

# Вторичное вскрытие продуктивных пластов

- \* *Перфорация скважин* (от лат. perforatio - пробуривание) - пробивание отверстий в стенках буровой скважины против заданного участка продуктивного пласта с целью получения или усиления притока воды, нефти, газа в добычную скважину или пласт

# Техника перфорации скважин

## Способы перфорации скважин

Пулевая

Торпедная

Кумулятивная

Гидропескоструйная

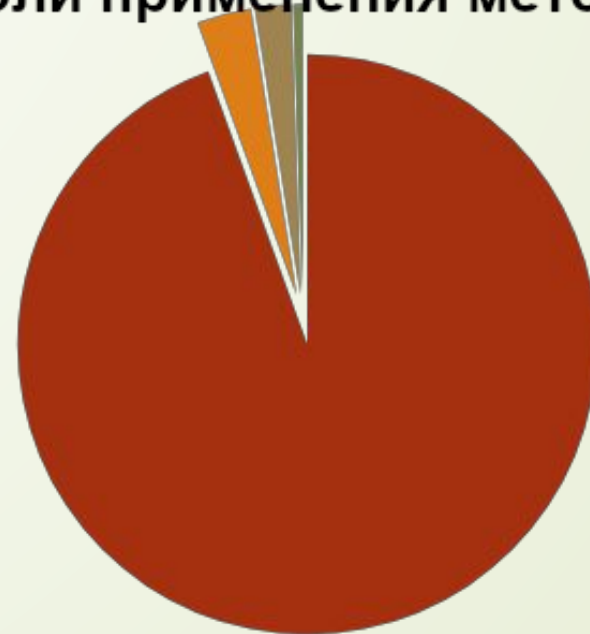
Гидромеханическая

Первые три способа перфорации осуществляются на промыслах геофизическими партиями с помощью оборудования, имеющегося в их распоряжении.

Гидропескоструйная и гидромеханическая перфорации осуществляются техническими средствами и службами нефтяных промыслов или сервисными компаниями

# Классификация методов перфорации

Доли применения методов



- Кумулятивная
- Пулевая
- Гидропескоструйная
- Прочие

# Пулевая перфорация скважин

При пулевой перфорации в скважину на электрическом кабеле спускается **стреляющий пулевой аппарат**, состоящий из нескольких (8 - 10) камер - стволов, заряженных пулями. Каморы заряжаются взрывчатым веществом (ВВ) и детонаторами. При подаче электрического импульса происходит залп. Пули пробивают колонну, цемент и внедряются в породу.

**Применяются в пластах сложенных слабосцементированными непрочными породами, хрупкими**  
**Скорость пули - 900 – 1000 м/с**

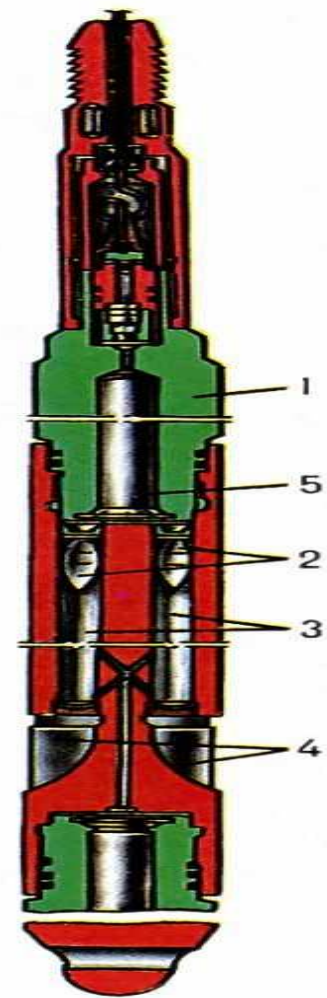
Существует **два вида пулевых перфораторов**:

- **перфораторы с горизонтальными стволами**. В этом случае длина стволов мала и ограничена радиальными габаритами перфоратора;
- **перфораторы с вертикальными стволами с отклонителями пуль** на концах для придания полету пули направления, близкого к перпендикулярному по отношению к оси скважины.

# Пулевая перфорация скважин

Пулевой перфоратор с вертикально-криволинейными стволами ПВН-90 имеет большой объем камер и длину стволов. Масса ВВ в одной камере - 90 г. Давление газов в камерах - 0,6 - 0,8 тыс. Мпа. Длина перфорационных каналов в породе получается 145 - 350 мм при диаметре около 20 мм.

