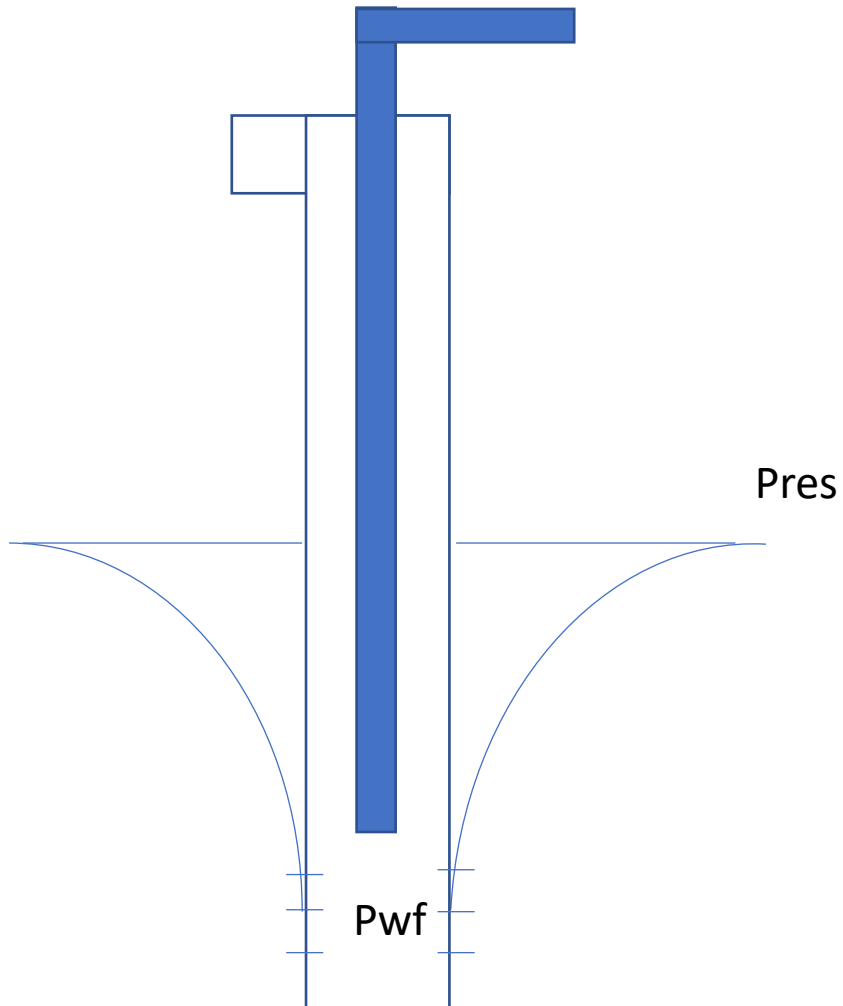


Лекция 4

Кривые IPR и VLP. Узловой анализ

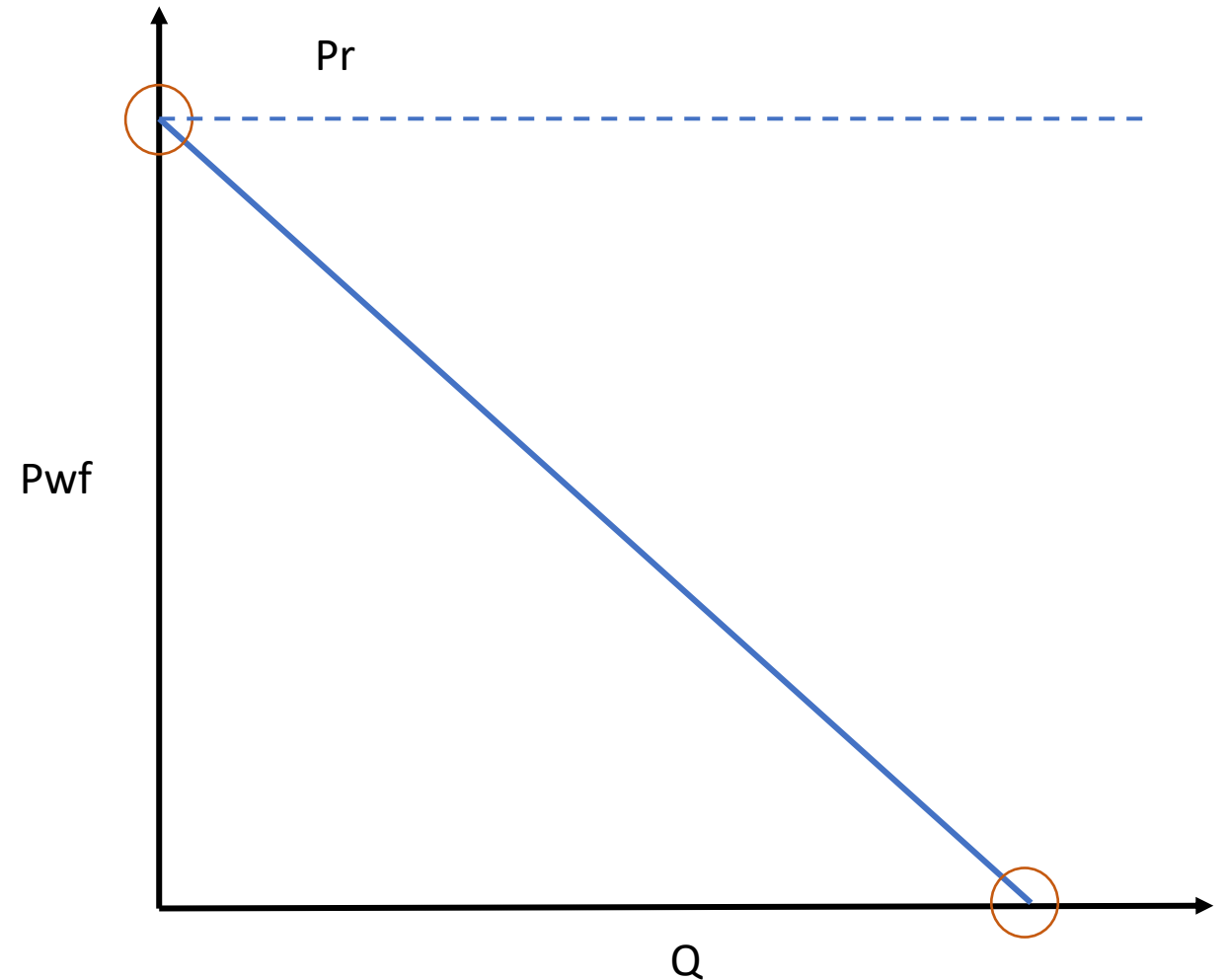
Кривая притока (IPR)

Кривая притока характеризует зависимость поступающего из пласта дебита, переведенного в стандартные условия, от забойного давления



$$Q = K\Delta P = K(P_r - P_{wf})$$

Где K – коэффициент продуктивности скважины



Кривая притока с учетом поправки Вогеля

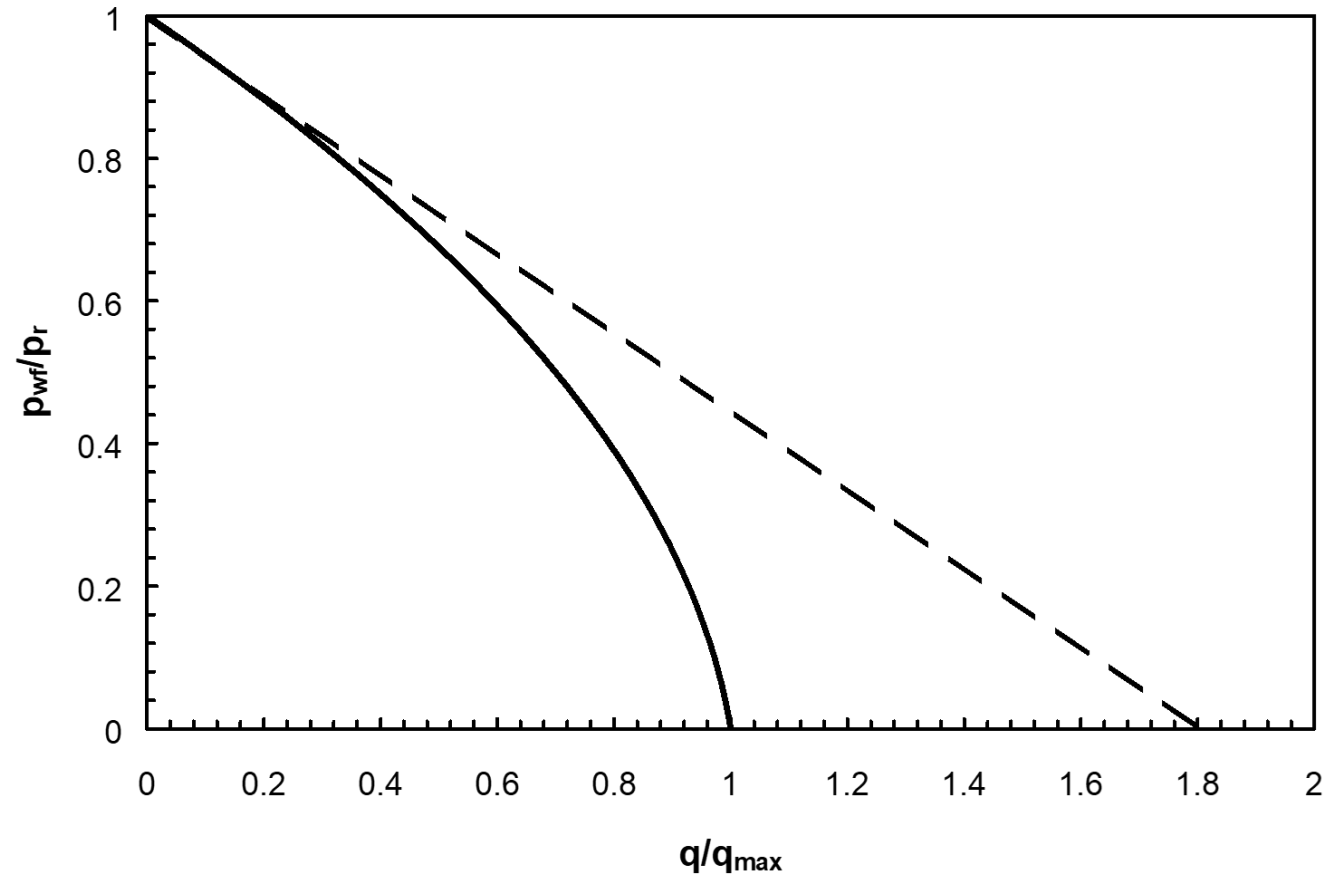
IPR с поправкой Вогеля учитывает выделение газа из нефти в призабойной зоне пласта

- Уравнение Вогеля:

