

**Практичне заняття №1. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ
ПРОВЕДЕННЯ ГРП, СКО, ГПП ТА ІНШИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРИПЛИВУ ГАЗУ ДО ВИБОЮ СВЕРДЛОВИН.**

Мета заняття: вивчити основи проектування різних методів дії на ПЗП, навчитись вибирати першочергові об'єкти для проведення оброблень.

Тривалість заняття: 2 години.

Короткі теоретичні відомості.

Гідравлічний розрив пласта (ГРП) (або коротко «**фрeкiнг**», від англ. *fracking*) — це технологічний процес закачування рідкої суміші під тиском, достатнім для розкриття природних чи утворення штучних тріщин у продуктивному пласті (зазвичай зі щільних порід) із подальшим закачуванням рідини (на водній або вуглеводневій основі, кислотні розчини тощо) із розклинювачем або без нього для створення високої пропускної здатності з метою отримання припливу пластових флюїдів у свердловину після закінчення процесу.

Вихідні дані для розрахунку процесу гідравлічного розриву пласта наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку процесу гідророзриву пласта

Найменування	Одиниці вимірювання	Позначення величини
Діаметр експлуатаційної колони	м	0,127
Товщина стінки експлуатаційної колони	мм	10,2
Глибина свердловини	м	3002

Кінець таблиці 1.

Найменування	Одиниці вимірювання	Позначення величини
Глибина розташування верхнього і нижнього отворів перфорації	м	2935-2980
Товщина перфорованих пластів	м	45
Пластовий тиск	МПа	9,03
Вибійний тиск	МПа	5,19
Депресія тиску на пласт	МПа	3,84
Коефіцієнт відкритої пористості	ч.од.	0,15
Коефіцієнт проникності	м ²	50·10 ⁻¹⁵

При ГРП застосовують наступні рідини:

- рідину розриву і протискуючи рідину – водний розчин 0,2 % неонулу густиною $\rho_{p.p} = 1000 \text{ кг/м}^3$;
- буферну рідину і пісконосій – водний 0,4 % розчин ПАА з в'язкістю $\mu_{б.p} = \mu_{p.n} = 40 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ і густиною $\rho_{б.p} = \rho_{p.n} = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Насосні агрегати АСФ-1050 (безперервний режим) володіють максимальним робочим тиском 105 МПа.

Визначення основних розрахункових показників процесу ГРП:

Основними розрахунковими показниками процесу ГРП являються:

- тиск розриву пласта, розхід робочих рідин і піску;
- радіус тріщин;
- проникність тріщин привибійної зони і всієї дренажної системи;
- дебіт свердловини після гідророзриву;
- тип і число насосних агрегатів;
- очікувана ефективність гідророзриву.

Перед проведенням процесу ГРП свердловину потрібно дослідити на приймальність. Приймаємо, що приймальність свердловини становить 1300 м³/д.

Визначення вертикального гірського тиску:

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

де $\rho_{п}$ - середня густина вищезалігаючих порід, кг/м^3

приймаємо

$$\rho_{п} := 2500$$

g - прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

$$g := 9.81$$

H - глибина свердловини, м.

$$P_{в.г} := \rho_{п} \cdot g \cdot H \cdot \frac{1}{10^6} = 2500 \cdot 9.81 \cdot 3002 \cdot \frac{1}{10^6} = 73.62405 \text{ МПа}$$

Тиск розриву пласта:

$$P_{р.пл} = P_{в.г} - P_{пл} + \sigma_p$$

де

σ_p - тиск розшарування порід, МПа приймаємо

$$\sigma_p := 1.5$$

$$P_{р.пл} := P_{в.г} - P_{пл} + \sigma_p = 73.62405 - 9.03 + 1.5 = 66.09405 \text{ МПа}$$

Тиск розриву пласта на вибої свердловини можна визначити наближено по емпіричній формулі:

$$P_{р.виб} = 10^4 \cdot H \cdot K$$

де

$K = 1.5 \div 2.0$ Приймаємо середнє значення

$$K := 1.75$$

$$P_{р.виб} := \frac{10^4}{10^6} \cdot H \cdot K = \frac{10^4}{10^6} \cdot 3002 \cdot 1.75 = 52.535 \text{ МПа}$$

Для вияснення можливості проведення процесу ГРП через НКТ провіримо міцність колони на внутрішній тиск по формулі Ламе.

