

С. С. Макаров, К. Э. Чекмышев

**Методические указания
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Механика сплошной среды»**



**Ижевск
2014**

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»
Институт нефти и газа им. М.С. Гуцериева

Кафедра разработки и эксплуатации нефтяных и газовых
месторождений

С. С. Макаров, К. Э. Чекмышев

**Методические указания
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Механика сплошной среды»**



**Ижевск
2014**

УДК 622.24.026(075.8)
ББК 33.131.0я73-5
М152

*Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ
(протокол № 7, от 23.12.2014)*

Рецензент: д.т.н., профессор Н. В. Митюков

С. С. Макаров, К. Э. Чекмышев

М152 Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Механика сплошной среды». – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2014. – 27 с.

Учебно-методическое пособие составлено на основе требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело».

Пособие состоит из четырёх работ, которые посвящены процессам, возникающим при промывке и цементировании скважин.

Пособие предназначено для студентов бакалавриата по направлению подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» для профилей подготовки «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти» и «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов нефтегазового производства».

УДК 622.24.026(075.8)
ББК 33.131.0я73-5

© С. С. Макаров, К. Э. Чекмышев, 2014
© ФГБОУ ВПО «Удмуртский
государственный университет», 2014

Содержание

Предисловие	4
Лабораторная работа №1. Исследование влияния факторов процесса циркуляции бурового раствора на величину суммарных гидравлических потерь	5
Лабораторная работа №2. Исследование влияния притока (оттока) бурового раствора через стенку скважины на величину гидравлических потерь	11
Лабораторная работа №3. Исследование влияния формы и условий движения частиц шлама на подачу насосов при промывке скважин	15
Лабораторная работа №4. Исследование влияния величины внешнего давления горной породы на крепь ствола обсадной колонны во временном интервале	20
Список рекомендуемой литературы	23
Приложение 1. Длины рёбер правильных многогранников	23
Приложение 1.1. Характерный размер частиц	23
Приложение 1.2. Параметр m , учитывающий влияние формы частицы и её ориентацию	24
Приложение 2. Значение коэффициентов ползучести, модуля Юнга и коэффициента Пуассона для некоторых горных пород	24
Приложение 3. Структура отчёта	25

Предисловие

Большинство основных и сопутствующих процессов в нефтегазовом деле механического происхождения. С позиции механики буровой и цементные растворы, горные породы, бурильные колонны и обсадные трубы – сплошные среды.

В настоящее время опубликовано много литературы, посвящённой частным задачам механики сплошных сред в нефтегазовом деле. Целью данного пособия является систематизация учебного материала механики сплошной среды в нефтегазовом деле, и представление его в качестве лабораторных работ для лучшего усвоения студентами. Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Механика сплошной среды» являются дополнением к лекционному курсу, которое поможет студенту закрепить теоретические навыки, полученные на лекциях, путем решения поставленных задач с применением ЭВМ. Студенты могут использовать пособие при подготовке к экзамену.

Методические указания содержат четыре лабораторных работы, которые посвящены процессам, возникающим при промывке и цементировании скважин, а именно: циркуляции бурового раствора в скважине, явлениям притока (оттока) бурового раствора через стенку скважины, процессу выноса шлама из скважины и процессу влияния горной породы на крепь ствола обсадной колонны.

Учебно-методическое пособие, в первую очередь, предназначено для студентов бакалавриата по направлению подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» для профилей подготовки «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти» и «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов нефтегазового производства».

Лабораторная работа №1. Исследование влияния факторов процесса циркуляции бурового раствора на величину суммарных гидравлических потерь

В процессах промывки и цементирования скважин при движении бурового раствора по трубам и в затрубном пространстве (см. рисунок 1) возникают местные и путевые гидравлические потери давления. Местные гидравлические потери возникают на клапанах, в местах разворота потока, в сужениях труб и в др. случаях. Путевые гидравлические потери - это потери на трение при течение бурового раствора по длине канала. На основании значений суммарных гидравлических потерь рассчитывается необходимое давление на входе в бурильную колонну и осуществляется подбор насосного оборудования для промывки скважины.