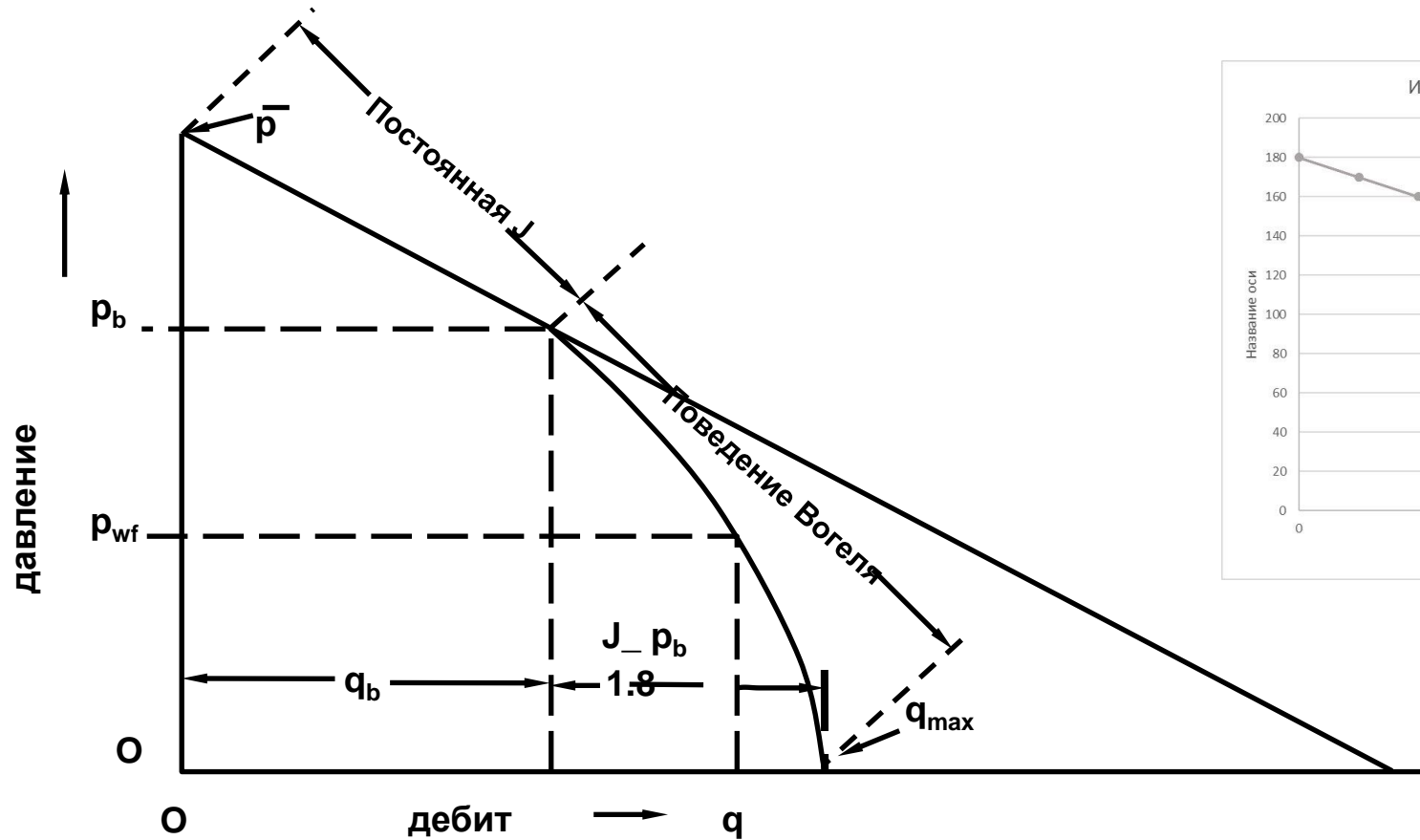
$$\frac{q_o}{(q_o^B)_{\max}} = 1 - 0.2 \left(\frac{P_{wf}}{P} \right) - 0.8 \left(\frac{P_{wf}}{P} \right)^2$$

- Для сравнения, индикаторная кривая по формуле Дюпюи задается следующим уравнением:

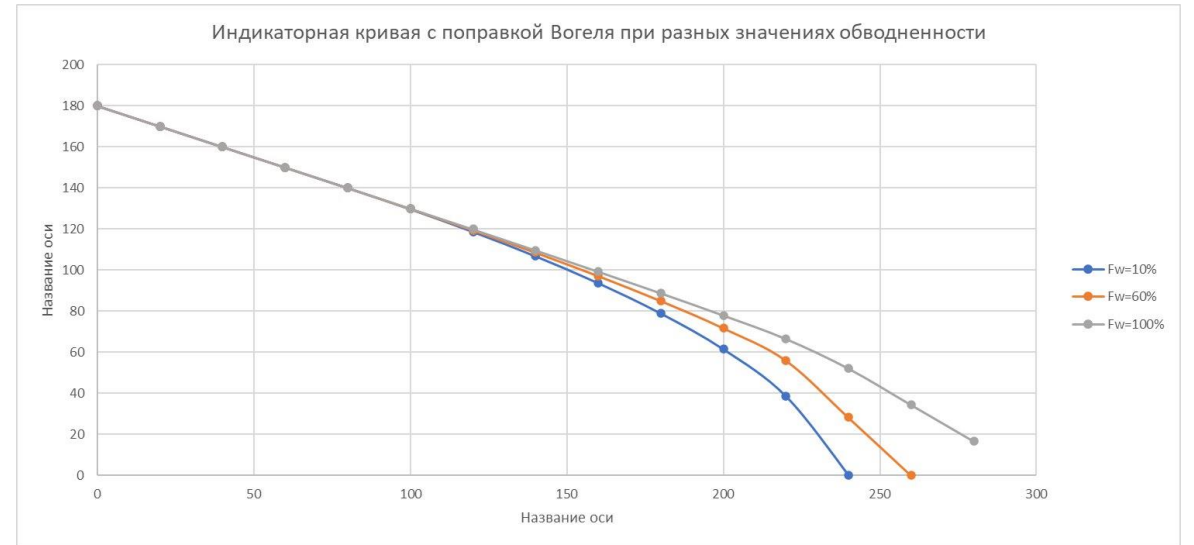
$$\frac{q_o}{(q_o^D)_{\max}} = 1 - \left(\frac{P_{wf}}{P} \right)$$



Композитная кривая Дарси/Вогеля



Поведение индикаторной кривой при изменении обводненности продукции



Построение индикаторной кривой Вогеля

1. $\bar{P}_r > P_b$ $P_{wf} \geq P_b$

$$PI = \frac{q_o}{\bar{P}_r - P_{wf}}$$

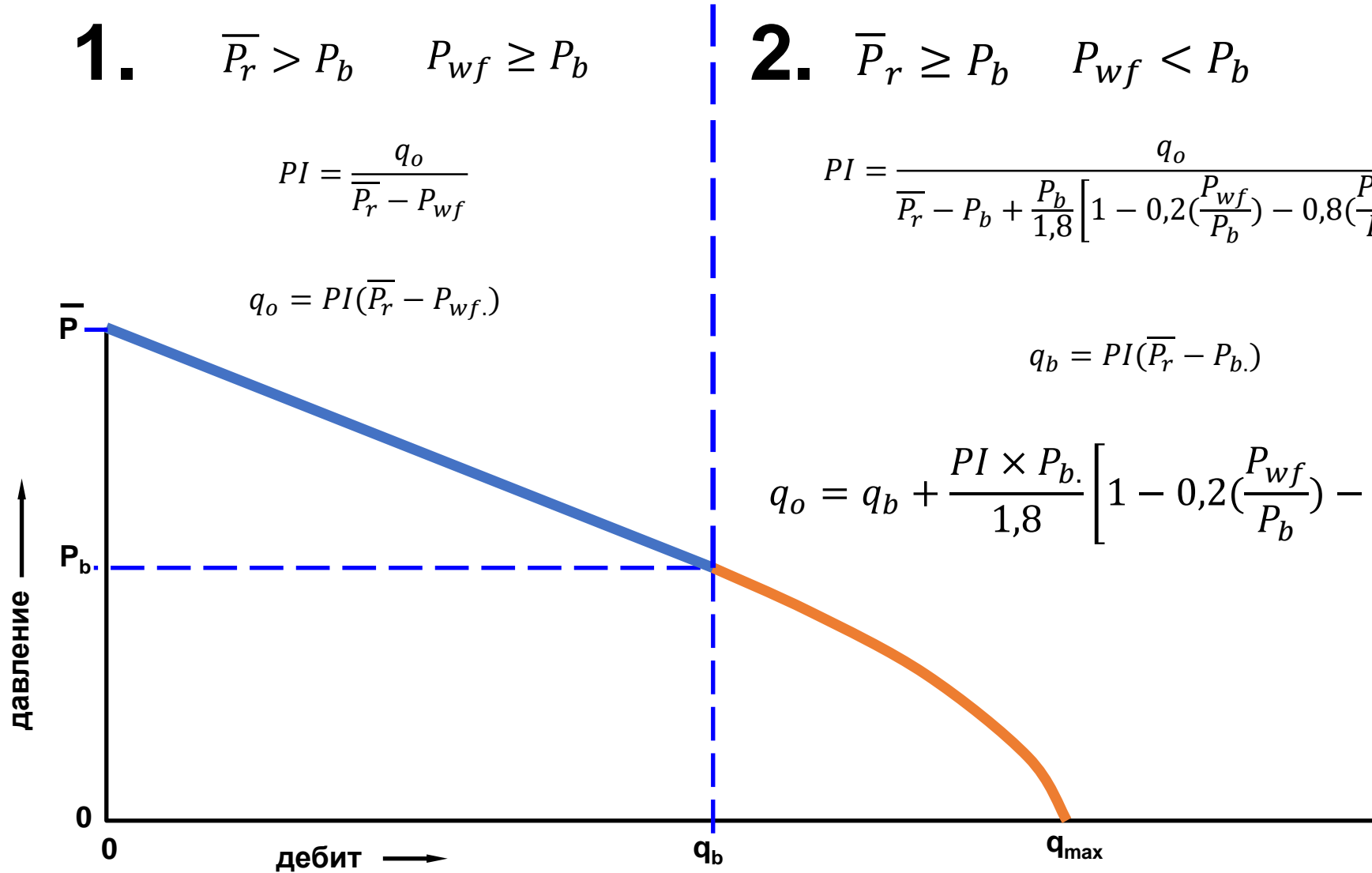
$$q_o = PI(\bar{P}_r - P_{wf})$$

2. $\bar{P}_r \geq P_b$ $P_{wf} < P_b$

$$PI = \frac{q_o}{\bar{P}_r - P_b + \frac{P_b}{1,8} \left[1 - 0,2 \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right) - 0,8 \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right)^2 \right]}$$

$$q_b = PI(\bar{P}_r - P_b)$$

$$q_o = q_b + \frac{PI \times P_b}{1,8} \left[1 - 0,2 \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right) - 0,8 \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right)^2 \right]$$

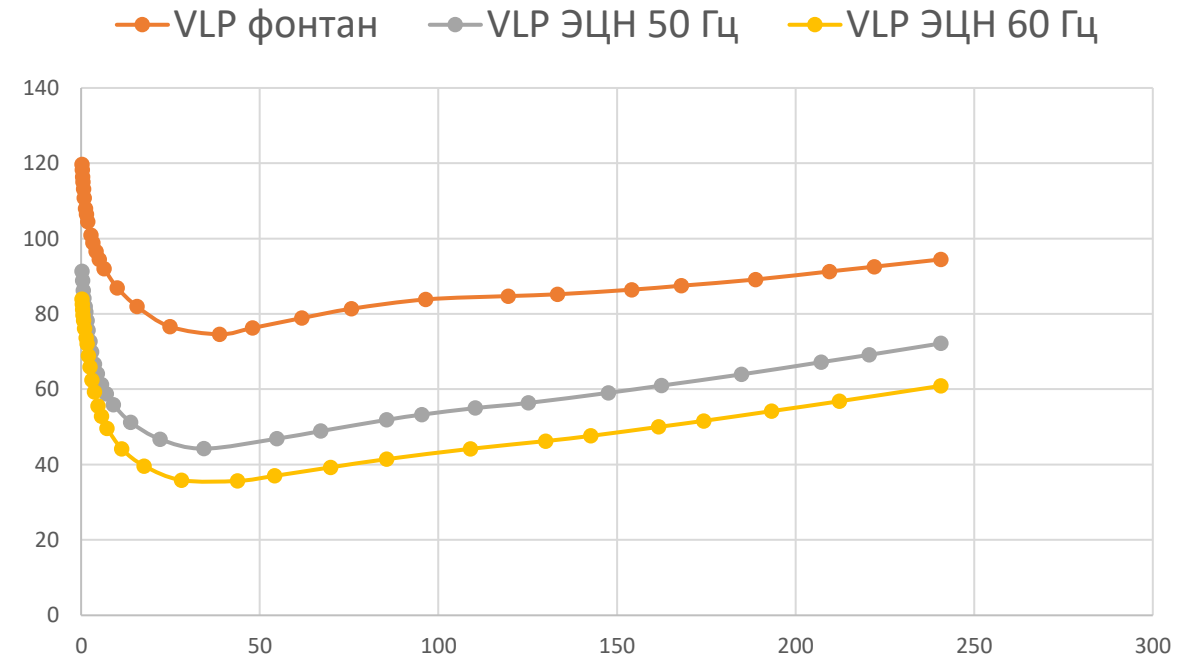
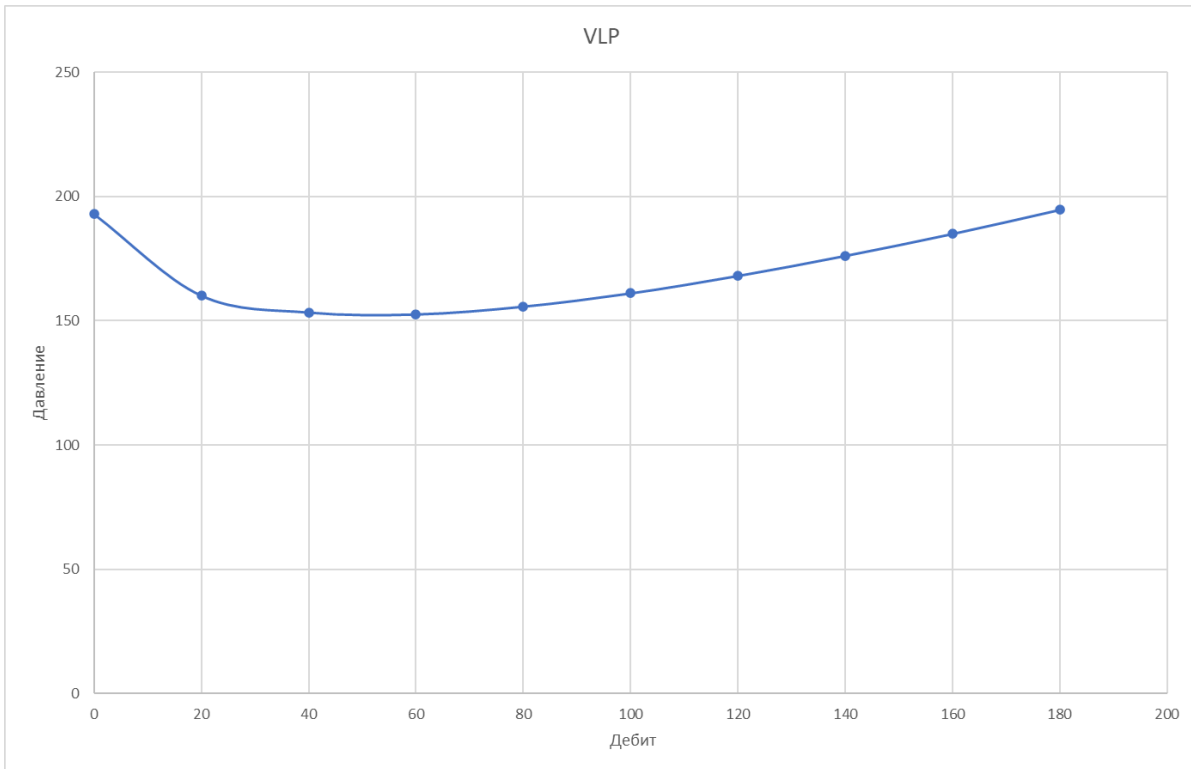


