

2 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Практическая часть самостоятельной работы заключается в решении задачи. Суть задачи состоит в определении геостатического, бокового, пластового, гидростатического, дифференциального давлений, а также давления относительной устойчивости пород, давления гидроразрыва горной породы и давления поглощения.

Общие понятия

Естественные напряжения в земной коре принято называть геостатическим или горным давлением.

Геостатическое (горное) давление P_g - давление, обусловленное весом толщи вышележащих пород. При бурении скважин на суше:

$$P_g = \rho_n \cdot g \cdot H \quad (1.1)$$

где ρ_n - объемная плотность вышележащих горных пород,

$$\rho_n = \sum_{i=1} \left[(1 - \Pi_i) \cdot \rho_{ni} + \Pi_i \cdot \rho_{ж} \right] \cdot h_i / H \quad (1.2)$$

где Π_i - пористость слоя горной породы, доля единицы; ρ_n - плотность твердой фазы данной горной породы, кг/м³; h_i - толщина слоя той же породы; $\rho_{ж}$ - плотность

жидкости в порах породы, кг/м³; $H = \sum_{i=1} h_i$ - глубина на рассматриваемой точке горной

породы от дневной поверхности.

С увеличением H растет P_g , а вместе с ним возрастает и напряжение в породе. Для большинства пород при этом увеличиваются пределы текучести, прочности и пластичности.

При бурении скважин в море горное давление рассчитывается по формуле:

$$P_{г.м.} = \left[(\rho_n \cdot (H - H_m) + \rho_{м.в.} \cdot H_m) \right] \cdot g \quad (1.3)$$

где H_m - глубина моря, м; $\rho_{м.в.}$ - средняя плотность морской воды, кг/м³.

$$H = \sum_{i=1} h_i + H_m \quad (1.4)$$

Градиент геостатического давления - отношение геостатического давления в рассматриваемой точке к глубине этой точки.

$$\Delta P_g = \frac{P_g}{H_i} \quad (1.5)$$

Для расчета радиального упругого напряжения σ_r в горных породах можно воспользоваться формулой А.А. Динника $\bar{\sigma}_r = \xi \cdot P_r$;

$$\xi = \frac{\mu}{H_i} \quad (1.6)$$

Величина ξ приближается к 1 в толщах глинистых и других высокопластичных пород на сравнительно небольшой глубине.

Пористые горные породы всегда насыщены флюидом (жидкостью или газом). Давление жидкости в поровом пространстве пород принято называть поровым давлением пород $P_{пор}$ (МПа).

Пластовое давление $p_{пл}$ (МПа) – давление жидкости в проницаемой породе, т.е. $P_{пор}$ в том частном случае, когда поры сообщаются друг с другом.

Современные исследования опровергают закон, по которому пластовое давление с глубиной изменяется по закону гидростатика. Установлено, что пластовое давление только до глубины 1000-2000 м. следует закону гидростатики. С глубиной пластовое давление приближается к геостатическому. Благодаря этому породы на большой глубине сохраняют пористость, проницаемость и находятся в разуплотненном состоянии, что было убедительно доказано и бурением сверхглубокой скважины СГ-3 на Кольском полуострове.

В нормальных условиях на глубине H давление флюидов приблизительно равно гидростатическому давлению столба воды P_v (в МПа) плотностью $\rho_v \approx 1000 \text{ кг/м}^3$ от кровли пласта до поверхности.

$$P_{пл} \approx P_v = \rho_v \cdot g \cdot H \quad (1.7)$$

Формулой (1.7) можно пользоваться при разведочном бурении на малоизученных площадях, когда нет возможности установить действительную величину $P_{пл}$ по динамическому уровню жидкости в скважине, поскольку последние еще не пробурены. При вскрытии водоносных горизонтов

$$P_{пл} = \rho_{жс} \cdot g \cdot H_{ст} \quad (1.8)$$

где $H_{ст}$ – величина столба жидкости, который устанавливается в покоящейся скважине.

