

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Институт природных ресурсов  
Кафедра бурения скважин



# Технология бурения нефтяных и газовых скважин

*Курс лекций*

**Автор: Епихин А.В.**  
**ст. преп. каф. бурения скважин**

Томск-2015 г.



## **Лекция №2**

### ***Конструкция скважины:***

- ***Определение, типы конструкций скважины и состав***
- ***Проектирование и расчет конструкции скважины***

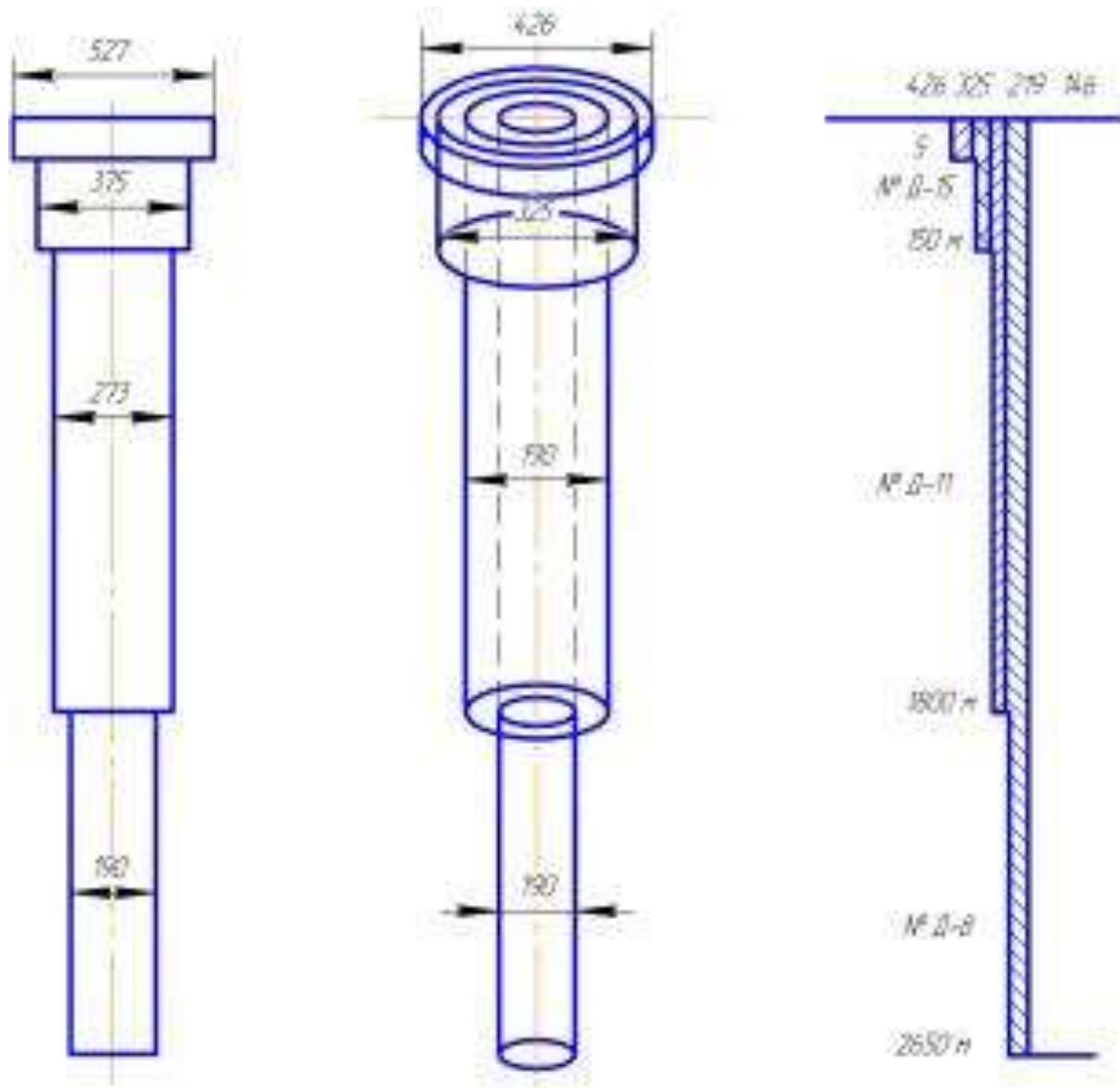


## **ТЕМА 1.**

***Определение, типы конструкций скважины и состав***



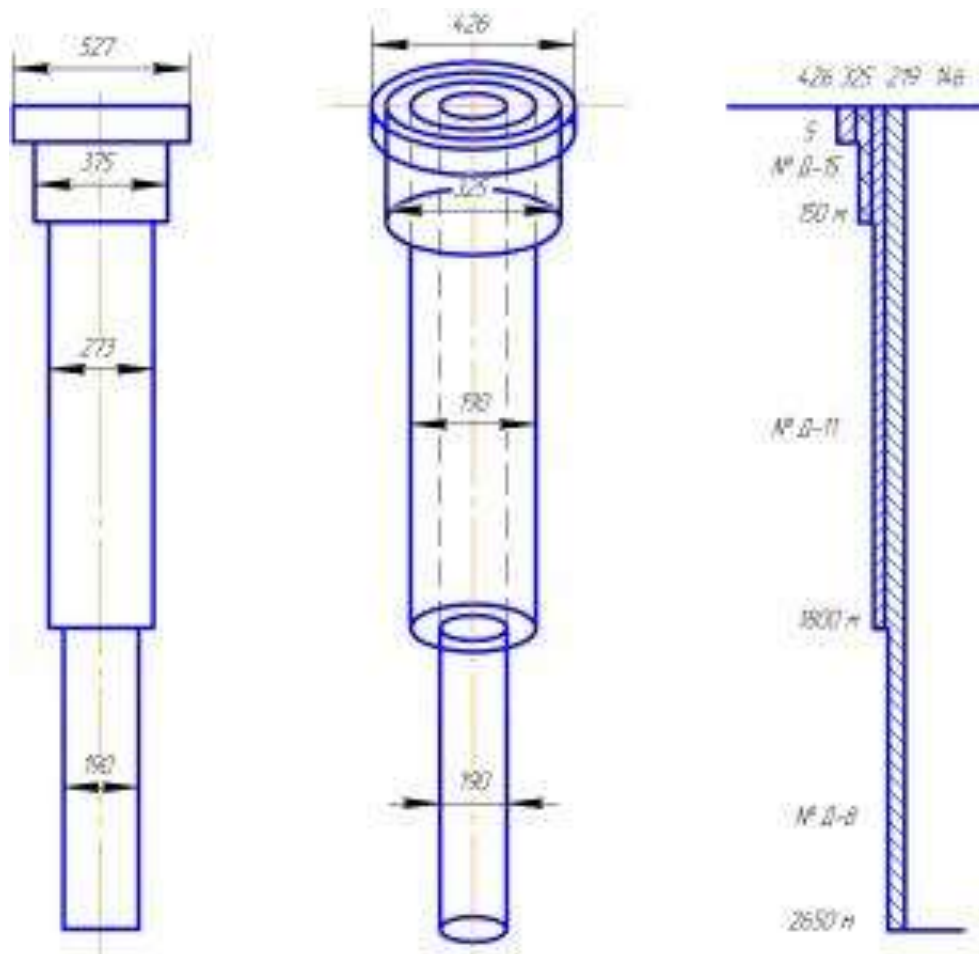
# Что такое конструкция скважины?





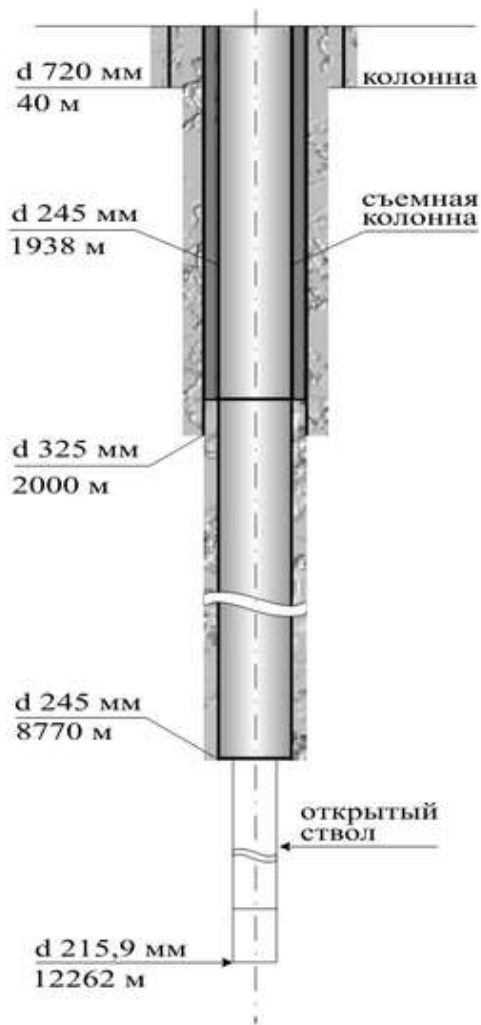
# Что такое конструкция скважины?

Это совокупность информации о количестве и диаметре обсадных колонн, диаметрах буровых долот и интервалах цементирования по интервалам бурения.