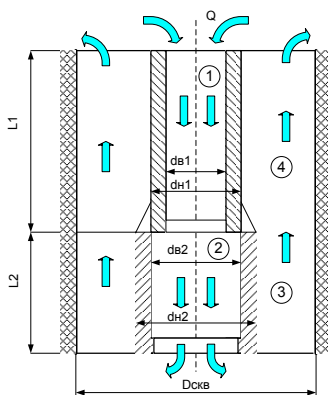


Рисунок 1 – Схема движения бурового раствора в скважине

Цель работы: исследование процессов движения жидкости по трубам и в затрубном пространстве скважины с применением ЭВМ и расчётных программ.

Задание

Исследовать влияние факторов процесса установившейся циркуляции бурового раствора по трубам и в затрубном пространстве на величину суммарных гидравлических потерь. Компоновка бурильной колонны состоит из утяжеленных бурильных труб (УБТ) и бурильных труб (БТ). Варианты заданий приведены в таблице 1.

Ход выполнения лабораторной работы № 1

Последовательно вычисляются параметры в трубах

1. Определяется средняя скорость потока:

$$v_{cp} = \frac{4Q}{\pi d_e^2}, \text{ м/с}$$

2. Вычисляется параметр Сен-Венана для тубы:

$$Sen_m^* = \frac{\tau_0 d_e}{\eta v_{cp}}$$

3. Вычисляется обобщенный параметр Рейнольдса:

$$Re_m^* = \frac{\rho v_{cp} d_e}{\eta \left(1 + \frac{1}{6} Sen_m^* \right)}$$

4. В зависимости от режима течения определяется коэффициент сопротивления:

$$\lambda = \begin{cases} 64/Re_m^* & \text{при } Re_m^* < 2100 \\ 0.316/\sqrt[4]{Re_m^*} & \text{при } Re_m^* \geq 2100 \end{cases}$$

5. Рассчитываются потери давления в трубе:

$$\Delta P_m = \lambda \frac{L}{d_e} \frac{\rho v_{cp}^2}{2} \cdot 10^{-6}, \text{ МПа}$$

Таблица 1 – Варианты заданий к лабораторной работе №1

Исходные данные	Последняя цифра шифра зачётной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
плотность ρ , кг/м ³	1500	1350	1400	1250	1550	1600	1450	1300	1380	1520
динамическое напряжение сдвига τ_0 , Па	4	3	2	4	5	6	3	5	6	5
пластическая вязкость η , Па · с	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.05	0.02	0.09	0.01
подача насосов, Q , м ³ /с	0.03	0.04	0.06	0.035	0.045	0.055	0.042	0.035	0.038	0.043
диаметр скважины D , м	0.214	0.216	0.218	0.220	0.216	0.214	0.216	0.218	0.222	0.224
БТ наружный/внутренний диаметр, длина $d_{н1}/d_{в1}, L_1$, м	0.140/ 0.121 3000	0.142/ 0.120 2800	0.144/ 0.122 2850	0.146/ 0.124 2900	0.148/ 0.126 2950	0.142/ 0.121 2960	0.148/ 0.123 2930	0.146/ 0.125 2870	0.144/ 0.126 2830	0.140/ 0.120 2890
УБТ наружный/внутренний диаметр, длина $d_{н2}/d_{в2}, L_2$, м	0.178/ 0.08 70	0.180/ 0.1 72	0.182/ 0.12 74	0.184/ 0.14 76	0.186/ 0.16 78	0.178/ 0.06 68	0.180/ 0.08 64	0.178/ 0.1 62	0.178/ 0.06 60	0.184/ 0.08 66

Последовательно вычисляются параметры в затрубном пространстве

6. Определяется средняя скорость потока:

$$v_{cp} = \frac{4Q}{\pi(D^2 - d_n^2)}, \text{ м/с}$$

7. Вычисляется параметр Сен-Венана для кольцевого канала:

$$Sen_{\kappa}^* = \frac{\tau_0(D - d_n)}{\eta v_{cp}}$$

8. Вычисляется обобщенный параметр Рейнольдса:

$$Re_{\kappa}^* = \frac{\rho v_{cp}(D - d_n)}{\eta \left(1 + \frac{1}{8} Sen_{\kappa}\right)}$$

9. В зависимости от режима течения определяется коэффициент сопротивления:

$$\lambda = \begin{cases} 96/Re_{\kappa}^* & \text{при } Re_{\kappa}^* < 1600 \\ 0.316/\sqrt[4]{Re_{\kappa}^*} & \text{при } Re_{\kappa}^* \geq 1600 \end{cases}$$