Для характеристики геологических условий бурения широко используются относительные давления (индексы давления): геостатическое, боковое и пластовое (поровое). Они характеризуют отношение перечисленных давлений на глубине H к давлению столба пресной воды.

$$\begin{aligned}
P'_{нл} &= \frac{P_{\Sigma}}{P_{\sigma}}, \\
P'_{\sigma} &= \frac{P_{\sigma}}{P_{\sigma}}, \\
P'_{нл(нор)} &= \frac{P_{нл(нор)}}{P_{\sigma}}
\end{aligned}
\tag{1.9}$$

$$\begin{aligned}
P'_{нл} &= k_a; \\
P'_{нор} &= k_a(нор),
\end{aligned}
\tag{1.10}$$

Называют также коэффициентами аномальности пластового и порового давления соответственно.

В нормальных условиях $k_a \approx 1$.

Если k_a ($k_{пор}$) $\geq 1,2$, то имеется АВПД (или АВПоД). При увеличении H вероятность встречи с АВПД возрастает.

Значения $k_a < 0,8$ характеризуют АНПД.

Давление относительной устойчивости пород p_y – минимальное давление на участок ствола скважины, сложенный потенциально неустойчивой породой, при котором в течение продолжительного времени (достаточного для разбуривания всей толщи таких пород и перекрытия их обсадной колонной), при данном составе бурового раствора не возникают серьезные проявления неустойчивости (сужения ствола и связанные этим осложнения -прихваты, затяжки и посадки колонны труб при спускоподъемных операциях; интенсивные осыпания пород и т.п.).

Градиенты давления (геостатического, пластового, порового, гидроразрыва и поглощения соответственно) используются также при решении различных задач технологии бурения равны отношению давления к глубине залегания пород:

$$grad P_r = \frac{P_r}{H}; grad P_{нл} = \frac{P_{нл}}{H_{нл}};
\tag{1.11}$$

$$grad P_{нор} = \frac{P_{нор}}{H}; grad P_{\Sigma p} = \frac{P_{\Sigma p}}{H};
\tag{1.12}$$

$$grad P_{ногл} = \frac{P_{ногл}}{H};
\tag{1.13}$$

Гидростатическое давление бурового раствора на забой $P_{б.р.}$ (МПа) – давление столба бурового раствора на забой на глубине H .

$$P_{б.р.} = \rho_{б.р.} \cdot g \cdot H
\tag{1.14}$$

Дифференциальное давление ΔP – разность давления бурового раствора на забой скважины и пластового

$$\Delta P = P_{б.р.} + P_{г.д.} - P_{пл} \quad (1.15)$$

где $P_{г.д.}$ - гидродинамическое давление, рассматриваемое в зависимости от выполняемой технологической операции: при циркуляции раствора в затрубном пространстве или при пуске насоса.

Величина ΔP оказывает существенное влияние на увеличение сопротивления разрушению пород. С увеличением H влияние ΔP на показатели работы долот возрастает. В случае если $P_{б.р.} \approx P_{пл}$, то рост $P_{г.д.}$ (репрессия на пласт) может стать причиной поглощения бурового раствора.

Давление гидроразрыва горной породы $P_{г.р.}$ (МПа) - давление столба жидкости в скважине на глубине H , при котором происходит разрыв связной породы и образование в ней трещин. Определяется опытным путем. При полном отсутствии данных

$$P_{г.р.} = 0,0083 \cdot H + 0,66 \cdot P_{пл} \quad (1.16)$$

Давление поглощения $P_{погл.}$ - давление в скважине, при котором начинается утечка бурового раствора по искусственным трещинам, образующимся в результате гидроразрыва связной породы, либо по естественным каналам в трещиноватых и закарстованных породах. Принимается по фактическим данным или по опытным нагнетаниям (подача 1 - 2 л/с). При отсутствии данных:

$$P_{погл.} = (0,75 \div 0,95) \cdot P_{г.р.} \quad (1.17)$$

Относительное давление по воде в закрытой скважине $K_{отн.}$ – отношение давления P_H на глубине H в скважине с закрытым устьем, частично или полностью заполненной пластовой жидкостью, к давлению пресной воды P_B

$$K_{отн.} = \frac{P_H}{\rho_B \cdot g \cdot H} \quad (1.18)$$

Индекс давления поглощения $P'_{погл.}$ представляет собой отношение $P_{погл.}$ к давлению столба пресной воды:

$$P'_{погл.} = \frac{P_{погл.}}{P_B} \quad (1.19)$$

или

$$K_{погл.} = \frac{P_{р.м.}}{P_B} \quad (1.20)$$

где $P_{р.т.}$ - давление раскрытия микротрещин или давление гидроразрыва монолитных пород.

