

6. РАСЧЁТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА

1. Расчёт давления гидроразрыва пласта

$$P_{\text{разр}} = P_{\text{в.г.}} - P_{\text{пл}} + \sigma_p ;$$

где $P_{\text{в.г.}}$ – вертикальное горное давление;

$P_{\text{пл}}$ – пластовое давление;

σ_p – давление расслоения пород. Вертикальное горное давление $P_{\text{в.г.}}$ – определяют по формуле:

$$P_{\text{в.г.}} = \rho_{\text{п}} g H,$$

где H – глубина залегания пласта;

$\rho_{\text{п}} = 2500 \text{ кг/м}^3$ – средняя плотность вышележащих горных пород.

$$P_{\text{в.г.}} = 2500 * 9,81 * 2250 = 55,181 \text{ МПа}$$

Если давление расслоения пород $\sigma_p = 1,5 \text{ МПа}$, то давление разрыва пласта будет:

$$P_{\text{разр}} = 55,181 - 17 + 1,5 = 39,681 \text{ МПа.}$$

Давление разрыва на забое можно определить приближенно по эмпирической формуле:

$$P_{\text{разр}} = 10^4 * НК,$$

где $K = 1,5 - 2$. Принимаем среднее значение $K = 1,75$. Тогда

$$P_{\text{разр}} = 10^4 * 2250 * 1,75 = 39,375 \text{ МПа.}$$

2. Расчет рабочего устьевого давления гидроразрыва.

Допустимое устьево давление ГРП определяется по формуле:

$$P_{д.у} = \frac{D_H^2 - D_B^2}{D_H^2 - D_B^2} \frac{\sigma_{тек}}{K} + P_{нл} - \rho g H + P_{тр},$$

где D_H^2, D_B^2 – наружный и внутренний диаметры обсадных труб, м

$D_H = 0,173$ м $D_B = 0,144$ м; $\sigma_{тек} = 650$ МПа – предел текучести стали марки L; $K = 1,5$ – запас прочности, $P_{тр}$ = потери напора на трение в трубах определяются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$P_{тр} = \lambda \frac{\rho_{см} v^2 H}{2gD}$$

где λ - коэффициент гидравлического сопротивления труб, определяется из соотношения $\lambda = 0,3164/Re^{0,5}$ для турбулентного или $\lambda = 64/Re$ для ламинарного режимов движения жидкости в трубе. Здесь Re (число Рейнольдса) – параметр, определяющий режим течения; при $Re < 2300$ поток считается ламинарным, а при

$Re > 2300$ турбулентным.

$$Re = v d \rho_{см} / \mu_{см}$$

где $\mu_{см}$ – вязкость песчано-жидкостной смеси:

$$\mu_{см} = 90 * e^{3,18 * 0,091} = 120 \text{ мПа} * \text{с};$$

v - скорость движения жидкости по трубам, м/с определяется из выражения

$$v = Q/F$$

где Q – темп закачки жидкости гидроразрыва, м³/сут (0,015 м³/сут),
F – площадь внутреннего сечения НКТ :

$$F = \pi D_B^2/4 = 3.14*0.144^2/4 = 0.0162, \text{ м}^2.$$

Скорость движения жидкости:

$$v = 0,015/0,0162 = 0,926 \text{ м/с}.$$

$\rho_{см} = (\rho_{п} - \rho_{ж})C + \rho_{ж}$ – плотность смеси (нефть + песок),

$C = C_0/(C_0 + \rho_{п})$ - объёмное содержание песка, C_0 – концентрация песка,

$$C = 250/(250+2500) = 0,091$$

$$\rho_{см} = (2500-895)*0,091 + 895 = 1041 \text{ кг/м}^3$$

число Рейнольдса:

$$Re = 0,926*0,144*1041/(120*10^{-3}) = 1156,76 \text{ тогда } \lambda = 64/Re = 0,055$$

Потери давления на трение в трубах

$$P_{тр} = 0,055*(1041*0,926^2*2250)/(2*9,81*0,144) = 0,039 \text{ МПа}.$$

Следовательно допустимое устьевое давление составляет:

$$P_{д.у.} = (0,173^2 - 0,144^2)/(0,173^2 + 0,144^2)*(650/1,75) + 17 - 1041*9,81*2250*10^{-6}$$

