



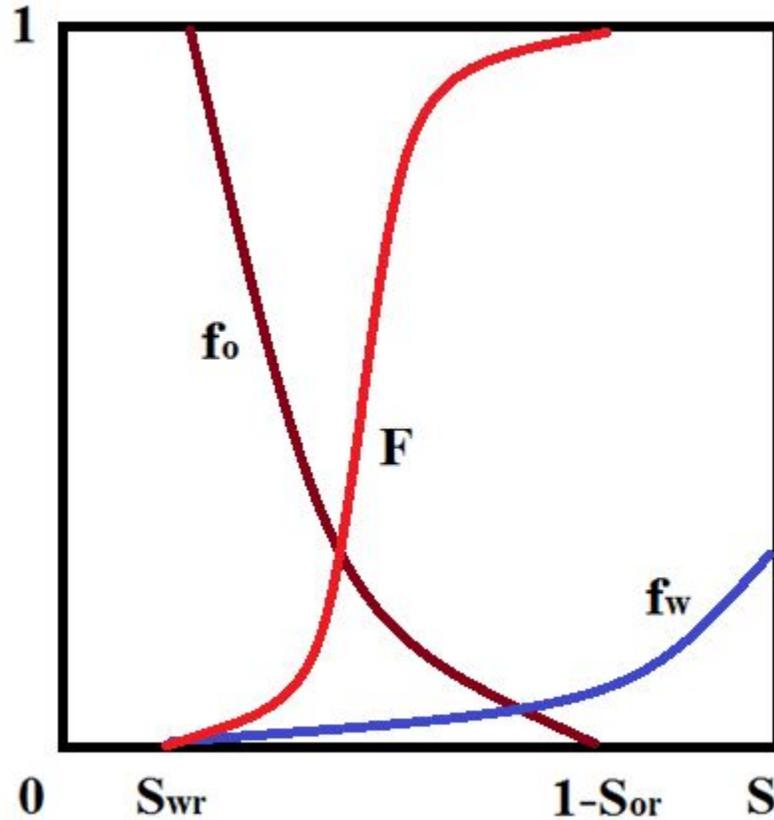
ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ ШКОЛА

Теория многофазной фильтрации.
Лектор: Профессор Константин Федоров

Теория одномерного вытеснения нефти водой



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА



Графический метод построения решения Велджа:

1) из таблиц или по аппроксимационным формулам строим относительные фазовые проницаемости.

2) по формуле:

$$F(S) = \frac{f_w(S)}{f_w(S) + f_o(S)\mu_w/\mu_o}$$

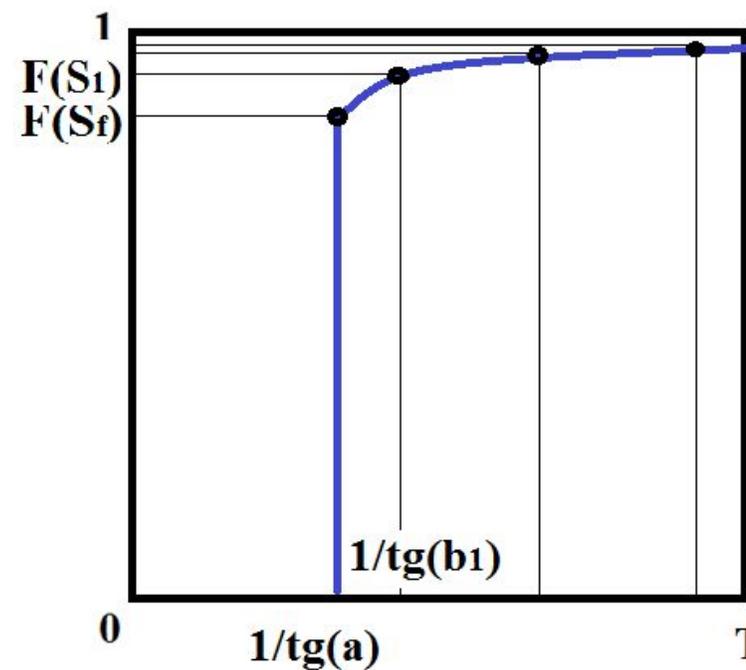
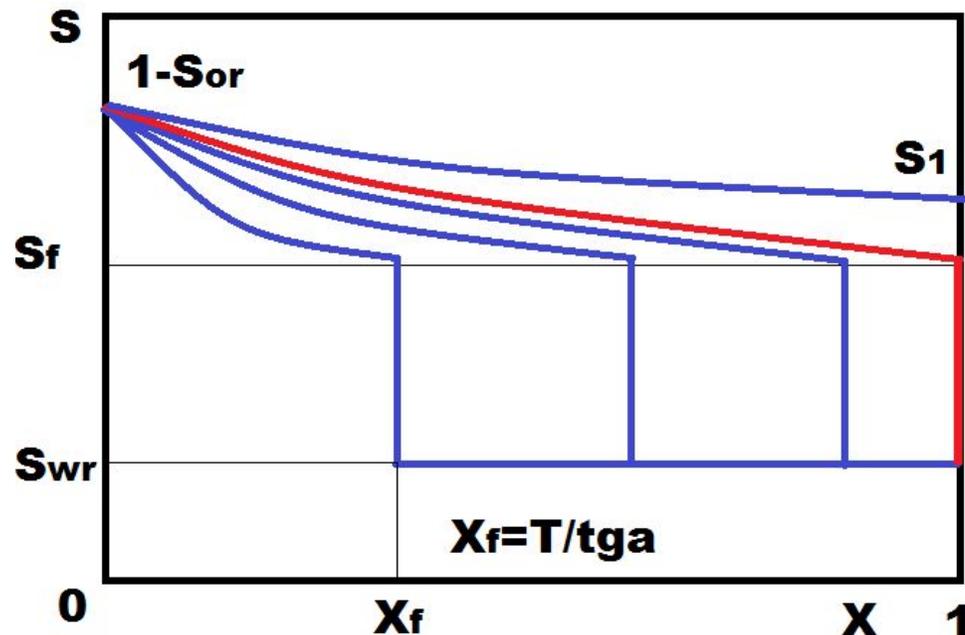
строим функцию **Баклея-Лeverетта**.