Кривая оттока (VLP)

Кривая VLP характеризует перепад давления в трубе при подъеме жидкости

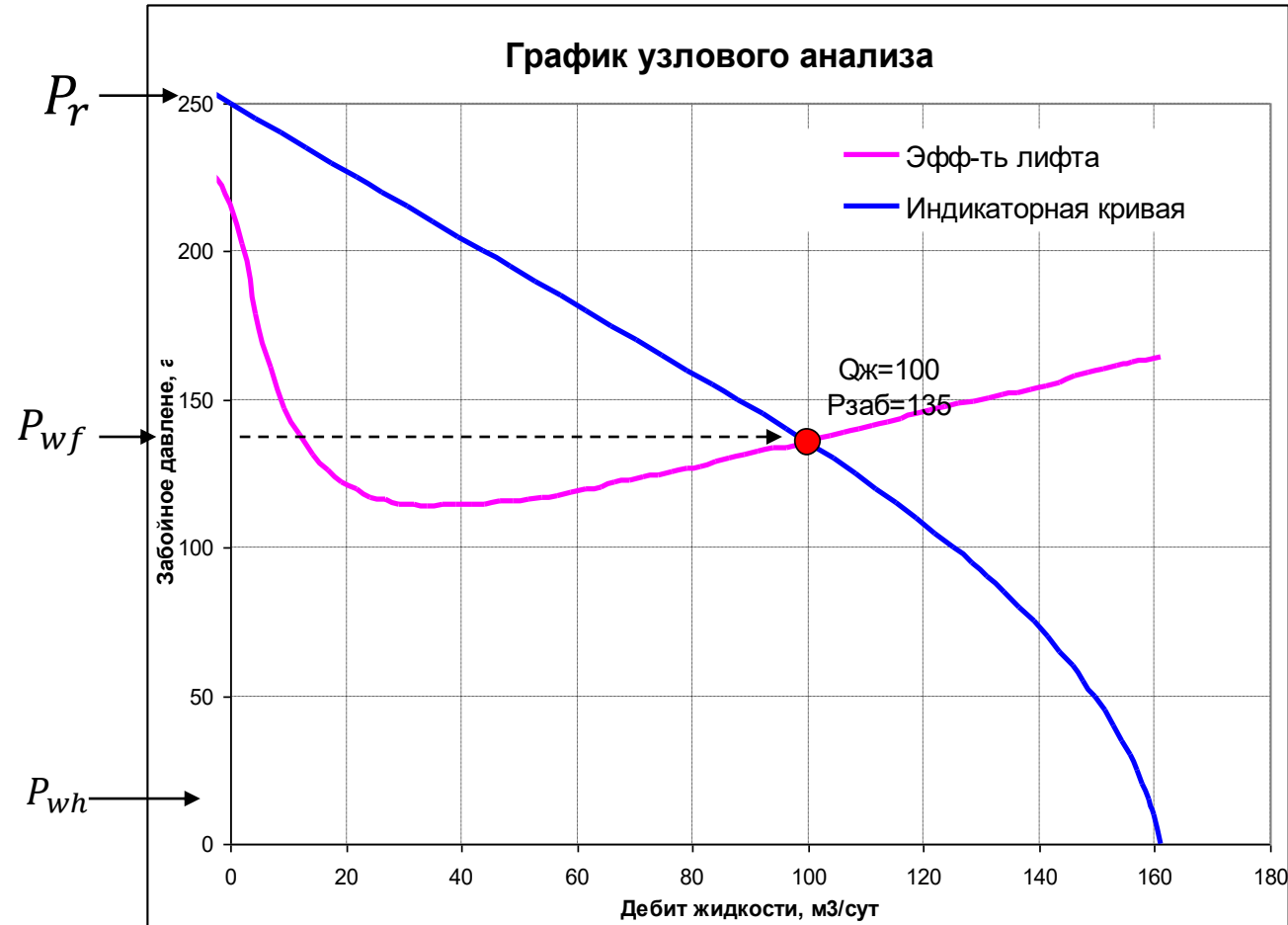
По данной кривой можно оценить перепад давления в трубе при различных условиях эксплуатации:

- Диаметры труб
- Диаметр штуцера
- Расход газлифтного газа
- Обводненность
- Частота насоса
- Газовый фактор



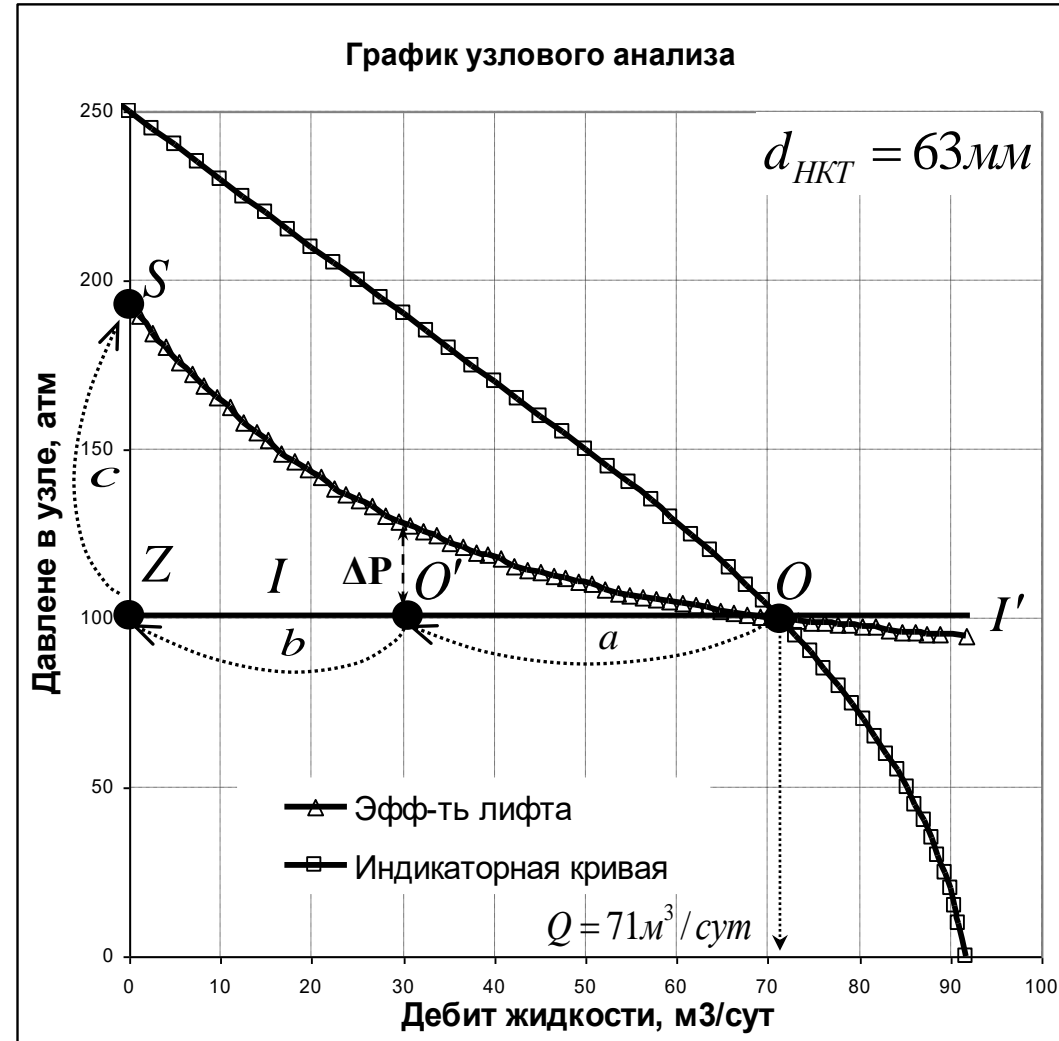
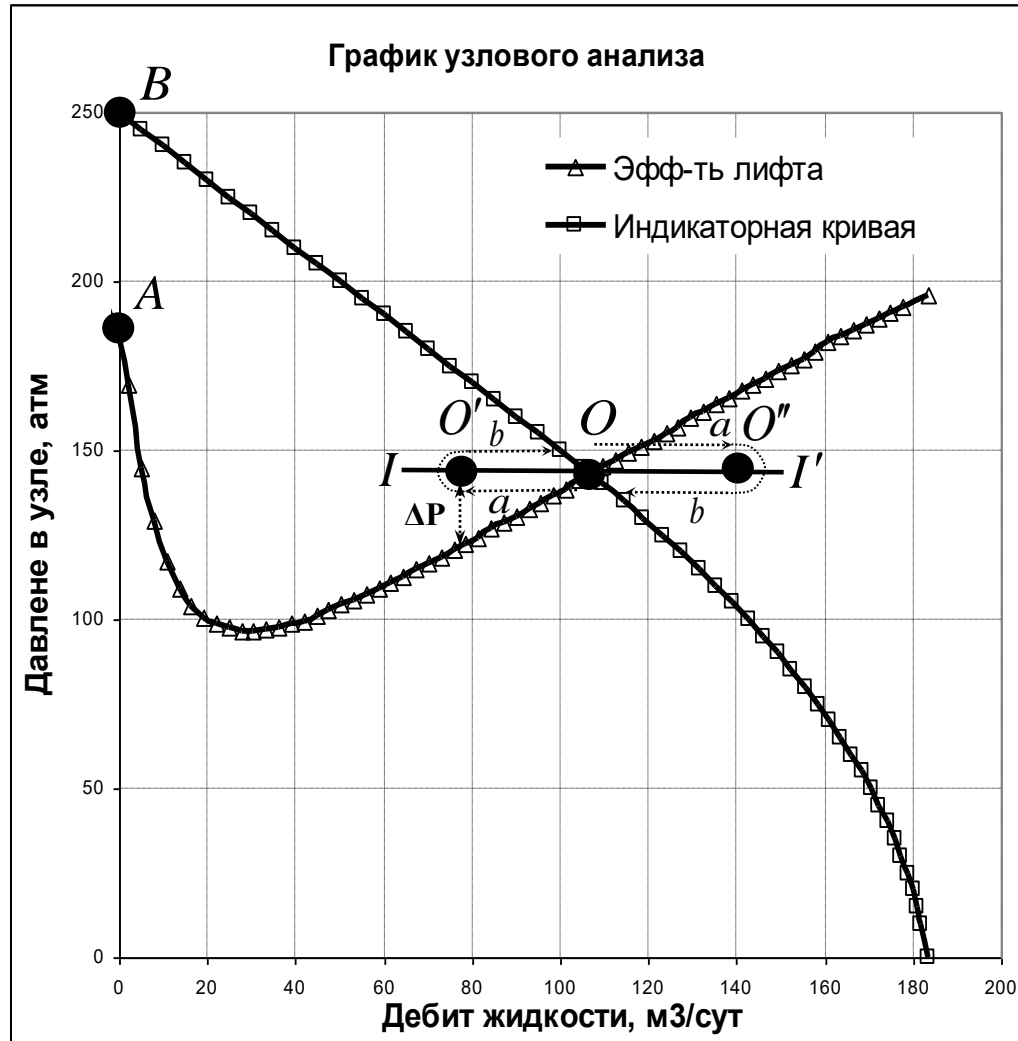
Узловой анализ