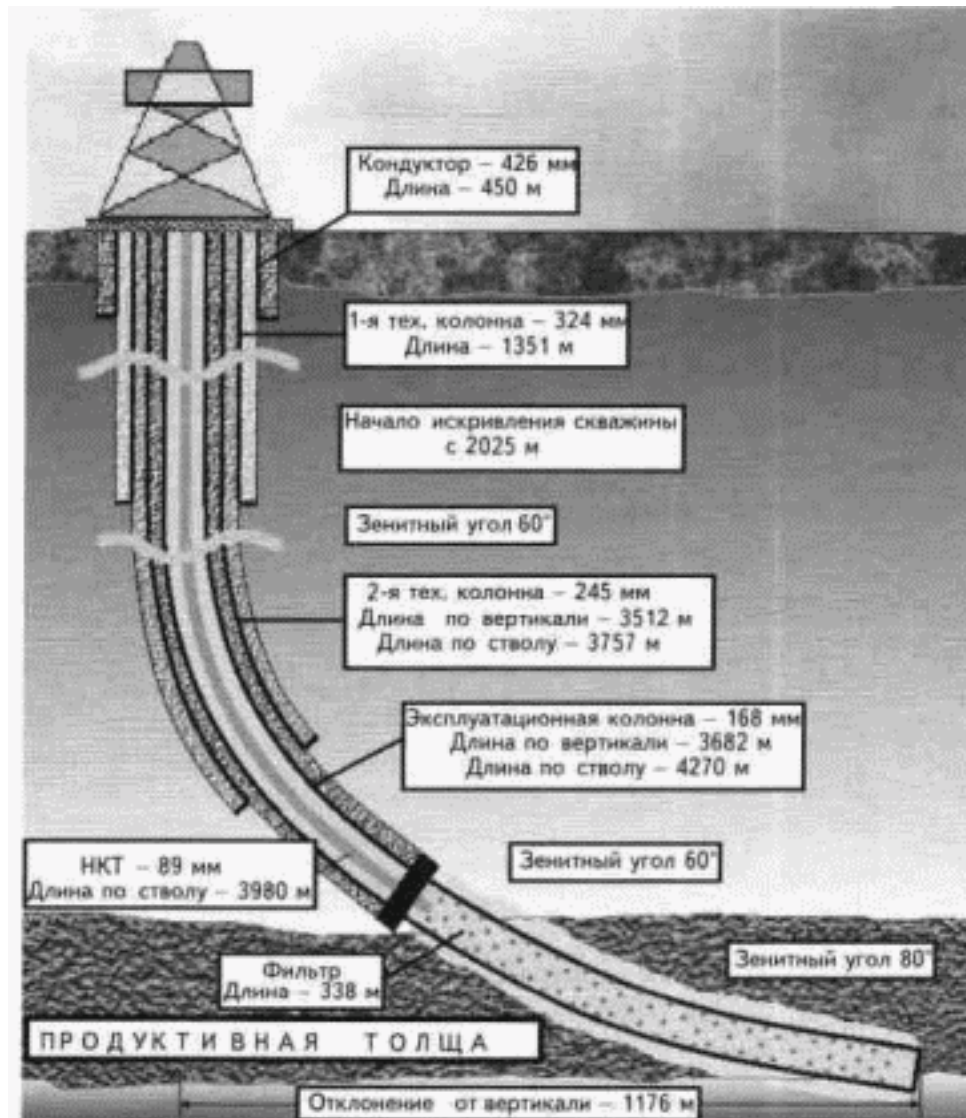




# Элементы, входящие в понятие конструкции скважины



Фактическая конструкция скважины СГ-3

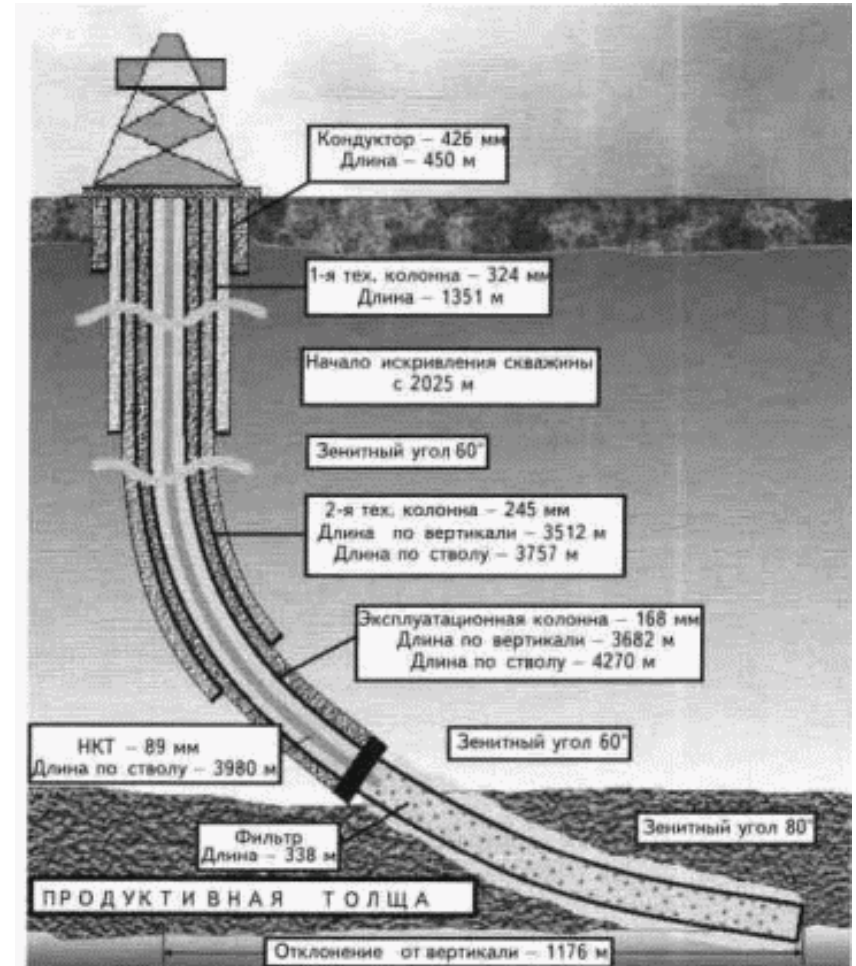






# Элементы, входящие в понятие конструкции скважины

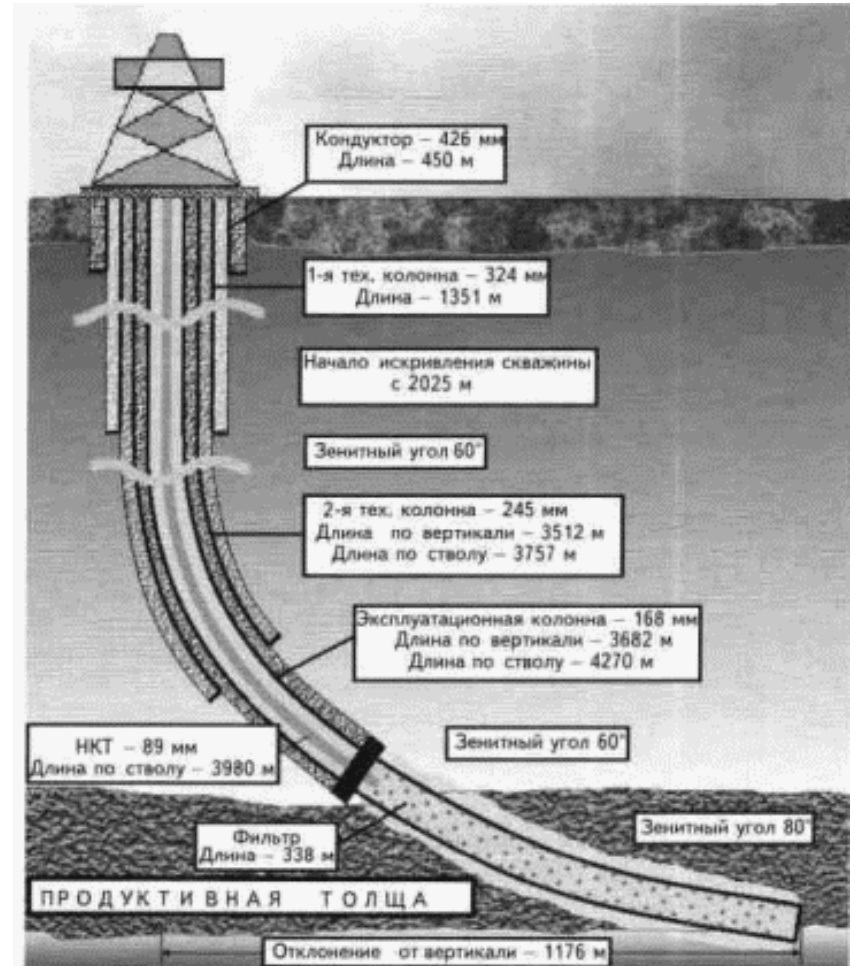
- обсадные колонны
- интервалы бурения
- интервалы цементирования
- устье, стенки и забой скважины
- продуктивный горизонт и зона перфорации





# Элементы, входящие в понятие конструкции скважины

- обсадные колонны
- интервалы бурения
- интервалы цементирования
- устье, стенки и забой скважины
- продуктивный горизонт и зона перфорации







# Обсадные колонны

Направление

Кондуктор

Техническая/промежуточная  
колонна

Эксплуатационная колонна



Профильный  
перекрыватель/Летучка

Хвостовик

Потайная колонна



# Обсадные колонны

## Направление



**Направляющая колонна (направление)** — первая обсадная колонна (длиной от 5 до 300 м), которую опускают в верхнюю (направляющую) часть ствола, чтобы изолировать верхний наносный слой почвы и отвести восходящий поток бурового агента из ствола скважины в очистную систему, цементируется по всей длине



# Обсадные колонны

## Кондуктор



**Кондукторная колонна (кондуктор)** — вторая обсадная колонна, спускаемая в ствол буровой скважины, предназначенная для перекрытия верхних неустойчивых отложений, водоносных и поглощающих пластов, зон многолетнемёрзлых пород и т.п. На неё устанавливают противовыбросовое оборудование; кольцевое пространство за колонной обычно цементируют по всей длине.



# Обсадные колонны

Техническая  
или  
промежуточная колонна



**Промежуточную обсадную колонну** спускают в случае необходимости после кондукторной для крепления неустойчивых пород, разобщения зон осложнений, зон несовместимых по условиям бурения и водоносных горизонтов.



# Обсадные колонны

**!!!ВАЖНО!!!**



Глубину спуска промежуточных и кондукторных колонн рассчитывают с учётом предотвращения гидроразрыва пластов, устойчивости стенки ствола буровых скважин, разделения зон применения различных буровых агентов, а также с учетом наличия в разрезе зон осложнений.





# Обсадные колонны

## Эксплуатационная колонна

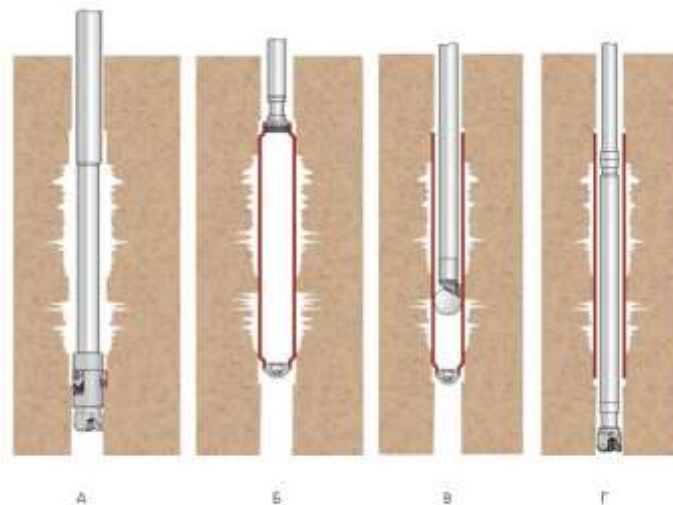


**Эксплуатационная колонна** - последняя колонна обсадных труб, которой крепят скважину для разобщения продуктивных горизонтов от остальных пород и извлечения из скважины нефти или газа или, наоборот, для нагнетания в пласты жидкости или газа. Иногда в качестве эксплуатационной колонны может быть использована (частично или полностью) последняя промежуточная колонна. Цементируется полностью, либо в «нахлест» с предыдущей обсадной колонной.



# Обсадные колонны

## Профильный перекрыватель или летучка



**Профильный перекрыватель (летучка)** - специальные промежуточные обсадные колонны, служащие только для перекрытия интервала осложнений и не имеющие связи с предыдущими или последующими обсадными колоннами. Обычно они являются не извлекаемыми.

Существует исполнение извлекаемых профильных перекрывателей, при использовании которых идет развальцовывание лишь верхней и нижней цилиндрических частей, а извлечение с помощью специального инструмента.



# Обсадные колонны

## Профильный перекрыватель или летучка

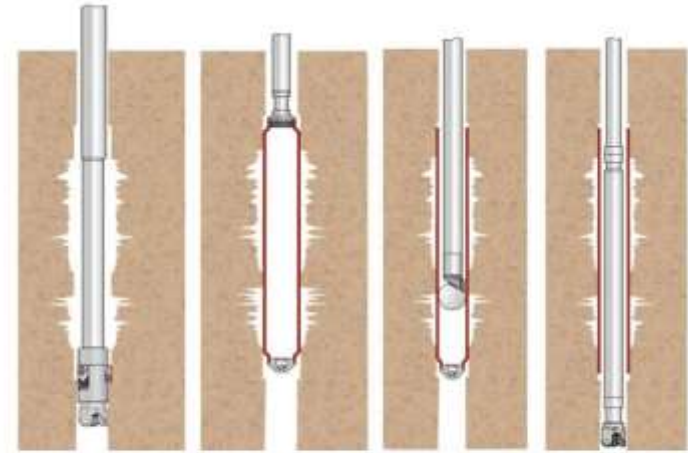


Рис. 1

Данные обсадные колонны могут иметь в поперечном сечении либо цилиндрическое, либо лепестковое исполнение. Обычно производится предварительное расширение интервала, в который будет установлен перекрыватель.