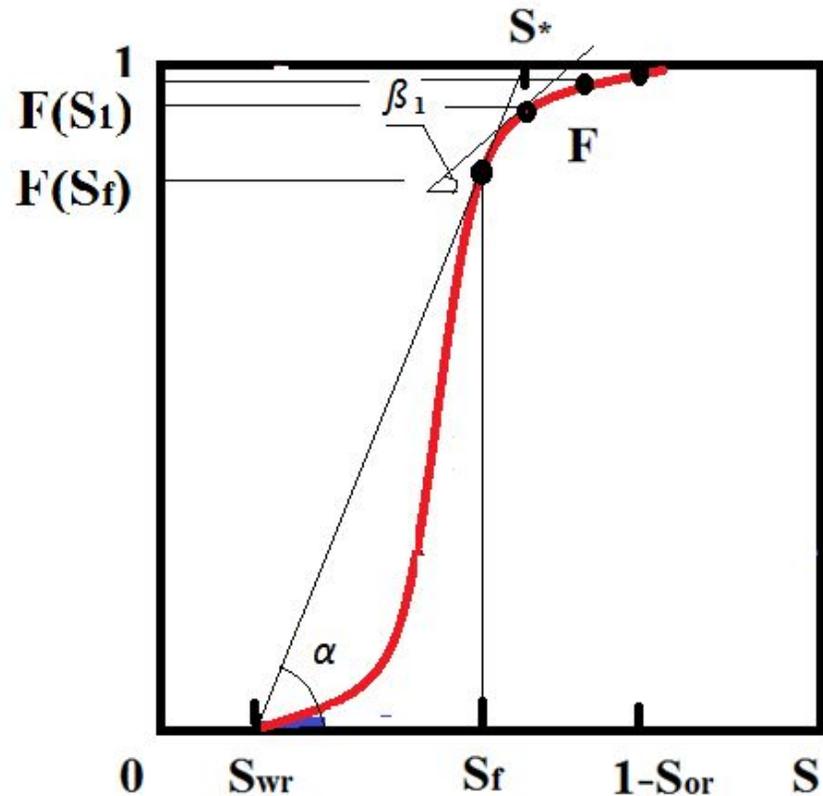
Решение задачи о вытеснении нефти водой (задачи Баклея – Леверетта)



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА



Решение задачи Баклей-Лeverетта



Графический метод построения решения Велджа:

1) Проводим касательную из точки с начальной водонасыщенностью пласта к функции Б-Л, находим точку пересечения (эта точка S_f определяет водонасыщенность на фронте вытеснения нефти водой), наклон касательной (тангенс этого угла α определяет время прорыва воды в добывающие скважины) и точку пересечения касательной с осью 1 (эта точка S^* определяет среднюю водонасыщенность в пласте к моменту прорыва воды в добывающие скважины).

2) Для четырех произвольных точек функции Б-Л выше ранее определенной находим касательные и их наклон (углы β_i).



ЕСКАЯ
А



Расчет скорости фронта и коэффициента вытеснения

$$\frac{X}{T} = \operatorname{tg}\alpha, \quad X = 1, T = \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}$$

$$T = 0.1, \quad X = \operatorname{tg}\alpha$$

$$K_{BH} = \frac{V((1 - S_{wr}) - (1 - S_*))}{V(1 - S_{wr})} = 1 - \frac{1 - S_*}{1 - S_{wr}},$$