- Метод оценки рабочей точки системы «пласт - скважина» с узлом на забое

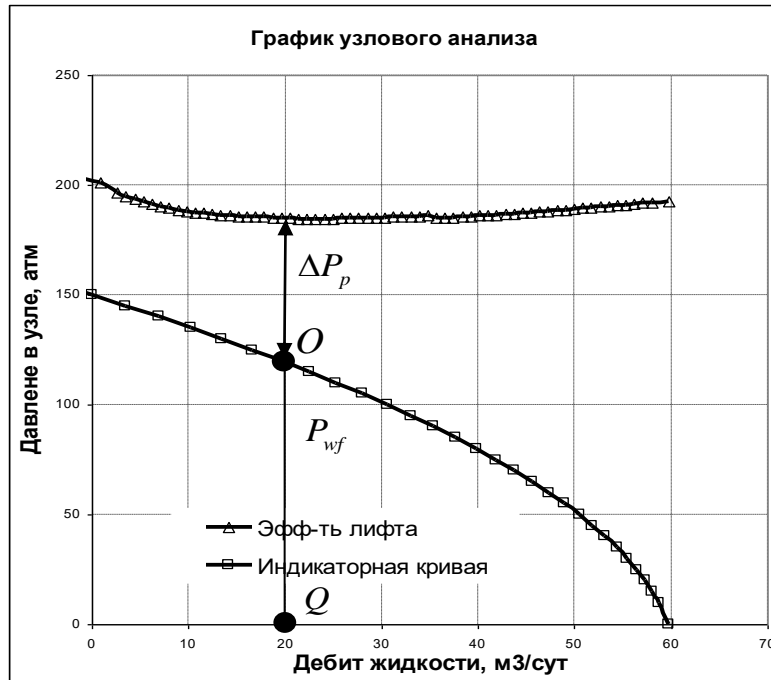


Устойчивая равновесная работа скважины:

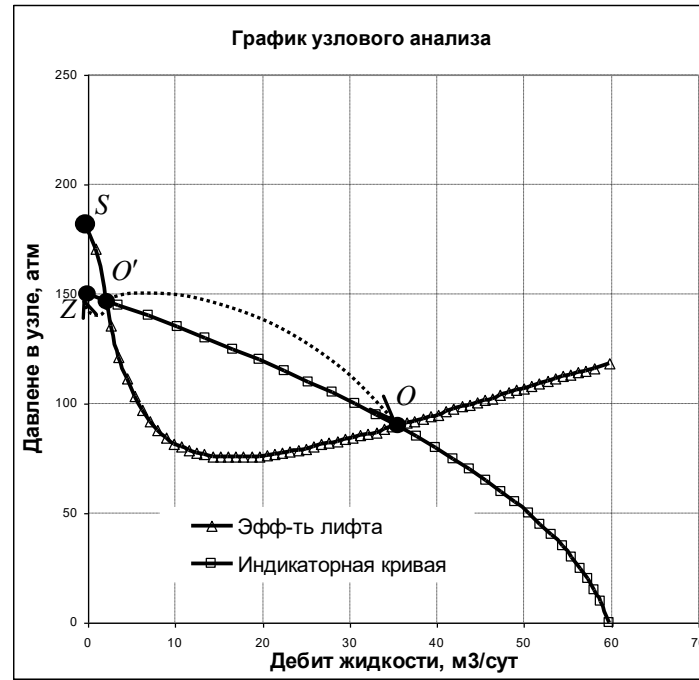
Неустойчивая равновесная работа скважины:



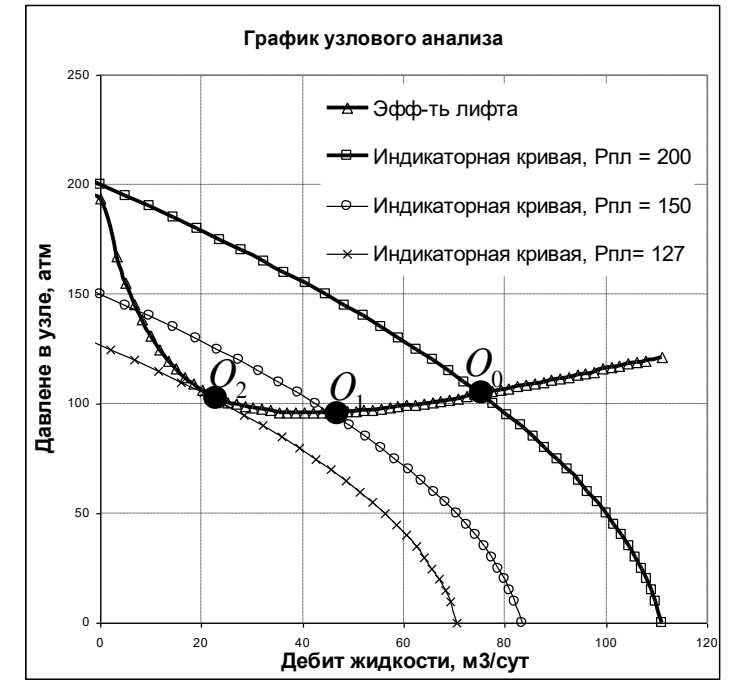
Узловой анализ скважины, работа которой невозможна:



Узловой анализ скважины, работа которой возможна только после разгрузки:



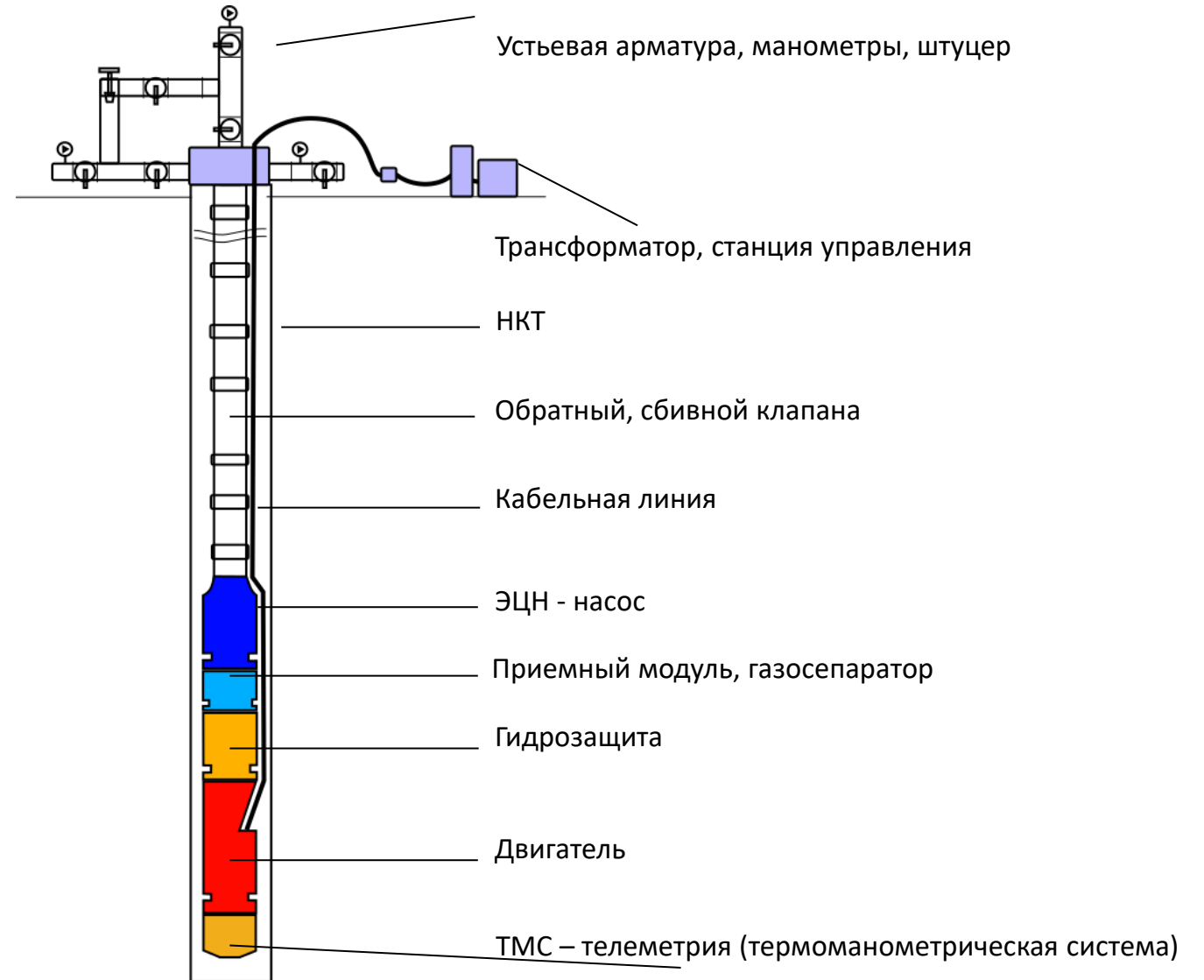
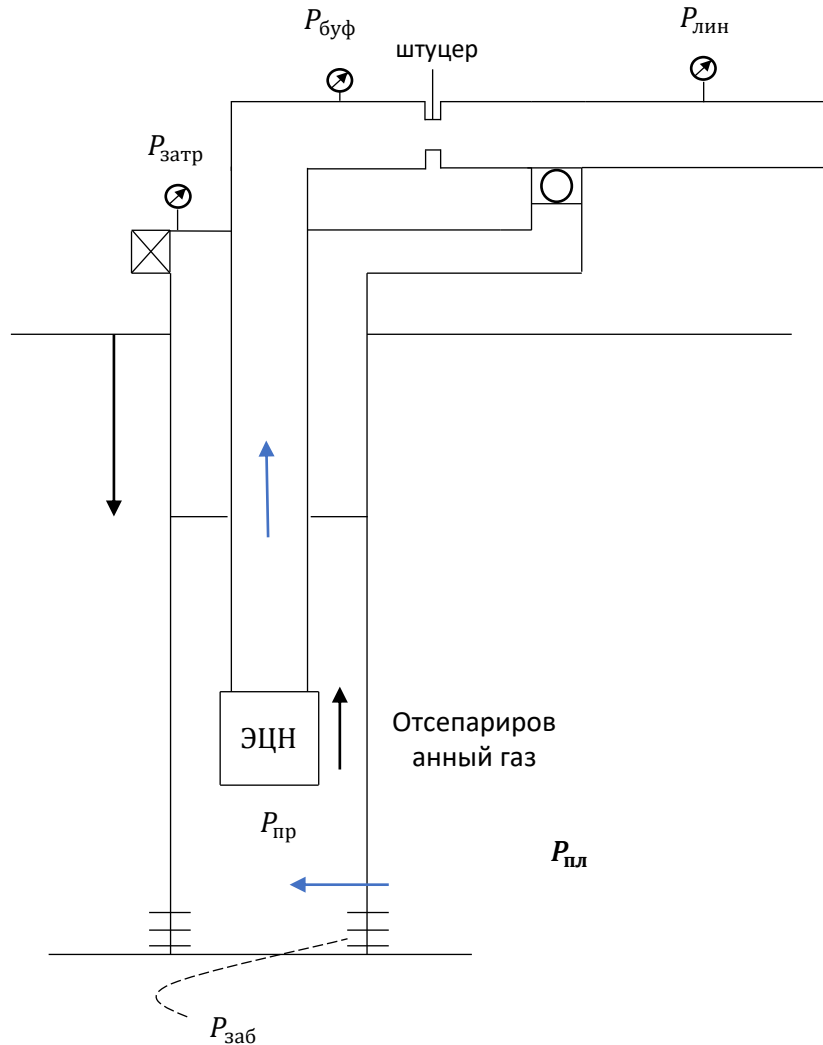
Изменение рабочей точки по мере снижения пластового давления:



