

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное учреждение высшего
профессионального образования

«Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Институт геологии и нефтегазовых технологий

А.А.Губайдуллин, Ф.А.Губайдуллин, П.В.Исаев

СБОРНИК

Задач по физике пласта: практикум по курсу «Физика пласта» для студентов
(бакалавров и магистров) направления «Нефтегазовое дело» очной формы
обучения

Казань 2017

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ ПЛАСТА

Практикум для студентов (бакалавров и магистров) направления «Нефтегазовое дело» очной формы обучения Фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) коллекторов (Часть 1).

Составители: Ф.А. Губайдуллин, А.А. Губайдуллин, П.В. Исаев

Сборник задач по физике пласта: практикум по курсу «Физика пласта» для студентов (бакалавров и магистров) направления «Нефтегазовое дело» очной формы обучения / сост. А.А. Губайдуллин, Ф.А. Губайдуллин, П.В. Исаев – Казань: Изд-во КПФУ, 2017. – 40 с.

Практикум рассмотрен и одобрен на заседании кафедры разработки и эксплуатации месторождений трудноизвлекаемых углеводородов ИГ и НГТ, рекомендован к изданию методическим семинаром « 29» __апреля 2017 г., протокол № 2

И.О. зав. кафедрой разработки
и эксплуатации месторождений
трудноизвлекаемых углеводородов
ИГ и НГТ

_____ В.В. Зацепин

Председатель
учебно-методической комиссии _____

Рецензент

Доктор геолого-минералогических наук
профессор кафедры ИГ и НГТ

_____ О.Н. Лопатин

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Пористость пород-коллекторов.....	5
1.1. Пример расчета	6
1.2. Варианты самостоятельных работ.....	7
2. Проницаемость неоднородного пласта.....	9
2.1. Пример расчета средней горизонтально-линейной фильтрации в проницаемом пласте	11
2.1.1. Пример расчета	11
2.1.2. Варианты самостоятельных работ.....	13
2.2. Расчет средней проницаемости при линейной фильтрации через пачку изолированных слоев (пропластков) пласта.....	17
2.2.1. Пример расчета.....	18
2.2.2. Варианты самостоятельных работ.....	18
2.3. Средняя проницаемость пачки изолированных слоев (пропластков) при радиальной фильтрации.	22
2.3.1. Типовая задача.....	23
2.3.2. Варианты самостоятельных работ	24
3. Оценка дебита жидкости при различных типах фильтрации.....	31
3.1. Дебит жидкости при линейно-равномерной фильтрации.....	31
3.1.1. Пример расчета.....	32
3.2. Дебит жидкости при нелинейном режиме фильтрации.....	33
3.2.1. Пример расчета.....	35
3.3. Оценка дебита жидкости при фильтрации в трещине.....	36
3.3.1. Пример расчета.....	37
3.4. Варианты самостоятельных работ.....	38

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация нефтегазовых месторождений трудноизвлекаемых углеводородов связана с фильтрацией пластовых флюидов в пористой среде, осложненной зональной неоднородностью и ухудшенными фильтрационно-емкостными параметрами.

Свойства пластовых систем (пористых сред, пластовых флюидов) определяют эффективность разработки продуктивных коллекторов.

Поздняя стадия эксплуатации нефтегазовых месторождений с трудноизвлекаемых углеводородов сопровождается существенными изменениями коллекторских и физико-химических свойств пластовых систем (пород, пластовых флюидов).

Важно, что указанные свойства должны рассматриваться с учетом динамики изменения термо-барических параметров состояния конкретного месторождения.

Главными задачами данного практикума является:

- закрепление знаний по основным петрофизическим характеристикам нефтегазовых коллекторов, свойствам пластовых флюидов, включая фазовое равновесие углеводородных систем;
- отработка методов расчета основных свойств коллекторов и насыщающих их флюидов.

Практикум предназначен для студентов (бакалавров и магистров) по направлению «Нефтегазовое дело» очной формы обучения.

Практическая работа №1

Тема: Пористость пород-коллекторов.

Цель работы: Научиться применять понятия пористости при решении задач, связанных с фильтрационными процессами в пласте-коллекторе

Пористость – основная характеристика неоднородности структуры горной породы, отражающая наличие в ней пор и пустот.

Для нефтесодержащих пород пористость обозначается коэффициентом пористости.

Коэффициент пористости (m) определяется соотношением объема пор образца (V_n) и геометрического объема этого же образца (V_0).

$$m = V_n / V_0 \quad (1.1)$$

Выражается коэффициент пористости в долях единицы или в процентах к общему объему образца.

Пористость пород используется при проектной оценке балансовых и уточнения извлекаемых запасов нефти путем моделирования нефтевытеснения на реальных образцах пород-коллекторов (кернах).

Классифицируют следующие виды пористости пород.

- **Пористость общая** (абсолютная) – показатель, учитывающий суммарный объем пор в образце (*связанные между собой и отдельные изолированные поры*).

Рассчитывается общая пористость как разность между геометрическим объемом всего образца и объемом зерен породы, составляющих его структуру.

- **Пористость открытая** – показатель, учитывающий суммарный объем связанных между собой поровых каналов, через которые, при заданном давлении фильтруются пластовые флюиды. В данном показателе не учитываются поры через которые, при заданном давлении насыщения, флюид не фильтруется.

При проведении лабораторных измерений открытой пористости используется нейтральный к гинистым составляющим породы и хорошо фильтрующийся флюид (керосин и т.п.), насыщение образцов породы происходит под вакуумом.

- **Пористость динамическая** (*эффективная*), учитываются **только** транспортные поровые каналы, содержащие пластовый флюид в процессе фильтрации.

Объем субкапиллярных пор (*менее 0,0002 мм*) при оценке динамической пористости не учитывается.

Динамическая пористость может изменяться в зависимости от термобарических условия состояния пластовых флюидов.

Закрепить знания проведением самостоятельной проверочной работой
(письменный блиц-опрос)

1.1. Пример расчета

Необходимо рассчитать коэффициент открытой пористости керна по данным, указанным в таблице 1.1 (данные для расчетов получены гравиметрическим методом).

Дано:

Таблица 1.1

Наименование	Значение
1. Вес сухого образца на воздухе P_c , г	25,30
2. Вес на воздухе образца, насыщенного керосином P_k , г	27,20
3. Вес в керосине образца, насыщенного керосином $P_{к.к}$, г	21,50
4. Плотность керосина ρ_k , кг/м ³	0,80

Найти: m_o

- 1) Определить суммарный объем открытых связанных между собой поровых каналов:

$$V_{пор} = P_k - P_c \rho_k \quad (1.2)$$
$$V_{пор} = 27.2 - 25.3 / 0.80 = 2.375 \text{ см}^3.$$

- 2) Определить объем образца исследуемой породы

$$V_0 = P_k - P_{к.к} / \rho_k \quad (1.3)$$

$$V_0 = 27.2 - 21.5 / 0.80 = 7.125 \text{ см}^3.$$

- 3) Определить коэффициент открытой пористости:

$$m_o = V_{пор} / V_0$$

$$m_o = 2,375 / 7,125 = 0,33 \text{ или } 33\%$$

1.2 Варианты самостоятельных работ

Расчитать коэффициент открытой пористости керна по данным, указанным в таблице 1.2 (данные для расчетов получены гравиметрическим методом).