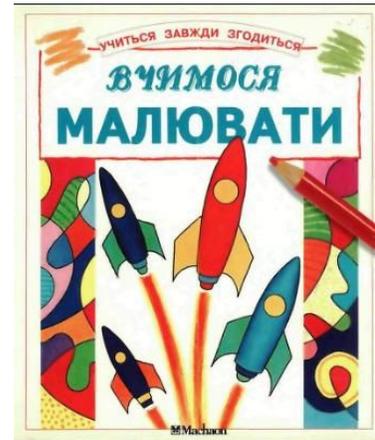
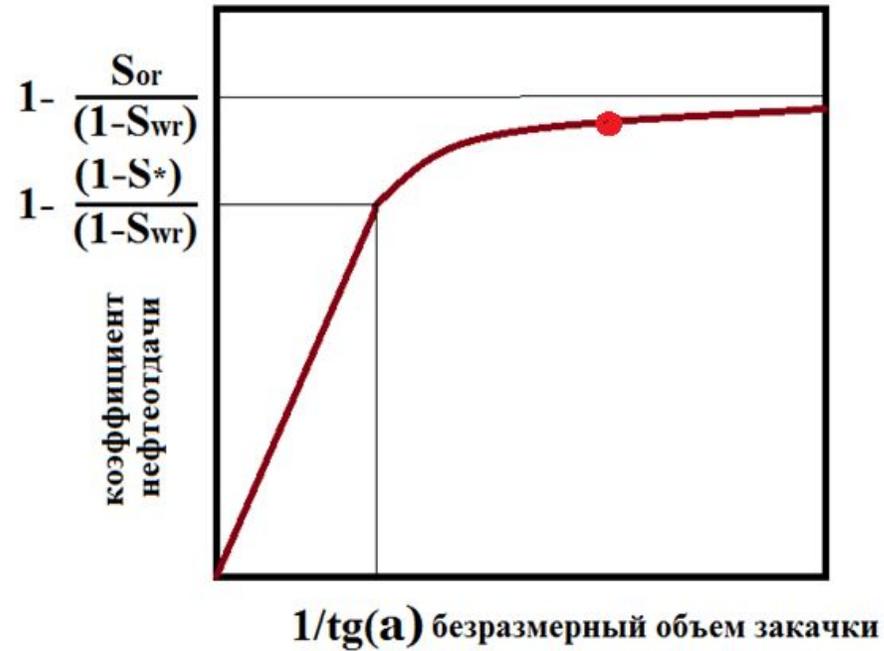
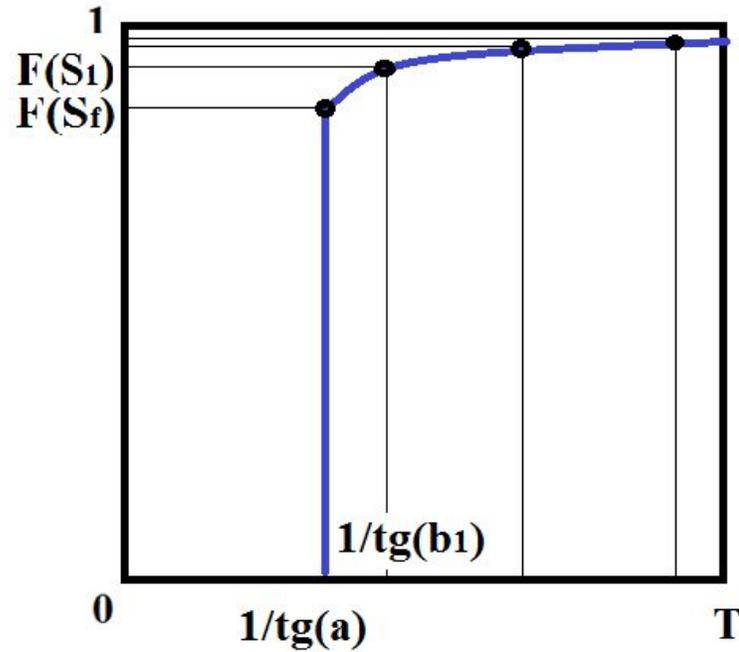
$$V = hAm, \quad K_{ин} = K_{BH} * K_{ох} * K_{зав}$$



Графический метод построения решения Велджа: определение технологических характеристик вытеснения.



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ ШКОЛА



УПРАЖНЕНИЕ



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА

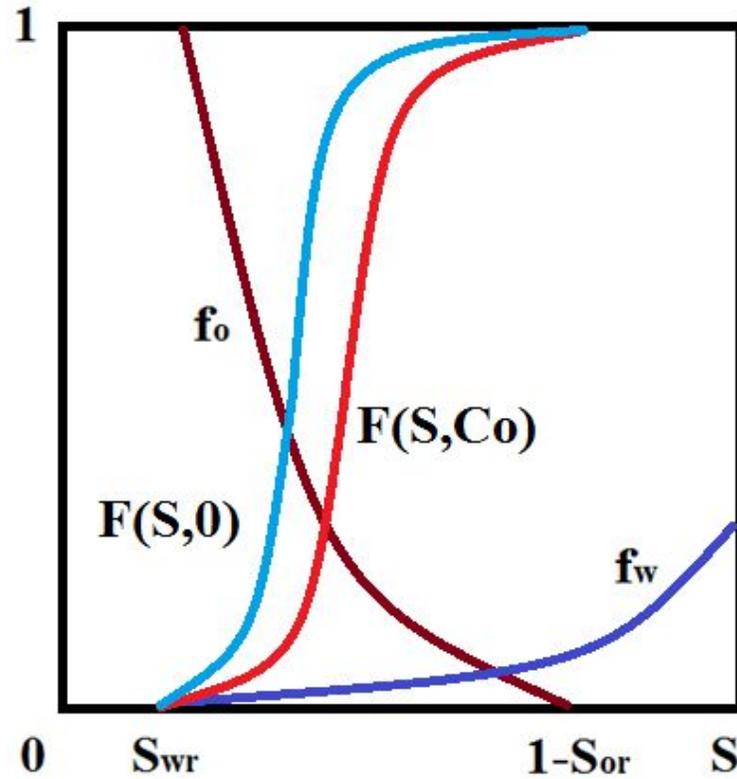
- Для рассчитанных ранее фазовых проницаемостей построить функцию Баклея-Левверетта и вязкости нефти $\mu_o = 3$ сПз, $\mu_w = 1$ сПз.
- Рассчитать водонасыщенность на фронте вытеснения, объем закачки до прорыва воды, коэффициент вытеснения нефти на момент прорыва воды.



УПРАЖНЕНИЕ: Что будет если мы используем для вытеснения более вязкую жидкость?