10. Рассчитываются потери давления в затрубном пространстве:

$$\Delta P_{\kappa} = \lambda \frac{L}{(D - d_n)} \frac{\rho v_{cp}^2}{2} \cdot 10^{-6}, \text{ МПа}$$

11. Определяются суммарные гидравлические потери:

$$\Delta P = \Delta P_m + \Delta P_{\kappa}, \text{ МПа}$$

12. Провести сравнительный анализ движения бурового раствора и воды по потерям давления, если параметры

воды: $\rho = 1000, \text{ кг/м}^3$, динамическая

вязкость $\mu = 10^{-3}, \text{ Па} \cdot \text{с}$, $Sen^*_m = 0$,

$$Re_m^* = \frac{\rho v_{cp} d_e}{\mu} \quad Re_k^* = \frac{\rho v_{cp} (D - d_n)}{\mu}$$

13. Построить график потерь давления при движении бурового раствора и воды по участкам (см. рисунок 2).

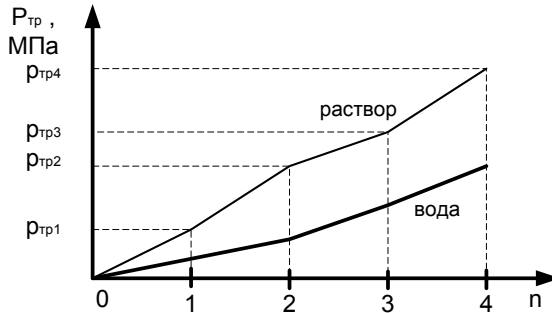


Рисунок 2 – Потери давления при движении бурового раствора и воды по участкам

14. Найти требуемые мощности на прокачку бурового раствора и воды, после сопоставить их:

$$N = \Delta P_{mp} Q / \eta_t, \text{ Вт}$$

где $\eta_t = (0.4 \div 0.6)$ - КПД насосов.

15. Оценить на сколько воду легче качать чем буровой раствор:

$$\Delta_{\%} = \frac{N_{\text{раст}} - N_{\text{в}}}{N_{\text{раст}}} \cdot 100\%$$

16. Сформулировать вывод по работе.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое обобщённый параметр Рейнольдса?
2. Что определяет параметр Сен-Венана?
3. Какие режимы течения вы знаете? Напишите их критериальные уравнения?
4. Какие существуют виды гидравлических потерь?
5. Какие параметры в большей степени оказывают влияние на значение потерь давления при движении бурового раствора?
6. Почему мощность на прокачку воды меньше чем на прокачку бурового раствора?

Лабораторная работа №2. Исследование влияния притока (оттока) бурового раствора через стенку скважины на величину гидравлических потерь

Одна из особенностей гидравлического канала затрубного пространства необсаждённого участка скважины – его проницаемость. Отток жидкости из скважины в пласт или приток из пласта может существенно влиять на гидравлические потери. Установлено, что даже при весьма малой скорости фильтрации жидкости (порядка 5 мм/с) через глинистую корку, сформированную на поверхности проницаемого канала, гидравлические потери уменьшаются более чем в 1,5 раза при оттоке и увеличиваются в 2,3 раза при притоке жидкости. Поэтому, выбор насосного оборудования для промывки скважины необходимо производить не только с учётом основных расчётных суммарных гидравлически потерь при движении бурового раствора, но и с учётом его оттока (притока) в стенку скважины.

Цель работы: исследование процессов движения жидкости по трубам и в затрубном с возможным оттоком и притоком бурового раствора с применением ЭВМ и расчётных программ.

Задание

Исследовать влияние оттока (протока) бурового раствора через стенку скважины на величину гидравлических потерь в затрубном пространстве.