Условные обозначения:

P_c - вес сухого образца на воздухе, г;

P_K - вес на воздухе образца, насыщенного керосином, г;

$P_{K,K}$ - вес в керосине образца, насыщенного керосином, г;

Плотность керосина (ρ_K): 0,8 г/см³.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P_c	27,4	19,3	25,3	23,3	20	19,5	18,7	20,1	19	21,6	23,5
P_K	29,2	20,7	27,7	25,3	22,4	22,1	21,2	23,4	21,9	23,7	26,1
$P_{K,K}$	20,7	13,2	15,4	15,8	12,3	10,8	11	11,6	12,2	13,5	16,2
Вариант	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
P_c	19,5	20,4	25,5	27,2	19,5	25,3	22,3	20,5	19,7	19,7	20,1
P_K	21,2	23,2	28,1	29,5	20,7	28,7	24,3	22,4	22,1	22,2	22,4
$P_{K,K}$	14,5	14,5	17,2	21,2	13,2	15,4	15,8	12,3	10,8	12,1	11,6
Вариант	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
P_c	19,5	21,6	23,5	19,8	20,4	25,5	26,2	27,4	27,2	19,1	25,1
P_K	21,9	23,7	26,1	22,2	22,2	27,1	27,5	29,7	29,5	21	28
$P_{K,K}$	12,2	13,5	16,2	14,5	14,5	17,2	21,2	20,7	21,1	13,6	15,8
Вариант	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
P_c	23,1	19,8	19,3	18,5	19,9	18,8	21,4	23,3	19,3	20,2	25,3
P_K	25,6	22,7	22,4	21,5	22,7	21,2	24	25,8	21	22,1	28,4
$P_{K,K}$	16,2	12,7	11,2	11,4	12	12,6	13,9	16,6	14,9	14,9	17,6

Продолжение табл. 1.2

Вариант	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
Рс	27	19,3	25,1	22,1	20,3	19,5	19,5	19,9	19,3	21,4	23,5
Рк	28,8	21	29	24,6	22,7	22,4	22,5	22,7	22	24	26,4
Р_{к.к}	21,6	13,6	15,8	16,2	12,7	11,2	12,5	12	12,6	13,9	16,6
Вариант	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
Рс	20,6	20,8	25,3	26	27,2	27,6	19,5	25,5	23,5	20,2	19,7
Рк	22,5	22,5	27,4	27,8	29,5	29,1	21,5	27,8	25,2	22,3	22
Р_{к.к}	14,9	14,9	17,6	21,6	21,1	20,9	13,4	15,6	16	12,5	11
Вариант	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
Рс	18,9	20,3	19,2	21,8	23,7	19,7	20,6	25,7	27,4	19,7	25,5
Рк	21,1	23,3	21,8	23,6	26	21,1	23,1	28	29,4	22,1	28,6
Р_{к.к}	11,2	11,8	12,4	13,7	16,4	14,7	14,7	17,4	21,4	13,4	15,6
Вариант	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
Рс	22,5	20,7	19,9	19,9	20,3	19,7	21,8	23,7	20	20,6	25,7
Рк	24,2	22,8	22	22,1	22,3	21,8	23,6	26	22,1	22,1	28,2
Р_{к.к}	16	12,5	11	12,3	11,8	12,4	13,7	16,4	14,7	14,7	17,4
Вариант	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
Рс	26	27,6	27,3	19,2	24,8	23,2	19,9	19,4	18,6	20	19,5
Рк	27,4	29,6	29,3	20,8	27,8	25,4	22,5	22,2	21,3	23,5	22
Р_{к.к}	21,4	20,9	20,6	13,1	15,3	15,7	12,2	10,7	10,9	11,5	12,1

Контрольные вопросы на закрепление теоретического материала и выбор оптимального варианта самостоятельной работы

Практическая работа №2

Тема: Проницаемость пород-коллекторов.

Цель работы: Научиться применять понятия проницаемости при решении задач, связанных с фильтрационными процессами в пласте-коллекторе

Проницаемость неоднородного пласта

Способность поровых и трещиновато-поровых горных пород пропускать через себя определенные объемы флюидов (*воды, нефти, газа и их смесей*) при заданных пластовых давлениях и температурах называется **проницаемостью**.

Естественно, что кроме термобарических параметров состояния пластовой системы (*давления, температуры, объема порового пространства горных пород*) существенное влияние на проницаемость оказывают:

1. физико-химические свойства фильтрующихся пластовых флюидов;
2. открытая и эффективная пористость горных пород;
3. процессы взаимодействия фильтрующихся пластовых флюидов с поверхностью порового пространства;
4. техногенные факторы, приводящие к изменению термобарических параметров состояния пластовой системы и состава пластовых флюидов.

Естественно, что проницаемость одного и того же участка горной породы будет изменяться в зависимости от влияния вышеперечисленных факторов.

В проектах разработки и при планировании геолого-технологических мероприятий на конкретных участках месторождений принято оперировать терминами **абсолютной, фазовой и относительной** проницаемости.

Абсолютной проницаемостью горной породы называют ее пропускную способность по отношению к однофазному, химически

инертному по отношению к этой породе флюиду (как правило таким флюидом является воздух или инертный газ). При этом поровое пространство исследуемого образца горной породы должно быть свободно от других флюидов (воды, нефти и их смесей).

Фазовой (эффективной) проницаемостью горной породы называют ее пропускную способность по отношению к отдельному флюиду при наличии в поровом пространстве других флюидов (воды, нефти, газа и их смесей).

Относительной проницаемостью горной породы называют отношение ее **фазовой** (эффективной) проницаемости для определенного флюида (воды, нефти, газа и их смесей) к **абсолютной**.

Количественная оценка величины проницаемости (**k**) горных пород производится расчетным или экспериментальным методом на основании уравнения Дарси:

$$k = \frac{Q \mu \Delta L}{F \Delta P} \quad (2.1)$$

где:

Q – объемный расход жидкости в единицу времени;

μ – динамическая вязкость жидкости;

F – площадь фильтрации;

ΔP – перепад давления;

L – длина пористой среды.

Проницаемость образца горной породы будет равна 1 м² при следующих параметрах:

1. $Q = 1 \text{ м}^3/\text{с};$

2. $\mu = 1 \text{ Па}\cdot\text{с};$

3. $F = 1 \text{ м}^2;$

4. $\Delta P = 1 \text{ Па};$

5. $L = 1 \text{ м}.$

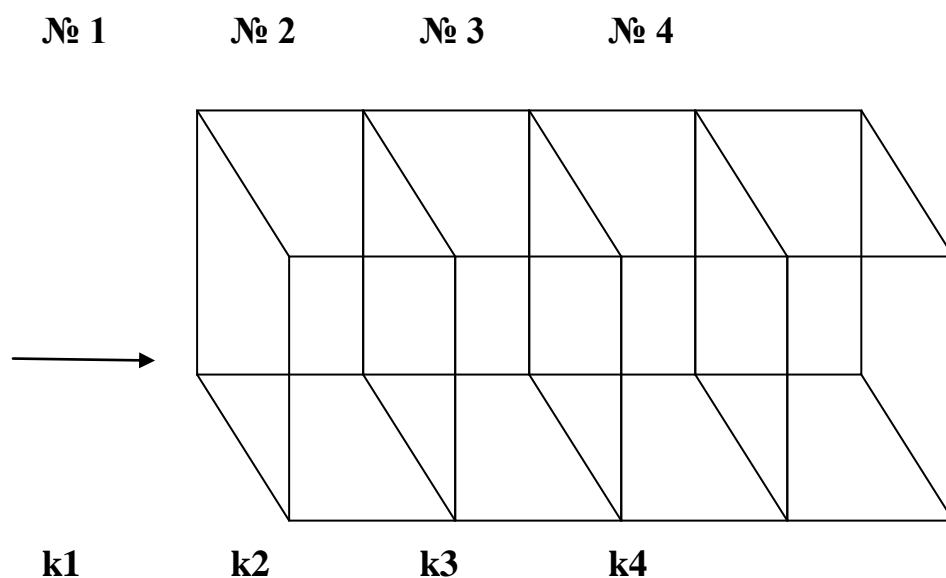
В основном проницаемость реальных продуктивных пород-коллекторов нефти находится в интервале $10^{-12} \div 10^{-15} \text{ м}^2$, поэтому используется единица проницаемости микрометр квадратный (мкм²).