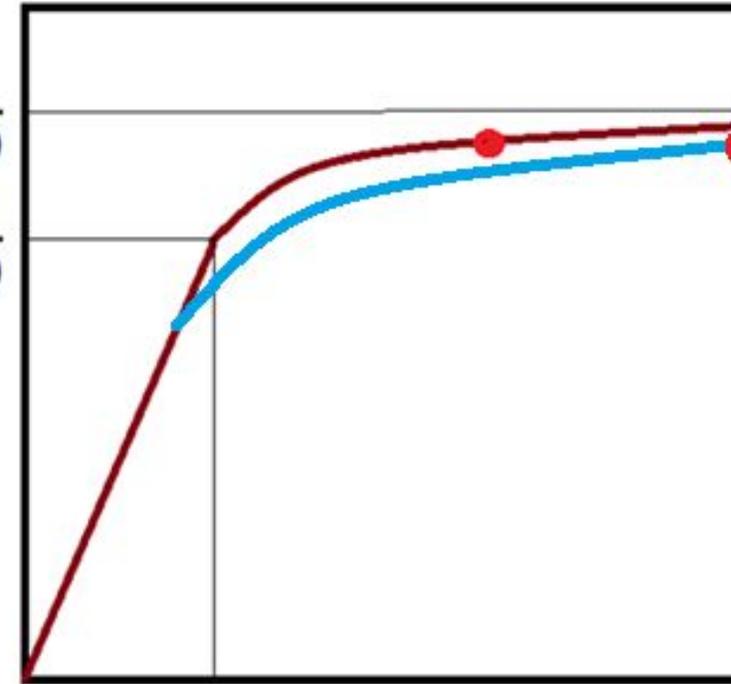
ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
УНИВЕРСИТЕТСКАЯ
СЛА



$$1 - \frac{S_{or}}{(1-S_{wr})}$$

$$1 - \frac{(1-S^*)}{(1-S_{wr})}$$

коэффициент
нефтеотдачи



$1/tg(a)$ безразмерный объем закачки

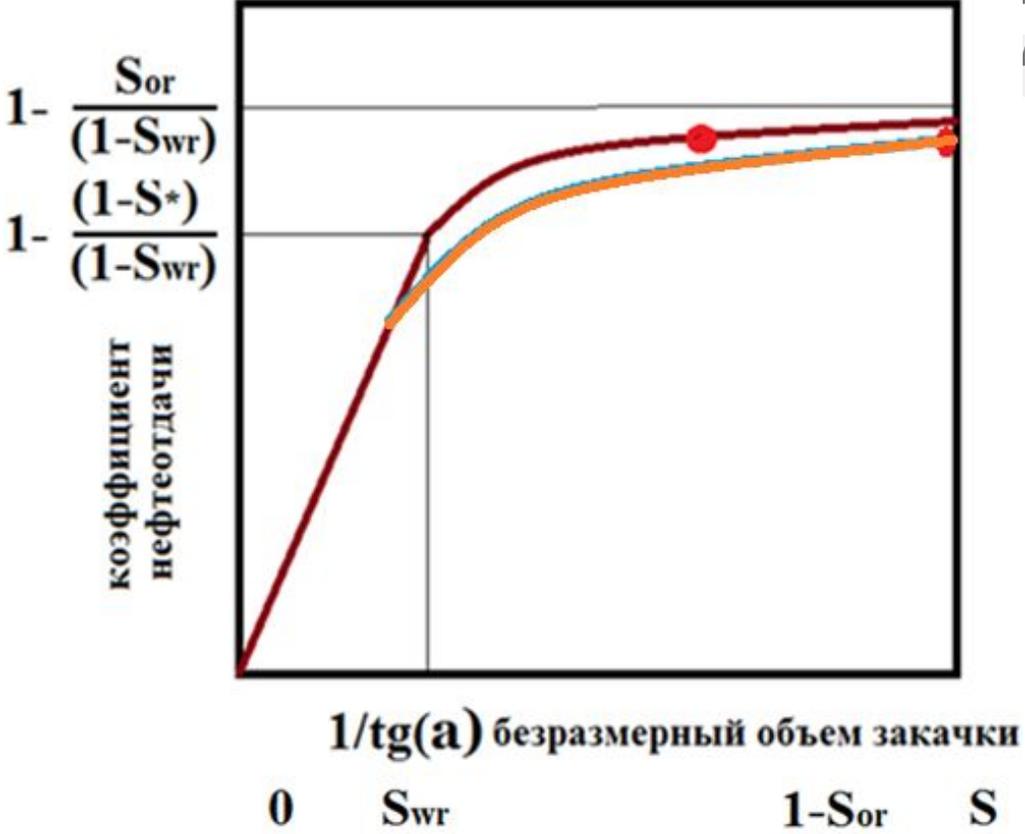
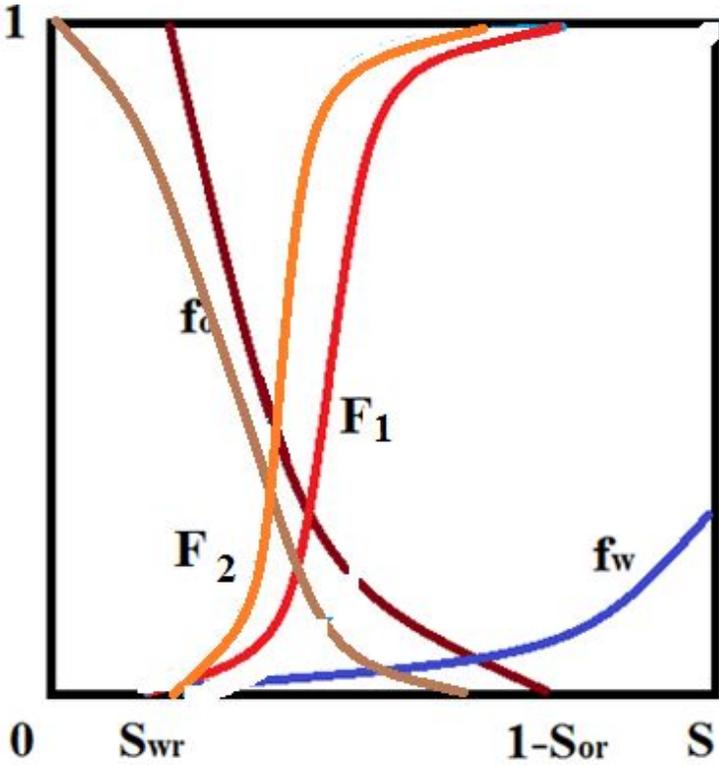
$$F(S, 0) = \frac{f_w(S)}{f_w(S) + f_o(S)\mu_w/\mu_o}$$