Затем сам перекрыватель спускается на колонне бурильных труб, в которые после этого сбрасывается шарик, перекрывающий отверстие в башмаке перекрывателя. С помощью цементировочного агрегата производится его «впрессовка» в стенки скважины, а после извлечения бурильных труб – развальцовывание специальным инструментом.



# Обсадные колонны

## Хвостовик

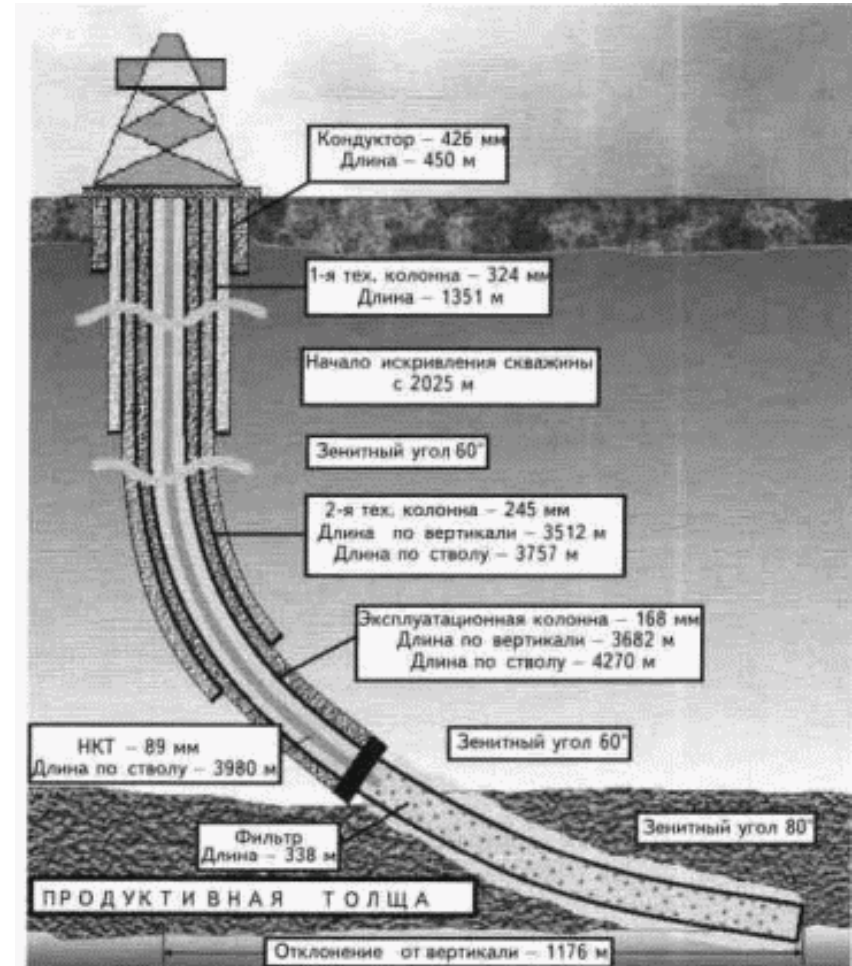


**Хвостовик** – обсадная колонна потайного типа, которая устанавливается в специальной системе подвески в предыдущей обсадной колонне («внахлѣст» на 20-50 м). Хвостовик может как цементироваться, так и не цементироваться, что обусловлено в первую очередь прочностью пород разрабатываемого пласта-коллектора.



# Элементы, входящие в понятие конструкции скважины

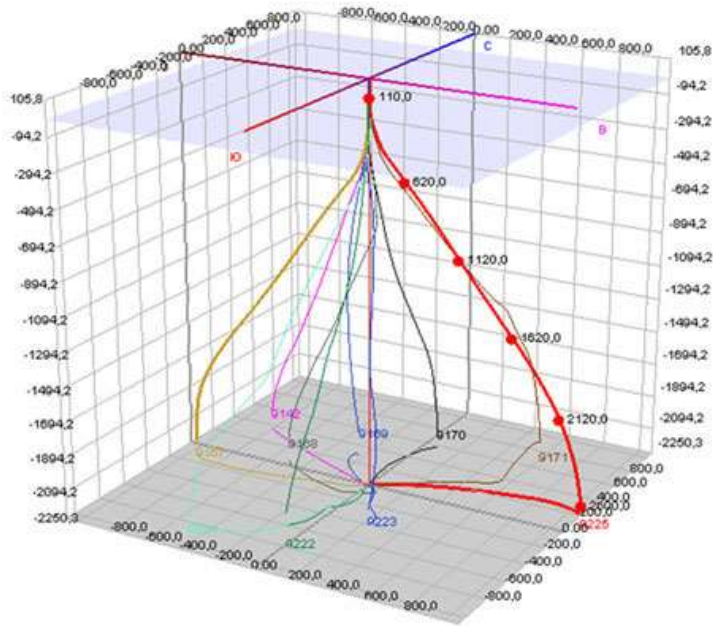
- обсадные колонны
- **интервалы бурения**
- интервалы цементирования
- устье, стенки и забой скважины
- продуктивный горизонт и зона перфорации







# Интервалы бурения



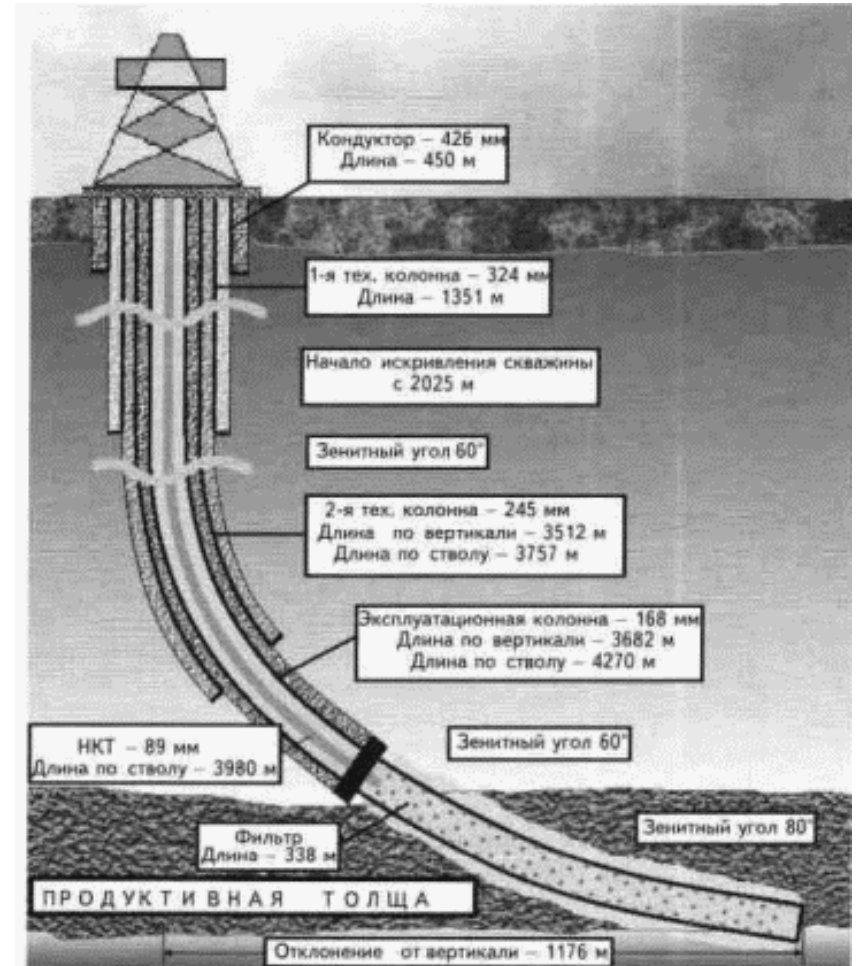
## Интервалы бурения

**Интервал бурения** – это часть траектории скважины, сооруженная с помощью долота одного диаметра и преимущественно с применением одной запроектованной технологии бурения.



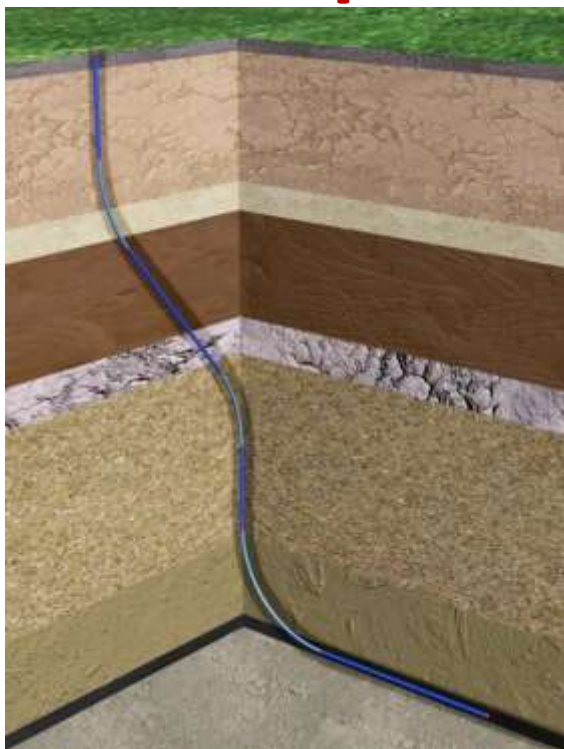
# Элементы, входящие в понятие конструкции скважины

- обсадные колонны
- интервалы бурения
- **интервалы цементирования**
- устье, стенки и забой скважины
- продуктивный горизонт и зона перфорации





# Интервалы цементирования



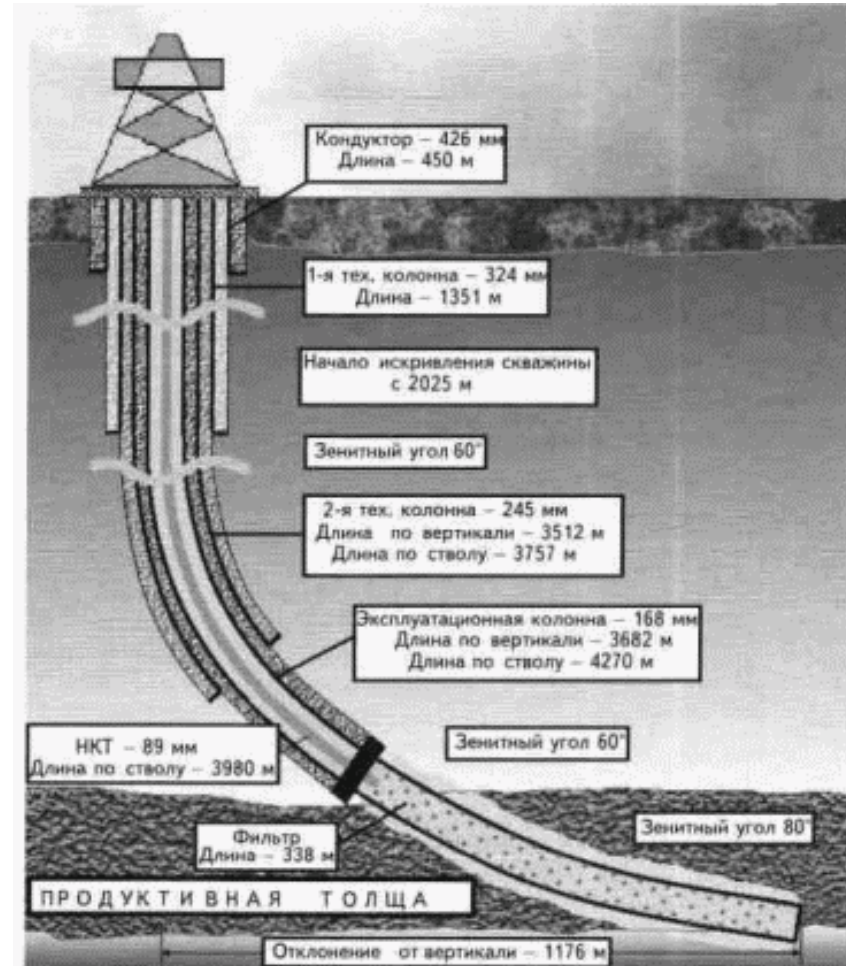
## Интервалы цементирования

**Интервал цементирования** – это интервал, в котором цементируется конкретная обсадная колонна. Обсадные колонны могут цементироваться до устья (в основном, направление и кондуктор) и «внахлест» с предыдущей (обычно, технические и эксплуатационные). Для нефтяных скважин величина перекрытия предыдущей колонны – 150 м, для газовых скважин – 500 м. Обсадные колонны разведочных скважин цементируются обычно на всю длину.