Варианты заданий приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Варианты заданий к лабораторной работе №2

Исходные данные	Последняя цифра шифра зачётной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
подача насосов $Q, \text{м}^3/\text{с}$	0.02	0.01	0.003	0.035	0.01	0.05	0.01	0.005	0.08	0.09
объёмная проницаемость $Q_0 \cdot 10^5, \text{м}^3/\text{с}$	4.0	5.0	3.0	2.5	7.0	6.0	5.0	4.5	1.5	1.0
наружный диаметр $d_n, \text{м}$	0.177	0.180	0.178	0.170	0.172	0.175	0.182	0.172	0.175	0.176
плотность $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	1600	1350	1400	1250	1550	1600	1450	1300	1380	1520
динамическое напряжение сдвига $\tau_0, \text{Па}$	7.3	7.4	7.2	7.0	6.8	6.9	7.1	7.5	7.6	6.5
пластическая вязкость $\eta, \text{Па} \cdot \text{с}$	0.035	0.040	0.045	0.036	0.037	0.038	0.039	0.042	0.041	0.040
диаметр скважины $D, \text{м}$	0.222	0.220	0.218	0.220	0.224	0.223	0.221	0.219	0.225	0.226

Ход выполнения лабораторной работы № 2

1. Вычисляются средние скорости, м/с:

$$v_{cp} = \frac{4Q}{\pi(D^2 - d_n^2)}; \quad v_0 = \frac{8Q_0}{\pi(D^2 - d_n^2)}$$

2. Вычисляются параметры Рейнольдса принимая, что $h = 0.25 \cdot (D - d_n)$:

$$Re_{uc} = \frac{2h\rho v_{cp}}{\eta}; \quad Re_o = \frac{h\rho v_0}{\eta}$$

3. Определяются коэффициенты $\psi(Re_o)$, $c(Re_o)$ для функций влияния оттока (притока):

$$\psi(Re_o) = 0.5 Re_o^{-2} [1 + (Re_o - 1) \cdot \exp(Re_o)];$$
$$c = (0.5 + 2 Re_o^{-1}) \cdot (Re_o - 1 + \exp(Re_o))^{-1}$$

4. Функции влияния оттока (притока) $f(Re_o)$, $\psi_1(Re_o)$, для оценки гидравлических потерь в затрубном пространстве, когда имеет место проницаемость одной стенки скважины:

$$\psi_1(Re_o) = 0.5 \left[1 + \frac{0.5 Re_o^2 + 2 Re_o}{Re_o - 1 + \exp(Re_o)} \cdot \psi(Re_o) \right];$$
$$f(Re_o) = 0.5 - 1.5 \cdot c \cdot [0.5 Re_o + (Re_o^{-1} - 1) \cdot \exp(Re_o) - Re_o^{-1}]$$

5. Вычисляется приведённый параметр Сен-Венана:

$$Sen_{uc} = \frac{\tau_0 2h}{\eta v_{cp}}$$

6. Приведённые параметры Рейнольдса для щели:

$$Re_{uc}^* = \frac{Re_{uc}}{1 + 0.25 Sen}; \quad Re_{uc}^{**} = \frac{f(Re_o) Re_{uc}}{1 + 0.25 \psi_1(Re_o) Sen}$$

7. Коэффициенты гидравлического сопротивления:

$$\text{без учёта притока (оттока)} \quad \lambda = \frac{48}{\text{Re}_{\text{ц}}^*};$$

$$\text{с учётом притока (оттока)} \quad \lambda' = \frac{48}{\text{Re}_{\text{ц}}^{**}}$$

8. Снижение (повышение) гидравлических потерь составит:

$$\Delta = \left(1 - \frac{\lambda'}{\lambda}\right) \cdot 100\%$$

9. Варьируя значением объёмной проницаемости $Q_0 \cdot 10^5, \text{ м}^3/\text{с}$ в пределах $\pm 10\%$ оценить изменение коэффициента гидравлического сопротивления.

10. Построить графики $\lambda' = f(Q_0)$ и $\Delta = f(Q_0)$ для нескольких значений объёмной проницаемости.

11. Сформулировать вывод по работе.

Вопросы для самоконтроля

1. Почему необходимо учитывать явление притока (оттока) бурового раствора в процессе промывки скважины? Что лучше приток или отток?

2. Какой процесс (приток или отток) происходит для варианта вашего задания?

3. Как влияет объёмная проницаемость стенки скважины на коэффициент гидравлического сопротивления?

Лабораторная работа №3. Исследование влияния формы и условий движения частиц шлама на подачу насосов при промывке скважин

Одной из основных функций бурового раствора при бурении скважин является обеспечение выноса на поверхность разрушенной на забое и осыпающейся со стенок породы (шлама). При этом, качество очистки ствола скважины достигается надлежащим выбором режима промывки и свойств бурового раствора. Геометрия и условия движения частиц шлама непосредственно влияют на режим промывки скважины и на подачу насосов.