6

$$= 61,418 \text{ МПа}.$$

Допустимое давление на устье скважины в зависимости от прочности резьбы верхней части колонны труб на страгивающие усилия определяется по формуле

$$P_{д.у} = \frac{\frac{P_{стр}}{K} - G}{\pi * d^2 / 4}$$

где $P_{стр}$ – срагивающая нагрузка для обсадных труб из стали группы прочности L, равна 1,59 МН,

G – усилие затяжки при обвязке обсадной колонны (берётся по данным бурового журнала), равное 0,5 МН; k – запас прочности, который принимаем равным 1,5. Тогда допустимое устьевое давление:

$$P_{д.у.} = \frac{(\frac{1,59}{1,5} - 0,5) * 10^6}{3,14 * 0,144^2 / 4} = 34,4 \text{ МПа.}$$

Из полученных двух значений $P_{д.у.}$ принимаем меньшее (34,4 МПа).

Возможное забойное давление при допустимом давлении на устье 34,4 МПа составит:

$$P_3 = P_{д.у.} + \rho g H - P_{тр} = 34,4 * 10^6 + 1041 * 9,81 * 2250 - 0,039 * 10^6 = 57,34 \text{ МПа}$$

Учитывая, что потребное давление разрыва на забое $P_{разр} = 39,375$ МПа меньше $P_3 = 57,34$ МПа, определим рабочее давление на устье скважины

$$P_y = P_{разр} - \rho g H + P_{тр} = 39,375 * 10^6 - 1041 * 9,81 * 2250 + 0,039 * 10^6 = 16,9 \text{ МПа.}$$

Следовательно, давление на устье скважины ниже допустимого, поэтому можно проводить закачку жидкости гидроразрыва по НКТ.

3. Определение необходимого количества рабочей жидкости.

Количество жидкости разрыва не поддаётся точному расчету. Оно

зависит от вязкости жидкости разрыва и фильтруемости, проницаемости пород призабойной зоны скважины, темпа закачки жидкости и давления разрыва. По опытным данным объем жидкости разрыва изменяется от 5 до 10 м³. Примем для нашей скважины $V_p = 7,5 \text{ м}^3$ нефти.

Количество жидкости-песконосителя зависит от свойств этой жидкости, количества закачиваемого в пласт песка и его концентрации. На практике заготавливают 20 – 50 м³ жидкости ($V_{пж}$) и 8 – 10 т песка ($G_{пес}$).

Концентрация песка C зависит от вязкости жидкости песконосителя и темпа её закачки. Для нефти вязкостью 90 мПа*с принимаем $C = 250 \text{ кг/м}^3$. При этом условии объем жидкости песконосителя:

$$V_{пж} = G_{пес}/C = 8000/250 = 32 \text{ м}^3.$$

Объем жидкости-песконосителя должен быть несколько меньше емкости колонны труб, так как при закачке этой жидкости в объеме, превышающем емкость колонны, насосы в конце процесса закачки будут работать при высоком давлении, необходимым для продавливания песка в трещины. А закачка жидкости с абразивными частицами при высоких давлениях приводит к очень быстрому износу цилиндров и клапанов насосов.

Емкость 168 – мм обсадной колонны длиной 1800 м составляет 34 м³, а принятое количество жидкости-песконосителя - 29 м³

Оптимальная концентрация песка может быть определена на основании скорости падения зерен песка в принятой рабочей жидкости по формуле

$$C = 4000/v$$

Где C – концентрация песка, кг/м³ ;

v - скорость падения зерен песка диаметром 0,8 мм в м/ч в зависимости от вязкости жидкости находится графически. Для вязкости жидкости-

песконосителя 90 МПа*с $\nu = 15$ м/ч, следовательно

$$C = 4000/15 = 267 \text{ кг/м}^3.$$

Содержание песка в объеме 29 м³ составит:

$$G = 267*29 = 7743 \text{ кг.}$$

Объем продавочной жидкости во избежании оставления на забое песка следует принимать в 1,2 – 1,3 больше, чем объем колонны, по которой закачивается песок. Необходимый объем продавочной жидкости:

$$V_{\text{пр}} = \frac{\pi D_B^2 H * 1.3}{4} = 3,14 * 0,144^2 * 2250 * 1.3 / 4 = 47.6 \text{ м}^3$$