# Элементы, входящие в понятие конструкции скважины

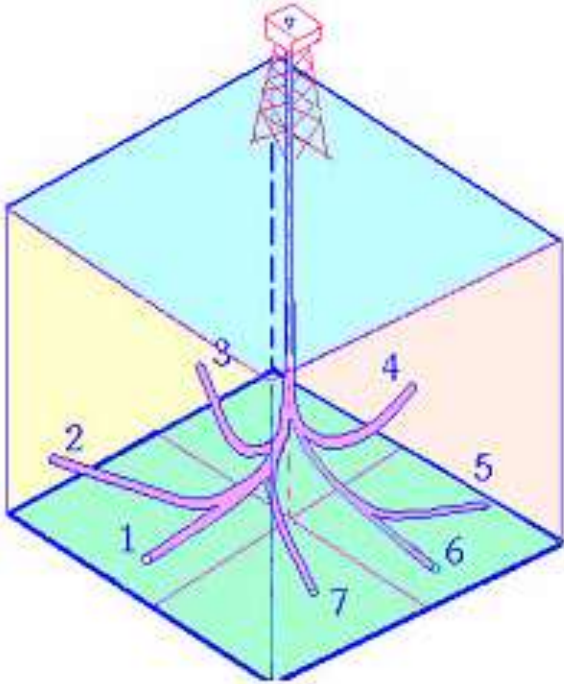
- обсадные колонны
- интервалы бурения
- интервалы цементирования
- устье, стенки и забой скважины
- продуктивный горизонт и зона перфорации







# Прочие элементы



## Прочие элементы

**Устье скважины** – верхняя, приповерхностная, часть скважины.

**Забой скважины** – самая нижняя часть скважины, «дно».

**Стенки скважины** – боковая часть цилиндрической основы скважины. Продуктивный горизонт – пласт в разрезе, в котором находятся природные ресурсы.

**Зона перфорации** – часть обсадной колонны в интервале продуктивного пласта, в которой делаются отверстия для эксплуатации.

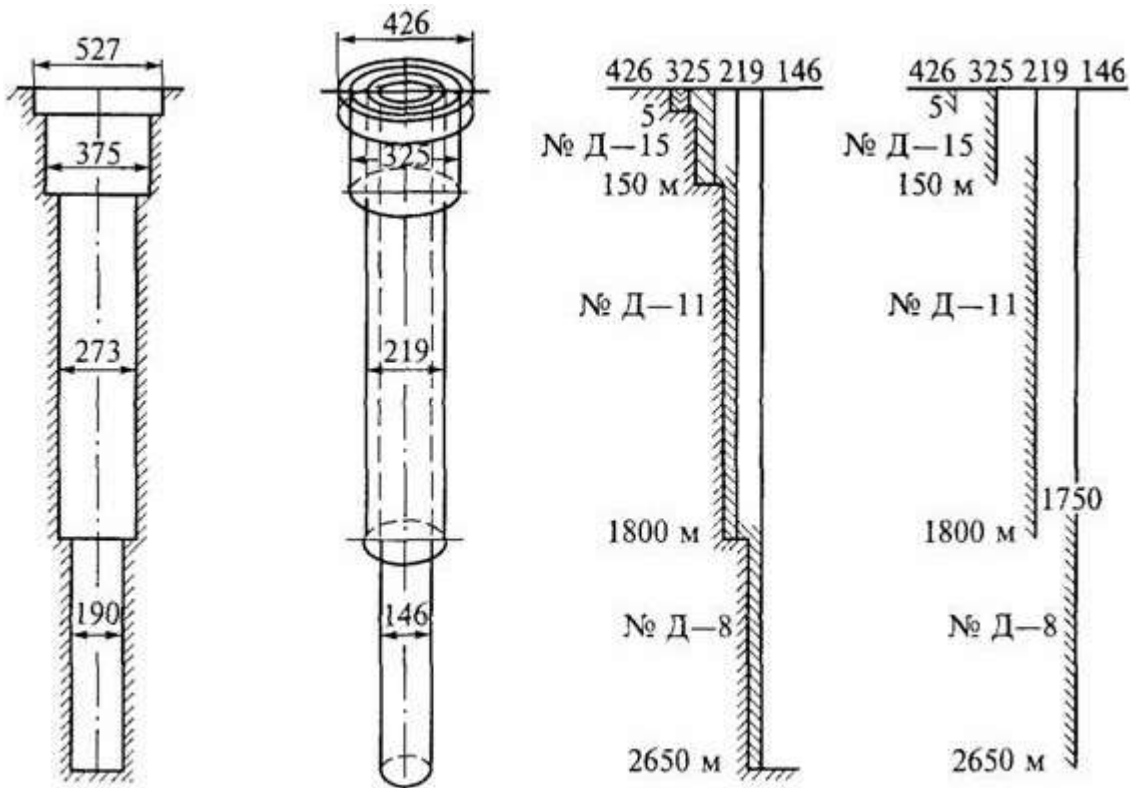




# Типы конструкций

Многоколонная

Одноколонная





## **ТЕМА 2.**

### ***Проектирование и расчет конструкции скважины***



# Выбор конструкции эксплуатационного забоя

## Виды коллекторов

Коллектор однородный, прочный, гранулярного или трещинного типа. Близко расположенных водонапорных и газоносных горизонтов нет. Подошвенные воды отсутствуют.

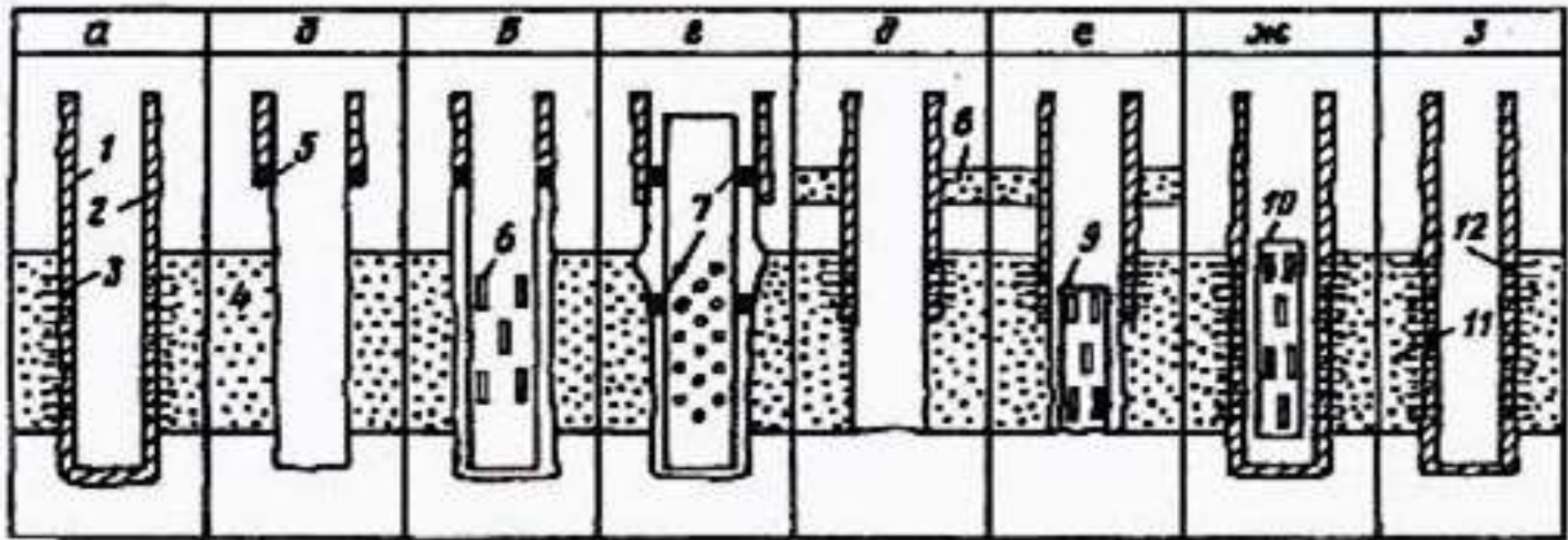
Коллектор однородный, прочный, гранулярного или трещинного типа. В кровле пласта – газовая шапка или близко расположенные напорные объекты.

Коллектор неоднородный.

Коллектор слабосцементированный, гранулярный, большой пористости и проницаемости, с нормальным или низким пластовым давлением. При его эксплуатации имеет место разрушение пласта и вынос песка из скважины.



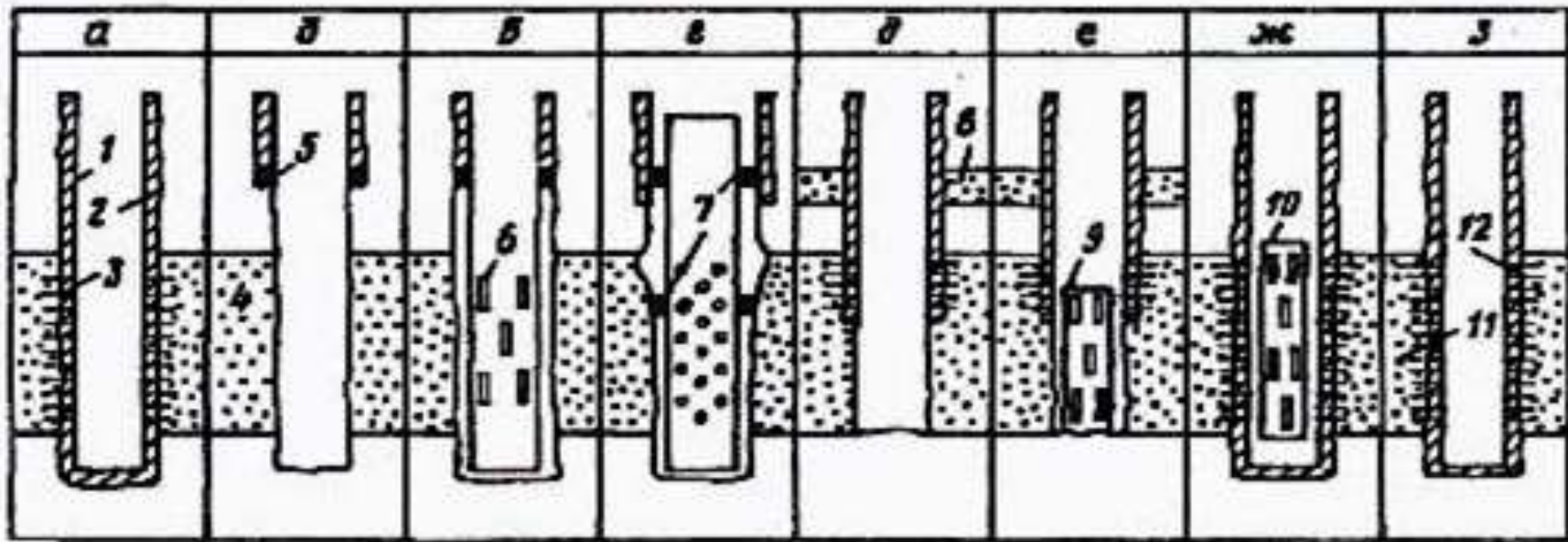
# Выбор конструкции эксплуатационного забоя