УПРАЖНЕНИЕ: А какой прогноз в гидрофобном коллекторе?



ЕСКАЯ
А



Теория одномерного вытеснения нефти водой

- Расчетные данные показывают, что даже при устойчивых фронтах вытеснения с ростом вязкости нефти резко падает эффективность процесса.



- Мы уже отмечали, что решение задачи, а следовательно, и эффективность процесса зависят не от абсолютной вязкости, а отношения вязкостей вытесняющей и вытесняемой жидкостей.
- А что будет если вязкость воды в пластовых условиях равна 0.8 или даже 0.5 сПз?



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА

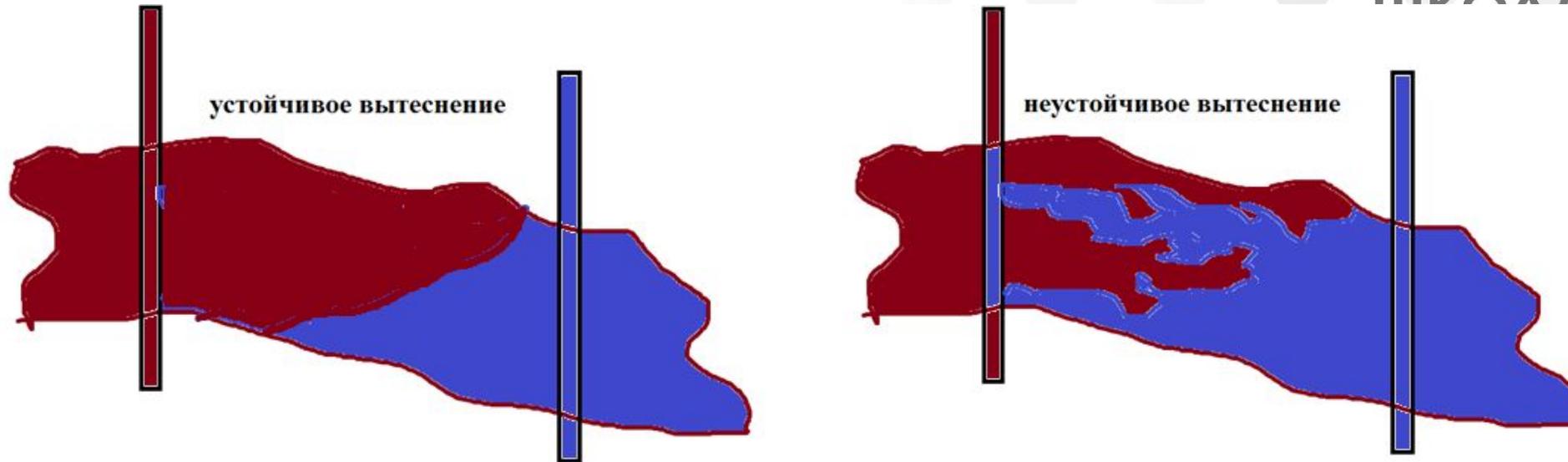
Подведем предварительные итоги.



Устойчивость процесса вытеснения нефти водой



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА



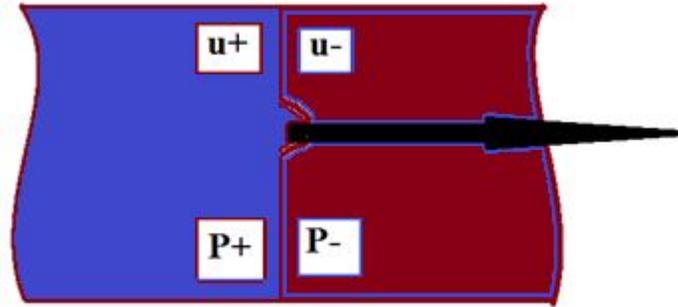
Если $M > 1$, фронт вытеснения будет неправильной формы (языки)
Если $M < 1$, происходит вытеснение однородным фронтом



Элементарная теория устойчивости водонефтяного фронта



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА



$$u_+ = -k \left(\frac{f_w(S_+)}{\mu_w} + \frac{f_o(S_+)}{\mu_o} \right) \frac{\partial P_+}{\partial x}, \quad u_- = -k \left(\frac{f_w(S_-)}{\mu_w} + \frac{f_o(S_-)}{\mu_o} \right) \frac{\partial P_-}{\partial x},$$