На практике используется выражение проницаемости в единицах, называемых Дарси (Д)¹.

В случае плотных слабопроницаемых пород используется величина миллидарси (мД) равная 0,001 Д.

2.1. Пример расчета средней горизонтально-линейной фильтрации в проницаемом пласте.

Пропластки расположены параллельно-последовательно, формат фильтрации: горизонтально-линейный:



Средняя проницаемость пласта в данном случае рассчитывается по формуле:

¹ 1Д= 0,987 мкм².

$$k_{\text{пр}} \equiv \frac{L_{\text{общ}}}{\sum_{i=1}^n L_i / k_i} \quad (2.2)$$

где $k_{\text{пр}}$ - средняя проницаемость пласта;

k_i - проницаемость пропластков;

L_i - длина i -го пропластка;

$L_{\text{общ}}$ - общая длина пласта;

$L_{\text{общ}} = \sum L_i$, (для данного случая $n = 4$).

Определить среднюю проницаемость пласта для условий (Табл. 2.1).

Табл. 2.1

№ участка	L_i , м	k_i , мД
1	50	50
2	50	75
3	100	150
4	200	300

Найти: $k_{\text{пр}}$

Решение:

$$k_{\text{пр}} \equiv \frac{\sum_{i=1}^4 L_i}{\sum_{i=1}^4 L_i / k_i}$$

$$k_{np} \equiv \frac{50 + 50 + 100 + 200}{\frac{50}{50} + \frac{50}{75} + \frac{100}{150} + \frac{200}{300}} \equiv \frac{300}{3} \equiv 100 \text{мД}$$

2.1.2. Варианты самостоятельных работ

Рассчитать среднюю проницаемость k_{np} продуктивного пласта, состоящего из i - пропластков, длиной L_i , с проницаемостью k_i для случая горизонтально-линейной фильтрации (Табл. 2.2).

L_i – длина i -го пропластка, м;

k_i – проницаемость i -го пропластка, мД;

n_i – номер пропластков;

1, ..., 96 – номер варианта.

Табл. 2.2

Вариант	1		2		3		4		5		6	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	25	60	48	100	180	58	15	280	280	150	316	80
2	150	150	60	150	140	46	185	100	120	100	130	110
3	65	200	120	45	95	120	49	120	90	80	160	140
4	180	15	320	300	220	300	120	240	115	300	42	320
Вариант	7		8		9		10		11		12	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	98	40	145	150	25	60	180	150	65	150	115	80
2	122	50	280	80	48	100	150	80	120	150	42	110
3	130	300	46	260	180	50	260	280	220	46	240	80

4	240	250	38	185	15	280	150	300	49	100	38	300
Вариант	13		14		15		16		17		18	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	49	140	120	150	42	60	145	300	15	300	25	140
2	90	95	65	140	240	85	300	140	150	120	65	240
3	160	120	180	160	115	300	212	120	48	140	115	180
4	130	180	160	80	39	250	55	215	34	90	220	212

Продолжение Табл. 2.2

Вариант	19		20		21		22		23		24	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	120	319	128	300	130	200	120	200	82	95	142	140
2	220	300	143	140	160	400	42	350	34	115	25	160
3	48	205	240	30	39	150	65	180	35	280	48	80
4	50	140	160	220	55	80	240	190	49	330	160	320
Вариант	25		26		27		28		29		30	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	25	150	25	100	32	80	34	80	49	80	130	30
2	45	100	19	150	64	120	64	120	54	120	160	300
3	65	120	105	180	90	180	80	150	90	150	30	90
4	70	140	110	230	110	240	110	185	100	240	65	220
Вариант	31		32		33		34		35		36	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	80	200	80	140	40	35	25	100	35	80	40	120
2	50	115	120	160	60	300	50	150	62	60	80	150
3	35	35	42	80	90	150	60	180	39	60	90	185
4	42	330	50	90	120	220	110	230	100	150	35	190

Вариант	37		38		39		40		41		42	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	49	120	150	80	70	110	40	150	40	300	40	160
2	35	150	160	65	90	150	65	170	20	200	140	220
3	60	60	70	35	35	90	75	180	150	140	180	85
4	70	140	95	160	140	220	90	90	220	180	200	30
Вариант	43		44		45		46		47		48	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	25	160	48	300	180	150	15	110	280	80	316	120
2	150	220	60	200	140	170	185	150	120	65	130	150
3	65	85	120	140	95	180	49	90	90	35	160	60
4	180	30	320	180	220	90	120	220	115	160	42	140

Продолжение Табл. 2.2

Вариант	49		50		51		52		53		54	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	98	120	145	80	25	100	180	35	65	140	115	200
2	122	150	280	60	48	150	150	300	120	160	42	115
3	130	185	46	90	180	180	260	150	220	80	240	35
4	240	190	38	150	15	230	150	220	49	90	38	330
Вариант	55		56		57		58		59		60	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	49	30	120	80	42	80	145	80	15	100	25	150
2	90	300	65	120	240	120	300	120	150	150	65	100
3	160	90	180	150	115	150	212	180	48	180	115	120
4	130	220	160	240	39	185	55	240	34	230	220	140
Вариант	61		62		63		64		65		66	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i

1	120	140	128	95	130	200	120	200	82	300	142	319
2	220	160	143	115	160	350	42	400	34	140	25	300
3	48	80	240	280	39	180	65	150	35	30	48	205
4	50	320	160	330	55	190	240	80	39	220	160	140
Вариант	67		68		69		70		71		72	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	25	140	25	300	32	300	34	60	49	150	130	140
2	45	240	19	120	64	140	64	85	54	140	160	95
3	65	180	105	140	90	120	80	300	90	160	30	120
4	70	212	110	90	110	215	110	250	100	80	65	180

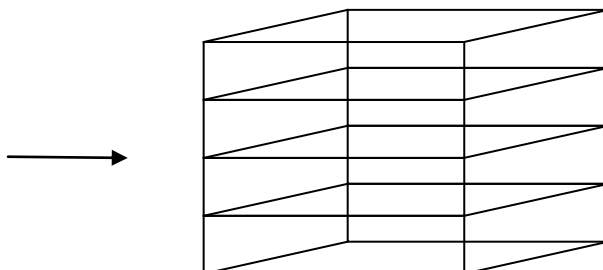
Продолжение Табл. 2.2

Вариант	73		74		75		76		77		78	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	80	80	80	150	40	150	25	60	35	150	25	160
2	50	110	120	150	60	80	50	100	62	80	80	150
3	35	80	42	46	90	280	60	50	39	260	46	260
4	42	300	50	100	120	300	110	280	100	185	100	80
Вариант	79		80		81		82		83		84	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	48	300	180	150	15	110	280	80	316	120	98	120
2	35	150	160	65	90	150	65	170	20	200	140	220
3	180	50	260	280	220	46	240	80	160	120	180	160
4	65	180	42	300	50	100	120	300	110	280	100	185

Вариант	85		86		87		88		89		90	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	80	150	25	60	280	150	25	60	49	140	145	300
2	120	150	60	150	130	110	150	80	65	160	150	120
3	180	50	95	120	110	300	220	46	115	300	115	180
4	180	30	120	240	38	185	49	300	55	215	50	140
Вариант	91		92		93		94		95		96	
n_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i	L_i	k_i
1	130	200	25	120	49	80	40	35	49	120	40	300
2	42	350	19	150	160	300	50	150	160	65	140	220
3	35	280	90	180	35	35	39	90	35	90	65	85
4	160	320	110	195	50	900	35	190	90	90	320	180

Контрольные вопросы на закрепление теоретического материала и выбор оптимального варианта самостоятельной работы

2.2.1. Расчет средней проницаемости при линейной фильтрации через пачку изолированных слоев (пропластков) пласта.



