

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Романчук Иван Сергеевич  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 04.03.2025 12:59:55  
Уникальный программный ключ:  
6319edc2b582ffdacea443f01d5779368d0957ac34f5cd074d81181530452479

Приложение к  
рабочей программе  
дисциплины

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Наименование дисциплины	Физика нефтегазового пласта
Направление подготовки / Специальность	01.03.03 Механика и математическое моделирование
Направленность (профиль) /Специализация	Механика жидкости, газа и плазмы
Форма обучения	Очная
Разработчик	Игошин Д. Е., профессор кафедры фундаментальной математики и механики

## **Требования и рекомендации по выполнению самостоятельных работ обучающихся, критерии оценивания.**

### Изучение лекционного материала

Рекомендации по выполнению.

Помимо записей лекций, рекомендуется обратиться к следующим учебникам:

### **Основная литература:**

1. Михайлов Н.Н. Физика нефтяного и газового пласта (Физика нефтегазовых систем). Макс-пресс. М. 2008. т 1, 447 с.
2. Карманский, А. Т. Физика нефтяного и газового пласта: учебное пособие для вузов. СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г. В. Плеханова (технический университет) (СПбГИ (ТУ)), 2010, 97 с.

### **Дополнительная литература:**

1. Петрофизика. Справочник в трех книгах. Книга первая.
2. Горные породы и полезные ископаемые. Под ред. Н.Б. Дортман. М., Недра. 1992, 391с.
3. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. Учебник. М., Недра, 1984, 359 с.
4. Вахитов Г.Г., Симкин Э.М. Использование физических полей для извлечения нефти из пластов. М., Недра, 1985, 231 с.
5. Гиматудинов Ш.К. Физика нефтяного и газового пласта. Учебник / Гиматудинов Ш.К.,
6. Ширковский А.И. - М., Недра, 1982, 311 с.

### Рекомендации по самоподготовке к промежуточной аттестации по дисциплине

Оценка студента в рамках модульно-рейтинговой системы оценок является интегрированной оценкой выполнения студентом заданий во время практических занятий, домашних заданий, контрольных работ. Эта оценка характеризует уровень сформированности практических умений и навыков, приобретенных студентом в ходе изучения дисциплины:

61 – 75 баллов — удовлетворительно;

76 – 90 баллов — хорошо;

91 –100 баллов — отлично.

Неуспевающие студенты или студенты, желающие повысить оценку, на зачете должны написать письменную работу. Билеты для зачета включают: теоретический вопрос по курсу дисциплины и две задачи из числа разобранных на семинарах и предлагавшихся на контрольных работах.

**Типовые задачи** на расчет дебита фильтрующейся жидкости для различных видов пористости.

#### *1. Оценка дебита жидкости при линейном режиме равномерной фильтрации*

Рассмотрим случай субкапиллярной фильтрации, т.е. фильтрация равномерная и проходит через всю площадь образца, имеющего субкапиллярную пористость.

Дебит жидкости при линейном режиме оценивается уравнением Дарси:

$$Q = k_{\text{пр}} \cdot F \frac{\Delta P}{\mu \cdot L},$$

где  $k_{\text{пр}}$  — проницаемость, м<sup>2</sup>;  $F$  — площадь фильтрации, м<sup>2</sup>;  $\Delta P$  — перепад давления, Па;  $\mu$  — вязкость, Па·с;  $L$  — длина, м.

**Задача 1.** Дан кубик породы размером 10х10х10 см, имеющий проницаемость  $k_{\text{пр}}$ , через который фильтруется жидкость при градиенте давления ( $\Delta P/L$ ). Определить дебит жидкости.