Цель работы: исследование процессов очистки скважины от шлама с применением ЭВМ и расчётных программ.

Задание

Исследовать влияние формы (правильный многогранник или цилиндр) и условий движения частиц (перпендикулярно или параллельно потоку раствора) шлама на подачу насосов при промывке скважин.

Варианты заданий приведены в таблице 3.

Ход выполнения лабораторной работы № 3

1. Производится расчёт для правильного многогранника, после для цилиндра. Движение многогранника относительно потока всегда одинаково, а цилиндр может двигаться по разному, а именно его ось симметрии может быть параллельна или перпендикулярна потоку, поэтому необходимо рассмотреть 2 случая движения цилиндра.
2. По приложению 1 рассчитывается длина ребра правильного многогранника (только для многогранника). Согласно приложению 1.1 определяется характерный размер частиц – l , м (как для многогранника, так и для цилиндра).

Таблица №3 – Варианты заданий к лабораторной работе №3

Исходные данные	Последняя цифра шифра зачётной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
диаметр скважины D , м	0.190	0.226	0.220	0.200	0.224	0.219	0.226	0.218	0.220	0.228
наружный диаметр бурильных труб d_n , м	0.150	0.186	0.170	0.160	0.186	0.182	0.186	0.176	0.185	0.175
плотность бурового раствора ρ , кг/м ³	1300	1550	1250	1350	1250	1300	1320	1400	1380	1400
плотность частицы ρ_c , кг/м ³	2300	2220	2450	2350	2370	2300	2400	2450	2350	2320
динамическое напряжение сдвига τ_0 , Па	2.0	4.1	4.0	3.2	4.0	3.9	3.0	3.2	2.6	2.9
пластическая вязкость η , Па · с	0.045	0.054	0.086	0.025	0.080	0.089	0.065	0.054	0.061	0.048
Тип частицы шлама										
многогранник	Октаэдр			Куб				Тетраэдр		
диаметр описанной окружности d , м	0.01	0.02	0.015	0.017	0.012	0.008	0.015	0.02	0.015	0.022
цилиндр – δ/d , м	0.001/ 0.01	0.21/ 0.02	0.001/ 0.015	0.18/ 0.017	0.001/ 0.012	0.1/ 0.008	0.001/ 0.015	0.21/ 0.02	0.0012 /0.015	0.23/ 0.022

где δ – высота цилиндра, d – диаметр цилиндра (для цилиндра).

3. Рассчитать параметр m , учитывающий влияние формы частицы и ориентацию относительно направления осаждения по приложению 1.2. Для правильного многогранника высоту δ принять равной диаметру описанной окружности d .

4. Последовательно рассчитать параметры:

- параметр Архимеда: $Ar = g\rho l^3(\rho_c - \rho)/\eta^2$;
- параметр Хедстрема для частицы: $He_c = \tau_0\rho l^2/\eta^2$;
- приведенный параметр Архимеда: $Ar_* = Ar - 6He_c$;

Считая, что $2h = (D - d_n)/2$, то ширина щелевого канала $h = (D - d_n)/4$.

– коэффициент влияния формы частицы и стенок канала при ламинарном обтекании падающей частицы в плоской трубе:

$$a_1 = m \left[1 - (l/2h) + 0.42(l/2h)^3 \right];$$

– коэффициент влияния формы частицы и стенок канала при турбулентном обтекании падающей частицы:

$$a_2 = 0.7(0.5 + \delta/d) - 0.16l/h;$$

– параметр Рейнольдса для частицы:

$$Re_c = Ar_* / \left(18/a_1 + 0.61\sqrt{Ar_*}/a_2 \right);$$

– параметр Хедстрема при течении в кольцевом канале:

$$He_k = \tau_0\rho(D - d_n)^2/\eta^2;$$

– критическое значение параметра Рейнольдса:

$$Re_{kp} = 800 \left(1 + \sqrt{1 + 3 \cdot 10^{-4} He_k} \right);$$

– критический параметр течения:

$$N_{Re} = \frac{l}{D - d_n} \left(\frac{Re_{kp}}{3.5} + \frac{He_k}{100} \right);$$

– полученное значение критического параметра течения N_{Re} сопоставляется со значением параметра Рейнольдса для частицы согласно условию:

если $Re_q < N_{Re}$, то присутствует ламинарное обтекание частицы:

$$Re_k \geq 3.5 \left(\frac{D - d_n}{l} Re_q - \frac{He_k}{100} \right);$$

если $Re_q > N_{Re}$, то присутствует турбулентное обтекание частицы:

$$Re_k \geq \frac{D - d_n}{l} \frac{Re_q}{1 - 1.12\sqrt{\lambda}};$$

коэффициент гидравлических потерь λ принять из диапазона $\lambda = 0.02 \dots 0.04$.