4. Время проведения гидроразрыва

$$T = (V_p + V_{\text{жп}} + V_{\text{пр}}) \backslash Q = (7.5 + 32 + 47.6) / 1500 = 0.06 \text{ сут}$$

Где Q-суточный расход рабочей жидкости, м³

5. Радиус горизонтальной трещины

$$r_t = c(Q \sqrt{(10^{-9} * \mu * t_p) / k})^{0.5}, \text{ м}$$

где c-эмпирический коэффициент, зависящий от горного давления (c=0,02);

Q-расход жидкости разрыва; μ -вязкость жидкости разрыва; t_p -время закачки;

K-проницаемость породы.

$$r_t = 0,02 * \sqrt{(1020 \sqrt{(10^{-9} * 0,05 * 7,2) / 75 * 10^{-15}})^{0,5}} = 5,3 \text{ м}$$

6. Проницаемость горизонтальной трещины

$$K_T = \omega^2 / 10^4 * 12,$$

где ω -ширина трещины ($\omega = 0,1 \text{ см}$).

$$K_T = 0,1^2 / 10^4 * 12 = 83,3 * 10^{-9} \text{ м}^2.$$

7. Проницаемость призабойной зоны

$$K_{п.з} = (k_p * h + K_T * \omega) / (h + \omega),$$

где k_p -проницаемость пласта, h -эффективная мощность пласта ($h = 22 \text{ м}$),
 $\omega = 0,001 \text{ м}$.

$$K_{п.з} = (75 * 10^{-15} * 22 + 83,33 * 10^{-9} * 0,001) / (22 + 0,001) = 3,8 * 10^{-12} \text{ м}^2$$

8. Проницаемость всей дренажной системы

$$K_{д.с} = [k_p * k_{п.з} * \lg(R_k / r_c)] / (k_{п.з} * \lg(R_k / r_T) + k_p * \lg(r_T / r_c))$$

где R_k -радиус контура питания скважины ($R_k = 250 \text{ м}$), r_c -радиус забоя скважины

($r_c = 0,075 \text{ м}$), r_T -радиус трещины, ($r_T = 5,3 \text{ м}$)

$$k_{д.с} = [75 * 10^{-15} * 3,8 * 10^{-12} * \lg(250 / 0,075)] / [3,8 * 10^{-12} * \lg(250 / 5,3) + 75 * 10^{-15} * \lg(5,3 / 0,075)] = 1,5 * 10^{-13} \text{ м}^2.$$

9. Дебит скважины после гидроразрыва

$$Q=(2\pi*k_d.c*h*\Delta p)/(\mu*lg(R_k/r_T))$$

где Q-максимальный дебит, м³/с; кд.с-проницаемость пласта после гидроразрыва, h-эффективная мощность пласта, Δp-депрессия на забое, Δp=рпл - рз,(Δp=2,8МПа), μ-динамическая вязкость нефти,(μ=1сПс*с).

$$Q=(2*3.14*1.5*10^{-13}*22*2,8*10^6)/(10^{-2}*lg(250/5,3))=34.7*10^{-4}м^3/с$$

10. Число насосных агрегатов

$$N=(q/q_{ag})+1$$

где q_{ag}=5,1л/с – производительность одного агрегата на второй скорости при

$$p=18,2 \text{ МПа (ЦА-400)}$$

$$N=(17/5,1)+1=4,3\sim 5$$

11. Эффективность проведения ГРП

Ожидаемый эффект от ГРП предварительно можно определить по приближенной формуле Г.К.Максимовича, в которой радиус скважины r_c после ГРП принимается равным радиусу трещины r_T.

$$n=Q_2/Q_1=lg(R_k/r_c)/lg(R_k/r_T)$$

где Q₁ и Q₂ –дебит скважин соответственно до и после гидроразрыва, R_k=250 м,

$$r_c=0,075\text{м}, r_T=5,3\text{м}.$$

$$n=lg(250/0.075)/lg(250/5.3)=2.1(\text{раза}).$$

Фактическая эффективность может быть несколько ниже, так как при движении жидкости по трещинам, заполненным песком, наблюдается неучитываемые формулой небольшие потери напора.