Таблица 1. Исходные данные для задачи №1

<b>B</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
$k_{np}$	8	12	10	11	15	9	18	13	14	10	11
$\mu$	2,0	1,3	3,0	2,5	3,0	1,5	2,0	1,3	3,0	1,2	1,4
$\Delta P/L$	0,3	0,26	0,31	0,32	0,33	0,35	0,3	0,36	0,31	0,28	0,26
$N_k$	1	2	1	2	3	2	1	3	2	1	3
$D_k$	0,18	0,2	0,22	0,24	0,25	0,16	0,3	0,27	0,28	0,24	0,16
$L_{mp}$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$h_{mp}$	0,15	0,16	0,18	0,17	0,19	0,22	0,21	0,28	0,27	0,28	0,23
<b>B</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>
$k_{np}$	13	17	20	12	13	11	9	13	16	17	8
$\mu$	1,8	2,0	2,2	2,5	3,0	2,8	2,2	1,1	1,3	1,1	1,8
$\Delta P/L$	0,3	0,24	0,22	0,23	0,26	0,25	0,3	0,36	0,26	0,27	0,24
$N_k$	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1
$D_k$	0,15	0,22	0,23	0,24	0,33	0,28	0,26	0,3	0,18	0,19	0,21
$L_{mp}$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$h_{mp}$	0,22	0,21	0,23	0,19	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,22
<b>B</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>
$k_{np}$	9	12	13	10	11	9	15	14	16	11	17
$\mu$	1,6	1,9	2,0	3,0	1,4	1,8	1,6	2,2	2,0	2,1	1,3
$\Delta P/L$	0,2	0,22	0,24	0,25	0,31	0,32	0,28	0,24	0,25	0,28	0,31
$N_k$	2	1	2	1	2	3	2	1	1	2	3
$D_k$	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,3	0,31	0,29	0,28	0,18
$L_{mp}$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$h_{mp}$	0,24	0,26	0,28	0,16	0,25	0,26	0,27	0,18	0,23	0,24	0,22

2. Оценка дебита жидкости при фильтрации через неравномерно-проницаемый коллектор

Проницаемость жидкости при фильтрации через капилляр оцениваем из соотношения уравнений Дарси:

$$Q = k_{np} \cdot F \frac{\Delta P}{\mu \cdot L}$$

и Пуазейля:

$$Q = \frac{F \cdot r^2 \cdot \Delta P}{8 \cdot \mu \cdot L},$$

откуда

$$k_{np \text{ кап}} = \frac{r^2}{8}.$$

где  $k_{np \text{ кап}}$  — проницаемость при фильтрации жидкости через капилляр,  $m^2$ ;  $F$  — площадь фильтрации,  $m^2$ ;  $\Delta P$  — перепад давления, Па;  $\mu$  — вязкость, Па·с;  $L$  — длина, м.

После преобразования коэффициента проницаемости и радиуса капилляра к одной размерности получим эмпирическое уравнение для оценки коэффициента проницаемости при фильтрации жидкости через капилляр:

$$k_{np \text{ кап}} = 12,5 \cdot 10^6 r^2.$$

**Задача 2.** Дан кубик породы размером 10x10x10 см, имеющий проницаемость  $k_{np}$ , через который фильтруется жидкость вязкостью при градиенте давления ( $\Delta P/L$ ). В этом кубике существует один капилляр диаметром  $D_k$ . На сколько увеличится суммарный дебит при прочих равных параметрах  $\mu$  и  $\Delta P/L$ ?

Таблица 2. Исходные данные для задачи №2

<b>B</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
$k_{np}$	9	20	13	17	9	16	18	19	15	12	13
$\mu$	1,6	1,7	3,0	1,6	1,8	1,9	2,8	3,0	2,0	2,0	1,3
$\Delta P/L$	0,4	0,28	0,35	0,37	0,39	0,4	0,22	0,28	0,3	0,28	0,24
$N_k$	2	1	2	1	2	3	2	1	1	1	2
$D_k$	0,22	0,26	0,3	0,31	0,28	0,29	0,26	0,2	0,25	0,18	0,2
$L_{mp}$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$h_{mp}$	0,2	0,26	0,26	0,28	0,29	0,3	0,18	0,26	0,24	0,27	0,18
<b>B</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>
$k_{np}$	11	9	13	16	17	8	9	12	13	10	11
$\mu$	3,0	2,5	3,0	1,5	2	1,3	3,0	1,2	1,4	1,8	2,0
$\Delta P/L$	0,25	0,28	0,31	0,4	0,28	0,35	0,37	0,39	0,4	0,22	0,28
$N_k$	1	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
$D_k$	0,22	0,24	0,25	0,16	0,3	0,27	0,28	0,24	0,16	0,15	0,22
$L_{mp}$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$h_{mp}$	0,23	0,24	0,22	0,2	0,26	0,26	0,28	0,29	0,3	0,18	0,26
<b>B</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>
$k_{np}$	9	8	12	10	11	15	9	18	13	14	10
$\mu$	2,2	2,5	3,0	2,8	2,2	1,1	1,3	1,1	1,8	1,6	1,9
$\Delta P/L$	0,3	0,23	0,26	0,25	0,3	0,36	0,26	0,27	0,24	0,2	0,22
$N_k$	1	2	1	1	2	3	2	1	2	1	2
$D_k$	0,23	0,24	0,33	0,28	0,26	0,3	0,22	0,19	0,21	0,22	0,23
$L_{mp}$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$h_{mp}$	0,24	0,15	0,16	0,18	0,17	0,19	0,18	0,21	0,28	0,27	0,28