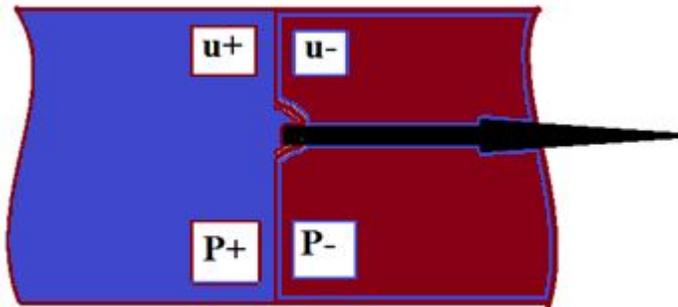
$$u_- < u_* \text{ при } M = \frac{\left(\frac{f_w(S_+)}{\mu_w} + \frac{f_o(S_+)}{\mu_o} \right)}{\left(\frac{f_w(S_-)}{\mu_w} + \frac{f_o(S_-)}{\mu_o} \right)} > 1$$



Элементарная теория устойчивости водонефтяного фронта



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА



$$f_w(S) = \begin{cases} (S - 0,2)^3, & S > 0,2 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

$$f_o(S) = \begin{cases} \left(\frac{1 - S - 0,3}{0,5}\right)^2, & 0,2 < S < 0,7 \\ 1, & S > 0,7 \end{cases}$$

Построим график подвижности потока от водонасыщенности при вязкости воды 1, а нефти 10, 20, 30 сПз и прикинем когда можно ожидать развитие неустойчивости фронта

$$\lambda = \frac{f_o}{\mu_o} + \frac{f_w}{\mu_w}$$

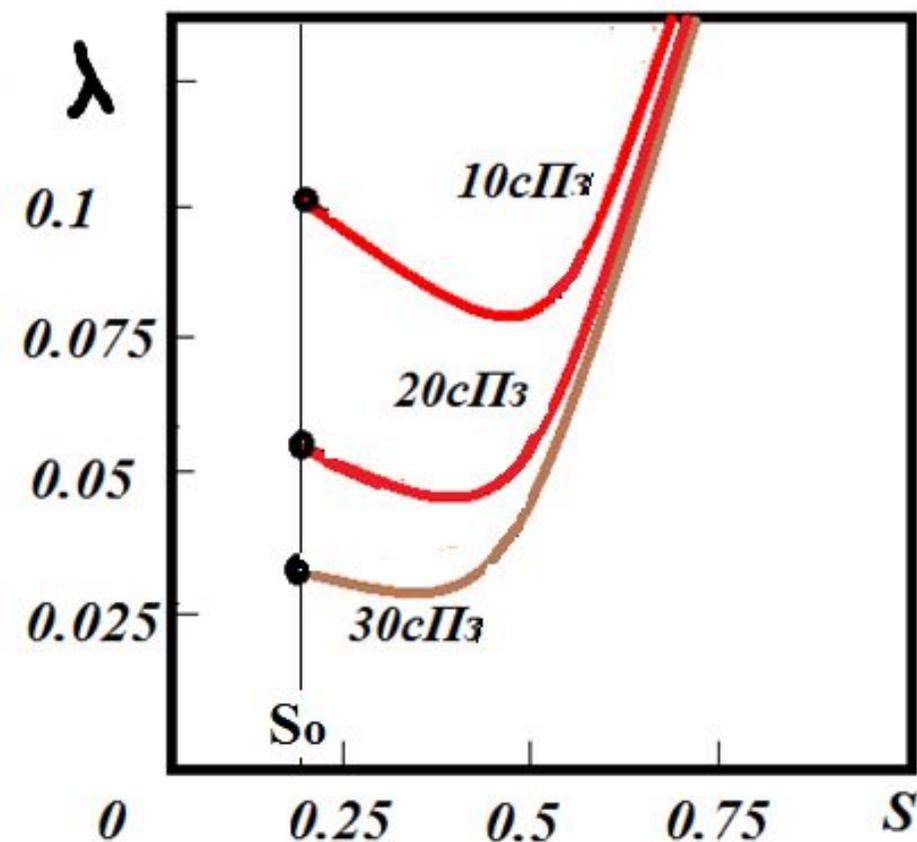
$$\mu_w = 1, \mu_o = 10, 20, 30 \text{ сПз}$$





ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА

УПРАЖНЕНИЕ: Построить зависимости подвижности двухфазного потока от водонасыщенности для вязкостей воды 1 сПз и нефти 10, 20, 30, 40сПз. Определить подвижность двухфазного потока перед и за фронтом вытеснения нефти водой. Откуда их взять?



Теория одномерного вытеснения нефти водой



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА

$$\frac{\partial S}{\partial T} + \frac{\partial F}{\partial X} = 0,$$

Безразмерные координаты:

T – объем закачки на объем пор,

X – относительное расстояние от линии нагнетания до линии отбора

Функция Баклея-Левретта – доля воды в потоке (на выходе $X=1$ – обводненность).