Основные типы забоев скважин: 1- обсадная колонна; 2- цементное кольцо; 3- зона перфорации; 4- продуктивный пласт; 5- заколонный пакер; 6- фильтр в колонне; 7- подвеска фильтра; 8- водоносный пласт; 9- фильтр-хвостовик; 10- гравийный фильтр; 11- зона проникновения; 12- фильтр из тампонажного материала



# Выбор конструкции эксплуатационного забоя

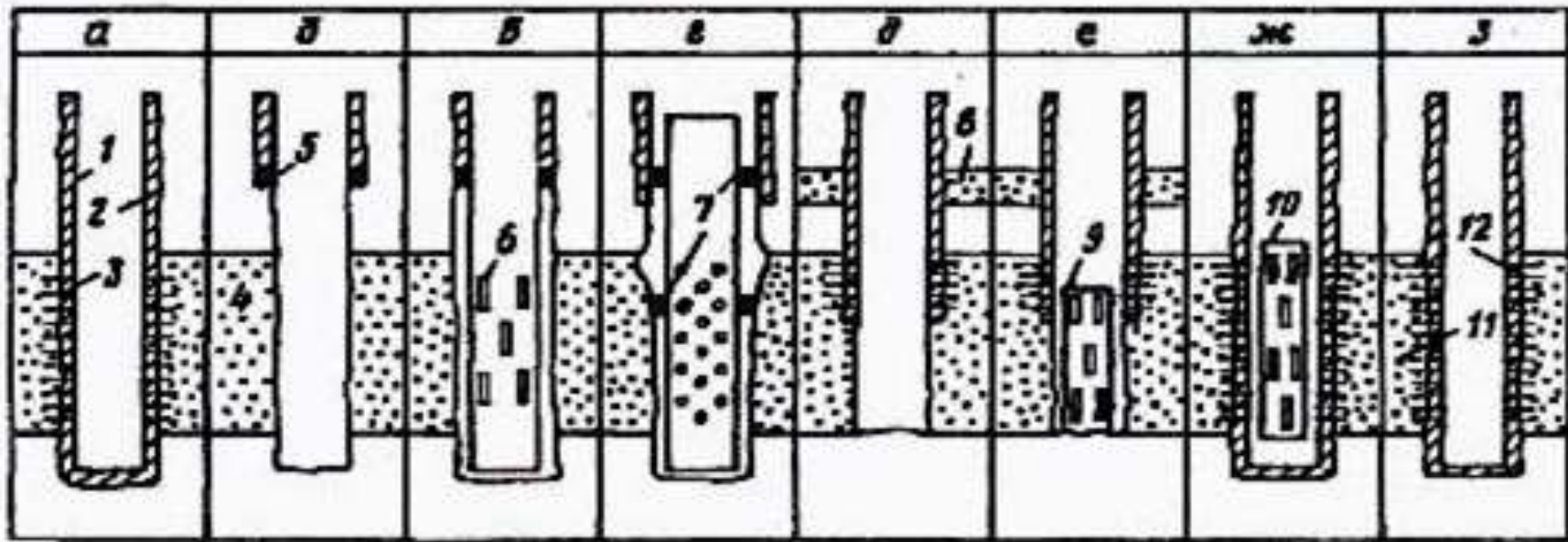


**Конструкции открытого забоя (б - г)** предназначены для заканчивания скважин в условиях, когда применение тампонажного материала недопустимо из-за ухудшения коллекторских свойств пласта. Продуктивный объект остается открытым или перекрывается не зацементированным фильтром.





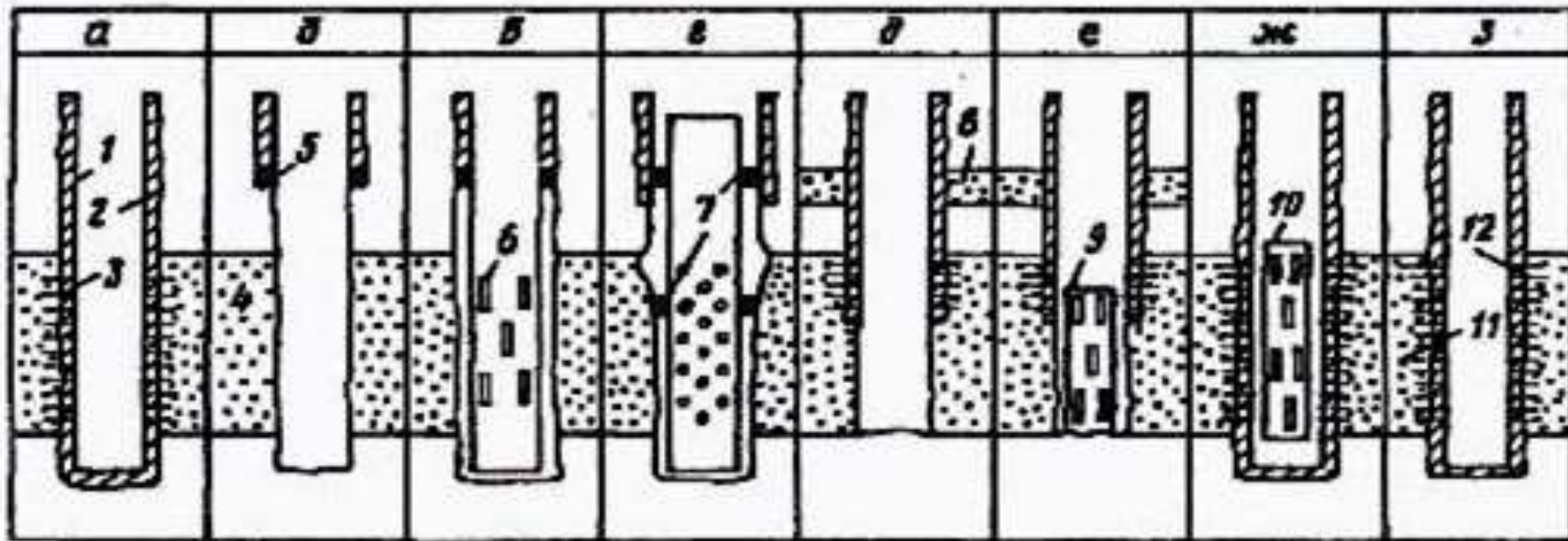
# Выбор конструкции эксплуатационного забоя



Конструкция закрытого забоя (а) необходима для изоляции продуктивных горизонтов друг от друга с целью обеспечения их разработки по системе снизу вверх или для совместно-раздельной эксплуатации. Применяется также при неоднородном коллекторе. Продуктивный объект перекрывается сплошной или потайной колонной с обязательным его цементированием.



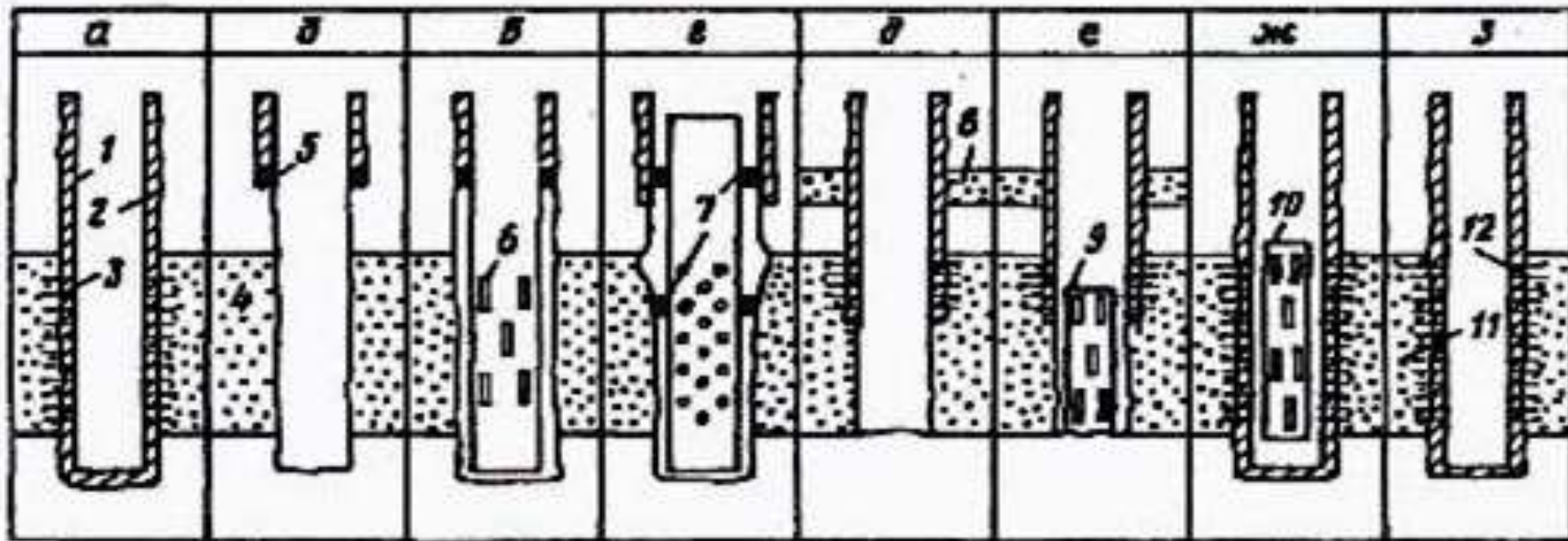
# Выбор конструкции эксплуатационного забоя



Конструкции забоя смешанного типа (д, е) сочетают элементы конструкций открытого и закрытого забоев. Такие конструкции рациональны в однородной залежи для изоляции близко расположенных от кровли объектов напорных горизонтов. С этой целью в верхнюю часть продуктивного объекта спускают и цементируют эксплуатационную колонну. Нижняя часть пласта остается открытой или перекрывается не зацементированным фильтром.



# Выбор конструкции эксплуатационного забоя



Конструкция забоев для предупреждения выноса песка предусматривает создание в призабойной зоне искусственных барьеров, которые снижают поступление песка в скважину. С этой целью используют механические фильтры (ж) или фильтры из проницаемых материалов (з).



# Выбор конструкции эксплуатационного забоя

**Однородным** называется пласт литологически однородный, однородный по проницаемости,  $k$ ,  $kT$  не должен выходить за границы следующих шести классов:  $k, kT \text{ мкм}^2 > 1,0$ ;  $1,0 \div 0,5$ ;  $0,5 \div 0,1$ ;  $0,1 \div 0,05$ ;  $0,05 \div 0,01$ ;  $0,01 \div 0,001$ , однородный по величине - градиент  $P_{пл}$  (не меняется в пределах коллектора) и имеет один тип флюида. Если хотя бы по одному из перечисленных показателей пласт неоднородный, то он называется **неоднородным**.

К **устойчивым коллекторам** относят коллекторы, породы которых при проектных депрессиях в процессе освоения и эксплуатации скважины сохраняют устойчивость и не разрушаются под воздействием фильтрационных и геостатических нагрузок.

К **непрочным, слабосцементированным** коллекторам относят поровые коллекторы, состоящие из низкопрочных песчаников, продукты разрушения которых при эксплуатации скважин выносятся на поверхность вместе с флюидом.