### 3. Оценка дебита жидкости при фильтрации через трещиноватый коллектор

Допустим, в кубике с субкапиллярной проницаемостью вместо канала имеется трещина вдоль всего образца шириной  $L_{тр}$ , высотой  $h_{тр}$ . Оценить проницаемость трещины (щели) для жидкости, фильтрующейся через образец, можно, используя соотношение уравнений Буссинеска и Дарси:

$$\Delta P = \frac{12 \cdot \mu \cdot v \cdot L_{тр}}{h_{тр}^2},$$

$$\Delta P = \frac{\mu \cdot v \cdot L_{тр}}{k_{пр,тр}},$$

где  $k_{пр,тр}$  — проницаемость при наличии трещиноватой фильтрации,  $m^2$ ;  $v$  — линейная скорость движения жидкости, м/с;  $\Delta P$  — перепад давления, Па;  $\mu$  — вязкость, Па·с;  $L_{тр}$  — длина трещины, м;  $h_{тр}$  — высота трещины, м. Приведя параметры к одной размерности в единицах измерения нефтепромысловой геологии, получим эмпирическое уравнение для оценки коэффициента проницаемости при трещиноватой фильтрации:

$$k = 83,3 \cdot 10^5 h^2.$$

**Задача 3.** Дан кубик породы размером  $10 \times 10 \times 10$  см, имеющий проницаемость  $k_{пр}$ , через который фильтруется жидкость при градиенте давления ( $\Delta P/L$ ). В этом кубике будет существовать одна трещина шириной  $L_{тр}$ , высотой  $h_{тр}$ . На сколько увеличится суммарный дебит при прочих равных параметрах  $\mu$  и  $\Delta P/L$ ? Исходные данные представлены в таблице 1, имеющие следующие обозначения:  $k_{пр}$  — проницаемость при субкапиллярной фильтрации,  $mkm^2$ ;  $\mu$  — вязкость жидкости,  $mPa \cdot s$ ;  $\Delta P/L$  — перепад давления,  $MPa/m$ ;  $N_k$  — число капилляров;  $D_k$  — диаметр капилляра, мм;  $L_{тр}$  — длина трещин, см;  $h_{тр}$  — высота трещины, мм.

Таблица 3. Исходные данные для задачи №3

<b>B</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
$k_{np}$	11	13	17	20	15	14	16	11	17	9	20
$\mu$	2,0	3,0	1,4	1,8	1,6	2,2	2,0	2,1	1,3	1,6	1,7
$\Delta P/L$	0,24	0,25	0,31	0,32	0,3	0,26	0,31	0,32	0,33	0,35	0,3
$N_k$	3	2	1	1	2	2	2	1	2	1	2
$D_k$	0,25	0,26	0,27	0,28	0,3	0,31	0,29	0,28	0,18	0,2	0,26
$L_{mp}$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$h_{mp}$	0,23	0,22	0,21	0,23	0,19	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28
<b>B</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>
$k_{np}$	17	9	16	18	19	15	12	13	8	12	10
$\mu$	3	2,8	2,2	1,1	1,3	1,1	1,8	1,6	1,3	3	2,5
$\Delta P/L$	0,28	0,31	0,4	0,28	0,35	0,37	0,39	0,4	0,3	0,32	0,33
$N_k$	1	2	3	2	1	2	1	2	2	3	2
$D_k$	0,26	0,3	0,18	0,19	0,21	0,22	0,23	0,25	0,25	0,16	0,3
$L_{mp}$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$h_{mp}$	0,23	0,24	0,22	0,2	0,26	0,26	0,28	0,29	0,21	0,28	0,27
<b>B</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>
$k_{np}$	11	15	9	18	13	14	10	11	13	17	13
$\mu$	3	1,5	2	1,3	3	1,2	1,4	1,8	2	2,2	2,8
$\Delta P/L$	0,35	0,3	0,36	0,31	0,28	0,26	0,3	0,24	0,22	0,23	0,3
$N_k$	1	3	2	1	3	2	1	1	2	1	2
$D_k$	0,27	0,28	0,24	0,16	0,15	0,22	0,23	0,24	0,33	0,28	0,18
$L_{mp}$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$h_{mp}$	0,28	0,23	0,22	0,21	0,23	0,19	0,22	0,25	0,25	0,26	0,22