– рассчитывается подача насосов, м³/с :

$$Q_{min} = \frac{\pi \eta (D + d_n)}{4\rho} Re_k;$$

– скорость течения раствора в затрубном пространстве скважины, м/с:

$$v_{cp} = \frac{Q_{min}}{\frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_n^2)};$$

– скорость осаждения частицы, м/с:

при ламинарном обтекании, если $Re_q < N_{Re}$:

$$v_{oc} = a_1 \left[\frac{gl^2(\rho_q - \rho)}{18\eta} - \frac{\tau_0 l}{3\eta} \right];$$

при турбулентном обтекании, если $Re_q > N_{Re}$:

$$v_{oc} = 1.74 a_2 \sqrt{gl \cdot (\rho_q / \rho - 1)};$$

- минимальное время промывки скважины глубиной L , составит, с:

$$\tau_{\min} = L / (v_{cp} - v_{oc});$$

глубину скважины принять из диапазона $L = 800 \dots 3000$ м.

4. Оценить влияние формы частицы и её ориентации в потоке (движущейся параллельно с направлением или перпендикулярно, где это возможно, направлению осаждения в канале) на подачу насосов и время промывки скважины.
5. Сформулировать вывод по работе.

Вопросы для самоконтроля

1. От каких параметров зависит подача насосов и время промывки скважины?
2. Через какой параметр учитывается режим течения?
3. Отличается ли время на помывку скважины для частиц типа правильный многогранник и цилиндр? Чем объясняются эти различия?
4. Как изменится время на промывку скважины, если частица типа цилиндр будет двигаться перпендикулярно потоку, а не параллельно ему. Чем это объясняется?

Лабораторная работа №4. Исследование влияния величины внешнего давления горной породы на крепь ствола обсадной колонны во временном интервале

После установки обсадной колонны на стенки будет воздействовать давление горной породы. Максимальная величина этого давления приходится на крепь ствола. Для специалиста важно знать изменение давления горной породы во временном интервале, так как от его максимального значения будет определяться срок эксплуатации скважины и физико-механические свойства материала обсадной колонны.

Цель работы: исследование процессов взаимодействия крепи ствола обсадной колонны и горной породы во времени с применением ЭВМ и расчётных программ.

Задание

Основываясь на вязкопластичной модели горных пород исследовать влияние величины внешнего давления горной породы на крепь ствола обсадной колонны во временном интервале. Варианты заданий приведены в таблице 4.

Ход выполнения лабораторной работы № 4

1. Определяются модули сдвига материала трубы и цементного камня, МПа:

$$G_1 = \frac{E_1}{2(1+\nu)}; \quad G_2 = \frac{E_2}{2(1+\nu)}$$

2. Вычисляется значение жёсткости крепи ствола скважины, МПа/м:

$$C = \frac{1}{2R(1-\nu)} \left[G_1 \left(1 - \frac{R_1^2}{R^2} \right) + G_2 \left(1 - \frac{R_2^2}{R^2} \right) \right]$$

Таблица №4 – Варианты заданий к лабораторной работе №4

Исходные данные	Последняя цифра шифра зачётной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Внутренний и внешний радиусы трубы R_1/R_2 , м	0.70 /0.74	0.71 /0.75	0.73 /0.74	0.72 /0.73	0.70 /0.74	0.72 /0.76	0.71 /0.73	0.72 /0.74	0.74 /0.78	0.73 /0.77
Внешний радиус цементной оболочки R , м	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	0.94	0.93	0.92	0.91
Тип горных пород	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Глубина скважины H , м	3000	3100	3200	3300	3400	3500	3600	3700	3800	3900
Средняя плотность пород ρ_2 , кг/м ³	2500	2550	2450	2480	2540	2520	2600	2570	2580	2460
Заданный период времени t , лет	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Значения модулей Юнга для материала трубы $E_1 = 2 \cdot 10^5$ МПа и цементного камня $E_2 = 2 \cdot 10^4$ МПа, а также величину среднего значения коэффициента Пуассона $\nu = 0.3$ для трубы и цементного камня принять постоянными.