В каждой секции перфоратора четыре вертикальных ствола, на концах которых сделаны плавные желобки - отклонители. Пули, изготовленные из легированной стали, для уменьшения трения покрываются медью или свинцом. В каждой секции два ствола направлены вверх и два вниз, чтобы компенсировать реактивные силы, действующие на перфоратор.



1 - корпус; 2 - пуля;  
3 - канал перфоратора;  
4 - отклоняющий участок;  
5 - пороховой заряд.

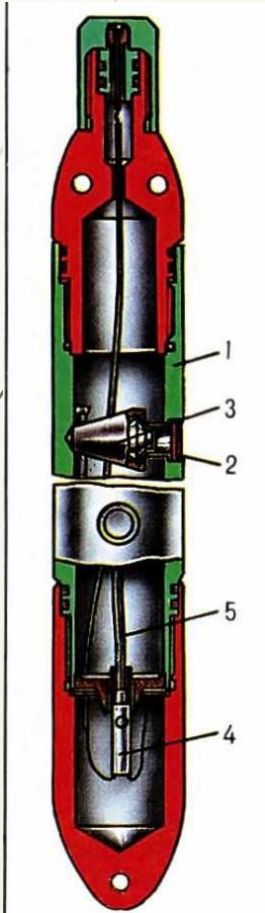


**Элемент  
обсадной  
колонны  
после  
пулевой  
перфорации  
(Шлюмберже)**



**Канал, образованный в горной породе при  
пулевой перфорации (Шлюмберже)**

## Торпедная перфорация



- Торпедная перфорация осуществляется аппаратами, спускаемыми на кабеле и стреляющими разрывными снарядами диаметром 32 или 22 мм
- При попадании снаряда в горную породу после выстрела происходит взрыв внутреннего заряда снаряда и дополнительное воздействие на горную породу в виде образования системы трещин. Длина перфорационных каналов при торпедной перфорации достигает 160 мм

1 - корпус; 2 – торпеда ; 3 – пороховой заряд (ВВ) ; 4 – взрывной патрон;  
5 – детонирующий шнур.



# Кумулятивная перфорация

**Кумулятивная перфорация осуществляется стреляющими перфораторами, не имеющими пуль или снарядов.**

Прострел преграды достигается за счет **сфокусированного взрыва**. Такая фокусировка обусловлена **конической формой поверхности заряда ВВ** облицованной тонким металлическим покрытием (**листовая медь толщиной 0,6 мм**). Энергия взрыва в виде тонкого пучка газов - продуктов облицовки пробивает канал.

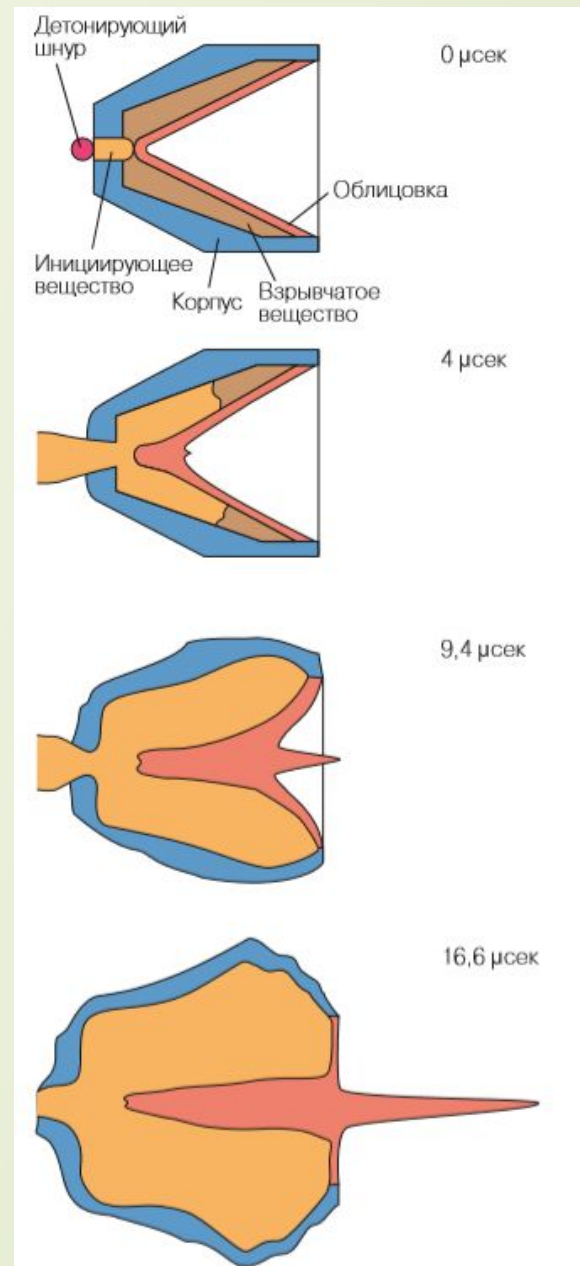
Кумулятивная струя приобретает скорость в головной части до **6 - 8 км/с** и создает давление на преграду до **0,15 - 0,3 млн. МПа**. При выстреле кумулятивным зарядом в преграде образуется узкий перфорационный канал глубиной **до 350 мм** и **диаметром в средней части 8 - 14 мм**. Размеры каналов зависят от прочности породы и типа перфоратора..