Изолированные пропластки располагаются условно параллельно. Для расчета отбираются участки пропластков с одинаковой длиной и шириной, мощности (высоты) пропластков отличаются друг от друга.

Средняя проницаемость пачки вышеуказанных изолированных пропластков определяется по формуле:

$$k_{np} \equiv \frac{\sum_{i=1}^n (k_i * h_i)}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (2.3)$$

где k_{np} – средняя проницаемость пачки изолированных пропластков;

k_i – проницаемость i -го пропластка;

h_i – мощность (высота) i -го пропластка.

Определить среднюю проницаемость пачки изолированных пропластков (Табл. 2.3) :

Табл. 2.3

№ пропластка	h_i , м	k_i , мД
1	3	50
2	7	75
3	1,5	150
4	4	300

Найти: k_{np}

Решение:

$$k_{np} \equiv \frac{\sum_{i=1}^4 (k_i * h_i)}{\sum_{i=1}^4 h_i}$$

$$k_{np} \equiv \frac{(50*3)+(75*7)+(150*1,5)+(300*4)}{3+7+1,5+4} \equiv \frac{2100}{15,5} \equiv 135,5 \text{ мД}$$

2. 2.2. Варианты самостоятельных работ

Определить среднюю проницаемость k пр среднюю проницаемость пачки изолированных пропластков, i -количество изолированных пропластков, мощностью (высотой) h_i , с проницаемостью k_i для линейной фильтрации (Табл.2.4).

h_i – мощность i -го пропластка, м;

k_i – проницаемость i -го пропластка, мД;

n_i – номер пропластков;

1, ..., 102 – номер варианта.

Табл. 2.4

Вариант	1		2		3		4		5		6	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	1,0	50	2,0	80	3,0	200	1,2	400	3,8	140	6,0	280
2	6,0	100	3,3	90	4,5	100	1,8	140	3,6	250	5,0	140
3	3,0	120	2,8	140	1,5	300	1,4	150	4,0	380	0,8	400
4	1,2	400	1,2	400	6,0	120	6,0	220	1,2	120	1,4	190
Вариант	7		8		9		10		11		12	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	5,0	100	1,8	220	1,3	140	1,5	300	8,2	200	5,0	280
2	1,2	200	1,6	140	4,2	380	4,2	150	1,2	400	4,5	140
3	1,6	420	3,2	180	6,0	300	6,2	120	1,4	140	1,2	300
4	3,8	140	4,8	150	1,8	180	1,4	90	6,0	120	1,5	120

Продолжение Табл. 2.4

Вариант	13		14		15		16		17		18	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	8,0	280	1,3	320	4,2	250	1,4	220	1,2	120	6,0	400
2	6,0	150	2,4	400	4,8	140	1,6	100	0,8	180	5,0	420

3	1,2	300	3,2	120	2,6	400	3,6	420	1,4	300	1,8	130
4	1,4	140	3,8	100	5,3	190	5,0	300	3,8	220	1,3	150
Вариант	19		20		21		22		23		24	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	1,5	120	1,2	380	1,0	150	2,0	180	5,0	120	8,0	140
2	4,2	140	3,8	380	3,3	140	1,2	200	1,2	400	2,0	200
3	1,6	300	6,0	420	4,5	200	1,8	300	1,4	120	1,2	80
4	4,8	150	3,6	180	6,0	300	6,0	150	3,8	300	0,9	140
Вариант	25		26		27		28		29		30	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	4,8	160	8,0	170	1,2	240	1,4	150	1,5	120	1,2	120
2	2,4	240	0,5	180	2,2	130	6,0	360	4,0	240	1,6	140
3	1,2	30	0,9	120	1,4	140	1,8	140	4,2	150	6,0	80
4	1,4	240	2,7	90	3,8	120	1,4	220	1,6	405	3,6	215
Вариант	31		32		33		34		35		36	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	1,2	140	1,4	80	2,0	60	4,2	380	4,8	220	8,0	140
2	1,4	150	6,8	120	5,0	120	5,0	100	2,4	140	0,5	60
3	6,0	240	3,2	310	1,8	140	1,4	80	1,2	450	0,9	180
4	4,5	80	4,1	110	1,2	280	2,9	115	1,4	120	1,1	320

Продолжение Табл. 2.4

Вариант	37		38		39		40		41		42	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	4,2	140	2,8	90	1,5	180	1,8	130	1,6	60	4,6	300

2	4,8	260	3,6	40	1,6	150	1,9	160	1,7	120	1,7	95
3	1,6	170	1,5	180	1,4	400	3,6	240	1,8	140	2,9	150
4	1,7	80	1,6	220	1,7	120	3,4	320	2,9	280	4,2	210
Вариант	43		44		45		46		47		48	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	1,0	300	2,0	60	3,0	130	1,2	180	3,8	90	6,0	140
2	6,0	95	3,3	120	4,5	160	1,8	150	3,6	40	5,0	260
3	3,0	150	2,8	140	1,5	240	1,4	400	4,0	180	0,8	170
4	1,2	210	1,2	280	6,0	320	6,0	120	1,2	220	1,4	80
Вариант	49		50		51		52		53		54	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	5,0	140	1,4	220	8,0	380	5,0	60	8,2	80	1,5	140
2	1,2	60	2,4	140	6,0	100	4,5	120	1,2	120	4,2	150
3	1,6	180	3,2	450	1,2	80	1,2	140	1,4	310	6,2	240
4	3,8	320	3,8	120	1,4	115	1,5	280	6,0	110	1,4	80
Вариант	55		56		57		58		59		60	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	1,3	120	1,8	120	4,2	150	1,4	240	1,2	170	6,0	160
2	4,2	140	1,6	240	4,8	360	1,6	130	0,8	180	5,0	240
3	6,0	80	3,2	150	2,6	140	3,6	140	1,4	120	1,8	30
4	1,8	215	4,8	405	5,3	220	5,0	120	3,8	90	1,3	240

Продолжение Табл. 2.4

Вариант	61		62		63		64		65		66	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	1,5	140	1,2	120	1,0	180	2,0	150	5,0	380	8,0	120
2	4,2	200	3,8	400	3,3	200	1,2	140	1,2	380	2,0	140
3	1,6	80	6,0	120	4,5	300	1,8	200	1,4	420	1,2	300
4	4,8	140	3,6	300	6,0	150	6,0	300	3,8	180	0,9	150
Вариант	67		68		69		70		71		72	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	4,8	400	8,0	120	1,2	220	1,4	250	1,5	320	1,2	280
2	2,4	420	0,5	180	2,2	100	6,0	140	4,0	400	1,6	150
3	1,2	130	0,9	300	1,4	420	1,8	400	4,2	120	6,0	300
4	1,4	150	2,7	220	3,8	300	1,4	190	1,6	100	3,6	140
Вариант	73		74		75		76		77		78	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	1,2	280	1,4	200	2,0	300	4,2	140	4,8	220	1,5	120
2	1,4	140	6,8	400	5,0	150	5,0	380	2,4	140	0,5	60
3	6,0	300	3,2	140	1,8	120	1,4	300	1,2	180	4,2	120
4	4,5	120	4,1	120	1,2	90	2,9	180	1,4	150	6,0	300
Вариант	79		80		81		82		83		84	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	1,2	120	1,2	140	1,4	80	2,0	60	4,2	380	4,8	220
2	4,8	260	3,6	40	1,6	150	1,9	160	1,7	120	1,7	95
3	6,0	300	6,0	300	3,2	140	1,8	120	1,4	300	1,2	180
4	3,8	180	0,9	150	1,4	150	2,7	220	3,8	300	1,4	190