3. Определяется модуль объёмного сжатия горной породы, МПа:

$$K = \frac{E_c}{3(1-2\nu_c)}$$

4. Вычисляется приведённый модуль объёмного сжатия (расширения) горной породы (значения $\alpha, \beta, E_c, \nu_c$ выбираются по приложению 2), МПа:

$$\bar{K} = \frac{K}{(1 + \alpha t^\beta)}$$

где t – заданный период времени в [с].

5. Значение бокового горного давления, создаваемого горой породой, Па:

$$\Delta p_c = Hg\rho_c$$

6. Вычисляется горное давление на крепь за конечный промежуток времени, Па:

$$p_c(t) = \frac{CR\Delta p_c}{2K} \left(\frac{K + 0.5CR}{\bar{K} + 0.5CR} - 1 \right)$$

7. Для различного временного интервала оценить горное давление на крепь. Построить график зависимости $p_c(t)$.
8. Сформулировать вывод по работе.

Вопросы для самоконтроля

1. На какой модели горных пород проводится исследование влияния величины внешнего давления горной породы на крепь ствола обсадной колонны во временном интервале?
2. Где в скважине возникает максимальное значение бокового горного давления?
3. Как изменяется давление горной породы на крепь ствола обсадной колонны по времени?

Список рекомендуемой литературы

1. Рабинович, Н. Р. Инженерные задачи механики сплошной среды в бурении / Н. Р. Рабинович. – М. : Недра, 1989. – 270 с.

Литература находится в свободном доступе на сервере в компьютерных аудиториях кафедры "Разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений".

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Длины рёбер правильных многогранников

Многогранник	Октаэдр	Куб	Тетраэдр
Длина ребра a	$\frac{\sqrt{2}}{2}d$	$\frac{\sqrt{3}}{3}d$	$\frac{\sqrt{6}}{3}d$

где d – диаметр описанной окружности.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.1

Характерный размер частицы

Параметры формы частиц	Правильный многогранник с длиной ребра a			Цилиндр диаметром d и высотой δ
	Октаэдр	Куб	Тетраэдр	Ось симметрии // и $\perp v_{oc}$
l	$0.89a$	$1.24a$	$0.61a$	$1.14\sqrt[3]{d^2\delta}$

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.2

Параметр m , учитывающий влияние формы частицы и её ориентацию

Условие	Ось симметрии // v_{oc}
$\delta/d \leq 0.1$	$m = 1.35\sqrt[3]{\delta/d}$
$\delta/d \geq 10$	$m = (0.2 + \ln(\delta/d))/0.6(\delta/d)^{2/3}$
$0.1 < \delta/d < 10$	$m = 1$
Условие	Ось симметрии $\perp v_{oc}$
$\delta/d \leq 0.1$	$m = 2.0\sqrt[3]{\delta/d}$
$\delta/d \geq 10$	$m = (1.2 + \ln(\delta/d))/1.16(\delta/d)^{2/3}$
$0.1 < \delta/d < 10$	$m = 1$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Значения параметров ползучести α и β , модуля Юнга и коэффициента Пуассона для некоторых горных пород

№	Тип горной породы	α	β	$E_e, 10^4$ МПа	ν_e
1	Постоянные породы	0.1000	0.300	6.00	0.30
2	Песчаник	0.0046	0.283	1.57	0.21
3	Глина	0.0100	0.200	3.16	0.22
4	Алевролит	0.0368	0.285	6.21	0.29

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Структура отчёта

1. Титульный лист

Министерство образования и науки РФ
ФГОУ ВПО "Удмуртский государственный университет"
Институт нефти и газа им. М.С. Гучериева
Кафедра разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений

Отчёт по лабораторной работе №1
по дисциплине «Механика сплошной среды»
вариант № 5

Проверил:
к.т.н., доцент

С.С. Макаров

Выполнил:
студент, гр. ОБ-131012-11

И.И. Иванов

Ижевск 2014

2. Условие задания и исходные данные

Цель работы: исследование процессов движения жидкости по трубам и в затрубном пространстве скважины с применением ЭВМ и расчётных программ.

