

ПРОНИЦАЕМОСТЬ

ПРОНИЦАЕМОСТЬ

- способность породы пласта пропускать флюид

Абсолютная проницаемость – проницаемость породы, заполненной одним флюидом (водой или нефтью). Не зависит от насыщающего флюида.

Эффективная проницаемость (фазовая) – проницаемость породы для отдельно взятого флюида (K_o , K_w), когда число присутствующих в породе фаз больше единицы. Эффективная проницаемость зависит от флюидонасыщения (степени насыщенности флюидов и их физико-химических свойств). В законе Дарси используется эффективная проницаемость.

Относительная проницаемость (K_{ro} , K_{rw}) – отношение эффективной проницаемости (K_o , K_w) к эффективной проницаемости по нефти, замеренной в породе, насыщенной только связанной водой ($K_{o Swir}$).

$$K_{ro} = K_o / K_{o Swir}$$

$$K_{rw} = K_w / K_{o Swir}$$

Источники данных о проницаемости :

- 1. Гидродинамические исследования, данные эксплуатации.**
- 2. Лабораторные исследования на образцах пористой среды (керн), в условиях максимально приближенных к пластовым.**
- 3. Использование данных о схожем пласте.**
- 4. Математические модели (эмпирические зависимости).**
- 5. Корреляционные зависимости по данным ГИС.**

Лабораторные методы определения проницаемости

Проницаемость породы определяется при фильтрации флюидов через керн. Для оценки проницаемости пользуются линейным законом фильтрации Дарси, по которому скорость фильтрации флюида в пористой среде пропорциональна градиенту давления и обратно пропорциональна вязкости:

$$V = Q / F = K \Delta P / \mu L$$

$$K = Q \mu L / \Delta P F$$

V – скорость линейной фильтрации, (см/с)

Q – объемный расход флюида в единицу времени, (см³/с)

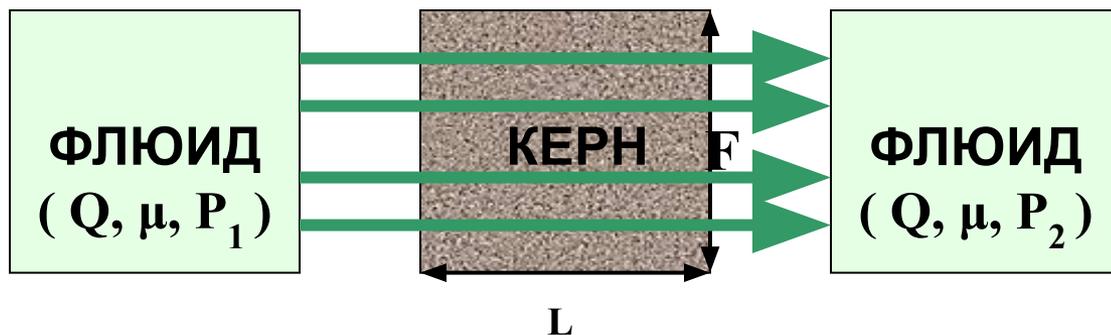
μ – вязкость флюида, (сП)

ΔP – перепад давления, (атм)

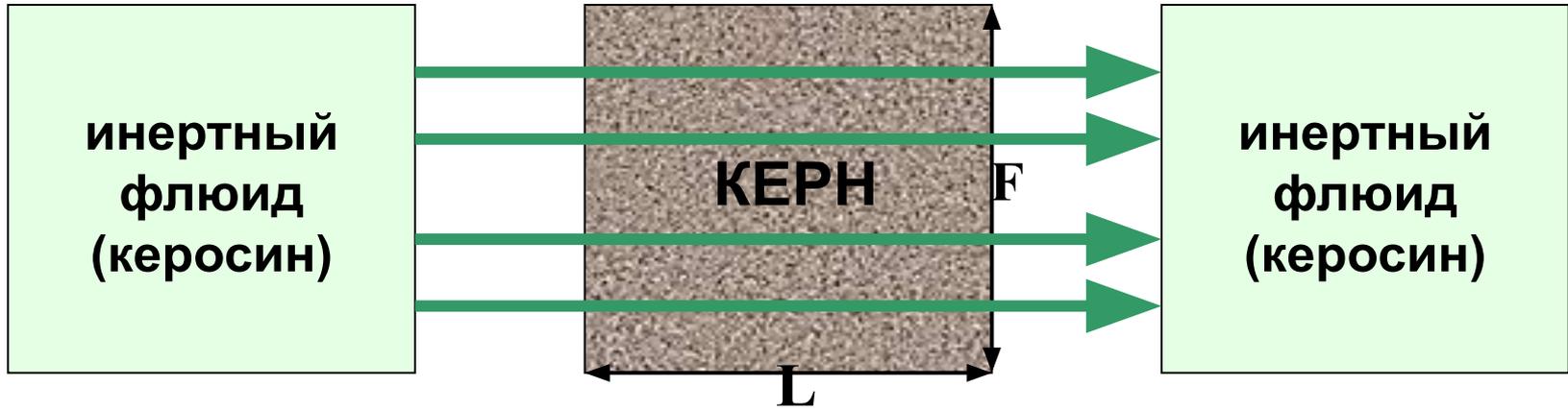
F – площадь фильтрации, (см²)