Продолжение Табл. 2.4

Вариант	85		86		87		88		89		90	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	1,5	120	1	50	3,8	120	1,3	140	8	280	1,2	120
2	0,5	60	3,3	90	5	140	4,2	150	2,4	400	5	420
3	4,2	120	1,5	300	1,6	420	1,4	180	2,6	360	1,6	300
4	6,0	300	6	220	4,8	150	1,5	120	5	300	3,6	180
Вариант	91		92		93		94		95		96	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	1	150	4,8	160	1,5	120	2	60	4,2	140	1,6	60
2	1,2	200	0,5	180	1,6	140	5	100	3,6	40	1,7	95
3	1,4	120	1,4	140	6	240	1,2	450	1,4	400	3	150
4	0,9	140	1,8	220	4,1	110	1,1	320	3,4	320	1,2	280
Вариант	97		98		99		100		101		102	
n_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i	h_i	k_i
1	3	130	5	140	8,2	80	4,2	150	1,5	140	5	380
2	1,8	150	2,4	160	4,2	150	1,6	130	3,8	400	2	140
3	4	180	1,2	80	6	100	1,4	120	4,5	300	1,2	130
4	1,4	170	1,5	280	4,8	405	1,3	240	6	360	2,7	220

Контрольные вопросы на закрепление теоретического материала и выбор оптимального варианта самостоятельной работы

2.3. Средняя проницаемость пачки изолированных слоев (пропластков) при радиальной фильтрации.

Пачка изолированных друг от друга пропластков в окружности скважины для удобства расчетов выделены в форме цилиндрических дренируемых зон.

Радиус скважины – R_c , радиус контура питания – R_k , средняя проницаемость пачки рассчитывается по формуле:

$$k_{пр} \equiv \frac{\ln\left(\frac{R_k}{R_c}\right)}{\sum_{i=1}^n \frac{\ln\left(\frac{R_i}{R_{i-1}}\right)}{k_i}} \quad (2.4)$$

где: $k_{пр}$ – средняя проницаемость пласта, мД;

k_i – проницаемость зон, мД;

R_i – радиус i -той зоны, м;

R_c – радиус скважины, см;

R_k – радиус контура питания, м.

2.3.1. Типовая задача

Определить среднюю проницаемость пласта для условий (Табл.2.5).

Табл.2.5

№ пропластка	R_i , м	k_i , мД	R_c , м	R_k , м
1	120	50	0,15	120
2	45	75		
3	75	150		
4	90	300		

Найти: $k_{пр}$.

Решение:

$$k_{\text{пр}} \equiv \frac{\ln\left(\frac{R_{\kappa}}{R_c}\right)}{\sum_{i=1}^4 \frac{\ln\left(\frac{R_i}{R_{i-1}}\right)}{k_i}}$$

$$k_{\text{пр}} \equiv \frac{\ln\left(\frac{120}{0,15}\right)}{\frac{\ln\left(\frac{120}{0,15}\right)}{50} + \frac{\ln\left(\frac{45}{120}\right)}{75} + \frac{\ln\left(\frac{75}{45}\right)}{150} + \frac{\ln\left(\frac{90}{75}\right)}{300}} \equiv 53,2 \text{ мД}$$

2.3.2. Варианты самостоятельных работ

Определить среднюю проницаемость пачки изолированных слоев (пропластков):

i – количество слоев;

R_c – радиус скважины, м;

R_{κ} – радиус контура питания скважины, м;

R_i – радиусы дренируемых слоев, м;

k_i – проницаемость дренируемого слоя, мД.

1, ..., 100 – номер варианта.

Исходные данные представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6.

Вариант	1				2				3				4			
	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}
1	60	45	0,18	650	140	35	0,2	550	80	45	0,15	600	70	54	0,15	220
2	300	80	0,18	650	180	90	0,2	550	180	60	0,15	600	210	80	0,15	220
3	400	120	0,18	650	300	180	0,2	550	400	120	0,15	600	315	120	0,15	220
4	650	220	0,18	650	550	300	0,2	550	600	200	0,15	600	450	220	0,15	220
Вариант	5				6				7				8			

n_i	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}
1	120	40	0,14	500	90	60	0,18	650	100	90	0,2	320	90	85	0,15	480
2	180	200	0,14	500	220	120	0,18	650	180	130	0,2	320	120	130	0,15	480
3	400	210	0,14	500	420	200	0,18	650	220	140	0,2	320	400	230	0,15	480
4	500	240	0,14	500	650	220	0,18	650	320	280	0,2	320	480	300	0,15	480

Продолжение таблицы 2.6.

Вариант	9				10				11				12			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}
1	40	60	0,2	620	60	80	0,25	500	52	100	0,25	450	45	40	0,24	520
2	120	120	0,2	620	120	200	0,25	500	100	120	0,25	450	128	150	0,24	520
3	410	200	0,2	620	320	400	0,25	500	280	320	0,25	450	340	300	0,24	520
4	620	220	0,2	620	500	180	0,25	500	450	100	0,25	450	520	250	0,24	520
Вариант	13				14				15				16			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}
1	70	140	0,18	540	50	120	0,2	600	100	140	0,25	480	120	320	0,18	560
2	85	200	0,18	540	120	300	0,2	600	160	250	0,25	480	160	400	0,18	560
3	280	300	0,18	540	240	150	0,2	600	320	160	0,25	480	420	200	0,18	560
4	540	240	0,18	540	600	200	0,2	600	480	100	0,25	480	560	110	0,18	560
Вариант	17				18				19				20			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}
1	80	150	0,15	420	40	100	0,17	400	70	300	0,25	510	60	400	0,24	610
2	140	100	0,15	420	140	150	0,17	400	140	100	0,25	510	140	140	0,24	610
3	380	320	0,15	420	240	160	0,17	400	180	200	0,25	510	280	150	0,24	610

4	420	400	0,15	420	400	200	0,17	400	510	180	0,25	510	610	250	0,24	610
Вариант	21				22				23				24			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к
1	40	100	0,19	315	60	200	0,38	400	70	180	0,2	520	40	40	0,24	480
2	140	400	0,19	315	200	100	0,38	400	90	200	0,2	520	80	180	0,24	480
3	280	200	0,19	315	310	220	0,38	400	280	300	0,2	520	315	200	0,24	480
4	315	130	0,19	315	400	120	0,38	400	520	350	0,2	520	480	160	0,24	480

Продолжение таблицы 2.6.