Для прогнозирования ориентационных значений $K_{погл}$ можно воспользоваться формулой:

$$K_{погл} \approx (1 - \xi) \cdot K_a + \xi \cdot (1,8 \div 2,5) \quad (1.21)$$

Величину 1,8 принимают близ дневной поверхности; 2,3-2,5 – на большой глубине. Значения ξ желательно определить по данным о давлениях разрыва горной породы (раскрытия микротрещин), полученных в ранее пробуренных скважинах на данной или других площадях со сходными горногеологическими условиями.

Проектные решения по выбору плотности бурового раствора должны предусматривать создание столбом раствора гидростатического давления на забой скважины и вскрытие продуктивного горизонта, превышающего проектные пластовые давления на величину менее:

- 10 % для скважин глубиной до 1200м. (интервалов от 0 до 1200м.)
- 5 % для интервалов от 1200м. до проектной глубины.

В необходимых случаях проектом может устанавливаться большая плотность раствора, но при этом противодействие на горизонты не должно превышать пластовые давления 1,5МПа для скважин глубиной 1200 м. и 2,5-3,0МПа для более глубоких скважин.

Задание 1. Пластовое давление на глубине L составляет $R_{пл}$. Требуется оценить коэффициент аномальности пластового давления и определить условие бурения по АВПД или АНПД (плотность воды $\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$).

№ п/п	Вариант	Глубина, L (м)	Пластовое давление, $R_{пл}$ (МПа)
1.	1	1751	15
2.	2	1465	7,5
3.	3	1815	16
4.	4	1223	9,5
5.	5	2142	15,5
6.	6	1763	12,8
7.	7	1281	9
8.	8	1173	8
9.	9	1196	7,1
10.	10	2087	16
11.	11	1815	16,5
12.	12	1766	17
13.	13	2379	16
14.	14	1613	15
15.	15	1924	16,5
16.	16	1285	6
17.	17	1296	11

№ п/п	Вариант	Глубина, L (м)	Пластовое давление, Рпл (МПа)
18.	18	2785	26
19.	19	1338	10,6
20.	20	1749	17
21.	21	1756	17,5
22.	22	1255	10,5
23.	23	1228	10,8
24.	24	1269	6
25.	25	1835	15
26.	26	1655	12,5

Задание 2. Определить величину противодействия на продуктивный горизонт буровым раствором. Дать оценку условий бурения данной скважины. Определить давление, оказываемое буровым раствором плотностью ρ на стенки скважины на глубине L.

№ п/п	Вариант	Глубина, L (м)	Плотность бурового раствора $\rho_{б.р.}$ (кг/м ³)	Пластовое давление, Рпл (МПа)
1.	1	1751	1180	15
2.	2	1465	1080	7,5
3.	3	1815	1300	16
4.	4	1223	1020	9,5
5.	5	2142	1250	15,5
6.	6	1763	1300	12,8
7.	7	1281	1180	9
8.	8	1173	1020	8
9.	9	1196	1120	7,1
10.	10	2087	1200	16
11.	11	1815	1250	16,5
12.	12	1766	1250	17
13.	13	2379	1200	16
14.	14	1613	1180	15
15.	15	1924	1140	16,5
16.	16	1285	1080	6
17.	17	1296	1080	11
18.	18	2785	1180	26
19.	19	1338	1140	10,6
20.	20	1749	1080	17
21.	21	1756	1160	17,5
22.	22	1255	1140	10,5
23.	23	1228	1140	10,8
24.	24	1269	1080	6
25.	25	1835	1100	15
26.	26	1655	1150	12,5

Задание 3. Определить давление гидроразрыва горной породы при условиях, приведенных в таблице.

№ п/п	Вариант	Глубина, L (м)	Пластовое давление, Рпл (МПа)
1.	1	1751	15

№ п/п	Вариант	Глубина, L (м)	Пластовое давление, Рпл (МПа)
2.	2	1465	7,5
3.	3	1815	16
4.	4	1223	9,5
5.	5	2142	15,5
6.	6	1763	12,8
7.	7	1281	9
8.	8	1173	8
9.	9	1196	7,1
10.	10	2087	16
11.	11	1815	16,5
12.	12	1766	17
13.	13	2379	16
14.	14	1613	15
15.	15	1924	16,5
16.	16	1285	6
17.	17	1296	11
18.	18	2785	26
19.	19	1338	10,6
20.	20	1749	17
21.	21	1756	17,5
22.	22	1255	10,5
23.	23	1228	10,8
24.	24	1269	6
25.	25	1835	15
26.	26	1655	12,5

Вычислить значение P_T для условий (к заданию 3).

