

Практичне заняття №3. ВИЗНАЧЕННЯ ТИСКУ, ШВИДКОСТІ ФІЛЬТРАЦІЇ ТА ШВИДКОСТІ РУХУ ГАЗУ ВУ ВИПАДКУ ФІЛЬТРАЦІЇ ГАЗУ ЗА ЗАКОНОМ ДАРСІ ТА У РАЗІ ЙОГО ПОРУШЕННЯ. РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОСВОЄННЯ СВЕРДЛОВИН.

Мета заняття: навчитись визначати основні параметри фільтрації газу за законом Дарсі та у випадку його порушення, підбирати оптимальний спосіб освоєння свердловини.

Тривалість заняття: 2 години.

Короткі теоретичні відомості.

Дебіт газової свердловини (м³/с) при фільтрації газу за законом Дарсі визначають за формулою:

$$q = \frac{\pi \cdot k \cdot h \cdot T_{cm} (p_{nl}^2 - p_{виб}^2)}{\mu \cdot z \cdot p_{at} \cdot T_{nl} \left(\ln \frac{R_k}{r_c} + c_1 + c_2 \right)},$$

де k – коефіцієнт проникності пласта, м²;

h – товщина пласта, м;

p_{nl} – пластовий тиск (тиск на відстані R_k від свердловини), Па;

$p_{виб}$ – вибійний тиск, Па;

T_{nl} – пластова температура, К;

R_k – радіус контуру живлення (радіус зони дренажу свердловини), м;

r_c – радіус свердловини за долотом, м;

T_{cm} – стандартна температура, $T_{cm} = 293$ К;

p_{at} – атмосферний тиск, $p_{at} = 0,1013 \cdot 10^6$ Па;

c_1 і c_2 - коефіцієнти, що враховують недосконалість свердловини за ступенем і характером розкриття пласта (залежності для визначення значень коефіцієнтів c_1 і $\tilde{n}_2$ наведено нижче, формули;

μ – середнє значення динамічного коефіцієнта в'язкості газу, Па·с;

z – середнє значення коефіцієнта стисливості газу.

$$\mu = \frac{\mu(p_{пл}) + \mu(p_{виб})}{2}$$

$$z = \frac{z(p_{пл}) + z(p_{виб})}{2},$$

де $z(p_{пл})$, $z(p_{виб})$, $\mu(p_{пл})$, $\mu(p_{виб})$ – відповідно коефіцієнт стисливості і динамічний коефіцієнт в'язкості газу при пластовій температурі, пластовому тиску $p_{пл}$ і вибійному тиску $p_{виб}$.

Для отримання значення дебіту газу в тис.м³/д необхідно значення дебіту, знайдене за формулою, помножити на 86,4.

При фільтрації газу за законом Дарсі тиск у довільній точці пласта на відстані r від осі свердловини знаходять за формулами:

$$p(r) = \sqrt{p_{виб}^2 + \frac{p_{пл}^2 - p_{виб}^2}{\ln \frac{R_k}{r_c}} \ln \frac{r}{r_c}}$$

або

$$p(r) = \sqrt{p_{пл}^2 - \frac{p_{пл}^2 - p_{виб}^2}{\ln \frac{R_k}{r_c}} \ln \frac{R_k}{r}}$$

$p_{пл}$, $p_{виб}$, $p(r)$, МПа; R_k , r_c , r , м.

Швидкість фільтрації газу на відстані r від осі свердловини визначають за формулою:

$$v(r) = \frac{q(p, r)}{F},$$

де F – площа фільтрації, м²;

$q(p, r)$ – дебіт газу (м³/с), зведений до тиску і температури на відстані r від осі свердловини.

$$F = 2\pi \cdot r \cdot h,$$

$$q(p, r) = \frac{q_{cm} z(p) p_{am} T_{nl}}{p(r) T_{cm} 86,4},$$

де q_{cm} – дебіт газу за стандартних умов, тис.м³/д;

$z(p)$ – коефіцієнт стисливості газу при тиску $p(r)$ і пластовій температурі T_{nl} ;

$p(r)$ - тиск на відстані r від осі свердловини, МПа;

p_{nl} , $p(r)$, p_{am} , МПа; T_{cm} , T_{nl} , К.