Все кумулятивные перфораторы имеют горизонтально расположенные заряды и разделяются на **корпусные и бескорпусные**.

**Корпусные перфораторы** после их перезаряда используются **многократно**. **Бескорпусные** - **одноразового действия**. Разработаны и корпусные перфораторы одноразового действия, в которых легкий корпус из обычной стали используется для герметизации зарядов при погружении их в скважину

# Кумулятивная перфорация

Схематическое представление детонации кумулятивного заряда. В 0 мкс на схеме представлены компоненты заряда. Объем взрывчатого вещества самый большой в вершине вкладыша и меньше всего на его концах. Это означает, что по мере продвижения фронта детонации, задействуется все меньше ВВ, в результате чего в основании вкладыша скорость минимальная. На последующих рисунках показано, как деформируется корпус заряда по мере продвижения фронта взрыва по оси кумулятивного заряда. Скорость полностью сформированной струи (через 16,6 мкс) составляет около 6500 м/сек.

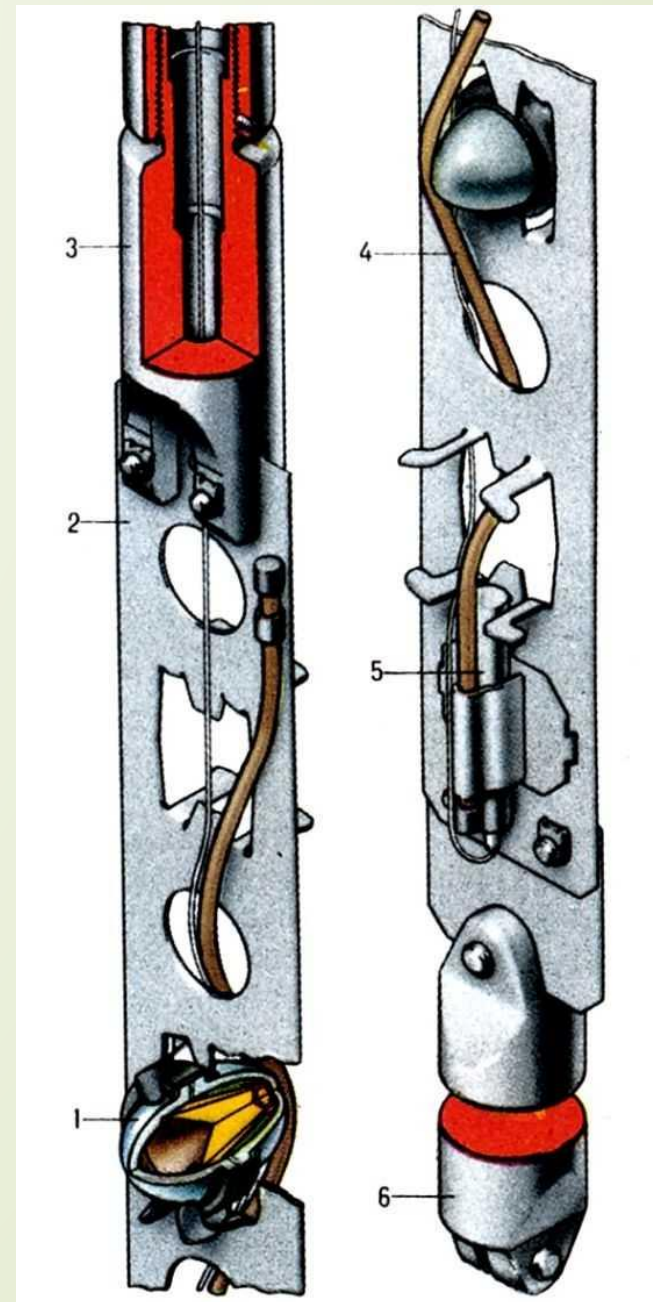


# Образец обсадной колонны после кумулятивной перфорации



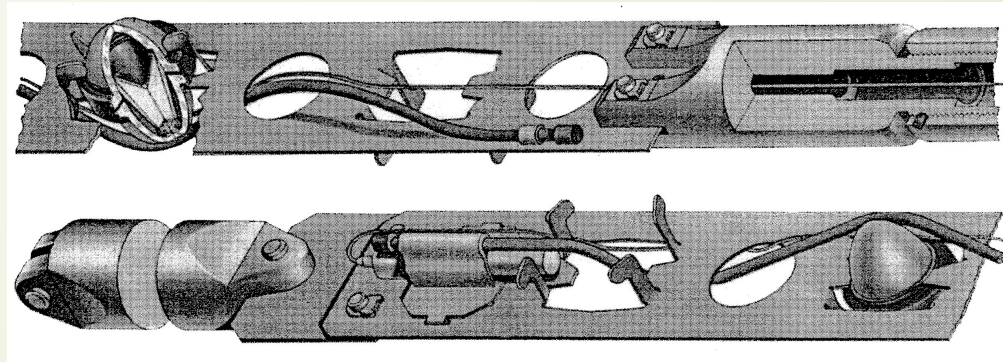
# Бескорпусный кумулятивный перфоратор

- 1 - кумулятивный заряд;
- 2 - лента;
- 3 - головка;
- 4 - детонирующий шнур;
- 5 - взрывной патрон;
- 6 - груз.



# Бескорпусный кумулятивный перфоратор

**Малогабаритная перфорационная система  
с извлекаемым ленточным каркасом**



**Кумулятивный перфоратор разрушающийся**



# Корпусный кумулятивный перфоратор

1 - головка;

2 - корпус;

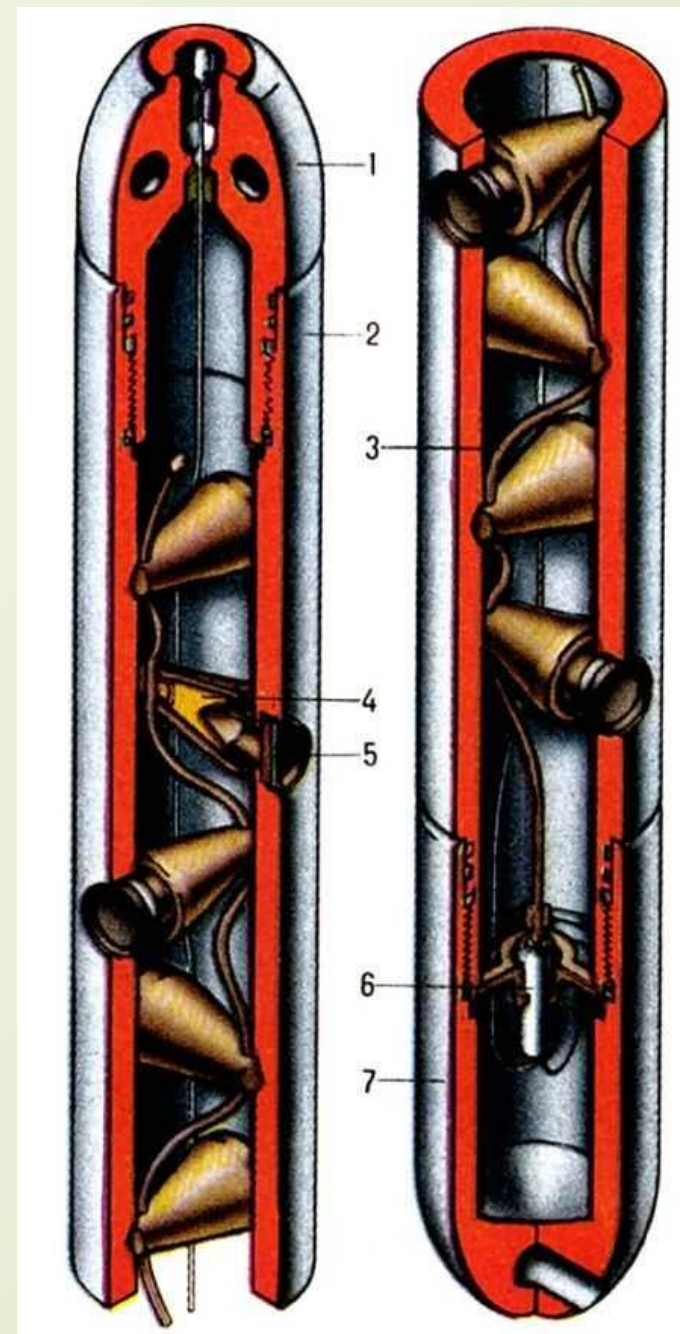
3 - детонирующий шнур;