Вариант	25				26				27				28			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к
1	60	180	0,24	520	70	400	0,28	610	70	100	0,22	710	90	100	0,18	510
2	140	200	0,24	520	220	150	0,28	610	230	200	0,22	710	115	120	0,18	510
3	280	300	0,24	520	415	220	0,28	610	480	300	0,22	710	410	140	0,18	510
4	520	400	0,24	520	610	400	0,28	610	710	350	0,22	710	510	400	0,18	510
Вариант	29				30				31				32			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к
1	70	200	0,28	720	110	180	0,24	550	90	120	0,26	450	70	150	0,2	550
2	140	220	0,28	720	280	140	0,24	550	140	140	0,26	450	110	200	0,2	550
3	520	400	0,28	720	315	300	0,24	550	315	200	0,26	450	450	140	0,2	550
4	720	180	0,28	720	550	400	0,24	550	450	400	0,26	450	550	180	0,2	550
Вариант	33				34				35				36			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к
1	70	220	0,25	700	40	320	0,2	800	80	420	0,18	420	60	320	0,24	320

2	185	250	0,25	700	220	380	0,2	800	180	100	0,18	420	140	300	0,24	320
3	380	400	0,25	700	315	100	0,2	800	280	120	0,18	420	220	400	0,24	320
4	700	180	0,25	700	800	140	0,2	800	420	190	0,18	420	320	100	0,24	320
Вариант	37				38				39				40			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к
1	60	110	0,25	480	60	140	0,18	720	90	120	0,24	420	40	140	0,19	780
2	180	140	0,25	480	140	180	0,18	720	120	140	0,24	420	140	160	0,19	780
3	420	180	0,25	480	540	200	0,18	720	320	180	0,24	420	480	180	0,19	780
4	480	300	0,25	480	720	320	0,18	720	420	250	0,24	420	780	400	0,19	780

Продолжение таблицы 2.6.

Вариант	41				42				43				44			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к
1	30	100	0,18	620	60	120	0,25	520	80	120	0,22	480	90	120	0,2	560
2	180	140	0,18	620	140	215	0,25	520	140	140	0,22	480	180	150	0,2	560
3	410	180	0,18	620	420	280	0,25	520	320	220	0,22	480	250	220	0,2	560
4	620	220	0,18	620	520	310	0,25	520	480	400	0,22	480	560	260	0,2	560
Вариант	45				46				47				48			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к	R_i	k_i	R_c	R_к
1	60	120	0,18	650	60	120	0,24	650	80	120	0,25	600	70	100	0,19	450
2	300	150	0,18	650	300	140	0,24	650	180	215	0,25	600	210	140	0,19	450
3	400	220	0,18	650	400	220	0,24	650	400	280	0,25	600	315	180	0,19	450
4	650	260	0,18	650	650	400	0,24	650	600	310	0,25	600	450	220	0,19	450
Вариант	49				50				51				52			

n_i	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}
1	120	140	0,15	500	90	120	0,2	650	100	140	0,18	520	90	110	0,14	480
2	180	160	0,15	500	220	140	0,2	650	180	180	0,18	520	120	140	0,14	480
3	400	180	0,15	500	420	180	0,2	650	220	200	0,18	520	400	180	0,14	480
4	500	400	0,15	500	650	250	0,2	650	520	320	0,18	520	480	300	0,14	480
Вариант	53				54				55				56			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}
1	40	320	0,15	620	60	120	0,15	500	50	320	0,2	450	45	220	0,18	520
2	120	300	0,15	620	120	100	0,15	500	100	380	0,2	450	120	250	0,18	520
3	410	400	0,15	620	320	120	0,15	500	280	190	0,2	450	340	400	0,18	520
4	620	100	0,15	620	500	190	0,15	500	450	140	0,2	450	520	280	0,18	520

Продолжение таблицы 2.6.

Вариант	57				58				59				60			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}
1	70	150	0,2	540	50	120	0,25	600	100	180	0,18	480	120	200	0,18	560
2	85	200	0,2	540	120	140	0,25	600	160	140	0,18	480	160	220	0,18	560
3	280	140	0,2	540	240	200	0,25	600	320	300	0,18	480	420	400	0,18	560
4	540	180	0,2	540	600	400	0,25	600	480	400	0,18	480	560	180	0,18	560
Вариант	61				62				63				64			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}	R_i	k_i	R_c	R_{κ}
1	80	100	0,24	420	40	100	0,2	400	70	400	0,18	510	60	180	0,25	610
2	140	120	0,24	420	140	200	0,2	400	140	150	0,18	510	140	200	0,25	610
3	380	140	0,24	420	240	300	0,2	400	180	220	0,18	510	280	300	0,25	610
4	420	400	0,24	420	400	350	0,2	400	510	400	0,18	510	610	400	0,25	610

Вариант	65				66				67				68			
	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c	R_k
1	40	40	0,25	510	60	180	0,19	400	70	200	0,24	520	40	100	0,28	480
2	140	180	0,25	510	200	200	0,19	400	90	100	0,24	520	80	400	0,28	480
3	280	200	0,25	510	300	300	0,19	400	280	220	0,24	520	315	200	0,28	480
4	510	300	0,25	510	400	350	0,19	400	520	120	0,24	520	480	430	0,28	480
Вариант	69				70				71				72			
	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c	R_k
1	60	400	0,2	520	70	80	0,24	610	70	100	0,18	710	90	150	0,25	510
2	140	140	0,2	520	220	100	0,24	610	230	150	0,18	710	115	100	0,25	510
3	280	160	0,2	520	415	200	0,24	610	480	160	0,18	710	410	320	0,25	510
4	520	250	0,2	520	610	180	0,24	610	710	200	0,18	710	510	400	0,25	510

Продолжение таблицы 2.6.

Вариант	73				74				75				76			
	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c	R_k
1	70	320	0,25	720	110	120	0,2	550	90	120	0,16	450	70	120	0,24	550
2	140	400	0,25	720	280	200	0,2	550	140	300	0,16	450	110	300	0,24	550
3	520	200	0,25	720	315	160	0,2	550	315	150	0,16	450	450	150	0,24	550
4	720	110	0,25	720	550	100	0,2	550	450	200	0,16	450	550	200	0,24	550
Вариант	77				78				79				80			
	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c	R_k
1	70	40	0,28	700	70	100	0,2	720	40	180	0,18	620	30	100	0,22	620
2	185	150	0,28	700	140	150	0,2	720	120	100	0,18	620	180	150	0,22	620

3	380	300	0,28	700	520	160	0,2	720	410	200	0,18	620	410	160	0,22	620
4	700	250	0,28	700	720	200	0,2	720	620	180	0,18	620	620	200	0,22	620
Вариант	81				82				83				84			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_κ	R_i	k_i	R_c	R_κ	R_i	k_i	R_c	R_κ	R_i	k_i	R_c	R_κ
1	70	120	0,2	620	140	200	0,2	550	45	120	0,25	520	40	40	0,18	700
2	140	300	0,2	620	180	220	0,2	550	128	140	0,25	520	120	150	0,18	700
3	410	150	0,2	620	300	100	0,2	550	340	200	0,25	520	380	160	0,18	700
4	620	180	0,2	620	550	180	0,2	550	520	400	0,25	520	700	200	0,18	700
Вариант	85				86				87				88			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_κ	R_i	k_i	R_c	R_κ	R_i	k_i	R_c	R_κ	R_i	k_i	R_c	R_κ
1	60	120	0,24	500	60	45	0,15	450	120	40	0,2	480	40	60	0,25	520
2	200	140	0,24	500	140	90	0,15	450	220	120	0,2	480	120	200	0,25	520
3	310	200	0,24	500	400	120	0,15	450	180	140	0,2	480	280	320	0,25	520
4	500	400	0,24	500	450	220	0,15	450	480	300	0,2	480	520	250	0,25	520

Продолжение таблицы 2.6.