Лекция 5. Часть 2

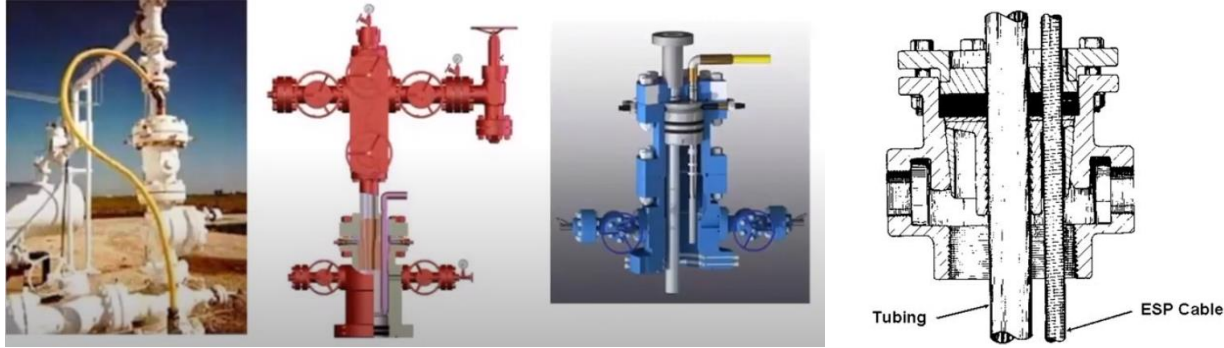
УЭЦН

Модель скважины, оборудованной УЭЦН



Надземная часть

1. ФА с кабельным вводом



Обладает дополнительным входом для ввода погружного кабеля

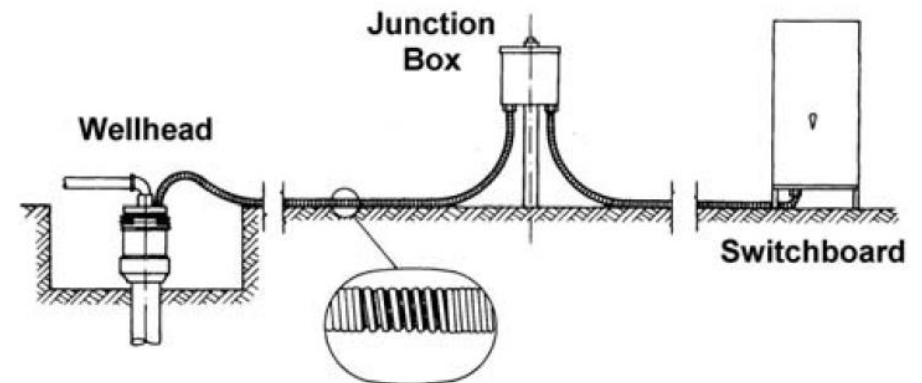
2. Станция управления

1. Обеспечение питания погружного оборудования
2. Мониторинг и управление погружным оборудованием
3. Защита погружного оборудования



3. Клеммная коробка

1. Обеспечение питания погружного оборудования
2. Мониторинг и управление погружным оборудованием
3. Защита погружного оборудования



Ступень ЭЦН

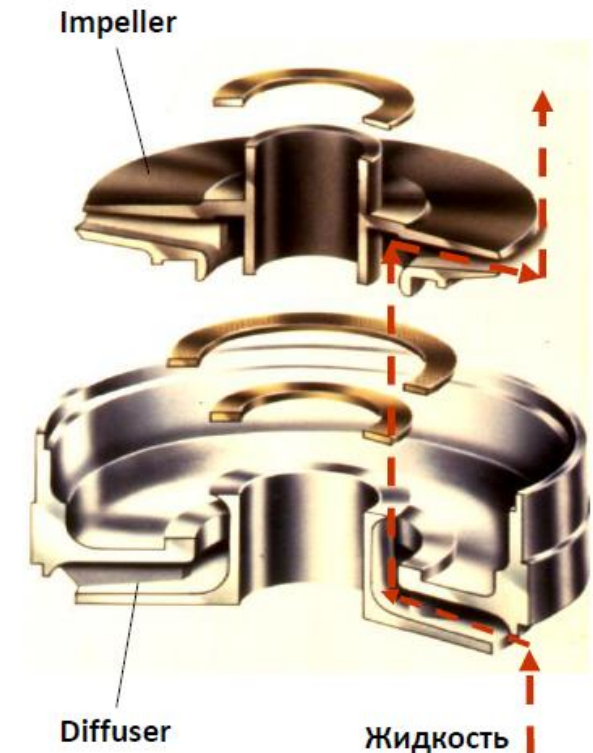
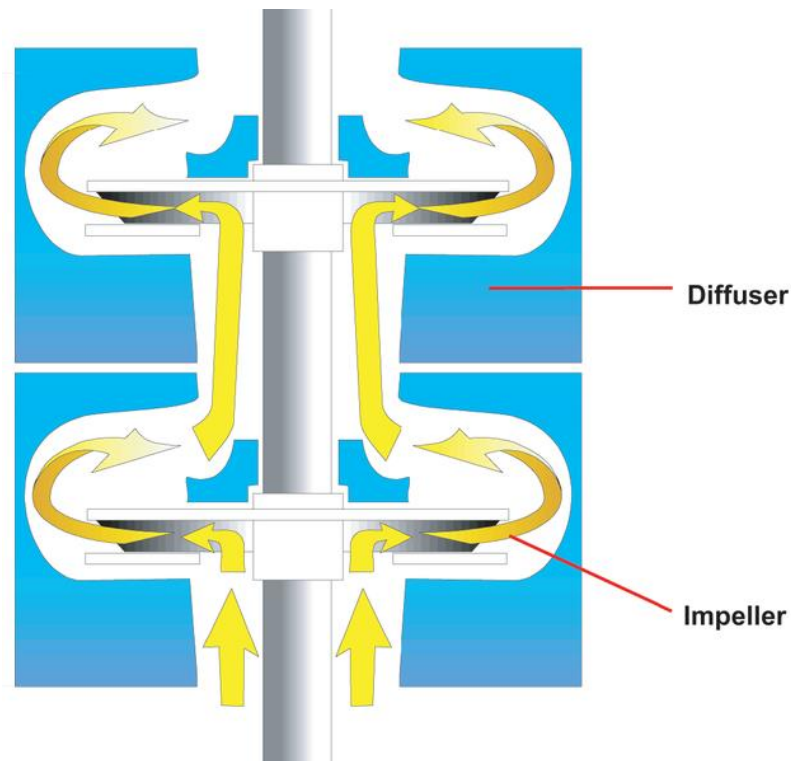
Электроцентробежный насос (ЭЦН) состоит из ступеней.

Ступень – основной компонент ЭЦН, предназначенный для преобразования энергии вращения вала в кинетическую энергию жидкости за счёт использования центробежных сил.

Ступень ЭЦН состоит из рабочего колеса (impeller) и направляющей (diffuser)

Производительность насоса: определяется конструктивными особенностями рабочего колеса

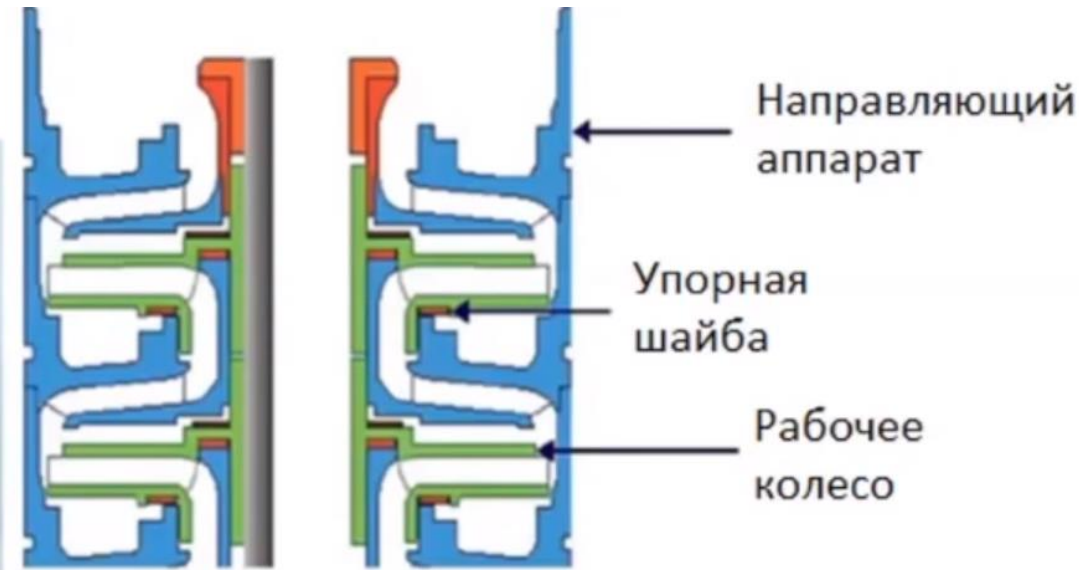
Напор насоса: определяется количеством ступеней



Ступень ЭЦН

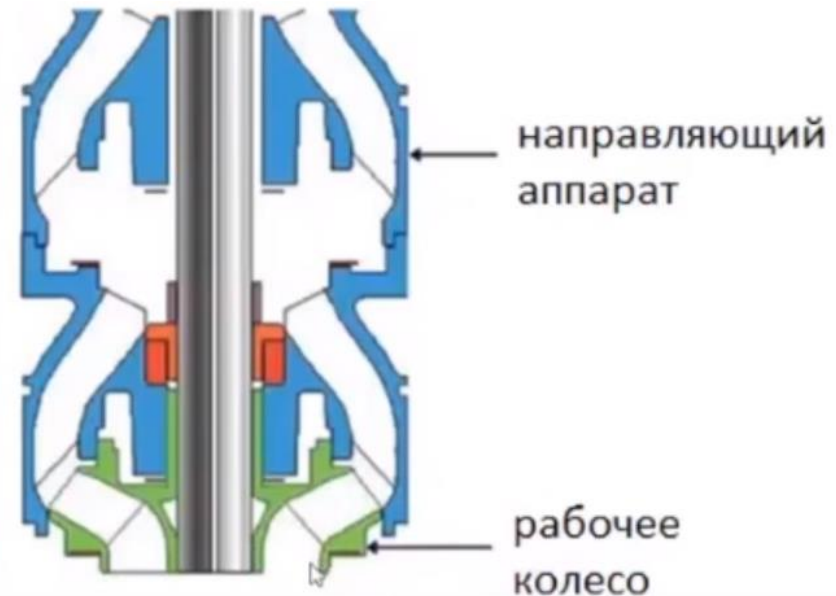
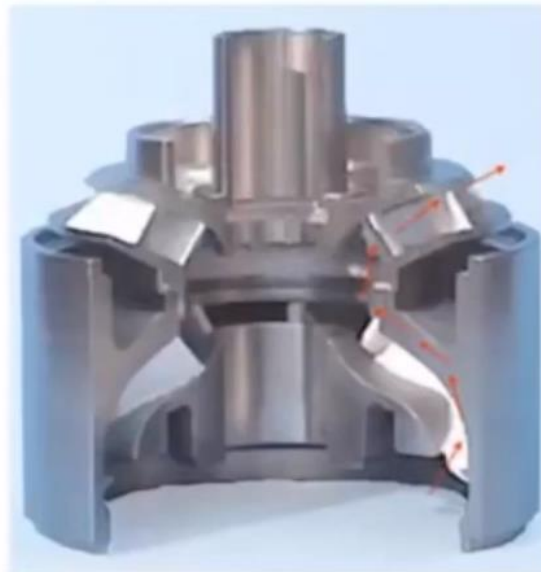
Рабочее колесо радиального типа:

1. Дебиты до $150 \text{ м}^3/\text{сут}$
2. Содержание свободного газа до 10%
3. Меньший допустимый вынос мех. примесей
4. Компактнее, развивают больший напор
5. Дешевле



Рабочее колесо смешанного типа:

1. Дебиты более $150 \text{ м}^3/\text{сут}$
2. Содержание свободного газа до 25%
3. Большой допустимый вынос мех. примесей
4. Менее компактны, развивают меньший напор
5. Дешевле

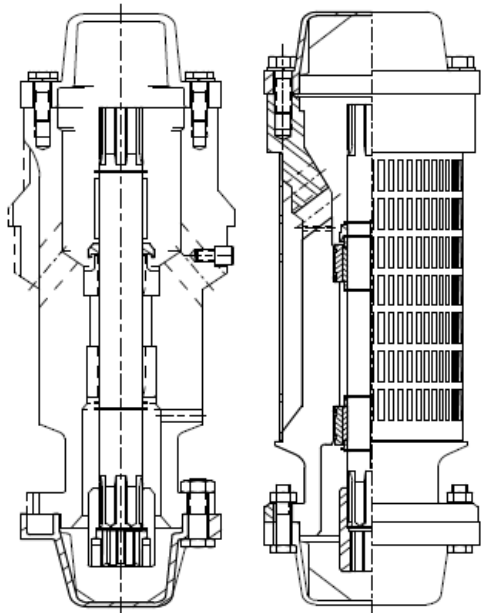


Приёмный модуль УЭЦН и газосепаратор

Доля газа на приеме до 25%

Приемный модуль – узел, через который жидкость попадает в насос

- Является базовым узлом
- Естественная сепарация составляет 10-20%



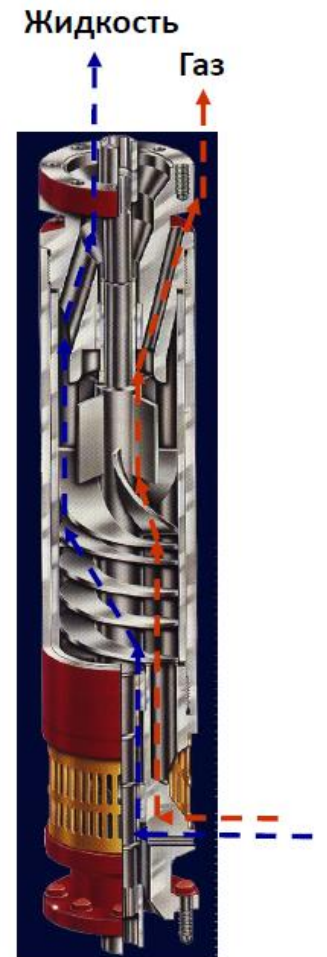
Bolt On Intake

Доля газа на приеме до 50-70%

- УЭЦН способны работать с долей газа на приеме насоса 25%
- Если газа а приеме больше 25%, необходимо устанавливать газосепаратор