Швидкість руху газу на відстані r від осі свердловини визначають за формулою:

$$w(r) = \frac{v(r)}{\alpha_{поч} m_o},$$

де $\alpha_{поч}$ – коефіцієнт початкової газонасиченості, частка одиниці;

m_o – коефіцієнт відкритої пористості, частка одиниці.

У процесі фільтрації газу закон Дарсі переважно порушується. Найбільш поширена двочленна формула, запропонована вперше Форхгеймером:

$$\frac{dp}{dr} = \frac{\mu}{k} v + \frac{\rho}{l} v^2,$$

де ρ , μ – відповідно густина і в'язкість газу при середніх тиску і температурі в зоні фільтрації газу;

l – коефіцієнт макропорсткості привибійної зони пласта, який враховує структуру порового простору;

$\frac{dp}{dr}$ – градієнт тиску.

Відповідно до двочленної формули фільтрації газу в пласті одержано рівняння припливу газу до вибою свердловини при порушенні закону Дарсі:

$$p_{nl}^2 - p_{виб}^2 = Aq + Bq^2,$$

де A і B – коефіцієнти фільтраційних опорів привибійної зони пласта, значення яких визначають за результатами досліджень свердловин на усталених режимах фільтрації. Вирази для A і B мають такий вигляд:

$$A = 1,157 \cdot 10^{-14} \frac{\mu z p_{ам} T_{nl}}{\pi k h T_{cm}} \left(\ln \frac{R_k}{r_c} + c_1 + c_2 \right),$$

$$B = 1,339 \cdot 10^{-16} \frac{\rho_{cm} z p_{ам} T_{nl}}{2\pi^2 h^2 l T_{cm}} \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R_k} + c_3 + c_4 \right),$$

$$\text{де } c_1 = \frac{1}{\bar{h}} \ln \bar{h} + \frac{1-\bar{h}}{\bar{h}} \ln \frac{\delta}{\bar{r}_c} \quad \bar{h} = \frac{h_{роз}}{h} \quad \delta = 1,6(1-\bar{h}^2) \quad \bar{r}_c = \frac{r_c}{h} \quad c_2 = \frac{1}{nR_o} \quad c_3 = \frac{1}{\bar{h}}$$

$$c_4 = \frac{1}{3n^2 R_o^3},$$

ρ_{cm} – густина газу за стандартних умов;

c_1, c_2, c_3, c_4 – коефіцієнти, які враховують недосконалість свердловини за ступенем і характером розкриття пласта відповідно лінійної і квадратичної частин у двочленній формулі припливу газу;

$\bar{h}$ – відносне розкриття пласта свердловиною;

$h_{роз}$ – розкрита товщина пласта;

h – загальна товщина пласта;

n – кількість перфораційних отворів на 1 м розкритої товщини пласта;

R_o – радіус каверни, яка утворюється при перфорації ($R_o = 0,03$ м).

Дебіт газової свердловини при фільтрації газу за двочленным законом визначається за формулою:

$$q = -\frac{A}{2B} + \sqrt{\left(\frac{A}{2B}\right)^2 + \frac{p_{nl}^2 - p_{виб}^2}{B}}$$