Вариант	89				90				91				92			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_κ	R_i	k_i	R_c	R_κ	R_i	k_i	R_c	R_κ	R_i	k_i	R_c	R_κ
1	70	140	0,24	560	80	150	0,15	610	50	100	0,25	600	100	140	0,15	400
2	120	150	0,24	560	140	160	0,15	610	128	150	0,25	600	120	400	0,15	400
3	320	300	0,24	560	180	200	0,15	610	280	220	0,25	600	380	320	0,15	400
4	560	110	0,24	560	610	250	0,15	610	600	250	0,25	600	400	200	0,15	400
Вариант	93				94				95				96			
n_i	R_i	k_i	R_c	R_κ	R_i	k_i	R_c	R_κ	R_i	k_i	R_c	R_κ	R_i	k_i	R_c	R_κ

1	70	300	0,18	350	70	180	0,24	410	70	100	0,2	610	90	120	0,16	700
2	140	140	0,18	350	80	200	0,24	410	115	120	0,2	610	110	200	0,16	700
3	310	200	0,18	350	280	320	0,24	410	520	220	0,2	610	380	400	0,16	700
4	350	120	0,18	350	410	400	0,24	410	610	400	0,2	610	700	140	0,16	700
Вариант	97				98				99				100			
	n_i	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c	R_k	R_i	k_i	R_c
1	80	420	0,24	720	90	120	0,18	540	80	520	0,2	550	80	120	0,25	650
2	140	300	0,24	720	140	160	0,18	540	180	150	0,2	550	210	140	0,25	650
3	420	180	0,24	720	410	180	0,18	540	400	220	0,2	550	400	180	0,25	650
4	720	320	0,24	720	540	310	0,18	540	550	400	0,2	550	650	250	0,25	650

Контрольные вопросы на закрепление теоретического материала и выбор оптимального варианта самостоятельной практической работы

Практическая работа №3

Тема: Дебит жидкости. Влияние фильтрационно-емкостных свойств пород на него.

Цель работы: Овладеть знаниями процессов фильтрации жидкости в различных геолого-физических условиях пласта-коллектора. Понять влияние фильтрационно-емкостных свойств пород на оценку продуктивности пласта.

3. Оценка дебита жидкости при различных типах фильтрации.

3.1. Дебит жидкости при линейно-равномерной фильтрации.

При линейном режиме поток жидкости равномерно фильтруется через всю площадь образца породы.

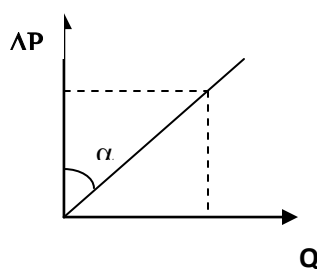
Закон Дарси часто называют законом ламинарной фильтрации, так как согласно этому закону расход и скорость фильтрации линейно зависят от потери напора, что является первым признаком ламинарного режима

Дебит жидкости при таком режиме фильтрации оценивается уравнением:

$$Q \equiv \frac{k_{\text{пр}} F \Delta P}{\mu L} \quad (3.1)$$

где: $k_{\text{пр}}$ – проницаемость, Д;
 F – площадь фильтрации, см²;
 Q – дебит жидкости, см³/с;
 ΔP – перепад давления (депрессия), атм;
 μ – вязкость жидкости, сПз;
 L – длина образца породы, см.

График зависимости дебита от депрессии называют индикаторной диаграммой.



При установившемся движении жидкости по линейному закону фильтрации индикаторная диаграмма имеет вид прямой линии, выходящей из начала координат (при отсутствии депрессии не происходит фильтрации жидкости).

При линейной фильтрации на каждую следующую единицу при увеличении перепада давления приходится один и тот же прирост дебита. В соответствии с (3.1) $k_{\text{пр}} = \text{tg} \alpha$.

3.1.1. Пример расчета

Через пористый образец породы при перепаде давления 0,25 ат/м фильтруется жидкость с вязкостью 1 сПз. Размеры образца породы 10x10x10 см, проницаемость по жидкости составляет 10 мД.

Расчитать дебит жидкости через образец при указанных условиях.

Дано:

$k_{пр} = 10 \text{ мД} = 0,01 \text{ Д};$
 $F = 100 \text{ см}^2;$
 $\Delta P/L = 0,25 \text{ атм/м} = 0,0025 \text{ атм/см};$
 $\mu = 1 \text{ сПз}.$

Найти Q_1

Решение:

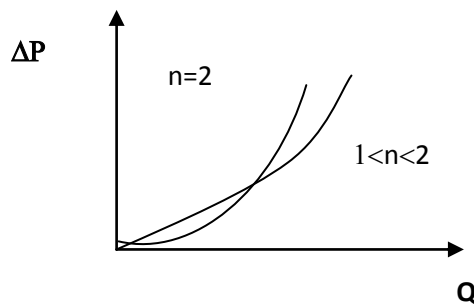
$$Q_1 \equiv \frac{k_{пр} F \Delta P}{\mu L}$$

$$Q_1 \equiv \frac{0,01 * 100 * 0,0025}{1} \cong 0,0025 \text{ см}^3/\text{с}$$

3.2. Дебит жидкости при нелинейном режиме фильтрации.

Линейный закон фильтрации справедлив лишь при относительно малых скоростях движения жидкости в пористой среде.

При увеличении скорости потока (при определенном перепаде давления) режим фильтрации в пористой среде становится турбулентным, так как часть энергии сообщаемой жидкости расходуется на преодоление линейных и местных гидравлических сопротивлений.



При нелинейной фильтрации жидкости индикаторная диаграмма имеет вид параболы с показателем степени от 1 до 2. Выпуклость индикаторных линий к оси дебитов при нелинейных законах указывает, что на каждую следующую единицу при увеличении перепада давления приходится все меньший прирост дебита.

Указанная нелинейность объясняется структурой реальной породы, в которой пористая среда представляет собой систему не сообщающихся между собой капилляров различной протяженности и конфигурации.

Зависимость проницаемости от размера пор для фильтрации через капиллярные поры идеально пористой среды оценивается из соотношения уравнений Пуазейля и Дарси. В этом случае пористая среда представляется в виде системы прямых трубок одинакового сечения длиной L , равной длине пористой среды.

Уравнение Пуазейля описывает объёмную скорость течения жидкости через такую пористую среду:

$$Q = \frac{n \pi r^4}{8\mu L} F \Delta P \quad (3.2),$$

где

r —радиус порового канала;

L —длина порового канала;

n —число пор, приходящихся на единицу площади фильтрации;

F —площадь фильтрации;

μ —вязкость жидкости;

ΔP —перепад давлений.

Величина r представляет собой радиус эквивалентного цилиндрического канала, вычисленного в по формуле:

$$m = \frac{V_{\text{пор}}}{V_{\text{образца}}} = \frac{n F \pi r^2}{FL} L = n \pi r^2, \quad (3.3)$$

где m - коэффициент пористости среды, через которую проходит фильтрация.

Преобразуя формулы (3.1) и (3.3) получим зависимость $k_{\text{пр кап}}$ от r :

$$k_{\text{пр кап}} = \frac{r^2}{8} \quad (3.4)$$

После преобразования (3.4) получаем расчетное уравнение для вычисления коэффициента проницаемости жидкости при фильтрации через единичный

$$\text{капилляр: } k_{\text{пр.кап}} = 12,5 * 10^6 * r^2 \quad (3.5)$$

3.2.1 Пример расчета

Дан кубик породы размером 10x10x10 см, имеющий проницаемость 10 мДарси, через который фильтруется жидкость вязкостью 1 спз при градиенте давления ($\Delta P/L$), равном 0,25 атм/м. В этом кубике существует один капилляр диаметром 0,2 мм. На сколько увеличится суммарный дебит при прочих равных параметрах μ и $\Delta P/L$?