# Выбор конструкции эксплуатационного забоя

Нормальное пластовое давление

$$\Delta p_{пл} = 0,1 \text{ МПа}/10\text{м}$$

Высокое пластовое давление

$$\Delta p_{пл} > 0,1 \text{ МПа}/10\text{м}$$

Низкое пластовое давление

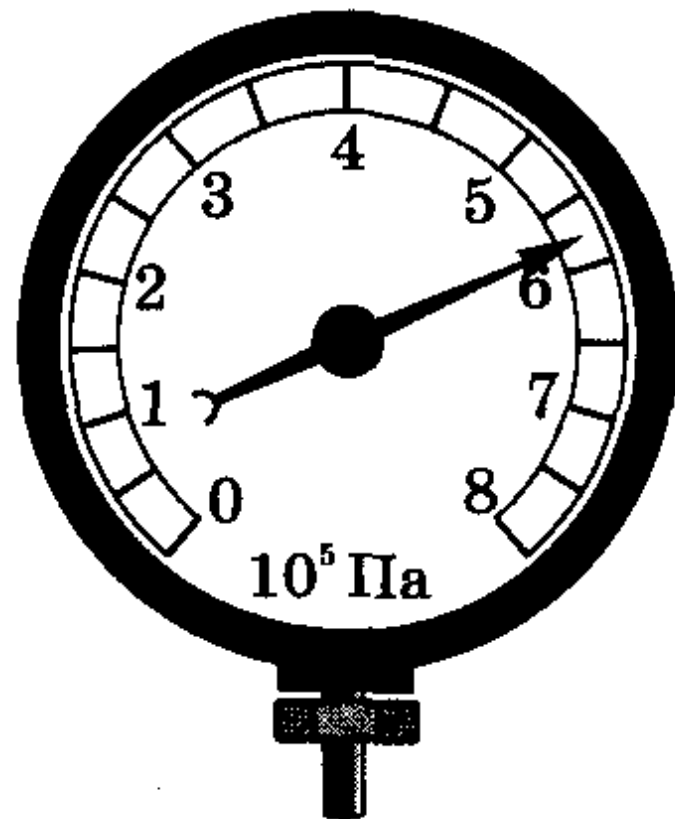
$$\Delta p_{пл} < 0,1 \text{ МПа}/10\text{м}$$

Аномально высокое пластовое давление

$$\Delta p_{пл} > 0,11 \text{ МПа}/10\text{м}$$

Аномально низкое пластовое давление

$$\Delta p_{пл} < 0,1 \text{ МПа}/10\text{м}$$







# Выбор конструкции эксплуатационного забоя

Высокопроницаемый пласт  
 $k_n > 0,1$  и  $k_n > 0,01$

Низкопроницаемый пласт  
 $K_n < 0,1$  и  $k_n < 0,01$

Если расстояние от пласта (например, водонапорного) до продуктивного меньше **5 метров**, то он считается **близко расположенным**

Песчаники

Мелкозернистые  
**0,1-0,25 мм**

Среднезернистые  
**0,25-0,5 мм**

Крупнозернистые  
**0,5-1 мм**





# Выбор конструкции эксплуатационного забоя



$\sigma_{сж}$  - граница прочности пород продуктивного пласта при одноосевом сжатию, Мпа (для песчаников 30 Мпа)

K- коэффициент бокового распора -  $K = \mu / (1 - \mu)$

$\mu$  - коэффициент Пуассона

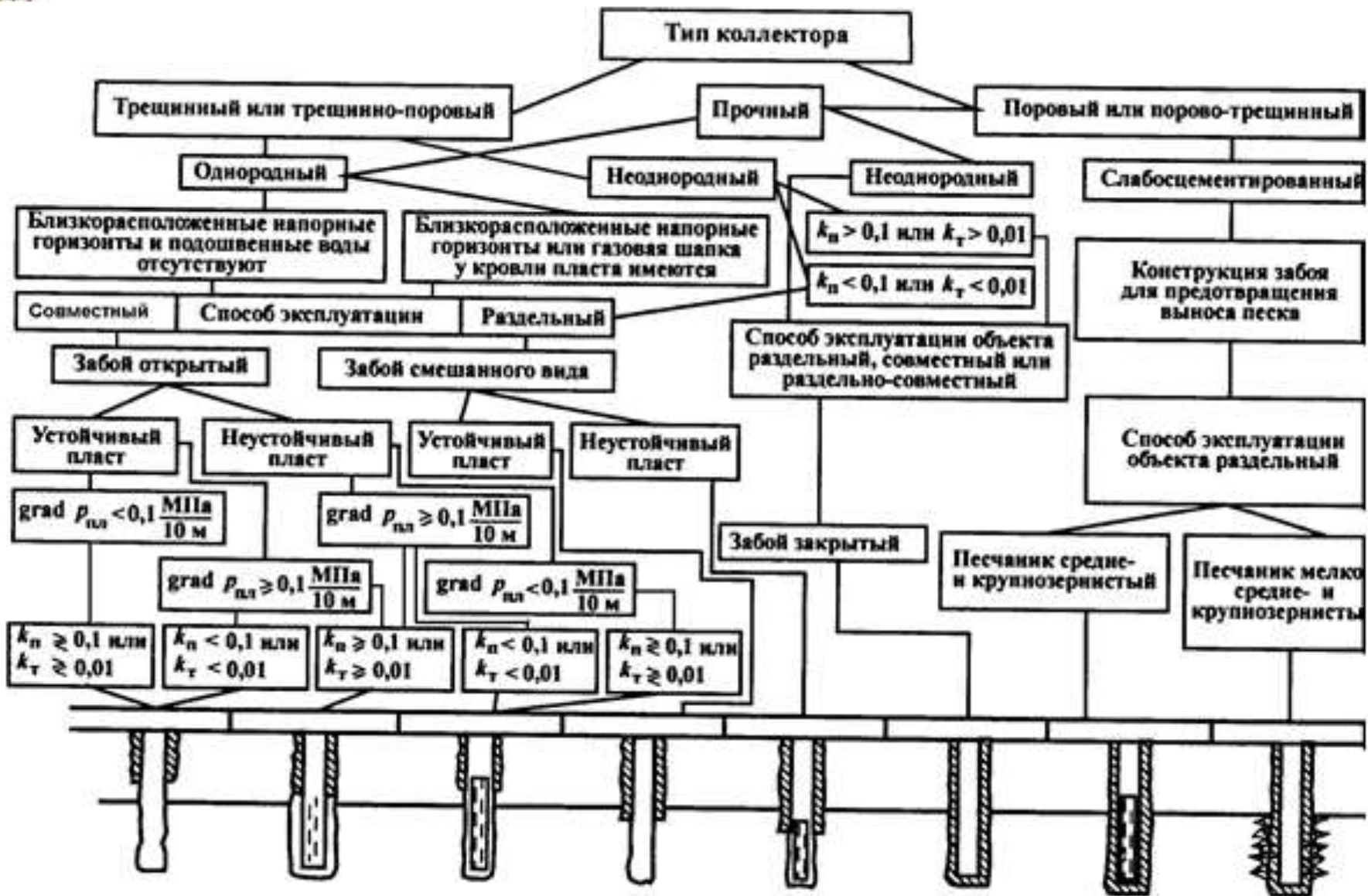
$P_{пл}$  - пластовое давление

$P_3$  - минимальное давление столба жидкости на забое скважины

$P_{горн i}$  - горное давление



# Выбор конструкции эксплуатационного забоя



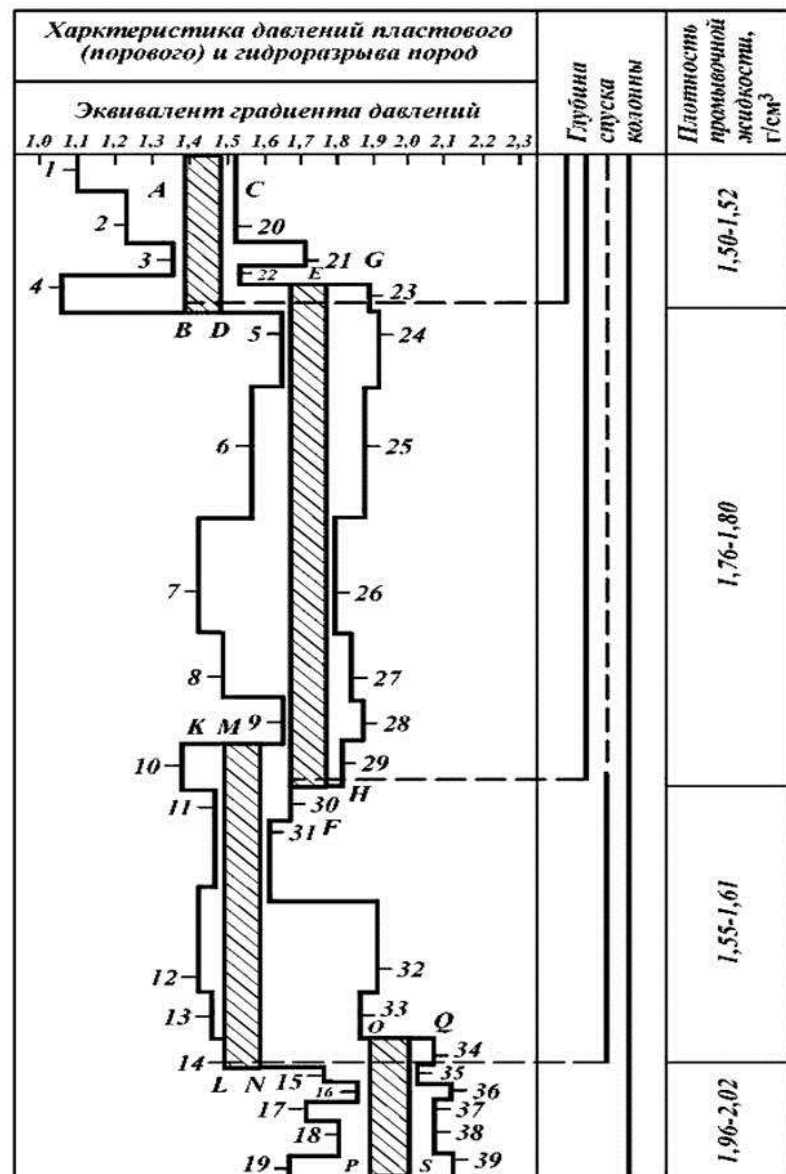


# Построение графика совмещенных давлений

**Цель:** поиск интервалов несовместимых по условиям бурения.

## Совмещенный график давлений

иллюстрирует изменение по глубине скважины давлений гидроразрыва пород, пластовых давлений и давлений столба бурового раствора. График строится на основании **горно-геологических условий**. При недостатке фактических данных они могут быть получены эмпирическим путем (прогнозные данные).



