_d + F_6 \quad (4.44)$$

тогда

$$S = (1 + F_5) \cdot \frac{(N_{gv})^{0.982} + F'_6}{1 + F_7 \cdot N_{Lv}} \quad (4.43)$$

## 3. Переходный режим

Для градиента давления Переходного режима используем линейную интерполяцию для переходных потоков.

Считаем градиент давления на гравитацию для Пробкового режима  $\frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{трения}}^{\text{Проб}}$ .

Задаем плотность газа как

$$\rho'_g = \frac{\rho_g \cdot N_{gv}}{75 + 84 \cdot N_{Lv}^{0.75}} \quad (4.57)$$

и считаем градиент давления на гравитацию для Эмульсионного режима  $\frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{трения}}^{\text{Эмульс}}$ .

$$A = \frac{(75 + 84 \cdot N_{Lv}^{0.75}) - N_{gv}}{(75 + 84 \cdot N_{Lv}^{0.75}) - (50 + 36 \cdot N_{Lv})} \quad (4.56)$$

Получаем итоговое значение градиента на гравитацию

$$\frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{трения}} = A \cdot \frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{трения}}^{\text{Проб}} + (1 - A) \cdot \frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{трения}}^{\text{Эмульс}} \quad (4.55)$$

#### 4. Эмульсионный режим

При данном режиме эффект проскальзывания почти отсутствует, поэтому  $S = 0 \rightarrow v_s = 0 \rightarrow H_L = \lambda_L$ , где

$$\lambda_L = \frac{q_L}{q_L + q_g} = \frac{q_o + q_w}{q_o + q_w + q_g} \quad (3.8)$$

Скорость проскальзывания  $v_s$  получим через найденный безразмерный показатель скорости проскальзывания  $S$  в зависимости от режима потока

$$S = v_s \sqrt[4]{\frac{\rho_L}{g\sigma_L}} \rightarrow v_s = \frac{S}{\sqrt[4]{\frac{\rho_L}{g\sigma_L}}} \quad (4.33)$$

Общая скорость смеси

$$v_m = v_{SL} + v_{Sg} \quad (3.12)$$

Объемное содержание жидкости

$$H_L = \frac{v_s - v_m + \sqrt{(v_m - v_s)^2 + 4 \cdot v_s \cdot v_{SL}}}{2 \cdot v_s} \quad (4.36)$$

Плотность смеси с учетом эффекта проскальзывания:

$$\rho_s = \rho_L \cdot H_L + \rho_g (1 - H_L) \quad (3.22)$$

Градиент давления по гравитации:

$$\frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{гравит}} = \frac{1}{g} \cdot \rho_s \cdot g = \rho_s$$

В рассматриваемом примере Пузырьковый режим. По рисунку 4.7 при  $N_L = 0.0118$  получаем  $F_1 = 1.28$ ,  $F_2 = 0.25$ ,  $F_3 = 1.43$ ,  $F_4 = 25.7$  :

$$F'_3 = F_3 - \frac{F_4}{N_d} = 1.43 - \frac{25.7}{146.8} = 1.258$$

тогда

$$S = F_1 + F_2 \cdot N_{Lv} + F'_3 \left( \frac{N_{gv}}{1 + N_{Lv}} \right)^2$$

$$= 1.28 + 0.25 \cdot 11.87 + 1.258 \left( \frac{11.54}{1 + 11.87} \right)^2 = 5.259$$

$$v_s = \frac{S}{\sqrt[4]{\frac{\rho_L}{g\sigma_L}}} = \frac{5.259}{\sqrt[4]{\frac{762.64 \text{ кг/м}^3}{9.81 \text{ м/с}^2 \cdot 8.41 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}^2}}} = 0.536 \text{ м/с}$$

Общая скорость смеси

$$v_m = v_{SL} + v_{Sg} = 1.21 \text{ м/с} + 1.176 \text{ м/с} = 2.386 \text{ м/с}$$