Допустимий тиск на гирлі свердловини при закачуванні рідини-пісконосія в'язкістю $0,25 \text{ Па}\cdot\text{с}$ визначається по формулі

$$P_y = \frac{D_3^2 - D_B^2}{D_3^2 + D_B^2} \cdot \frac{\sigma_{тек}}{k} + P_{пл} + \rho \cdot g \cdot (h - H)$$

де

D_3 - зовнішній діаметр насосно-компресорних труб, м;

$$D_3 := 0.073$$

D_B - внутрішній діаметр нижньої частини

$$D_B := 0.062$$

насосно-компресорних труб, м;

$\sigma_{\text{тек}}$ - межа текучості для сталі групи міцності Д; МПа

$$\sigma_{\text{тек}} := 380$$

k - запас міцності;

$$k := 1.5$$

h - втрати напору на тертя в обсадній колоні;

ρ - густина рідини розриву.

$$\rho := 1000$$

Втрати напору на тертя в трубах для свердловин глибиною 1750 м наведені в таблиці VIII.1 [5]. Для прийнятого розходу 1300 м³/добу (15 л/с) ці втрати при глибині свердловини 1750 м становлять 56 м стовпа рідини, а для нашої свердловини глибиною 3002 м вони будуть пропорційно рівні

$$h := 56 \cdot \frac{3002}{1750}$$

$$h = 96.064 \quad \text{м ст. рідини}$$

$$\begin{aligned} P_y &:= \frac{D_3^2 - D_B^2}{D_3^2 + D_B^2} \cdot \frac{\sigma_{\text{тек}}}{k} + P_{\text{пл}} + \frac{\rho \cdot g \cdot (h - H)}{10^6} = \\ &= \frac{0.073^2 - 0.062^2}{0.073^2 + 0.062^2} \cdot \frac{380}{1.5} + 9.03 + \frac{1000 \cdot g \cdot (96.064 - 3002)}{10^6} = 21.53443 \quad \text{МПа} \end{aligned}$$

Допустимий тиск на гирлі свердловини залежно від міцності різьби верхньої частини колони труб на розтягуюче зусилля визначається по формулі:

$$P_y = \frac{\frac{P_{\text{роз}}}{k} - G}{\left(\frac{\pi \cdot D_B^2}{4} \right)}$$

де

$P_{\text{роз}}$ - розтягуюче зусилля для НКТ із сталі групи міцності

$$P_{\text{роз}} := 1.01$$

Д, рівне 1,1 МН;

G - зусилля затяжки при обв'язки НКТ (береться по даним бурового журналу), рівне 0,5 МН.

$$G := 0.5$$

$$P'_y := \frac{\frac{P_{\text{роз}}}{k} - G}{\left(\frac{\pi \cdot D_B^2}{4} \right)} = \frac{\frac{1.01}{1.5} - 0.5}{\left(\frac{\pi \cdot 0.062^2}{4} \right)} = 57.41281 \quad \text{МПа}$$

Із отриманих двох значень гирлового тиску приймаємо менше значення.