Решение зависит только от **безразмерных комплексов** подобия: соотношения вязкостей и остаточные насыщенности

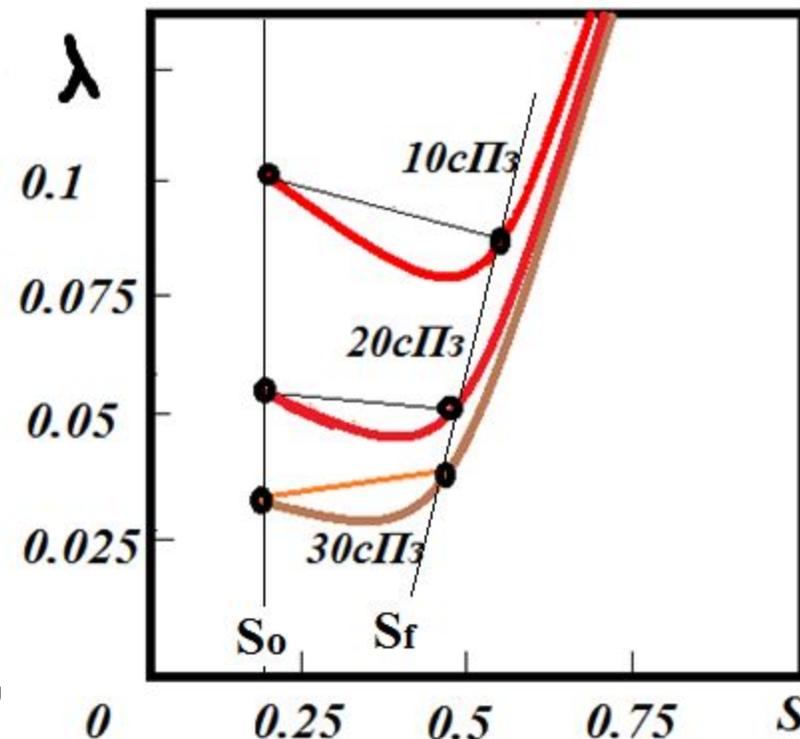
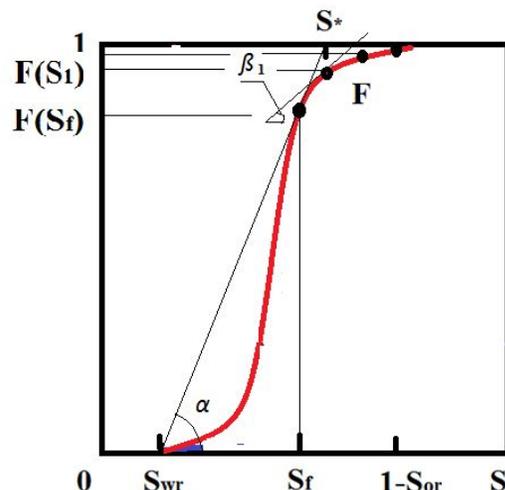
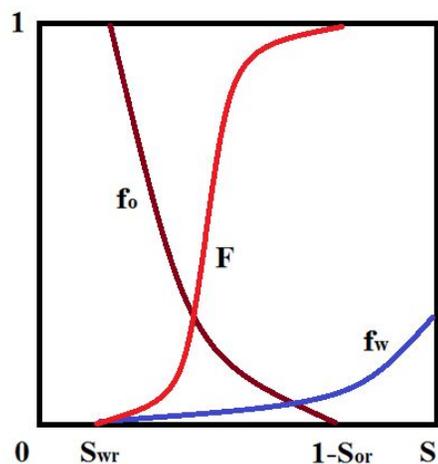
$$T = \frac{tQ}{Lm}, \quad X = \frac{x}{L}, \quad F = \left(\frac{f_w}{f_w + f_o \frac{\mu_w}{\mu_o}} \right)$$



Элементарная теория устойчивости водонефтяного фронта



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА



Вот почему нефти вязкостью выше 30 сПз с высоковязкими. Как можно подавить неустойчивость фронта использовать загущенную воду, но проблема как протолкнуть такую систему через пласт.



Почему так важно определять устойчивость фронта вытеснения?

При неустойчивом фронте:

Прогноз случаен, а водоизоляционные работы в добывающих скважинах бессмысленны.



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА



Письменный экзамен (5 баллов)



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА

Задание 1.1 Рассчитать дебит скважины с контуром питания 500м.

Параметры пласта и пластовых флюидов следующие:

$H=40\text{м}$, $\mu=5\text{сПз}$, $k=12\text{ мД}$, $V=1.2$, депрессия= 100атм , $r_w=0.1\text{м}$, $S=3$.

Как изменился дебит после ГРП с полудлиной идеальной трещины $X_f=120\text{м}$.

Задание 1.2 Рассчитать дебит добывающей скважины для пятиточечной системы расположения скважин и площадной системы заводнения

Параметры пласта и пластовых флюидов следующие:

$H=30\text{м}$, $\mu=3\text{сПз}$, $k=50\text{ мД}$, $V=1.2$, депрессия= 70атм , $r_w=0.1\text{м}$, $S=1.5$.





ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА

Письменный экзамен (5 баллов)

ЗАДАНИЕ 2.1 Скважина работает со следующими параметрами:

- $Q_o = 64 \text{ м}^3/\text{сут}$ $q_w = 0 \text{ м}^3/\text{сут}$ $P_{wf} = 100 \text{ атм}$ $P_r = 200 \text{ атм}$
- $m_o = 3 \text{ сПз}$ $V_o = 1.2 \text{ м}^3/\text{м}^3$ $r_e = 500 \text{ м}$ $r_w = 0.1 \text{ м}$ $S = 1.5$
- Данная скважина рассматривается как кандидат на снижение забойного давления и проведение ГРП.