L – длина образца, (см)

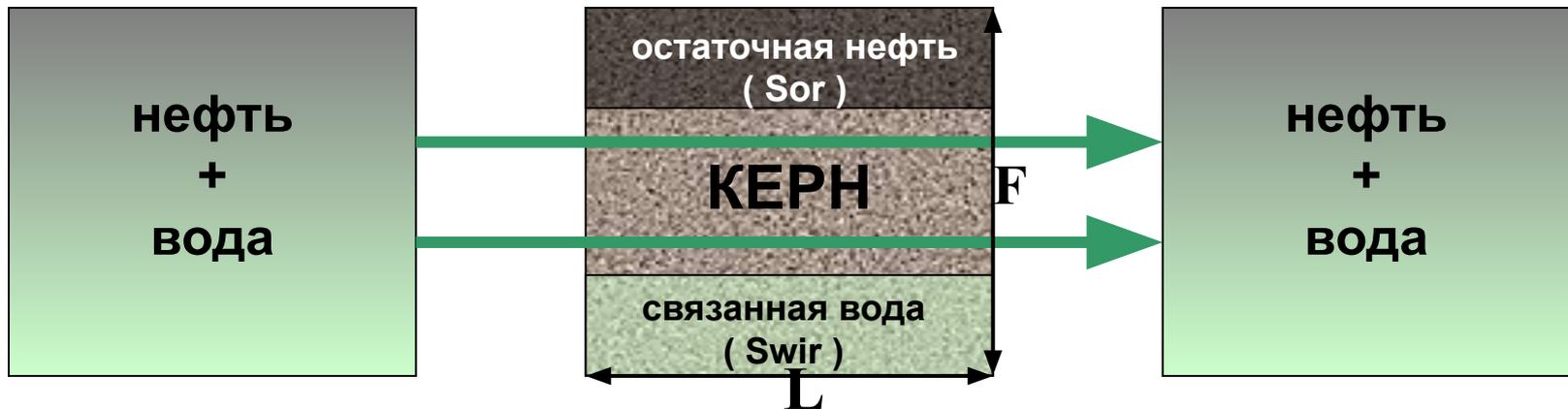
K – проницаемость, (мД).



Для определения **АБСОЛЮТНОЙ** проницаемости через экстрагированный (в породе отсутствуют связанные флюиды) керн фильтруется жидкость, инертная к породе (керосин).



Для определения ЭФФЕКТИВНОЙ проницаемости через керн совместно фильтруются нефть и вода. Определение эффективных проницаемостей проводится на нескольких режимах, но не менее пяти (0%, 25%, 50%, 75%, 100% воды в потоке).



Величины эффективных проницаемостей рассчитываются по формулам:

$$K_o = Q_o \mu_o L / \Delta P F \quad K_w = Q_w \mu_w L / \Delta P F ,$$

где индекс «o» - нефть (oil), «w» - вода (water).

Эффективная проницаемость для каждой отдельной фазы, и сумма эффективных проницаемостей меньше, чем абсолютная проницаемость.

Пример: Определение абсолютной и эффективной проницаемостей.