Газосепаратор представляет собой приемный модуль с возможностью динамического отделения газа

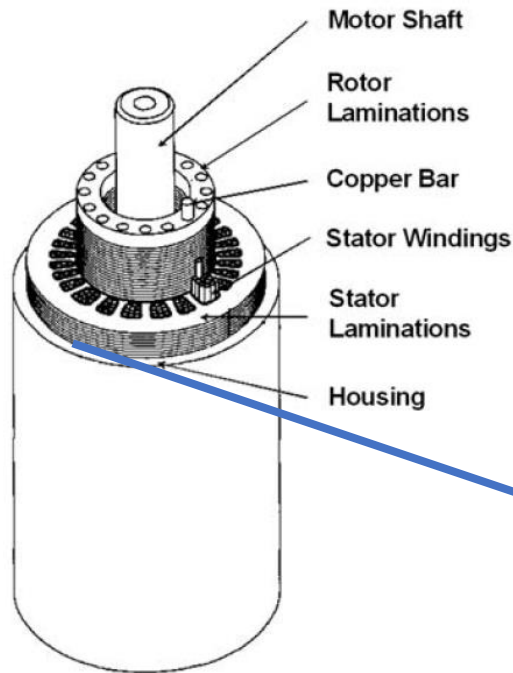
Отделяет свободный газ из перекачиваемой жидкости в поле центробежных сил с целью снижения количества газа, поступающего в насос ЭЦН.



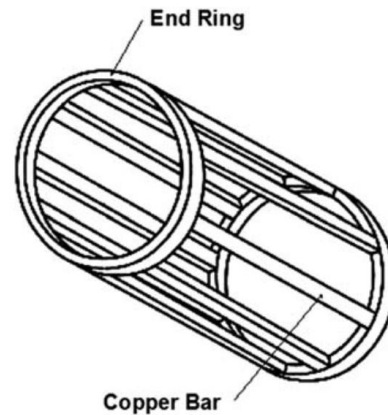
Погружной электродвигатель и кабель

Электродвигатель предназначен для преобразования электрической энергии тока в механическую энергию вращающегося вала

Асинхронный ПЭД:



Медные стержни ротора



Стальные высокопроводящие пластины

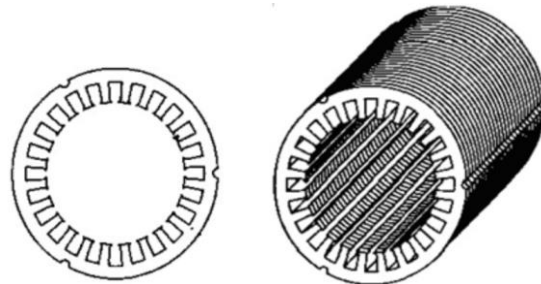
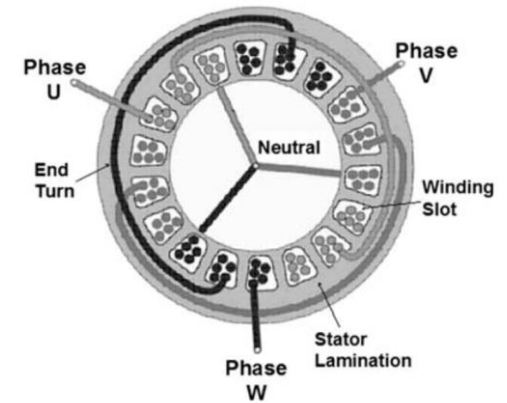


Схема обвязки статора



Виды кабелей



Гидрозащита

Протектор

Функции протектора:

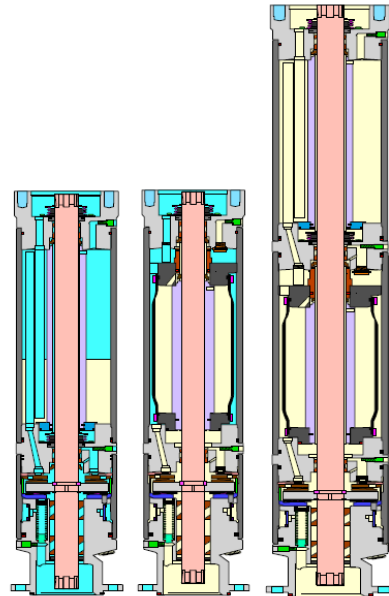
- Не допускать проникновения скважинной жидкости в двигатель;
- Передача крутящего момента от двигателя к насосу;
- Восприятие осевой нагрузки;



Компенсатор

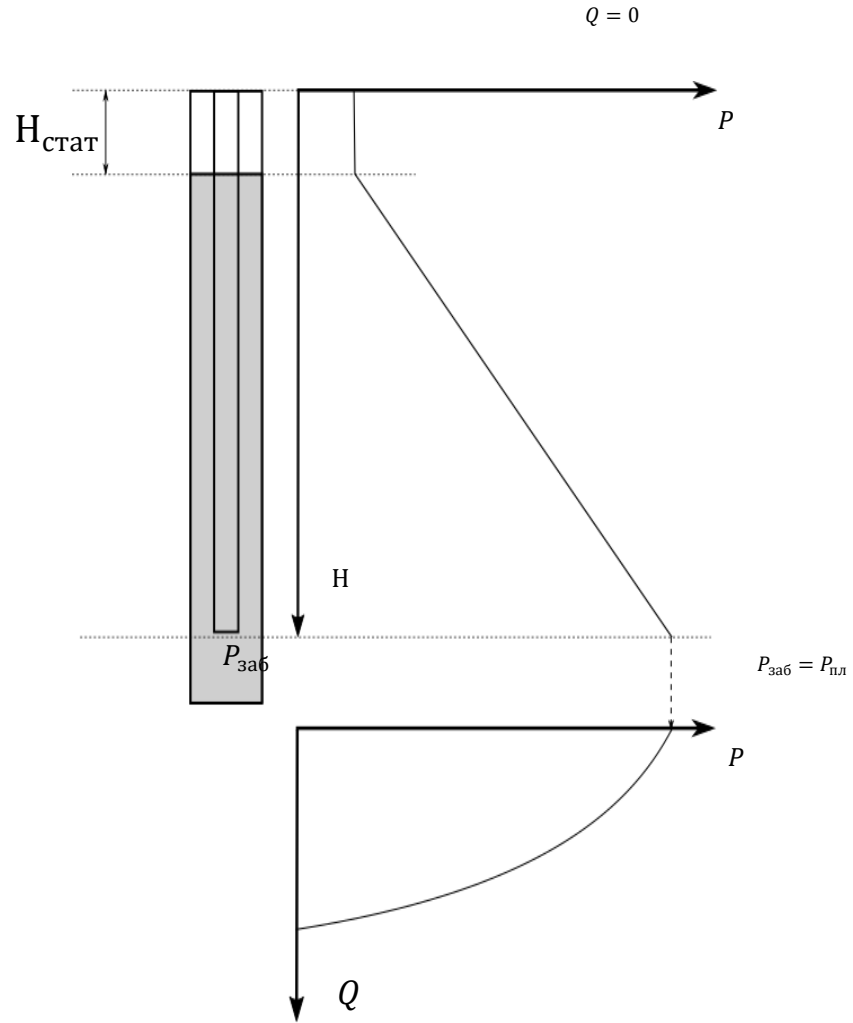
Основные функции компенсатора:

- Выравнивание давления масла в двигатели с давлением жидкости
- Пополнение объема масла в двигателе

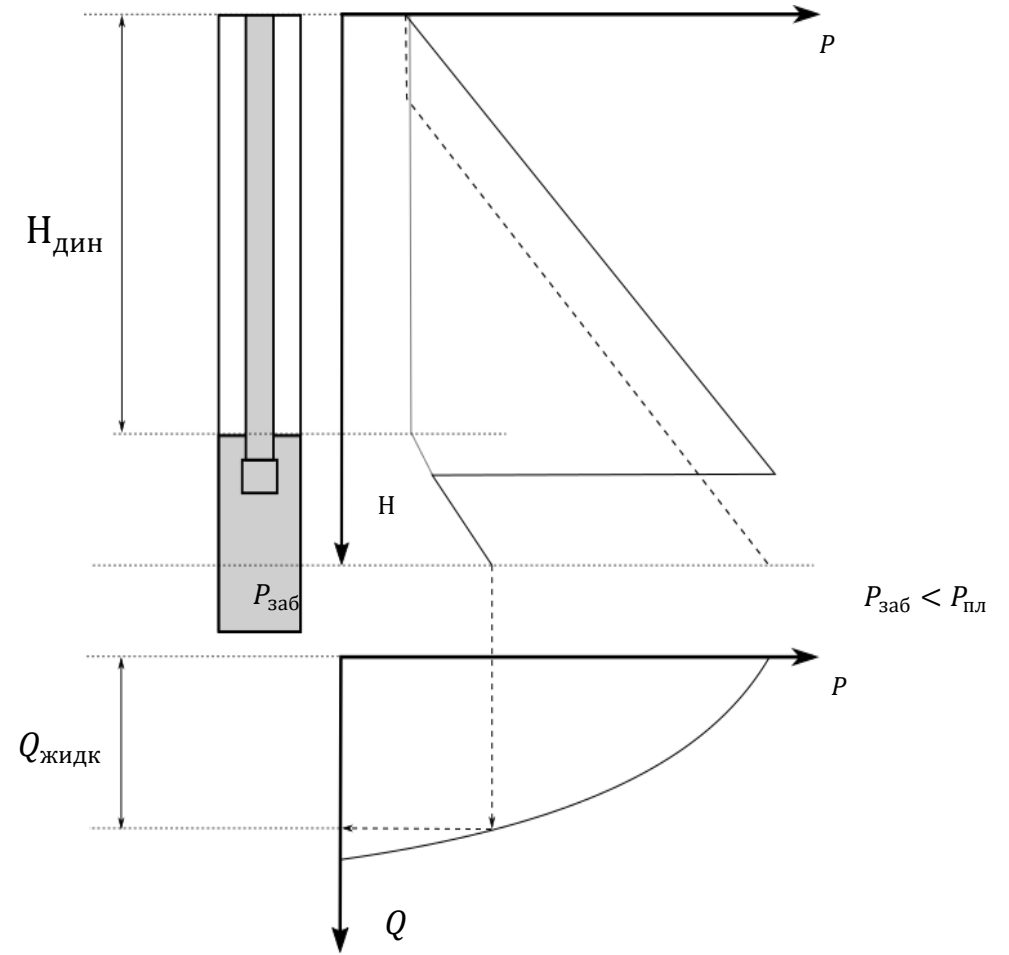


Потребность в мех. добыче

Распределение давления в заглушенной скважине



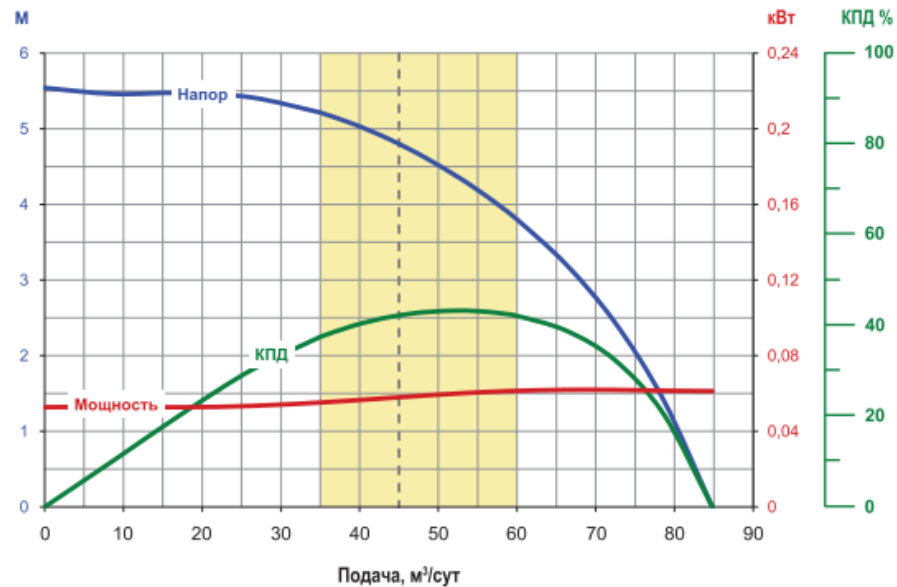
Распределение давления в скважине с насосом