4 - кумулятивный заряд;

5 - герметизирующее уплотнение;

6 - взрывной патрон;

7 - наконечник



# Корпусный кумулятивный перфоратор



# Расположение





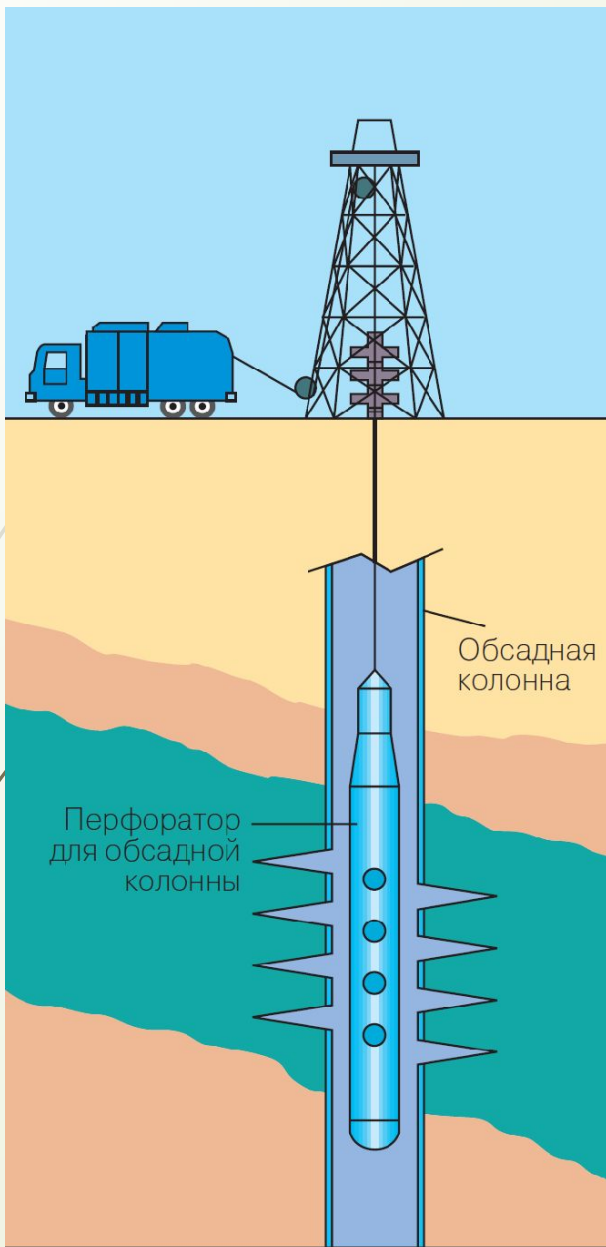
## Расположение



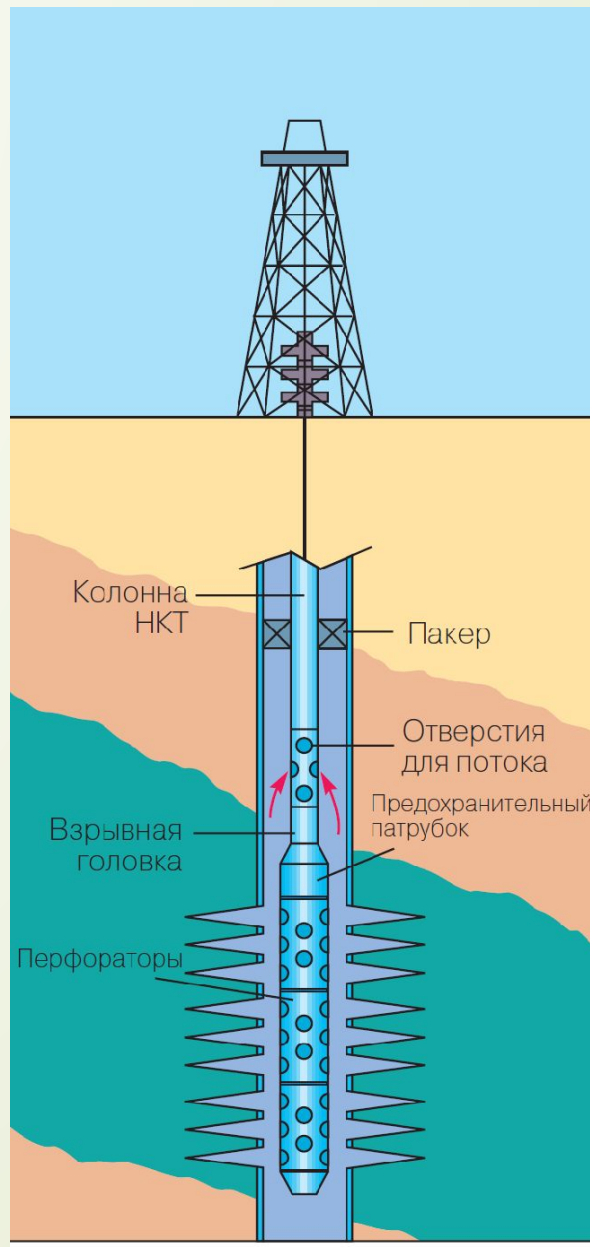
Бескорпусные  
перфораторы

Корпусные  