Предположим керн насыщен на 100% и промывается водой. Данные по керну следующие:

$$F = 2.5 \text{ см}^2; L = 3.0 \text{ см}; Q_w = 0.6 \text{ см}^3/\text{с}; p = 2 \text{ кгс/см}^2; \mu_w = 1.0 \text{ сП}$$

$$K = Q \mu L / \Delta P F = 0.6 * 1 * 3 / 2 * 2.5 = 360 \text{ мД}$$

Тот же керн насыщен 100% нефтью:

$$\mu_o = 2.7 \text{ сП}; Q_o = 0.222 \text{ см}^3/\text{с};$$

$$K = Q \mu L / \Delta P F = 0.222 * 2.7 * 3 / 2 * 2.5 = 360 \text{ мД}$$

Тот же керн с водонасыщенностью 70 % и нефтенасыщенностью 30 %

$$Q_o = 0.027 \text{ см}^3/\text{с}; Q_w = 0.48 \text{ см}^3/\text{с};$$

$$K_o = Q_o \mu_o L / \Delta P F = 0.027 * 2.7 * 3 / 2 * 2.5 = 44 \text{ мД}$$

$$K_w = Q_w \mu_w L / \Delta P F = 0.48 * 1 * 3 / 2 * 2.5 = 288 \text{ мД}$$

$$44 + 288 < 360$$

Относительная проницаемость указывает на способность нефти и воды одновременно течь в пористой среде.

Значения относительных проницаемостей для нефти и воды (K_{ro} , K_{rw}) рассчитывают как отношение соответствующих эффективных проницаемостей (K_o , K_w) к эффективной проницаемости по нефти, замеренной в породе, насыщенной только связанной водой ($K_o Swir$).

$$K_{ro} = K_o / K_o Swir$$

$$K_{rw} = K_w / K_o Swir$$

Пример: Определение относительной проницаемости.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ (лабораторные исследования)			РАСЧЕТ		РЕЗУЛЬТАТ	
Sw	Kw (эффективная)	Ko (эффективная)	Kw / Ko(swir)	Ko / Ko(swir)	Krw	Kro
Swir = 0.375	0.000000	9.800000	0 / 9.8	9.8 / 9.8	0	1
0.4	0.0116845	8.4931484	0.01168454 / 9.8	8.49314844 / 9.8	0.0011923	0.8666478
0.5	0.2921253	4.2005446	0.29212526 / 9.8	4.2005446 / 9.8	0.0298087	0.428627
0.6	0.9464860	1.4036217	0.94648596 / 9.8	1.40362166 / 9.8	0.0965802	0.1432267
0.7	1.9747657	0.1023796	1.97476566 / 9.8	0.10237962 / 9.8	0.2015067	0.0104469
0.737	2.4500000	0.0000000	2.45 / 9.8	0 / 9.8	0.25	0

Для чего нужна относительная проницаемость?

Пример : Исходные данные по скважинам одного месторождения:

Скважина №1

Скважина №2

Скважина №3

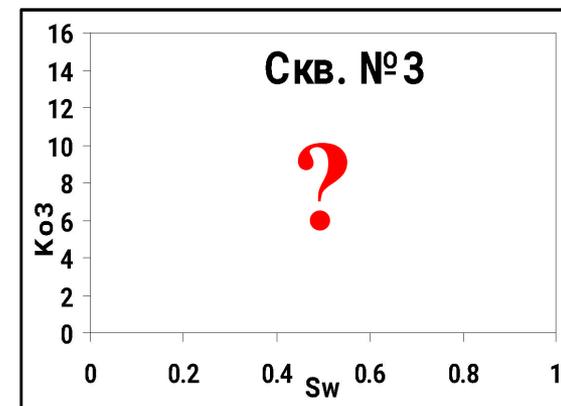
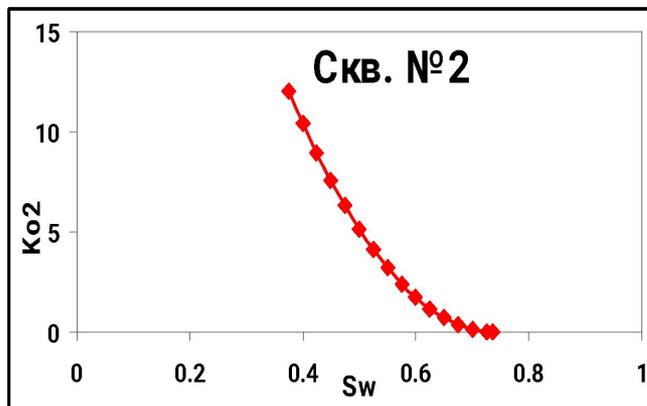
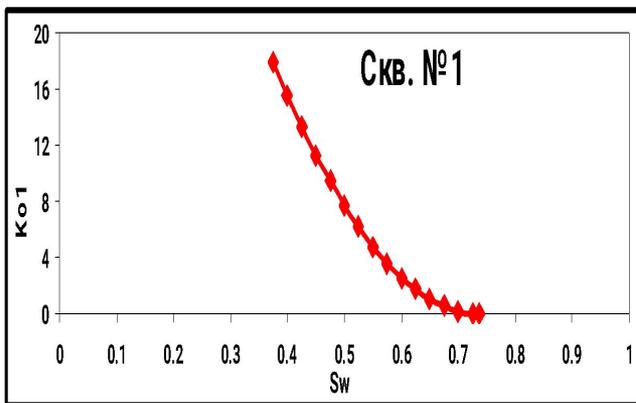
Эффективная проницаемость по нефти на момент открытия месторождения