**Список вопросов для самоподготовки**

1. Классификация горных пород по происхождению. Свойства горных осадочных пород. Терригенные и карбонатные горные породы. Минералогический и гранулометрический состав пород.
2. Классификация горных пород по типам коллекторов. Типы цемент горных пород. Форма и окатанность частиц. Признаки породы-коллектора нефти и газа.
3. Пористость, кавернозность и трещиноватость. Классификация породколлекторов по размерам поровых каналов. Коэффициенты полной, открытой, эффективной и динамической пористости.
4. Проницаемость горных пород. Способы определения проницаемости горных пород. Приборы для определения абсолютной проницаемости. Вертикальная и горизонтальная проницаемость.
5. Капиллярные свойства и остаточная водонасыщенность пород. Структура пустотного пространства. Извилистость и проточность поровых каналов. Структурный коэффициент. Эффективный диаметр. Гидравлический радиус пустот. Распределение пустот по размерам в горной породе. Удельная поверхность горных пород.
6. Методы исследования структуры пород-коллекторов. Прочность. Твердость. Упругость. Пластичность. Сжимаемость. Набухаемость. Текучесть. Коэффициент объемной упругости горных пород. Методы определения механических свойств горных пород. Напряженное состояние горных пород в массиве. Нормальное и касательное напряжения.
7. Напряженное состояние горных пород в околоскважинном пространстве. Пластовое давление. Горное давление. Эффективное давление. Деформационные процессы в продуктивных пластах при их разработке.
8. Акустические свойства горных пород. Продольные и поперечные волны. Коэффициенты отражения и затухания. Факторы, влияющие на акустические свойства

- горных пород (давление, температура, насыщенность, структура и текстура горных пород).
9. Состав природных и попутных газов. Основные свойства газа. Плотность. Вязкость. Критические и приведенные параметры газа. Коэффициенты сверхсжимаемости газа.
  10. Зависимость свойств газа от его состава, давления и температуры. Влагосодержание газа. Состав и свойства газоконденсатных смесей.
  11. Нефтенасыщенность и методы ее определения. Состав нефти. Физико-химические, тепловые и электрические свойства пластовой нефти. Плотность. Вязкость.
  12. Растворимость газов в нефти. Закон Генри. Влияние газонасыщенности на физико-химические свойства нефти. Давление насыщения. Сжимаемость, объемный коэффициент и усадка нефти. Кривая разгазирования пластовой нефти.
  13. Состав пластовых вод. Плотность. Вязкость. Сжимаемость. Термическое расширение. Минерализация. Растворимость природных газов в пластовой воде. Влияние давления и температуры на физические свойства пластовых вод. Состояние остаточной воды в продуктивных коллекторах.
  14. Поверхностное натяжение на границах разделов сред. Смачиваемость горных пород-коллекторов нефти и газа. Гидрофильные и гидрофобные горные породы.
  15. Источники пластовой энергии. Физические основы вытеснения нефти и газа из пористых сред. Силы, действующие в пласте в процессе вытеснения нефти и газа водой. Механизм вытеснения нефти водой из фиктивного грунта. Механизм вытеснения нефти водой из реального грунта.
  16. Применение ПАВ для повышения нефтеотдачи. Поверхностно-активные вещества (ПАВ). Физико-химические основы повышения отдачи коллекторов. Экспериментальные исследования процессов вытеснения нефти и газа водой. Коэффициент вытеснения.
  17. Современные направления исследований в области физики нефтяного и газового пласта для решения задач повышения нефтеотдачи коллекторов.