Розмірності величин у формулах:

$$p_{пл}, p_{виб}, p_{ат}, МПа; A, \frac{МПа^2 \cdot \partial}{тис.м^3}; B, \left(\frac{МПа \cdot \partial}{тис.м^3} \right)^2;$$

$$q, тис.м^3 / \partial; T_{см}, T_{пл}, K; k, м^2; h, h_{роз}, R_k, r_c, l, м;$$

$$\mu, Па \cdot с.$$

При фільтрації газу за двочленним законом тиск у пласті розподіляється згідно з рівнянням:

$$p(r) = \sqrt{p_{виб}^2 + \frac{Aq}{R_k \ln \frac{r}{r_c}} + \frac{Bq^2}{\frac{1}{r_c} - \frac{1}{R_k}} \left(\frac{1}{r_c} - \frac{1}{r} \right)}$$

$$p_{виб}, p(r), МПа; R_k, r_c, r, м; A, \frac{МПа^2 \cdot \partial}{тис.м^3}; B, \left(\frac{МПа \cdot \partial}{тис.м^3} \right)^2.$$

Після буріння свердловини, капітального ремонту чи інших технологічних операцій, пов'язаних із глушінням свердловини, приступають до її подальшого освоєння, тобто виклику припливу газу з пласта.

Існують наступні методи освоєння свердловин:

- 1) заміна рідини в свердловині (глинистого розчину) іншою рідиною, яка має меншу густину;
- 2) одночасне нагнітання в свердловину води і газу – метод аерації;
- 3) витіснення рідини із свердловини стиснутим повітрям або газом;
- 4) зниження рівня рідини в свердловині за допомогою *свабу* або *желонки*.

Пониження рівня рідини в свердловині може бути досягнуто також шляхом безпосереднього нагнітання в затрубний простір стиснутого газу. При даному способі, стиснутий газ або стиснуте повітря витісняє рідину. По мірі того, як рідина витісняється зі свердловини, тиск рідини, що залишився в свердловині поступово зменшується і настає момент, коли тиск на вибій стає меншим пластового тиску.

Поступовий тиск, який при цьому повинен розвивати компресор, визначають наступним чином.

Щоб забезпечити виклик припливу газу з пласта, потрібно тиск на вибій свердловини зменшити до такої величини, щоб він був меншим від пластового на 0,5 МПа.

Для отримання такого значення тиску рівень рідини у свердловині потрібно понизити до величини H_1 :

$$H_1 = H - \frac{(P_{пл} - 0,5) \cdot 10^6}{\rho \cdot g}$$

де H_1 – віддаль від гирла до рівня рідини в свердловині, м;

H – глибина свердловини, м.

Щоб свердловина запрацювала потрібно забезпечити зменшення рівня рідини більше ніж на величину H_1 , тому що після зняття тиску в затрубному просторі частина рідини з фонтанних труб перетече в затрубний простір і підніме рівень рідини в свердловині на величину H_2 , яку знаходять за формулою:

$$H_2 = \frac{H_1 \cdot f_{вн}}{F - f_{зн} + f_{вн}}$$

де F – площа січення обсадної колони, м²;

$f_{зн}$ $f_{вн}$ – площа січення фонтанних труб по зовнішній і внутрішній ділянці відповідно, м².

Тоді тиск стиснутого газу, який необхідний для витіснення рідини із свердловини з метою її освоєння можна знайти з наступної залежності

$$P_{пуск} = \rho \cdot g \cdot (H_1 + H_2)$$

де ρ – густина рідини глушіння свердловини, кг/м³.

Типові задачі

Задача №1. Знайти швидкість руху газу на відстані (r) від осі свердловини при фільтрації газу за законом Дарсі для таких даних: пластовий тиск – ($P_{пл}$), вибійний тиск – ($P_{вб}$), середня відстань між свердловинами – ($2R$), радіус свердловини – ($r_c=0,1$ м), дебіт свердловини за стандартних умов – (q), коефіцієнт відкритої пористості – (m_o), коефіцієнт початкової газонасиченості – (α); газонасичена товщина пласта – (h), пластова температура – ($t_{пл.}$), відносна густина газу – (ρ).