$$K_{o1(Swir)} = 18 \text{ мД.}$$

$$K_{o2(Swir)} = 12 \text{ мД.}$$

$$K_{o3(Swir)} = 16 \text{ мД.}$$

Зависимость эффективной проницаемости нефти от водонасыщенности
(лабораторные исследования)

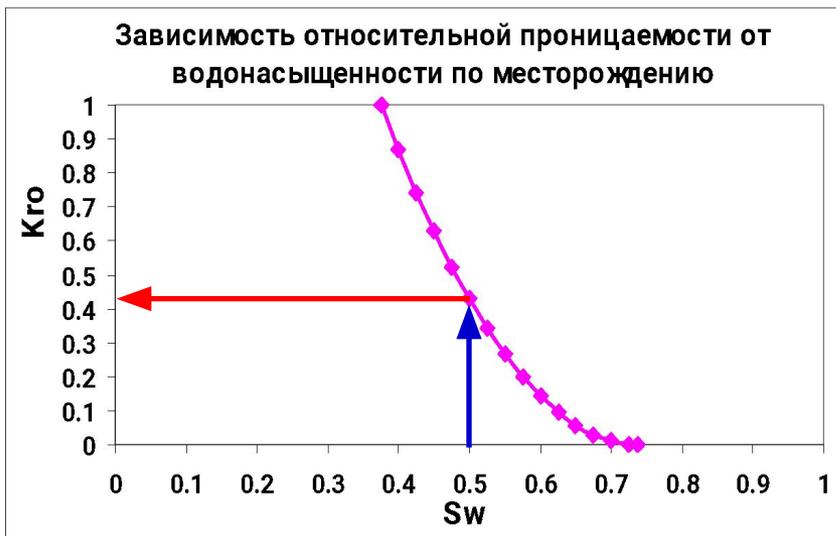


Определить эффективную проницаемость нефти по скважине №3 при достижении водонасыщенности 0.5 ?

Для чего нужна относительная проницаемость?

Решение примера :

Приведем ось проницаемости графиков по скважинам №1 и №2 к единой безразмерной шкале. Для этого, разделим соответствующие эффективные проницаемости (K_{o1} , K_{o2} , при S_w от 0 до 1) на значения эффективных проницаемостей при насыщенности связанной водой ($K_{o1Swir} = 18$ мД, $K_{o2Swir} = 12$ мД). По полученным результатам построим усредненную кривую, определяющую зависимость относительной проницаемости нефти от водонасыщенности для данного месторождения.