Можливий вибійний тиск при меншому значенні гирлового тиску складе

$$P_{\text{виб}} := P_y + \frac{\rho \cdot g \cdot (H - h)}{10^6} = 21.53443 + \frac{1000 \cdot g \cdot (3002 - 96.064)}{10^6} = 50.04166 \text{ МПа}$$

Враховуючи, що потрібний тиск розриву пласта на вибої 52.535 МПа, то тиск на усті становитиме:

$$P_y := P_{\text{р.виб}} - \frac{\rho \cdot g \cdot (H - h)}{10^6} = 52.535 - \frac{1000 \cdot g \cdot (3002 - 96.064)}{10^6} = 24.02777 \text{ МПа}$$

Отже, тиск на гирлі свердловини (24,02777 МПа) нижче допустимого для прийнятих труб із сталі групи міцності D (при товщині стінки 12 мм труби випробовується на внутрішній тиск 57,4 МПа). Тому для зменшення гідравлічних опорів при закачуванні робочих рідин і для зниження загального тиску розриву ГРП рекомендується процес здійснювати безпосередньо через колону обсадних труб. Проте враховуючи можливі заводські дефекти і неякісне різьбове з'єднання, проводимо ГРП по колоні НКТ.

Кількість рідини розриву не піддається точному розрахунку. Воно залежить від в'язкості рідини розриву і її фільтрувальності, проникності порід при вибійної зони свердловини темпу закачування рідини і тиску розриву. За промисловими даними об'єм рідини розриву змінюється від 5 до 10 м³. Для даної свердловини приймаємо середній об'єм 7,5 м³.

Кількість рідини-пісконосія залежить від властивостей цієї рідини, кількості закачуваного в пласт піску і його концентрації. загальна кількість піску визначається сумарним об'ємом отриманих знов і розширених природних тріщин плюс об'єм каверн і пустот. Але ці об'єми не піддаються наперед навіть наближеному розрахунку, а тому не можна визначити кількість потрібного піску. За даними вітчизняної і зарубіжної практики рекомендується приймати 8-10 т піску і більше на одну свердловину.

Концентрація піску залежить від в'язкості-пісконосія і її закачування. Приймаємо 0,3 т/м³.

Об'єм рідини-пісконосія визначається:

$$V_{p.п} = \frac{G_{п}}{C}$$

де
 $G_{п}$ - кількість піску, т

$$G_{п} := 8$$

$$V_{p.п} := \frac{G_{п}}{C} = \frac{8}{0.3} = 26.66667 \text{ м}^3$$

Оптимальну концентрацію піску можна визначити в залежності від швидкості осідання зерен піску в робочій рідині по емпіричній формулі

$$C = \frac{4000}{v}$$

де
 C - концентрація піску, кг/м³;

v - швидкість осідання зерен піску діаметром 0,8 мм, м/год.

В залежності від в'язкості рідини значення v знайдемо із рисунка VIII.2 [5].

Для в'язкості рідини-пісконосія 25 сПа*с v становить 12 м/год, тому

$$C := \frac{4000}{12}$$

$$C = 333.33333 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Отже в об'ємі 26,7 м³ кількість піску становить:

$$G_{п} := 333 \cdot 26.7$$

$$G_{п} = 8891.1 \text{ кг}$$

Для того щоб на вибої свердловини не залишилося частинок піску, об'єм протискувальної рідини слід приймати на 20-30 % більше об'єму колони, по якій закачується пісок. Надмірний об'єм продавочної рідини повинен закачуватися в свердловину при зниженому тиску, для запобігання відтіснення піску і з'єднання тріщин поблизу стінок свердловини.

Необхідний об'єм протискувальної рідини визначається:

$$V_{пр} = \frac{1.3 \cdot \pi \cdot D_{в}^2 \cdot H}{4}$$

де
 $D_{в}$ - середній внутрішній діаметр 73-мм колони НКТ, м

$$D_{в} := 0.062$$

$$V_{\text{пр}} := \frac{1.3 \cdot \pi \cdot D_{\text{в}}^2 \cdot H}{4} = \frac{1.3 \cdot \pi \cdot 0.062^2 \cdot 3002}{4} = 11.78222 \text{ м}^3$$

$$t := \frac{V_{\text{р}} + V_{\text{р.п}} + V_{\text{пр}}}{Q} = \frac{7.5 + 26.66667 + 11.78222}{1300} = 0.03535 \text{ діб}$$

$$t := t \cdot 24 = 0.03535 \cdot 24 = 0.8484 \text{ год}$$

$$t := t \cdot 60 = 0.8484 \cdot 60 = 50.904 \text{ хв}$$

При ГРП рідина закачується по насосно-компресорним трубам при тиску на усті 15,25 МПа за допомогою насосних агрегатів АСФ-1050. Для прийнятого темпу закачки рідини (15 л/с) необхідне число насосних агрегатів при одному резервному складає:

$$N = \frac{q}{q_{\text{аг}}} + 1$$

де
 $q_{\text{аг}}$ - продуктивність одного агрегату (АСФ-1050),
 на першій швидкості при тиску закачки 105 МПа;
 q - прийнятий темп закачки.