Задача: исследовать влияние факторов процесса установившейся циркуляции бурового раствора по трубам и в затрубном пространстве на величину суммарных гидравлических потерь.

Исходные данные

Плотность бурового раствора	$\rho = 1500 \text{ кг/м}^3$
Динамическое напряжение сдвига	$\tau = 4 \text{ Па}$
Пластическая вязкость	$\eta = 0,03 \text{ Па} \cdot \text{с}$
Подача насосов	$Q = 0,03 \text{ м}^3/\text{с}$
Диаметр скважины	$D = 0,214 \text{ м}$
Наружный диаметр БТ	$d_{н1} = 0,14 \text{ м}$
Внутренний диаметр БТ	$d_{в1} = 0,121 \text{ м}$
Длина БТ	$L1 = 300 \text{ м}$
Наружный диаметр УБТ	$d_{н2} = 0,178 \text{ м}$
Внутренний диаметр УБТ	$d_{в2} = 0,08 \text{ м}$
Длина УБТ	$L2 = 70 \text{ м}$
Плотность воды	$\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$
Динамическая вязкость воды	$\mu = 0,001 \text{ Па} \cdot \text{с}$

3. Рисунки и расчётные схемы к задаче (если они нужны) оформленные по ГОСТ 2.105 - 95

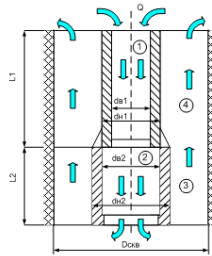


Рисунок 1 – Схема движения бурового раствора в скважине

4. Расчётная часть (с необходимыми графиками по результатам расчёта оформленными по ГОСТ 2.105 - 95)

Последовательно определяются параметры в трубах

1. Определяется средняя скорость потока:

$$V1 = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot (d_{в1})^2} \quad V1 = 2,274 \text{ м/с}$$

$$V2 = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot (d_{в2})^2} \quad V2 = 2,898 \text{ м/с}$$

10. Рассчитываются потери давления в затрубном пространстве:

$$\Delta P_{1z} = \lambda_{1z} \cdot \frac{L1}{D - d_{ст1}} \cdot \frac{\rho \cdot V_{1z}^2}{2} \cdot 10^{-6} \quad \Delta P_{1z} = 0,379 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_{2z} = \lambda_{2z} \cdot \frac{L2}{D - d_{ст2}} \cdot \frac{\rho \cdot V_{2z}^2}{2} \cdot 10^{-6} \quad \Delta P_{2z} = 3,197 \text{ МПа}$$

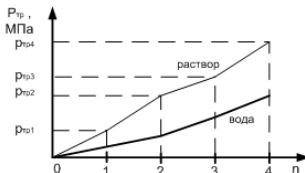


Рисунок 2 – Потери давления при движении бурового раствора и воды по участкам

В ходе выполнения практической работы №1 определены потери давления по участкам колонны труб при течении бурового раствора в трубном и затрубном пространствах. Значения потерь давления для 4-х участков составляют: $\Delta P1 = 4,56 \text{ МПа}$, $\Delta P2 = 0,1 \text{ МПа}$, $\Delta P3 = 3,2 \text{ МПа}$, $\Delta P4 = 0,38 \text{ МПа}$

5. Вывод по задаче

Вывод

Путевые потери на участках 1 и 3 получились на порядок больше, чем на участках 2 и 4, так как длина БТ в 40 раз больше длины УБТ. Путевые потери давления в первую очередь зависят от скорости течения и длины участков. По известному значению суммарных гидравлических потерь $\Delta P = 8,24 \text{ МПа}$ возможно подобрать насосное оборудование для промывки скважины. Определено, что воду качать на 71% легче, чем буровой раствор. Это связано, в первую очередь, с меньшей вязкостью воды.

Учебное издание

Сергей Сергеевич Макаров

Константин Эдуардович Чекмышев

**Методические указания
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Механика сплошной среды»**

Авторская редакция

Подписано в печать 26.12.2014. Формат 60×48 $\frac{1}{6}$.

Усл. печ. л. 2,1. Уч.-изд. л.1,4.

Тираж 30 экз. Заказ № 0000.

Изд-во «Удмуртский университет»
42603, Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 4, каб. 207
Тел. (3412) 500-295