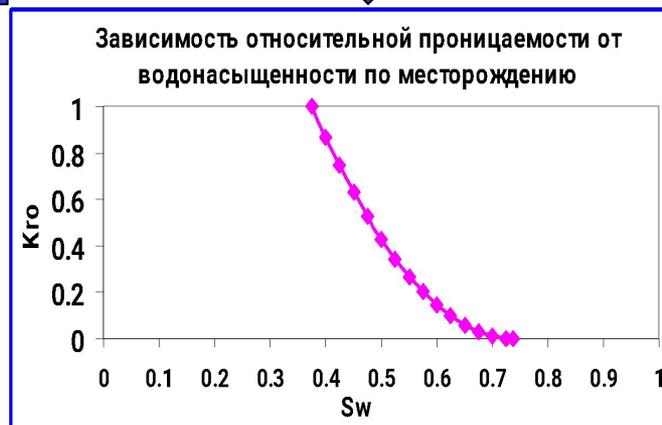
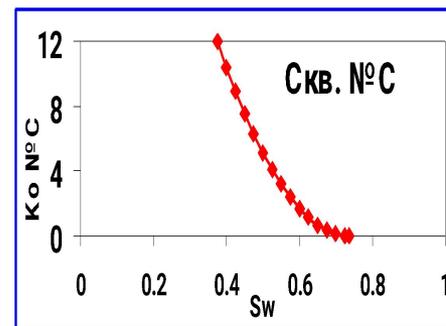
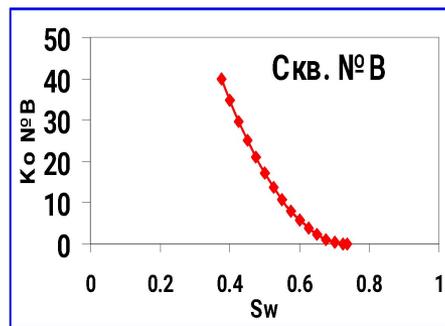
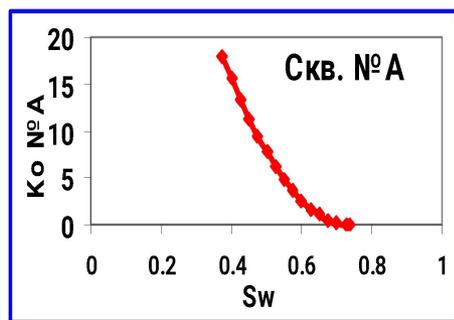
Относительная проницаемость нефти при водонасыщенности $S_w = 0.5$,
 $K_{ro(Sw=0.5)} = 0.43$

Эффективная проницаемость по скважине №3 при водонасыщенности 0.5,

$$K_{o3(Sw=0.5)} = K_{ro(Sw=0.5)} * K_{o3(Swir)} = 0.43 * 16 = 6.88 \text{ мД.}$$

Для чего нужна относительная проницаемость?

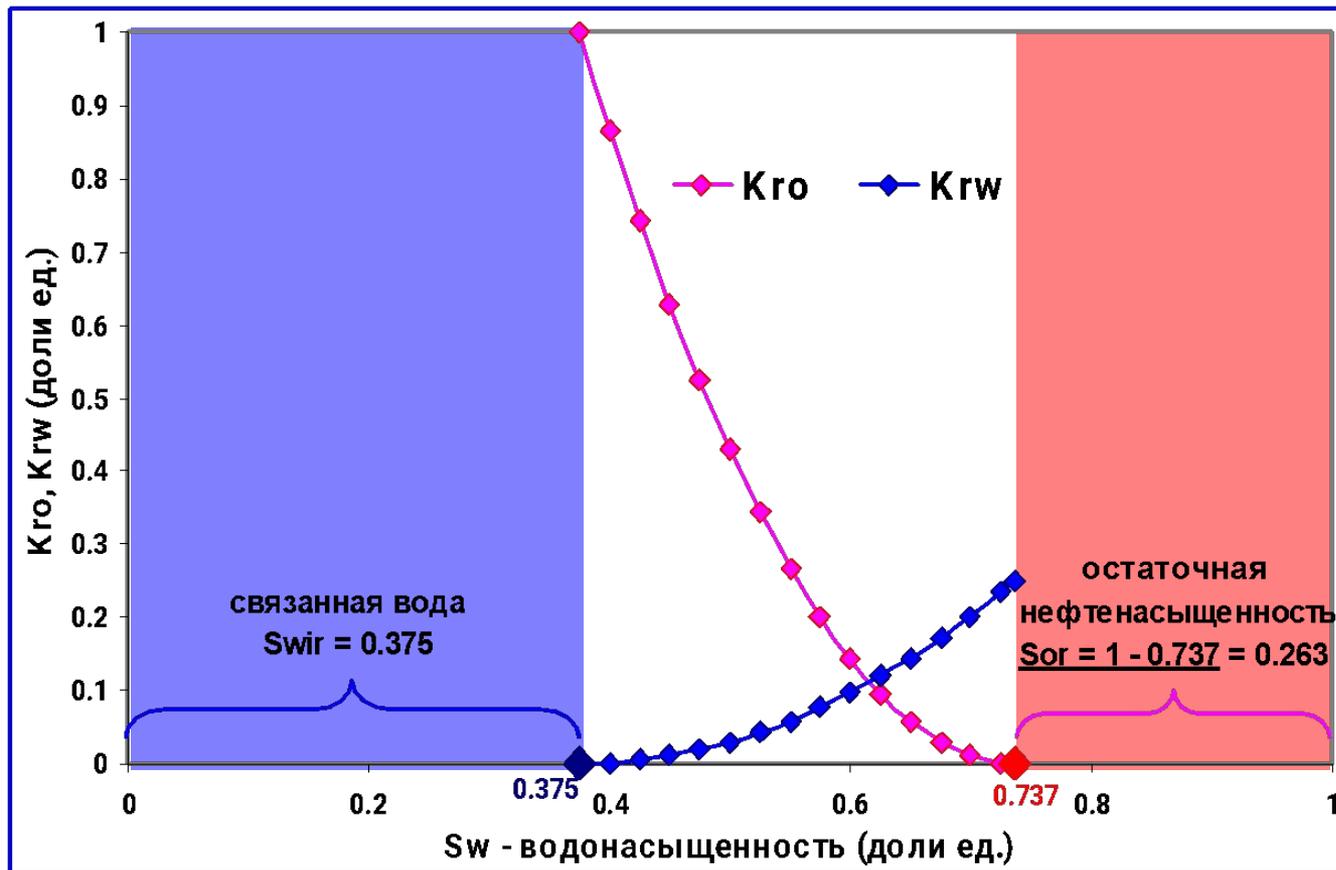
Использование относительной проницаемости позволяет унифицировать зависимости эффективной проницаемости от водонасыщенности, путем приведения к единой безразмерной шкале.