• По скважине нужно :

- 1) Рассчитать Kh
- 2) Рассчитать максимальный теоретический дебит ($q_{o \max}$)
- 3) Построить индикаторную кривую (IPR)
- 4) Определить коэффициент продуктивности (PI)
- 5) Рассчитать потенциальный дебит при забойном давлении 50 атм, до проведения ГРП при $S=0$
- 6) Рассчитать потенциальный дебит при забойном давлении 50 атм, после проведения ГРП при $S= - 4.8$



Письменный экзамен (5 баллов)



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА

ЗАДАНИЕ 2.2

Построение индикаторной кривой (IPR).

- 1) Рассчитать максимальный теоретический дебит ($q_{o \max}$).
- 2) Построить индикаторную кривую (IPR).
- 3) Определить коэффициент продуктивности (PI).

данные по скважине		
K^*h	Kh	100
пластовое давление (атм)	P_r	250
радиус дренирования (м)	r_e	500
радиус скважины (м)	r_w	0.1
вязкость нефти (сПз)	μ_o	1
объёмный к-т (м ³ /м ³)	B_o	1.228
Скин	S	0



Письменный экзамен (3 балла)



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА

Задание 3.1 Какие параметры определяют процесс конусообразования в вертикальной скважине.

Какие силы определяют форму конуса.

Возможно ли образование конуса воды у горизонтальной скважины.

Задание 3.2 Сформулируйте качественно задачу о стационарном конусе подошвенной воды вблизи вертикальной скважины.



Письменный экзамен (4 балла)



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА

Задание 4.1 Опишите эффект Джамена.

Сформулируйте и запишите капиллярное число.

Покажите качественный вид зависимости остаточной нефтенасыщенности от капиллярного числа.

Задание 4.2 Проиллюстрируйте процесс защемления нефти в гидрофобном коллекторе и запишите закон Лапласа для давления.



Письменный экзамен



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА

- **Задание 6.1** Сформулируйте механизм гистерезиса краевого угла смачивания и какие параметры зависят от этого эффекта.
- **Задание 6.2** Нарисуйте изопермы и объясните их поведение для трехфазной фильтрации в гидрофильном коллекторе





ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА

Письменный экзамен

- **Задание 7.1** Нарисуйте качественный вид функции Леверетта для высоко и низко проницаемых пород, для гидрофобных и гидрофильных пород.
- **Задание 7.2** Модель пачки капилляров. Средний радиус поровых каналов, связь пористости и проницаемости.

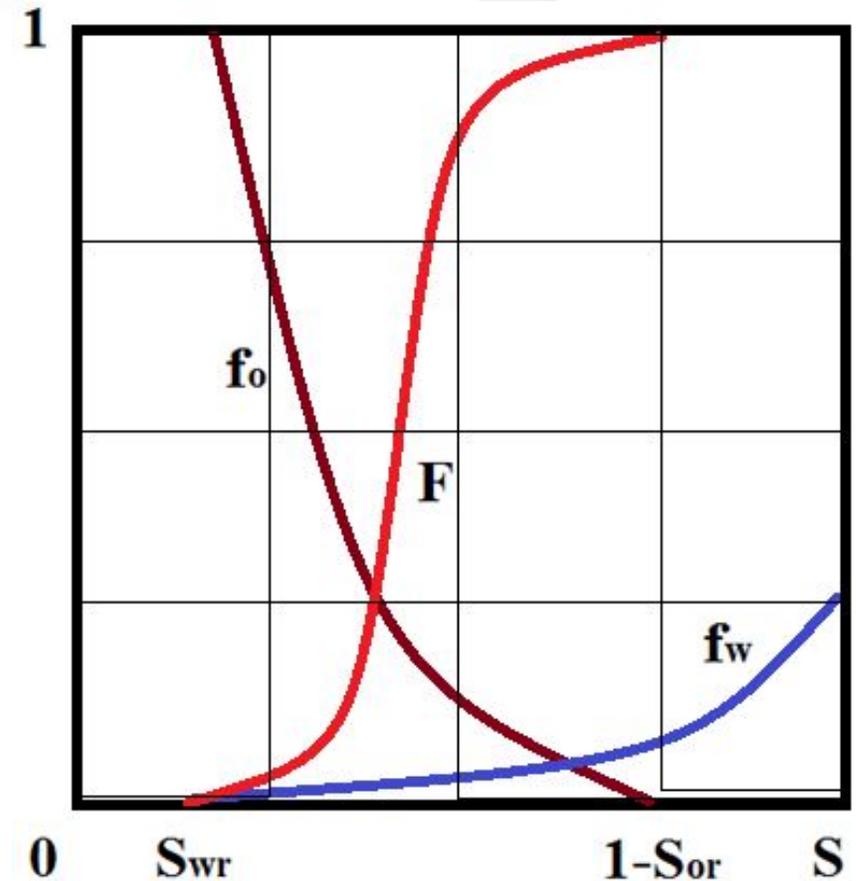


Письменный экзамен (5 баллов)



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА

- **Задание 8.1** Постройте графическое решение и определите основные параметры процесса вытеснения нефти водой для приведенной функции Б-Л



Письменный экзамен (5 баллов)



ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
ШКОЛА

- **Задание 8.2** Постройте графическое решение и нарисуйте распределение водонасыщенности в момент $T = 0.3$ для приведенной функции Б-Л