Напорно-расходная характеристика (НРХ). Законы подобия

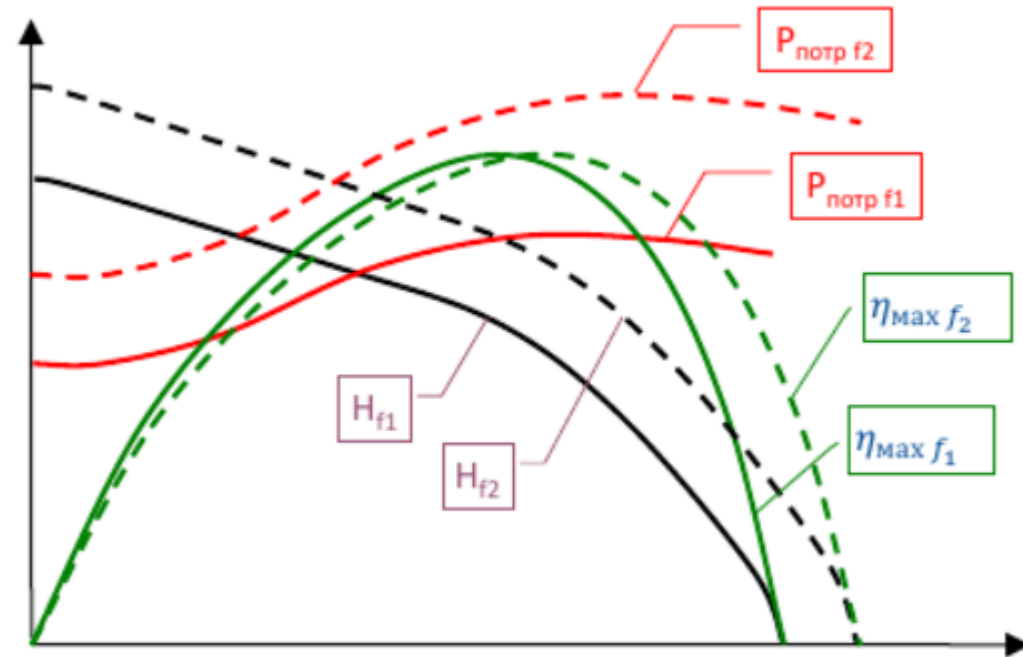
Характеристика ступени ЭЦНД5-45

при частоте вращения 2910 об/мин на воде плотностью $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$



Характеристики ступени ЭЦНД5-45

Параметры	при 50 Гц
Номинальная подача	45 м³/сут
Рабочий диапазон	35 – 60 м³/сут
Напор	4,8 м
Мощность	0,058 кВт
Номинальный КПД	42 %



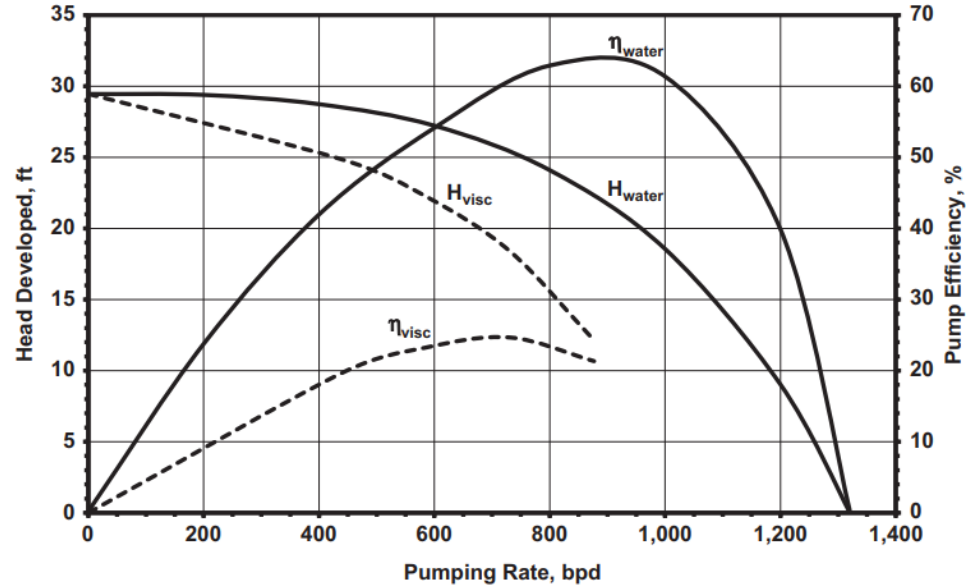
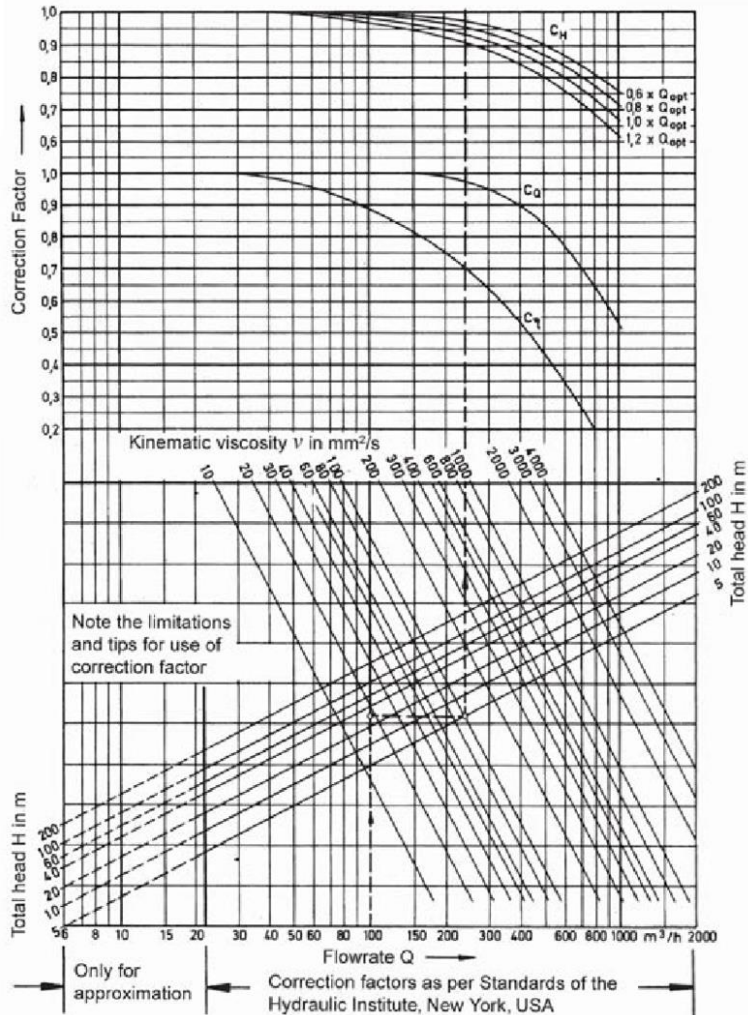
$$Q_{f2} = Q_{f1} \left(\frac{f_2}{f_1} \right)$$

$$P_{\text{потр } f2} = P_{\text{потр } f1} \left(\frac{f_2}{f_1} \right)^3$$

$$H_{f2} = H_{f1} \left(\frac{f_2}{f_1} \right)^2$$

$$\eta_{\text{max } f2} = \eta_{\text{max } f1}$$

Учет влияния вязкости на НРХ



$$Q_{\text{visc}} = C_Q Q_w$$

$$H_{\text{visc}} = C_H H_w$$

$$\eta_{\text{visc}} = C_\eta \eta_w$$

$$Q^* = \exp\left(\frac{39.5276 + 26.5605 \ln(\nu) - y}{51.6565}\right)$$

$$y = -7.5946 + 6.6504 \ln(H_{\text{WBEP}}) + 12.8429 \ln(Q_{\text{WBEP}})$$

$$C_Q = 1.0 - 4.0327 \cdot 10^{-3} Q^* - 1.724 \cdot 10^{-4} (Q^*)^2$$

$$C_\eta = 1.0 - 3.3075 \cdot 10^{-2} Q^* + 2.8875 \cdot 10^{-4} (Q^*)^2$$

Учет влияния газа на НРХ

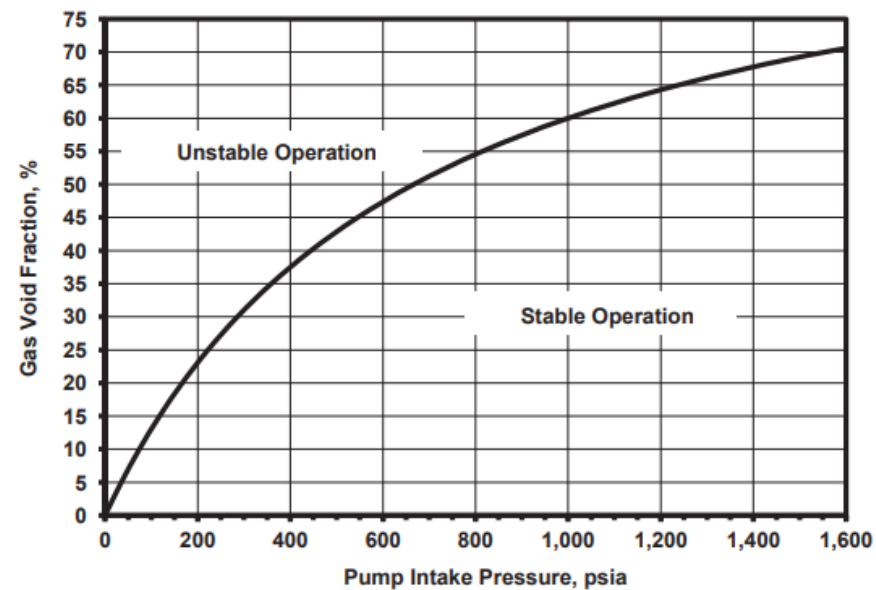
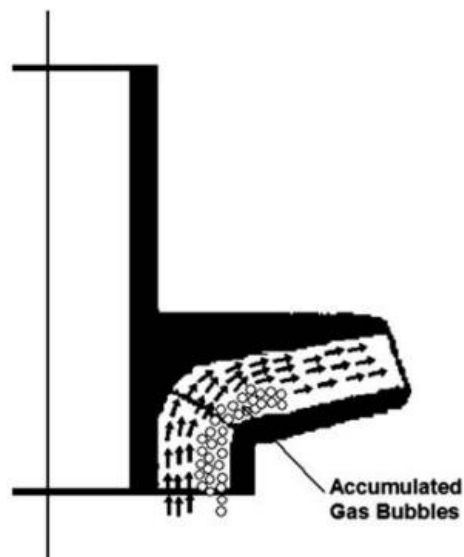
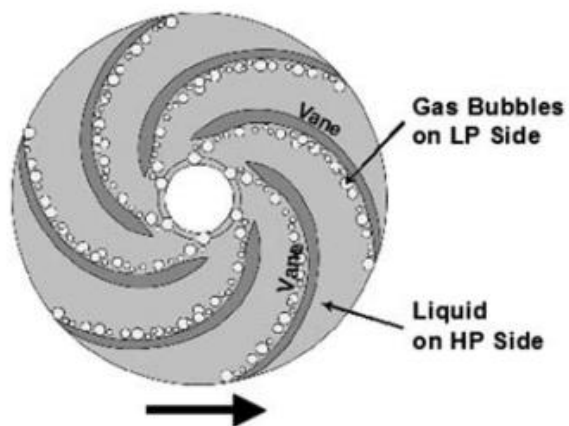
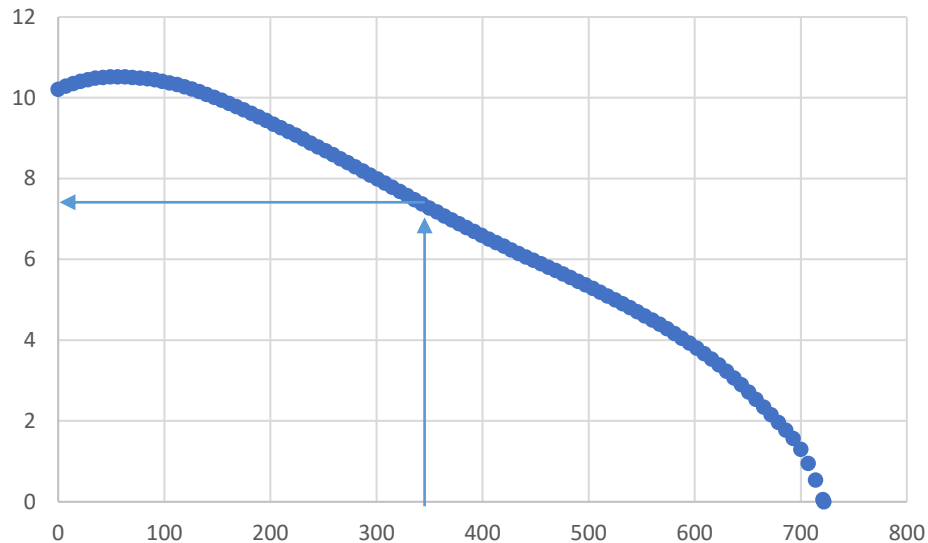