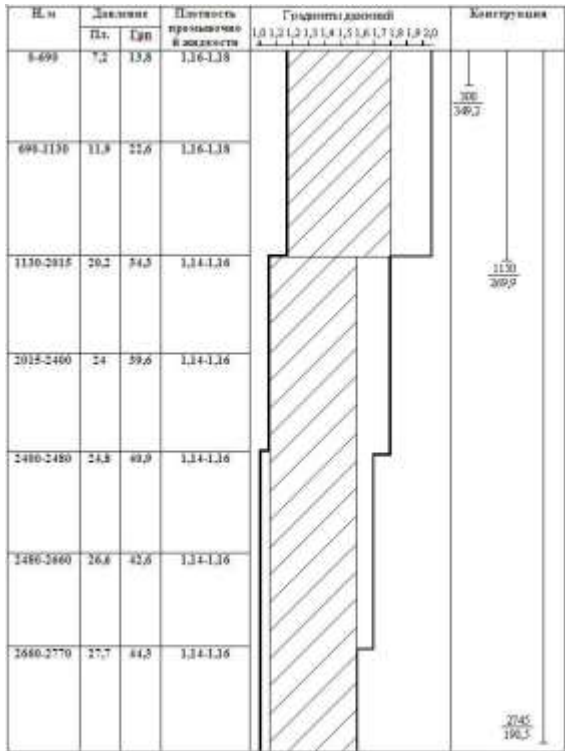
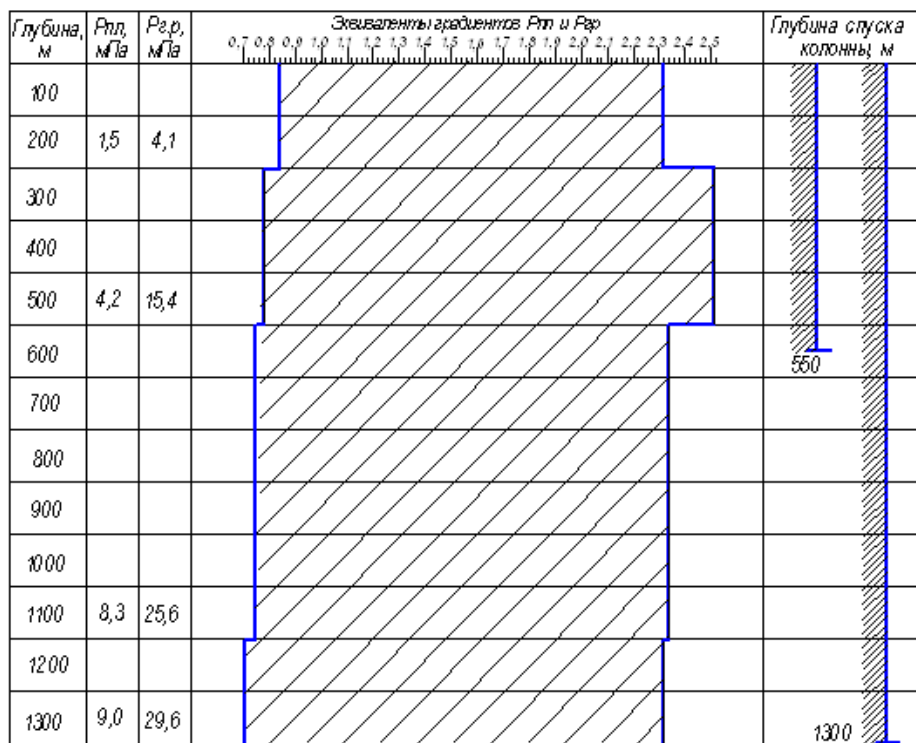


# Построение графика совмещенных давлений

## Методы построения

### По эквивалентам

### По градиентам







# Построение графика совмещенных давлений

## Методы построения

### По эквивалентам

### По градиентам

**Градиент пластового давления** – отношение пластового давления в рассматриваемой точке пласта к глубине этой точки.

**Градиент давления гидроразрыва** – отношение давления гидроразрыва в рассматриваемой точке пласта к глубине этой точки.

**Градиент гидростатического столба бурового раствора** – отношение давления гидростатического столба БР в рассматриваемой точке скважины к глубине этой точки.

**Эквивалент градиента давления** - плотность жидкости, столб которой в скважине на глубине определения создает давление, равное пластовому или давлению гидроразрыва.



# Построение графика совмещенных давлений

## Алгоритм

Выделение интервалов с аномальной характеристикой давлений

Поиск значений эквивалентов давлений

Площадь ограниченная справа **линией** эквивалента давления гидроразрыва и **слева** линией эквивалента пластового давления – **зона совместимых условий**

Нанесение на график точек и линий эквивалентов давлений

Число зон совместимых условий бурения = количество обсадных колонн

Проектирование технических колонн

Глубина спуска обсадной колонны принимается на **10-20 м** выше окончания зоны совместимых условий, но не выше глубины начала следующей зоны совместимых условий.

Условия поддержания плотности бурового раствора: для скважин глубиной **до 1200 м** гидростатическое давление в скважине, создаваемое столбом бурового раствора, должно превышать пластовое на **10-15%**, а для скважин глубиной **>1200 м** – на **5-10%**.

Не выполняется



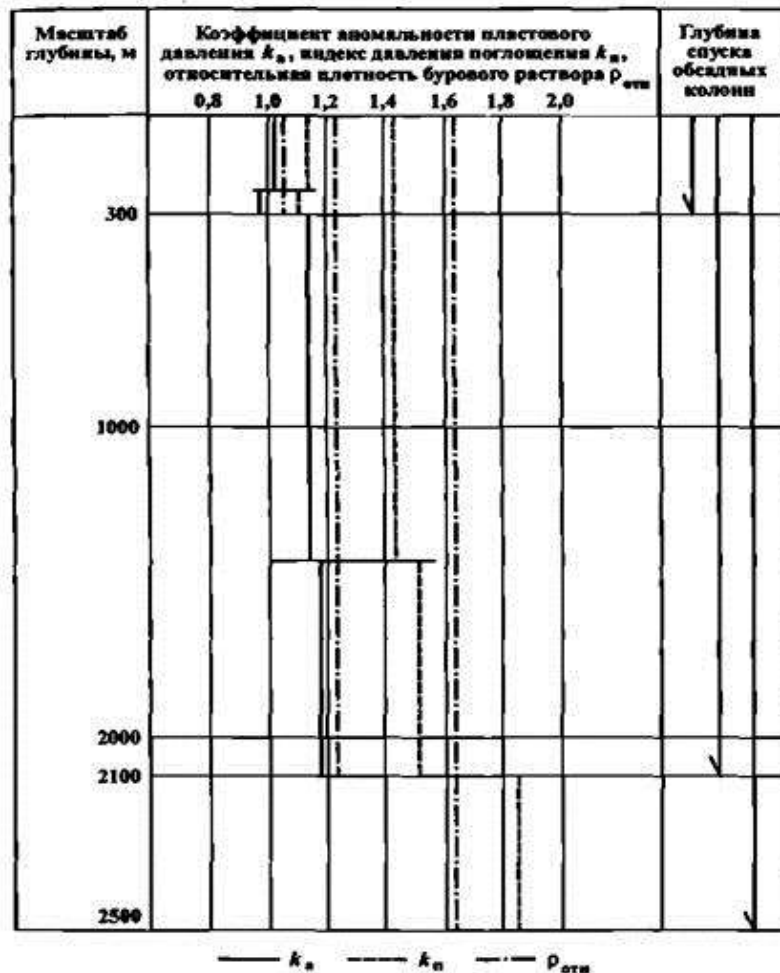
# Определение числа колонн и глубин их спуска

**Кондуктор** и **эксплуатационная колонна** - **обязательны** при любой конструкции скважины.

**Промежуточная колонна** - при наличии интервалов, несовместимых по условиям бурения, а также при существовании зон осложнений, когда другие способы их ликвидации не дают положительных результатов.

Если **направление не проектируется**, то необходимо решить вопрос о создании **замкнутого цикла циркуляции промывочной жидкости** при бурении под кондуктор.

Глубина спуска **направления** определяется **по опыту** сооружения скважин на данном месторождении или по требованию заказчика (5-300 м).





# Определение числа колонн и глубин их спуска

## Условия влияющие на глубину спуска кондуктора

- перекрытие всей толщи рыхлого неустойчивого интервала разреза;
- разобщение водоносных горизонтов, залегающих в интервале спуска кондуктора;
- установку на устье противовыбросового оборудования;
- при наличии несовместимых интервалов возможность их разделения.

$$H_{\text{к}} \geq \frac{P_{\text{пл}} - 0,01 \cdot L \cdot \gamma_{\text{ф}}}{\Delta P_{\text{ГР}} - 0,01 \cdot \gamma_{\text{ф}}}$$

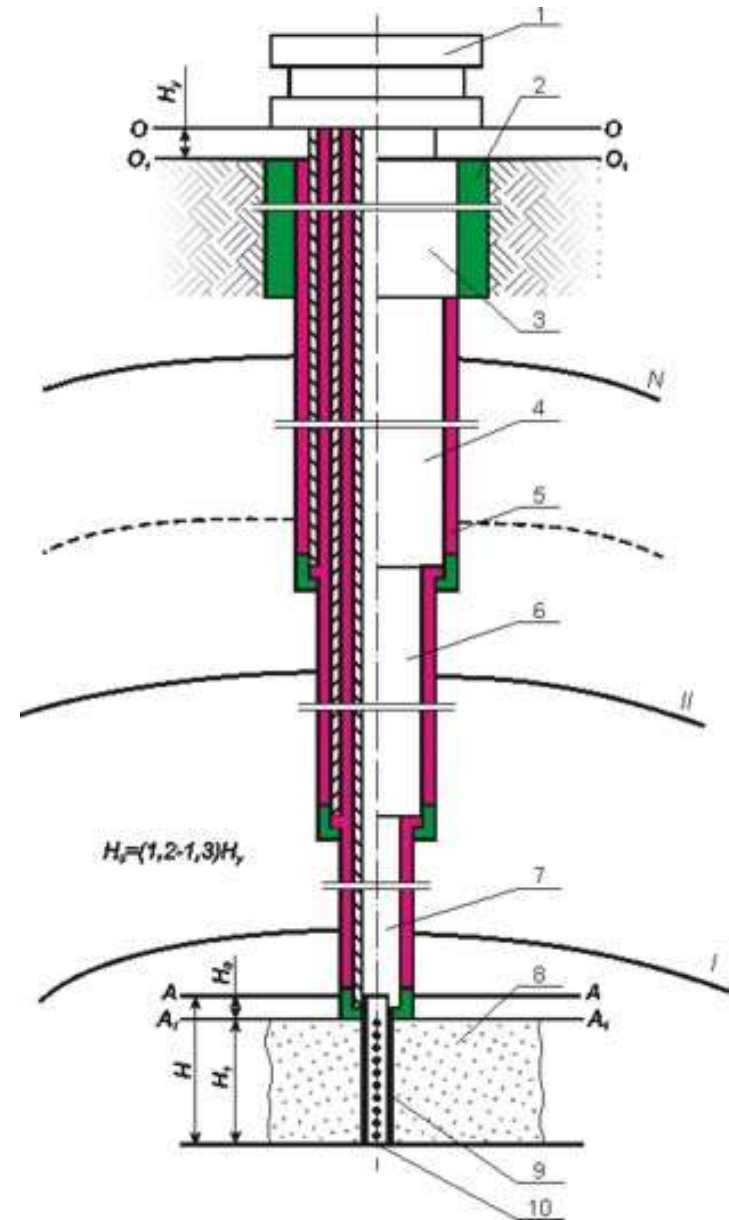
где  $P_{\text{пл}}$  – максимальное пластовое давление, МПа;  $L$  – глубина скважины, м;  
 $\gamma_{\text{ф}}$  – плотность пластового флюида, г/см<sup>3</sup>;  $\Delta P_{\text{ГР}}$  – градиент давления гидроразрыва пород в интервале установки последующей колонны, МПа/м.



# Определение числа колонн и глубин их спуска

Глубина спуска **промежуточных (технических) колонн** определяется глубиной залегания несовместимых по условиям бурения интервалов или глубинной интервалов, осложненных поглощениями, проявлениями и обвалами.

**Эксплуатационная колонна**, как правило, опускается до забоя скважины, перекрывая все продуктивные горизонты.







## Обоснование интервалов цементирования

В соответствии с требованиями правил безопасности в нефтяной и газовой промышленности:

- направление, кондуктор, потайные колонны цементируются на всю длину;
- промежуточные и эксплуатационные колонны цементируются с учетом перекрытия башмака предыдущей колонны на высоту не менее **150-300** м для нефтяных скважин и не менее **500** м для газовых скважин.