№ п/п	Вариант	Интервал бурения, м	Пористость, %	Средняя плотность, кг/м ³	
				твердой фазы породы	пластовой жидкости
1.	1	0-250	34	2670	1012
		250-425	30	2620	1000
		425-530	29	2700	1020
		530-780	28	2650	1005
		780-1060	26	2610	1010
2.	2	0-250	35	2670	1013
		250-545	31	2620	1010
		545-650	28	2700	1030
		650-920	27	2645	1005
		920-1150	25	2610	1005
3.	3	0-200	35	2550	1012
		200-350	31	2530	1000
		350-550	28	2600	1020
		550-790	27	2550	1005
		790-1200	26	2520	1010
4.	4	0-210	36	2550	1012
		210-370	33	2530	1000
		370-560	28	2600	1020

		560-800	26	2550	1005
		800-1200	24	2520	1010
5.	5	0-250	35	2500	1012
		250-350	31	2510	1000
		350-550	28	2610	1020
		550-780	27	2600	1000
		780-1100	26	2520	1010
6.	6	0-150	35	2450	1011
		150-300	32	2430	1005
		300-650	27	2500	1010
		650-900	26	2450	1005
		900-1500	25	2420	1008
7.	7	0-250	34	2450	1011
		250-400	31	2430	1005
		400-650	26	2500	1010
		650-920	25	2450	1005
		920-1250	24	2420	1008
		1250-1500	22	2400	1007
8.	8	0-150	31	2500	1010
		150-350	28	2450	1005
		350-600	26	2300	1000
		600-950	23	2680	1008
		950-1200	21	2650	1010
9.	9	0-350	35	2750	1020
		350-600	32	2720	1010
		600-850	28	2700	1005
		850-1100	26	2710	1000
10.	10	0-200	31	2550	1080
		200-430	29	2510	1050
		430-550	27	2670	1020
		550-900	25	2700	1030
11.	11	0-350	28	2840	1010
		350-420	24	2820	1005
		420-580	26	2640	1000
		580-1110	25	2680	1080
12.	12	0-250	29	2840	1010
		250-510	27	2550	1005
		510-800	25	2500	1000
13.	13	0-210	30	2550	1080
		210-430	28	2510	1050
		430-560	25	2670	1020
14.	14	0-250	27	2840	1005
		250-450	25	2550	1000
		450-550	30	2500	1080
		550-900	28	2550	1050
15.	15	0-200	35	2550	1012
		200-350	31	2530	1000
		350-550	28	2600	1020
16.	16	0-150	33	2450	1011
		150-300	30	2430	1005

		300-650	25	2500	1010
		650-900	23	2450	1005
17.	17	0-250	33	2570	1012
		250-405	28	2520	1000
		425-530	26	2500	1020
		530-800	24	2550	1005
		800-1200	23	2600	1003
18.	18	0-245	35	2670	1012
		245-545	31	2620	1009
		545-650	28	2700	1028
		650-950	27	2710	1030
19.	19	0-155	34	2350	1010
		155-305	30	2330	1004
		305-648	25	2400	1009
		648-850	23	2450	1002
20.	20	0-240	33	2440	1011
		240-390	29	2420	1005
		390-640	26	2490	1010
		640-900	24	2400	1005
21.	21	0-149	31	2550	1010
		149-350	28	2500	1005
		350-590	26	2430	1000
		590-800	23	2580	1008
22.	22	0-150	28	2650	1008
		150-290	25	2600	1010
		290-480	26	2550	1009
		480-650	22	2680	895
23.	23	0-200	31	2550	1010
		200-500	30	2500	1012
		500-650	32	2600	1015
		650-900	28	2650	1010
24.	24	0-250	28	2600	1010
		250-450	27	2660	1008
		450-600	25	2700	1005
25.	25	0-180	30	2500	1010
		180-450	28	2600	1012
		450-650	32	2550	1015
26.	26	0-150	25	2400	1000
		150-420	27	2500	1012
		420-670	28	2600	990