$$q_{\text{аг}} := 5.1 \frac{\text{л}}{\text{с}}$$

$$q := 15$$

$$N := \frac{q}{q_{\text{аг}}} + 1 = \frac{15}{5.1} + 1 = 3.94118 \text{ шт}$$

Приймаємо 4 насосних агрегатів АСФ-1050.

Типові задачі

1. Визначити тиск на вибої газової свердловини при проведенні в ній гідравлічного розриву пласта, якщо гирловий тиск 5МПа, глибина свердловини 2300м, густина рідини розриву 1200кг/м , коефіцієнт динамічної в'язкості рідини розриву 2,1 мПа·с, внутрішній діаметр НКТ 0,062м, подача одного насосного агрегату 19л/с, відносна шорсткість труб 0,02мм, для оброблення використовується 5 агрегатів.

2.

Запроектуйте гідравлічний розрив пласта.

Найменування	Одиниці вимірювання	Позначення величини
Параметри продуктивного пласта		
Глибина свердловини	м	$H = 1396$
Проникність пласта	м^2	$K_{пл} = 15 \cdot 10^{-13}$
Товщина пласта	м	$h = 33$
Радіус контура живлення	м	$R_k = 250$
Радіус свердловини	м	$r_c = 0,1$
Пластовий тиск	Па	$P_{пл} = 6,21 \cdot 10^6$
Тиск розшарування порід	Па	$G_p = 1,5 \cdot 10^6$
Густина породи	кг/м^3	$\rho_n = 2500$
Параметри робочої рідини і пропанту		
В'язкість рідини розриву	$\text{Па} \cdot \text{с}$	$\mu_{pp} = 0,05$
Густина рідини розриву	кг/м^3	$\rho_{pp} = 1100$
Темп запомповування рідини розриву	$\text{м}^3/\text{с}$	$Q = 0,06$
Густина піску	кг/м^3	$\rho_n = 2500$
Концентрація піску в рідині	кг/м^3	$C = 150$
Маса піску для проведення ГРП	кг	$M = 10000$
Параметри свердловини		
Внутрішній діаметр НКТ	м	$d = 0,062$
Зрушуюче навантаження труби міцності "Е"	Н	$P_{зр} = 1070 \cdot 10^3$
Зусилля затяжки різьби	Н	$G = 65 \cdot 10^3$
Границя текучості	Па	$\sigma = 550 \cdot 10^3$
Коефіцієнт запасу міцності		$K = 1,5$
Зовн. діаметр експл. колони	м	$D_z = 0,146$
Внутр.діаметр експл.колони	м	$D_{вн} = 0,122$
Насосний агрегат FC-2251		
Максимальний тиск агрегату	Па	$P_{ag} = 105 \cdot 10^6$
Витрата агрегату при тиску: 80 МПа 70 МПа 60 МПа	$\text{м}^3/\text{с}$	$Q_{ag} = 0,0172$ $Q_{ag} = 0,0208$ $Q_{ag} = 0,0267$
Коефіцієнт технічного стану		$K_{тс} = 0,75$

Питання для контролю знань та обговорення

1. Які рідини застосовують для проведення ГРП?
2. Наведіть основні розрахункові показники при проведенні ГРП.
3. Які техніка використовується для проведення ГРП?
4. Від яких факторів залежить довжина тріщини ГРП?
5. Яким чином обчислюється тиск розриву пласта на вибої свердловини?