FIGURE 4.9 The Turpin correlation.

$$\Phi = \frac{2000 \frac{q_{ing}'}{q_l'}}{3 PIP}$$

$$K_{deg} = -9\beta_{gx}^2 + 0.6\beta_{gx} + 1$$

Расчет давления в насосе



$$\frac{dp_{\text{ступ}}}{d\text{ступ}} = \rho_{\text{ГЖС}} \cdot H_{\text{корр}} \cdot g$$

1. По известному давлению и температуре рассчитываются свойства фаз: $\rho_{\text{Н}} = f(P(i), T)$, $\rho_{\text{В}} = f(P(i), T)$, $\rho_{\text{Г}} = f(P(i), T)$, $b_{\text{Г}} = f(P(i), T)$, $b_{\text{Н}} = f(P(i), T)$, $b_{\text{В}} = f(P(i), T)$, $\mu_{\text{Н}} = f(P(i), T)$, $\mu_{\text{В}} = f(P(i), T)$, $\mu_{\text{Г}} = f(P(i), T)$
2. Определяются свойства ГЖС: $\rho_{\text{ГЖС}}$, $Q_{\text{ГЖС}}$, $\mu_{\text{ГЖС}}$
3. Определяется напор, H , развиваемый 1 ступенью насоса
4. Определяются поправочные коэффициенты влияния вязкости и газа, которые затем домножаются на дебит и напор, -> получаем скорректированную НРХ
5. $dp_{\text{ступ}} = \rho_{\text{ГЖС}} \cdot H_{\text{корр}} \cdot g$
6. $P_{\text{ст}}(i + 1) = P(i) + dp_{\text{ступ}}$

Сепарация флюида на приеме насоса и изменение свойств флюида

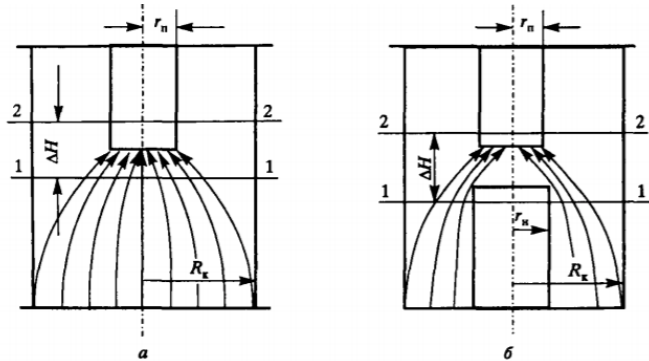
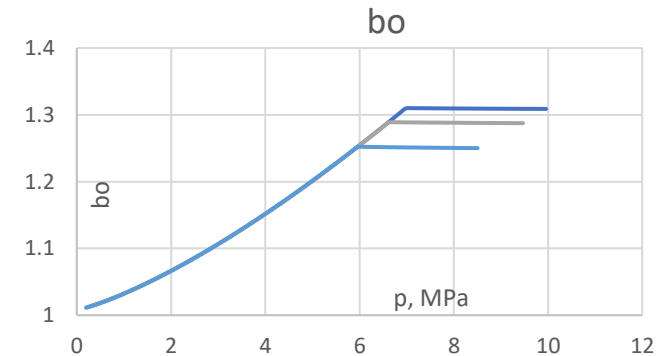
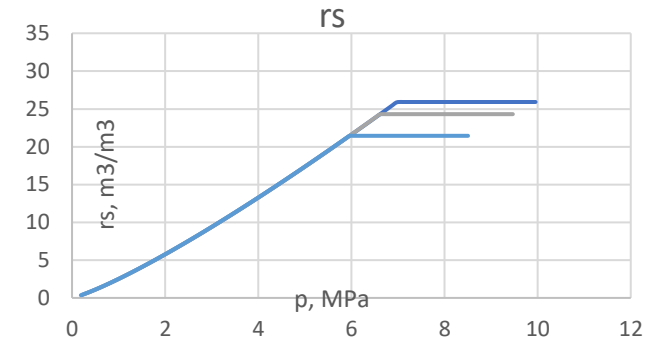
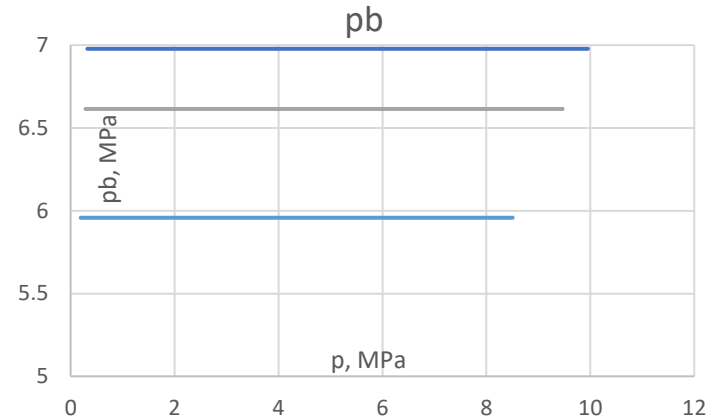


Рис. 6.41. Схематизация движения продукции скважины в области приемных устройств:

а — условно-осевой вход продукции в прием погружного оборудования; б — условно-радиальный вход продукции в прием погружного оборудования

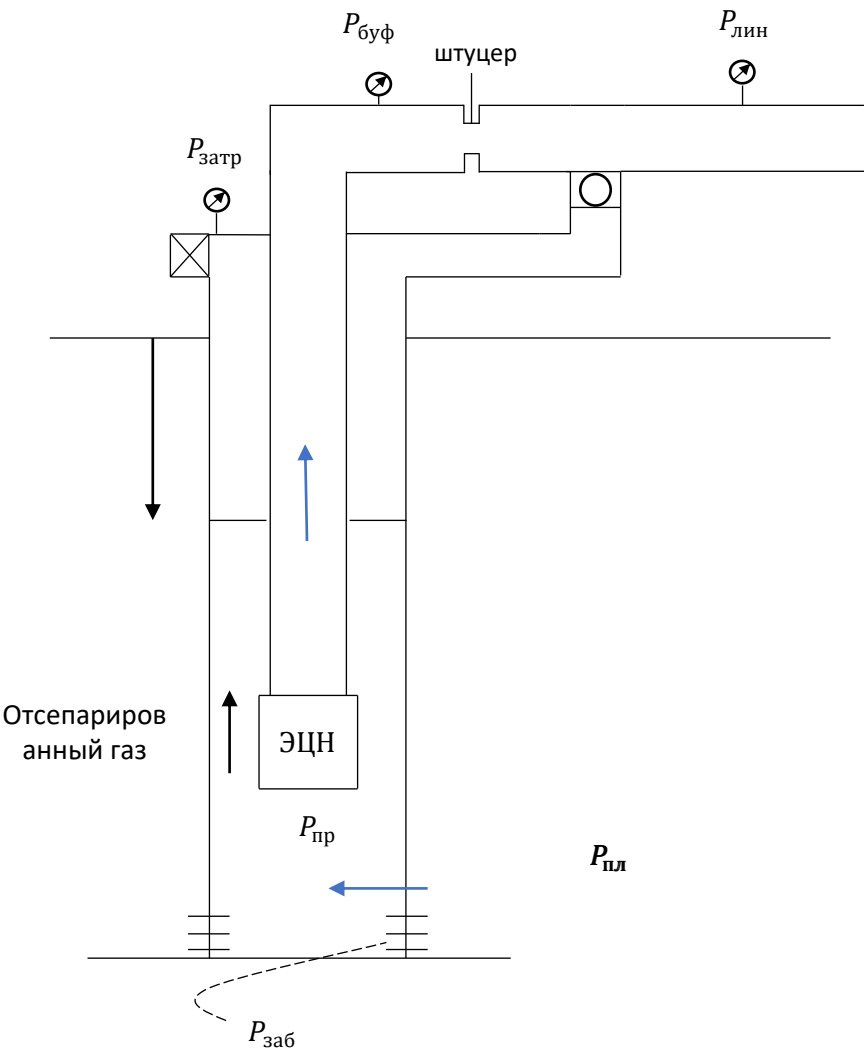


- $k_{nat_sep} = f(Q, \beta, d_1, d_2)$
- $k_{gas_sep} = f(Q, \beta)$ или $const = 0,5 - 0,7$
- $k_{sep_tot} = k_{sep_nat} + (1 - k_{sep_nat}) * k_{gas_sep}$
- $R_{p_new} = R_p - (R_p - R_s(P)) * k_{sep}$

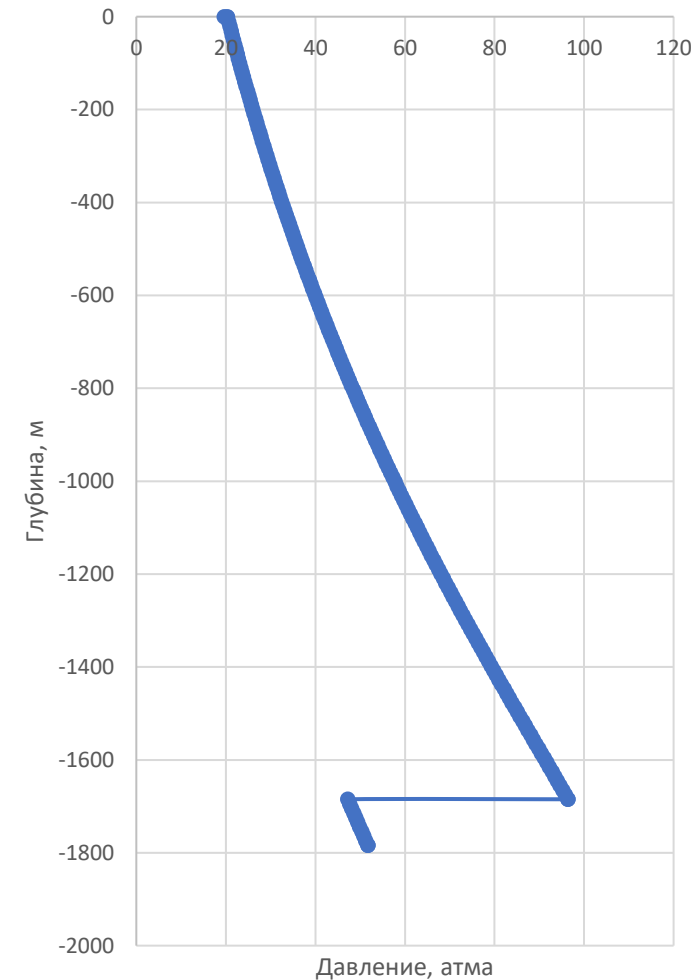
- Пересчитываем давление насыщения, и также калибруем газосодержание, объемный коэффициент и вязкость на эти значения
- Свойства во всех гидравлических элементах выше сепарации считаются по измененным зависимостям

Алгоритм гидравлического расчета скважины, оборудованной УЭЦН

*Для расчета забойного давления нужно минимизировать отклонение в устьевом давлении подбором забойного



1. Рассчитываем распределение давления в ЭК, определяем давление на приеме
2. Рассчитываем коэффициент естественной, искусственной и общей сепарации на приеме насоса
3. Изменяем зависимости PVT-свойств с учетом сепарации
4. Рассчитываем распределение давления в насосе и определяем давление на выкиде
5. Рассчитываем распределение давления в НКТ и определяем давление на буфере
6. Рассчитываем перепад давления на штуцере, определяем линейное давление



Спасибо за внимание!