Поскольку эффективная проницаемость зависит от флюидонасыщения, относительная проницаемость также является функцией флюидонасыщенности.

$$K_{ro} = (K_{ro})_{S_{wir}} \left(\frac{1 - S_{or} - S_w}{1 - S_{or} - S_{wir}} \right)^{Exo} \quad K_{rw} = (K_{rw})_{S_{or}} \left(\frac{S_w - S_{wir}}{1 - S_{or} - S_{wir}} \right)^{Exw}$$

Кривые относительной проницаемости (Киньяминское месторождение)



Sw	Krw	Kro
0.375	0	1
0.4	0.0011923	0.8666478
0.425	0.0047694	0.7428345
0.45	0.0107311	0.6285599
0.475	0.0190776	0.5238241
0.5	0.0298087	0.428627
0.525	0.0429245	0.3429688
0.55	0.058425	0.2668493
0.575	0.0763102	0.2002686
0.6	0.0965802	0.1432267
0.625	0.1192348	0.0957236
0.65	0.1442741	0.0577592
0.675	0.1716981	0.0293337
0.7	0.2015067	0.0104469
0.725	0.2337001	0.0010989
0.737	0.25	0

Стандарт по проницаемости (FDP, НК «ЮКОС»)

1. В расчетах используется эффективная проницаемость (не абсолютная)
2. Относительная нефтепроницаемость в условиях насыщенности связанной водой равна 1,0
($K_{ro\ Swir} = 1$)
3. Начальная водонасыщенность (связанная вода)
 $S_{wir} < 0,4$
4. Остаточная нефтенасыщенность $S_{or} \leq 0,3$
5. $1,5 < E_{xw} < 3,0$ $1,0 < E_{xo} < 2,5$

Упражнение : (по теме «Проницаемость»)

На месторождении планируется пробурить новую скважину.

По данному месторождению известно (лабораторные исследования и т.д.):

$$S_{wir} = 0.3 \quad K_{o(Swir)} = 10 \quad E_{xo} = 2$$

$$S_{or} = 0.2 \quad K_{w(Sor)} = 3 \quad E_{xw} = 2.5$$

$$H \text{ (мощность пласта)} = 10 \text{ м.} \quad \mu_o = 0.96 \text{ сП.} \quad B_o = 1.228$$

$$\bar{P}_r \text{ (пластовое)} = 250 \text{ атм.} \quad P_{wf} \text{ (забойное)} = 50 \text{ атм.}$$

$$Skin = -4,5 \quad R_e \text{ (радиус дренирования)} = 500 \text{ м.} \quad R_w \text{ (радиус скважины)} = 0.1 \text{ м.}$$

Построить кривые относительных проницаемостей (интервал по оси водонасыщенности = 0,1).

Определить потенциальный дебит нефти по данной скважине при обводненности 25%, 50%, 100%.