# Определение диаметров обсадных колонн и долот по интервалам бурения

Проектирование колонны снизу вверх.

## 1. Определение диаметра эксплуатационной колонны по ожидаемому дебиту

Нефтяная скважина		Газовая скважина	
Суммарный дебит, м <sup>3</sup> /сут	Ориентировочный диаметр, мм	Суммарный дебит, тыс. м <sup>3</sup> /сут	Ориентировочный диаметр, мм
<40	114,3	<75	114,3
40-100	127,0; 139,7	75-250	114,3-146,1
100-150	139,7; 146,1	250-500	146,1-177,8
150-300	168,3; 177,8	500-1000	168,3-219,1
>300	177,8; 193,7	1000-5000	219,1-273,1



# Определение диаметров обсадных колонн и долот по интервалам бурения

## 2. Определение диаметра муфты обсадной колонны

Номинальный диаметр обсадной колонны, мм	Разность диаметров $2\Delta$ , мм	Номинальный диаметр обсадной колонны, мм	Разность диаметров $2\Delta$ , мм
114,3	15,0	273,1	35,0
127,0		298,5	
139,7	20,0	323,9	35,0-45,0
146,1		426,0	
168,3	25,0		
244,5			

Необходимо стремиться к упрощению конструкции скважины и уменьшению её металлоёмкости



# Определение диаметров обсадных колонн и долот по интервалам бурения

**3.** Определение диаметра долота под эксплуатационную колонну

По ГОСТ 20692- 75 принимается ближайший диаметр долота, в сторону увеличения.

$$D_d = D_m + 2\Delta$$

$D_d$  – наружный диаметр муфты обсадной трубы, мм

$2\Delta$  – разность диаметров ствола скважины и муфты обсадной колонны, мм

**4.** Определение внутреннего диаметра кондуктора

$$D_k = D_d + (10-14)$$

где  $D_d$  – диаметр долота под предыдущую колонну, мм;

10-14 – зазор для свободного прохода долота внутри кондуктора.



# Определение диаметров обсадных колонн и долот по интервалам бурения

## 5. Выбор обсадных труб под кондуктор по ГОСТ 632-80

Наружный диаметр обсадной трубы	Толщина стенки трубы		Диапазон варьирования внутреннего диаметра		Наружный диаметр соединительной муфты		Толщина стенок обсадной трубы
	мини-мальная	максимальная	от	до	нормальный	уменьшенный	
114,3	5,2	10,2	103,9	93,9	127,0 (133,0)	123,8	5,2; 5,7; 6,4; 7,4; 8,6; 10,2
127,0	5,6	10,7	115,8	105,6	141,3 (146,0)	136,5	5,6; 6,4; 7,5; 9,2; 10,7
139,7	6,2	10,5	127,3	118,7	153,7 (159,0)	149,2	6,2; 7,0; 7,7; 9,2; 10,5
146,1	6,5	10,7	133,0	124,6	166,0	156,0	6,5; 7,0; 7,7; 8,5; 9,5; 10,7
168,3	7,3	12,1	153,7	144,1	187,7	177,8	7,3; 8,0; 8,9; 10,6; 12,1
177,8	5,9	15,0	166,0	147,8	194,5 (198,0)	187,3	5,9; 6,9; 8,1; 9,2; 10,4; 11,5; 12,7; 13,7; 15,0
193,7	7,6	15,1	178,5	163,5	215,9	206,4	7,6; 8,3; 9,5; 10,9; 12,7; 15,1
219,1	6,7	14,2	205,7	190,7	244,5	231,8	6,7; 7,7; 8,9; 10,2; 11,4; 12,7; 14,2
244,5	7,9	15,9	228,7	212,7	269,9	257,2	7,9; 8,9; 10,0; 11,1; 12,0; 13,8; 15,9
273,1	7,1	16,5	258,9	240,1	298,5	285,8	7,1; 8,9; 10,2; 11,4; 12,6; 13,8; 15,1; 16,5
298,5	8,5	14,8	281,5	268,9	323,9	-	8,5; 9,5; 11,1; 12,4; 14,8
323,9	8,5	14,0	306,9	265,9	351,0	-	8,5; 9,5; 11,0; 12,4; 14,0
339,7	8,4	15,4	322,9	308,9	365,1	-	8,4; 9,7; 10,9; 12,2; 13,1; 14,0; 15,4
351,0	9,0	12,0	333,0	327,0	376,0	-	9,0; 10,0; 11,0; 12,0
377,0	9,0	12,0	359,0	353,0	402,0	-	9,0; 10,0; 11,0; 12,0
406,4	9,5	16,7	387,4	373,0	431,8	-	9,5; 11,1; 12,6; 16,7
426,0	10,0	12,0	406,0	402,0	451,0	-	10,0; 11,0; 12,0
473,1	11,1	-	450,9	-	508,0	-	11,1
508,0	11,1	16,1	485,8	475,8	533,4	-	11,1; 12,7; 16,1

Примечание: В скобках указан наружный диаметр муфт для труб исполнения Б.

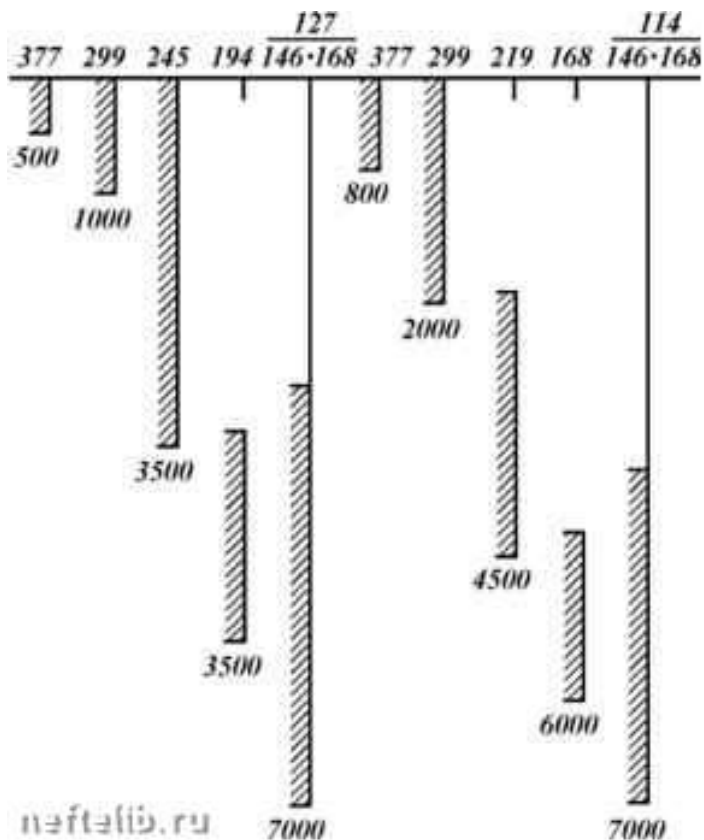




# Определение диаметров обсадных колонн и долот по интервалам бурения

6. Повторяются пункты 2-5 заданное число циклов равное числу обсадных колонн

Итог



Сводная таблица  
по конструкции  
скважины



# Вопросы для самопроверки

1. Что такое конструкция скважины?
2. Какие элементы входят в понятие «конструкция скважины»?
3. Какие бывают обсадные колонны?
4. Что такое направление?
5. Что такое кондуктор?
6. Что такое потайная колонна?
7. Что такое профильный перекрыватель?
8. Что такое техническая колонна?
9. Что такое хвостовик?
10. Что такое эксплуатационная колонна?
11. Что такое интервал бурения?
12. Что такое интервал цементирования?
13. Что значит цементирования «в на хлёт»?
14. Что такое устье, стенки и забой скважины?
15. Что такое интервал перфорации?
16. Чем одноколонная скважина от многоколонной отличается?
17. Какие виды коллекторов бывают?
18. Что означает конструкция открытого забоя?
19. Что означает конструкция закрытого забоя?
20. Что означает конструкция забоя смешанного типа?



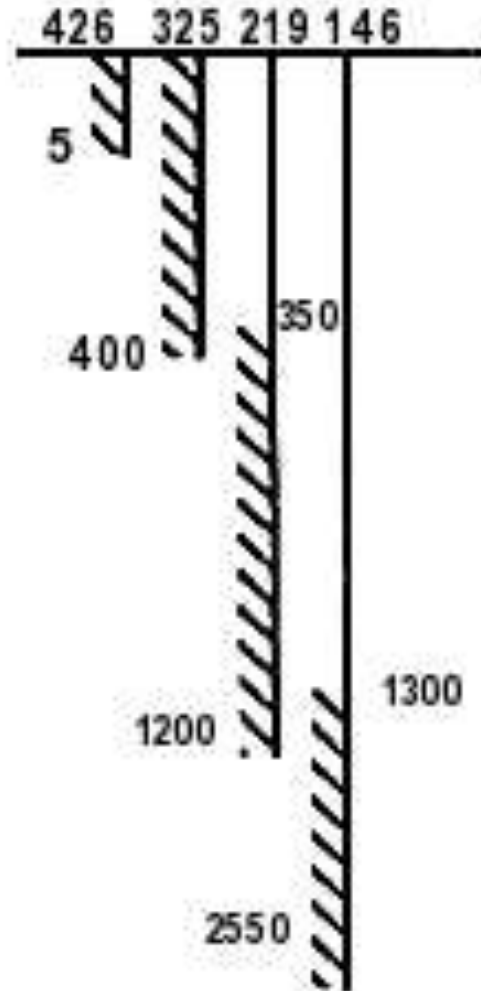
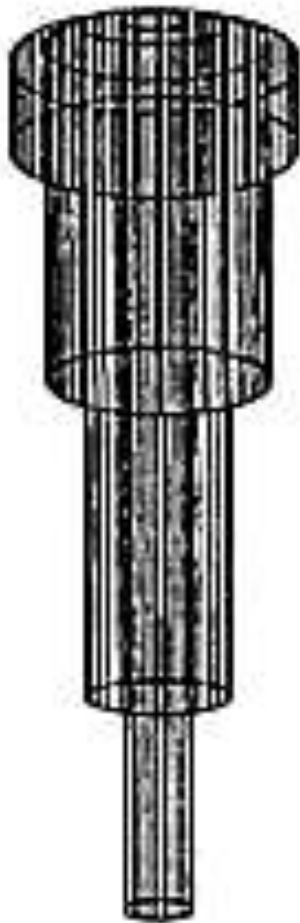
# Вопросы для самопроверки

21. Какой пласт называется однородным, а какой неоднородным?
22. Что значит «устойчивый коллектор»?
23. Что значит «нормальное», «аномально высокое» и «аномально низкое» давление?
24. Что значит «низко-» и «высокопроницаемый» пласт?
25. Какие бывают песчаники по размеру зерен?
26. Какой напорный пласт считается близкорасположенным?
27. Какие существуют способы эксплуатации?
28. Какая конструкция забоя рекомендуется при отдельном способе эксплуатации?
29. Какая конструкция забоя рекомендуется при совместном способе эксплуатации?
30. Что такое совмещенный график давлений?
31. Для чего нужен совмещенный график давлений?
32. Что такое градиент давления?
33. Расскажите алгоритм построения графика совмещенных давлений?
34. Что обозначает термин «несовместимые условия бурения»?
35. Что определяет глубину спуска кондуктора?
36. Что определяет глубину спуска направления?
37. Что определяет глубину спуска технической колонны?
38. Какие правила соблюдаются при цементировании в нахлест?
39. Приведите алгоритм расчета диаметров обсадных колонн при проектировании конструкции скважины?
40. Как выбирается диаметр долота относительно того, что рекомендуется в расчетах?



# Задание

Провести расчет конструкции скважины для своих геологических условий.



**Спасибо за внимание!!!**