Объемное содержание жидкости

$$H_L = \frac{v_s - v_m + \sqrt{(v_m - v_s)^2 + 4 \cdot v_s \cdot v_{SL}}}{2 \cdot v_s}$$

$$= \frac{0.536 \text{ м/с} - 2.386 \text{ м/с} + \sqrt{(2.386 \text{ м/с} - 0.536 \text{ м/с})^2 + 4 \cdot 0.536 \text{ м/с} \cdot 1.21 \text{ м/с}}}{2 \cdot 0.536 \text{ м/с}}$$

$$= 0.562 \text{ б/р}$$

Плотность смеси с учетом эффекта проскальзывания:

$$\rho_s = \rho_L \cdot H_L + \rho_g (1 - H_L) =$$

$$762.64 \text{ кг/м}^3 \cdot 0.562 + 94.16 \text{ кг/м}^3 (1 - 0.562) = 469.85 \text{ кг/м}^3$$

Градиент давления по гравитации:

$$\frac{1}{g} \cdot \left( \frac{dp}{dZ} \right)_{\text{гравит}} = \rho_s = 469.85 \text{ кг/м}^3$$

## 4 Общий градиент давления

Общий градиент давления это сумма градиентов давления на трение и на гравитацию, вычисленные ранее. Градиентом давления на ускорение прене-

брегаем

$$\left(\frac{dp}{dZ}\right)_{\text{общ}} = \frac{1}{g} \left( \left(\frac{dp}{dZ}\right)_{\text{трения}} + \left(\frac{dp}{dZ}\right)_{\text{гравит}} + \left(\frac{dp}{dZ}\right)_{\text{уск}} \right) \quad (3.27)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{dp}{dZ}\right)_{\text{общ}} &= \frac{1}{g} \left( \left(\frac{dp}{dZ}\right)_{\text{трения}} + \left(\frac{dp}{dZ}\right)_{\text{гравит}} \right) = \\ &= 13.40 \text{ кг/м}^3 + 469.85 \text{ кг/м}^3 = 483.25 \text{ кг/м}^3 \\ &= 483.25 \cdot 978 \cdot 10^{-7} \text{ бар/м} = 0.047 \text{ бар/м} \end{aligned}$$

## 5 Значение давления в трубе (интегрирование градиента)

При расчете падения давления необходимо проинтегрировать градиент давления по длине скважины. Так, общее падение давления будет равно

$$\Delta p = \int_0^L \left(\frac{dp}{dL}\right) dL = \sum_{i=1}^n \left(\frac{dp}{dL}\right)_i \Delta L_i \quad (3.28)$$

В нашем примере  $L = 2000$  м и свойства постоянны по всей скважине, значит

$$\Delta p = \int_0^L \left(\frac{dp}{dL}\right) dL = \sum_{i=1}^n \left(\frac{dp}{dL}\right)_i \Delta L_i = 0.047 \text{ бар/м} \cdot 2000 \text{ м} = 94 \text{ бар}$$

перепад давления по длине скважины 2 000 м составляет 94 бар.

Вопросы:

1. После разбора примера, показанный после описания метода, собрала все используемые параметры на первой странице ниже. Т.к. считаем, что свойства нефти, газа, воды постоянны по стволу скважины, то могу задать эти параметры с указанными значениями?
2. Какие параметры являются входными? В данной реализации Дебит жидкости  $q_L$ , газа  $q_g$ , воды  $q_d$ ?
3. В задании сказано *расчитать давление на устье или забое скважины в зависимости от настроек расчета*. Значит входными параметрами также являются Пластовое давление и глубина, на которой идет добыча? И наверное какой-то checkbox с отметкой какое давление требуется вывести.
4. Для интегрирования можно принять Длину скважины константой, например = 2000 м и разбить на произвольные отрезки? В нашем случае параметры постоянны вдоль ствола скважины, поэтому интегрирование заменится на произведение градиента и длины скважины.
5. Сомневаюсь в правильности графика VLP, сравниваю с картинками в интернете. Пока думаю где найти пример входных параметров и получающийся на них график VLP – для самопроверки. Где можно посмотреть такие данные?
6. Надо ли проверять правильность вводимых входных параметров? Число или нет, больше/меньше допустимого, возможно выводить соответствующие сообщения.