№ варіанту	Відстань від осі свердловини, м	Пластовий тиск, МПа	Вибійний тиск, МПа	Середня відстань між свердловинами, м	Дебіт свердловини за стандартних умов, тис.м ³ /д	Коефіцієнт відкритої пористості, %	коефіцієнт початкової газонасиченості, к%	Газонасичена товщина пласта, м	Пластова температура, оС	відносна густина газу
1	10	20,5	19	760	48,3	6,5	70	20,5	38	0,62
2	13	23,6	21	762	60,3	7	71	23,6	40	0,63
3	7	26,7	22	780	73,0	8	72	26,7	41	0,64
4	6	29,8	24	790	73,0	9	73	29,8	45	0,64
5	17	32,8	29	786	88,9	10	74	32,8	44	0,65
6	9	35,6	34	777	101,6	11	75	35,6	46	0,615
7	18	20,5	19	780	48,3	6	76	20,5	47	0,62
8	16	23,6	21	784	60,3	7	77	23,6	50	0,625
9	13	26,7	25	775	73,0	8	78	26,7	55	0,63
10	12	29,8	28	769	73,0	9	79	29,8	53	0,64
11	13	32,8	31	760	88,9	10	80	32,8	53	0,65
12	12	35,6	34	762	101,6	11	81	35,6	52	0,63
13	15	20,5	19	780	48,3	6,5	82	20,5	55	0,635
14	15	23,6	22	790	60,3	7	83	23,6	51	0,64
15	11	26,7	25	786	73,0	8	80	26,7	48	0,626
16	13	29,8	28	777	73,0	9	79	29,8	49	0,623
17	12	32,8	31	780	88,9	10	77	32,8	40	0,625
18	14	35,6	34	784	101,6	11	76	35,6	44	0,631
19	13	20,5	19	775	60,3	6	75	20,5	45	0,64
20	14	23,6	22	769	73,0	7	74	23,6	41	0,63

Задача №2. Визначити тиск на відстані r (r_1 ; r_2 ; $r_3 \dots m$) від осі свердловини у разі порушення закону Дарсі для таких даних: пластовий тиск – ($P_{пл}$), вибійний тиск – ($P_{виб}$), дебіт газу за стандартних умов – (q), радіус свердловини – 0,1 м, радіус контуру живлення пласта – (R_k), коеф фільтраційних опорів – (A) та (B).

№ варіанту	Відстань від осі свердловини, м	Пластовий тиск, МПа	Вибійний тиск, МПа	Радіус контуру живлення пласта, м	Дебіт свердловини за стандартних умов, тис.м ³ /д	Коефіцієнт фільтраційних опорів	
						$A, \frac{\text{МПа}^2 \cdot \text{д}}{\text{тис.м}^3}$	$B, \left(\frac{\text{МПа} \cdot \text{д}}{\text{тис.м}^3} \right)^2$
1	6;8;10	20,5	19	760	48,3	0,45	0,0041
2	5;7;11;13	23,6	21	762	60,3	0,46	0,0042
3	7;8;14;20	26,7	22	780	73,0	0,47	0,004
4	6;10;14	29,8	24	790	73,0	0,44	0,0039
5	10;12;17	32,8	29	786	88,9	0,43	0,0043
6	9;12;19	35,6	34	777	101,6	0,45	0,0041
7	18;30;40	20,5	19	780	48,3	0,46	0,0042
8	16;50;45	23,6	21	784	60,3	0,47	0,004
9	13;20;30	26,7	25	775	73,0	0,44	0,0039
10	12;25;40	29,8	28	769	73,0	0,43	0,0043
11	6;8;10	32,8	31	760	88,9	0,45	0,0041
12	5;7;11;13	35,6	34	762	101,6	0,46	0,0042
13	7;8;14;20	20,5	19	780	48,3	0,47	0,004
14	6;10;14	23,6	22	790	60,3	0,44	0,0039
15	10;12;17	26,7	25	786	73,0	0,43	0,0043
16	9;12;19	29,8	28	777	73,0	0,45	0,0041
17	18;30;40	32,8	31	780	88,9	0,46	0,0042
18	16;50;45	35,6	34	784	101,6	0,47	0,004
19	13;20;30	20,5	19	775	60,3	0,44	0,0039
20	12;25;40	23,6	22	769	73,0	0,43	0,0043