Дано: $D_k = 0,2 \text{ мм} = 0,02 \text{ см};$

$\Delta P/L = 0,25 \text{ атм/м} = 0,0025 \text{ атм/см};$

$\mu = 1 \text{ спз.}$

$n = 1$

Найти:

Q2 - дебит при фильтрации через капилляр;

Q3 - суммарный дебит за счёт субкапиллярной и капиллярной фильтрации.

Решение:

$$Q_2 = n k_{\text{пр.кап}} F \frac{\Delta P}{\mu L}$$

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

$$r = D_k / 2.$$

$$Q_2 = 1 * 12,5 * 10^6 \left(\frac{0,02}{2} \right)^2 * 3,14 * \left(\frac{0,02}{2} \right)^2 * \frac{0,0025}{1} = 0,001 \text{ см}^3 / \text{с}$$

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 = 0,0025 + 0,001 = 0,0035 \text{ см}^3 / \text{с}$$

По сравнению с субкапиллярной проницаемостью ($k_{пр} = 10$ мД) дебит увеличится при наличии одного такого канала на 40% (Q_2 / Q_1), а если бы субкапиллярная проницаемость была $k_{пр} = 1$ мД, то дебит увеличился бы на 400% ($Q_2 / Q_1 \cdot k_{пр}$).

3.3. Оценка дебита жидкости при фильтрации в трещине

В карбонатных пластах-коллекторах их проницаемость и продуктивность определяются, в основном, трещиноватостью.

Допустим порода имеет прямоугольную трещину длиной L , в которой ширина a значительно превышает высоту c . Расход жидкости через эту трещину будет определяться по уравнению Буссинеска:

$$Q = \frac{ac^3}{12\mu} \frac{\Delta P}{L}, \quad (3.6)$$

где:

a —ширина трещины, см;

c —высота трещины, см;

L —длина трещины, см;

μ —вязкость жидкости, сПз;

ΔP —перепад давлений, ат.

Из формулы (3.6) следует, что скорость движения жидкости $V_{жид.}$ будет равна:

$$V_{\text{жид}} = \frac{c^2 \Delta P}{12 \mu L} \quad (3.7)$$

При этом, скорость движения жидкости в пласте (уравнение Дарси) можно рассчитать по формуле:

$$V_{\text{жид}} = \frac{K \Delta P}{m \mu L} \quad (3.8)$$

где **m** – коэффициент трещиноватости (*выражается числом трещин на единицу длины по определенному направлению*), в рассматриваемом случае **m=1**.

Приравнивая правые части (3.7) и (3.8) получим:

$$k_{\text{пр.тр}} = \frac{m c^2}{12} \quad (3.9)$$

Приведя параметры к одной размерности в единицах измерения нефтепромысловой геологии [**K – проницаемость, Дарси; c – высота (или ее раскрытость), см**], получим эмпирическое уравнение для оценки коэффициента проницаемости при трещиноватой фильтрации:

$$k_{\text{пр.тр}} = 84,4 * 10^5 c^2 \quad (3.10)$$

3.3.1 Пример расчета

Имеется образец породы с субкапиллярной проницаемостью размером 10x10x10 см, имеющий проницаемость 10 мДарси, через который фильтруется жидкость вязкостью 1 спз при градиенте давления ($\Delta P/L$), равном 0,25 атм/м.

Вместо канала в образце имеется трещина шириной 10 см и высотой (*раскрытием*) 0,2 мм. На сколько увеличится суммарный дебит при прочих равных параметрах μ и $\Delta P/L$?

Дано:

$$c = 0,2 \text{ мм} = 0,02 \text{ см};$$

$$\Delta P/L = 0,25 \text{ атм/м} = 0,0025 \text{ атм/см};$$

$$\mu = 1 \text{ спз};$$

$$L = 10 \text{ см};$$

$$m = 1$$

Найти:

Q4 - дебит при фильтрации через трещину;

Q5 - суммарный дебит жидкости за счет субкапиллярной и трещиноватой фильтрации.

Решение:

$$Q_4 = n k_{\text{пр.тр}} F \frac{\Delta P}{\mu L},$$

$$k_{\text{пр.тр}} = 84,4 * 10^5 \text{ с}^2$$

$$F = c * L$$

$$Q_4 = 1 * 84,4 * 10^5 * 0,02^2 * 0,02 * 10 \frac{0,0025}{1} = 1,688 \text{ см}^3 / \text{с}$$

Суммарный дебит с учетом субкапиллярной фильтрации:

$$Q_5 = Q_1 + Q_4 = 0,0025 + 1,688 = 1,6905 \text{ см}^3 / \text{с}$$

Сравнивая дебиты Q4 и Q1, получим, что наличие общей трещины приводит к увеличению дебита в 675 раз (1,688 / 0,0025).

3.4. Варианты самостоятельных (практических) работ

Дан кубик породы размером 10x10x10 см.

Определить дебиты (**Q1**),

(**Q2**), (**Q3**), (**Q4**), (**Q5**) при:

1. линейно-равномерной (субкапиллярной) и нелинейной фильтрациях;
2. линейно-равномерной (субкапиллярной) и фильтрации через трещину;
3. сравнить их для условий, представленных в таблице 3.1

Контрольные вопросы по последовательности выполнения практической (самостоятельной) работы.

Справочная информация для расчетов по таблице 3.

Субкапиллярная	$Q_1 \equiv \frac{k_{пр} F \Delta P}{\mu L}$
Капиллярная	$Q_2 = n k_{пр.кап} F \frac{\Delta P}{\mu L}$ $k_{пр.кап} = 12,5 * 10^6 * r^2$ $r = D_k / 2$
Субкапиллярная + Капиллярная	$Q_3 = Q_1 + Q_2$
Фильтрация в трещине	$Q_4 = n k_{пр.тр} F \frac{\Delta P}{\mu L}$ $k_{пр.тр} = 84,4 * 10^5 c^2 \quad k_{пр.тр} = \frac{m c^2}{12}$ $F = c * L$
Фильтрация в трещине+ Субкапиллярная	$Q_5 = Q_1 + Q_4$

Обозначения в таблице 3.1:

k_{np} – проницаемость при субкапиллярной фильтрации, мД;

μ – вязкость жидкости, спз;

$\Delta P/L$ – перепад давления, атм/м;

N_k – число капилляров;

D_k – диаметр капилляра, мм;

L – длина трещин, см;

c – высота трещины, мм;

m – число трещин;

1, ..., 20 – номер варианта.

Таблица 3.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k_{np}	8	12	10	11	15	9	18	13	14	10
μ	2,0	1,3	3,0	2,5	3,0	1,5	2,0	1,3	3,0	1,2
$\Delta P/L$	0,3	0,26	0,31	0,32	0,33	0,35	0,3	0,36	0,31	0,28
N_k	1	2	1	2	3	2	1	3	2	1
D_k	0,18	0,2	0,22	0,24	0,25	0,16	0,3	0,27	0,28	0,24
L	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
c	0,15	0,16	0,18	0,17	0,19	0,22	0,21	0,28	0,27	0,28
m	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
k_{np}	13	17	20	12	13	11	9	13	16	17
μ	1,8	2,0	2,2	2,5	3,0	2,8	2,2	1,1	1,3	1,1
$\Delta P/L$	0,3	0,24	0,22	0,23	0,26	0,25	0,3	0,36	0,26	0,27
N_k	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2
$+D_k$	0,15	0,22	0,23	0,24	0,33	0,28	0,26	0,3	0,18	0,19
L	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
c	0,22	0,21	0,23	0,19	0,22	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28
m	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1

Контрольные вопросы на закрепление теоретического материала и выбор оптимального варианта самостоятельной работы