Задача №3. Розрахувати тиск на гирлі свердловини, після освоєння її методом заміни глинистого розчину густиною – ($\rho_{г.р.}$), на вуглеводневий конденсат густиною ($\rho_{в.к.}$), якщо загальна глибина свердловини – (H), а глибина спуску НКТ – (L).

№ варіанту	Густина глинистого розчину, кг/м ³	Густина вуглеводневого конденсату, кг/м ³	Глибина свердловини, м	Глибина спуску НКТ, м
1	1240	760	3800	3300
2	1280	762	3900	3550
3	1220	780	3700	3460
4	1200	790	4800	4670
5	1190	786	5600	5430
6	1200	777	4900	4810
7	1240	780	5100	4920
8	1280	784	4400	4310
9	1220	775	4300	4180
10	1200	769	5600	5460
11	1190	760	5100	4910
12	1200	762	4900	4780
13	1240	780	4800	4630
14	1280	790	4700	4500
15	1220	786	4600	4430
16	1200	777	4500	4120
17	1190	780	5500	5220
18	1200	784	5300	4950
19	1240	775	5000	4580
20	1280	769	4800	4560

Задача №4. Визначити тиск стиснутого газу для освоєння свердловини глибиною (H) . Пластовий тиск – $(P_{пл})$, діаметр експлуатаційної колони – (De) , внутрішній діаметр спущених в свердловину фонтанних труб – $(dв)$, товщина стінки – (δ) . Перед освоєнням свердловина заповнена до гирла глинистим розчином густиною $(\rho_{г.р.})$.

№ варіанту	Глибина свердловини, м	Пластовий тиск, МПа	Зовнішній діаметр труб, мм	Товщина стінки труб, м	Внутрішній діаметр фонтанних труб, мм	Товщина стінки фонтанних труб, мм	Густина глинистого розчину, кг/м^3
1	3800	20,5	146	6,5	50,3	5,0	1240
2	3900	23,6	146	7	62,0	5,5	1280
3	3700	26,7	146	8	59,0	7,0	1220
4	4800	29,8	146	9	76,0	6,5	1200
5	5600	32,8	146	10	88,6	6,5	1190
6	4900	35,6	146	11	100,3	7,0	1200
7	5100	20,5	140	6	50,3	5,0	1240
8	4400	23,6	140	7	62,0	5,5	1280
9	4300	26,7	140	8	59,0	7,0	1220
10	5600	29,8	140	9	76,0	6,5	1200
11	5100	32,8	140	10	88,6	6,5	1190
12	4900	35,6	140	11	100,3	7,0	1200
13	4800	20,5	146	6,5	50,3	5,0	1240
14	4700	23,6	146	7	62,0	5,5	1280
15	4600	26,7	146	8	59,0	7,0	1220
16	4500	29,8	146	9	76,0	6,5	1200
17	5500	32,8	146	10	88,6	6,5	1190
18	5300	35,6	146	11	100,3	7,0	1200
19	5000	20,5	140	6	50,3	5,0	1240
20	4800	23,6	140	7	62,0	5,5	1280

Питання для контролю знань та обговорення

1. Наведіть і поясніть формулу для визначення дебіту газу при фільтрації газу за законом Дарсі.
2. Наведіть і поясніть вираз, який описує процес фільтрації газу в пласті за двочленним законом.

3. Наведіть і поясніть вирази для коефіцієнтів фільтраційних опорів привибійної зони пласта.
4. Наведіть і поясніть формулу для визначення дебіту газу при фільтрації газу за двочленним законом.
5. Як визначають необхідний для витіснення рідини із свердловини з метою її освоєння?