перфораторы

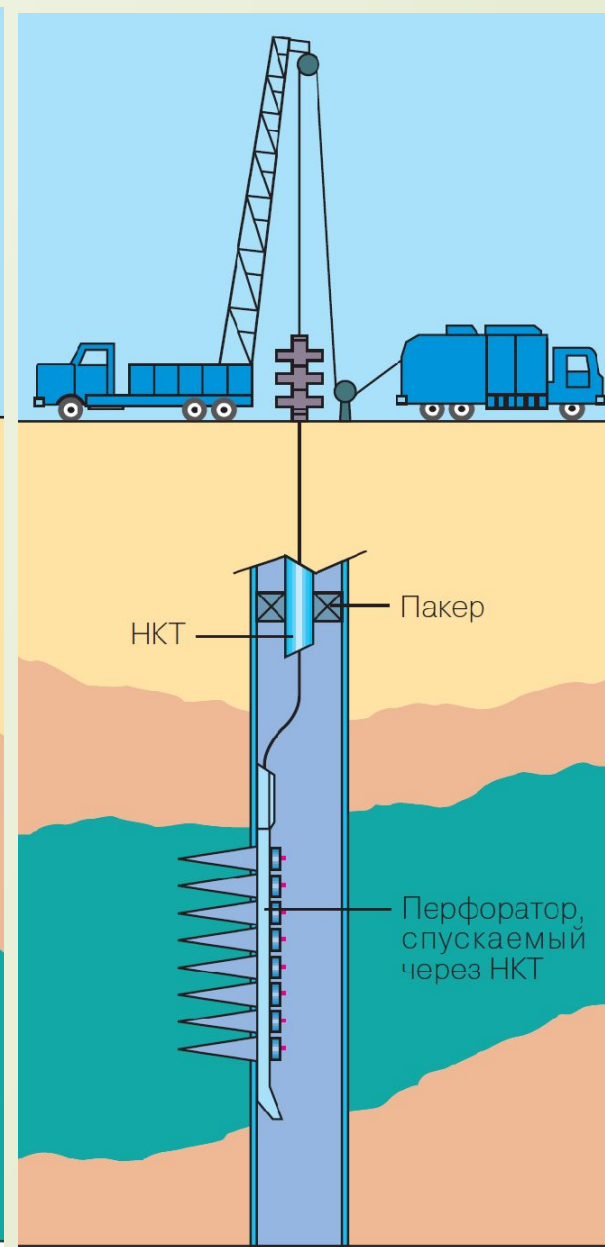
Типы перфораторов	Применение		
	Спуск на кабеле через НКТ	Спуск на кабеле через обсадную колонну	Спуск на НКТ
Ленточные	Х		
«Пивот»	Х		
«Скаллоп»	Х		
С заглушками		Х	
Высоко- эффективные	Х	Х	
С высокой плотностью перфорации	Х	Х	Х



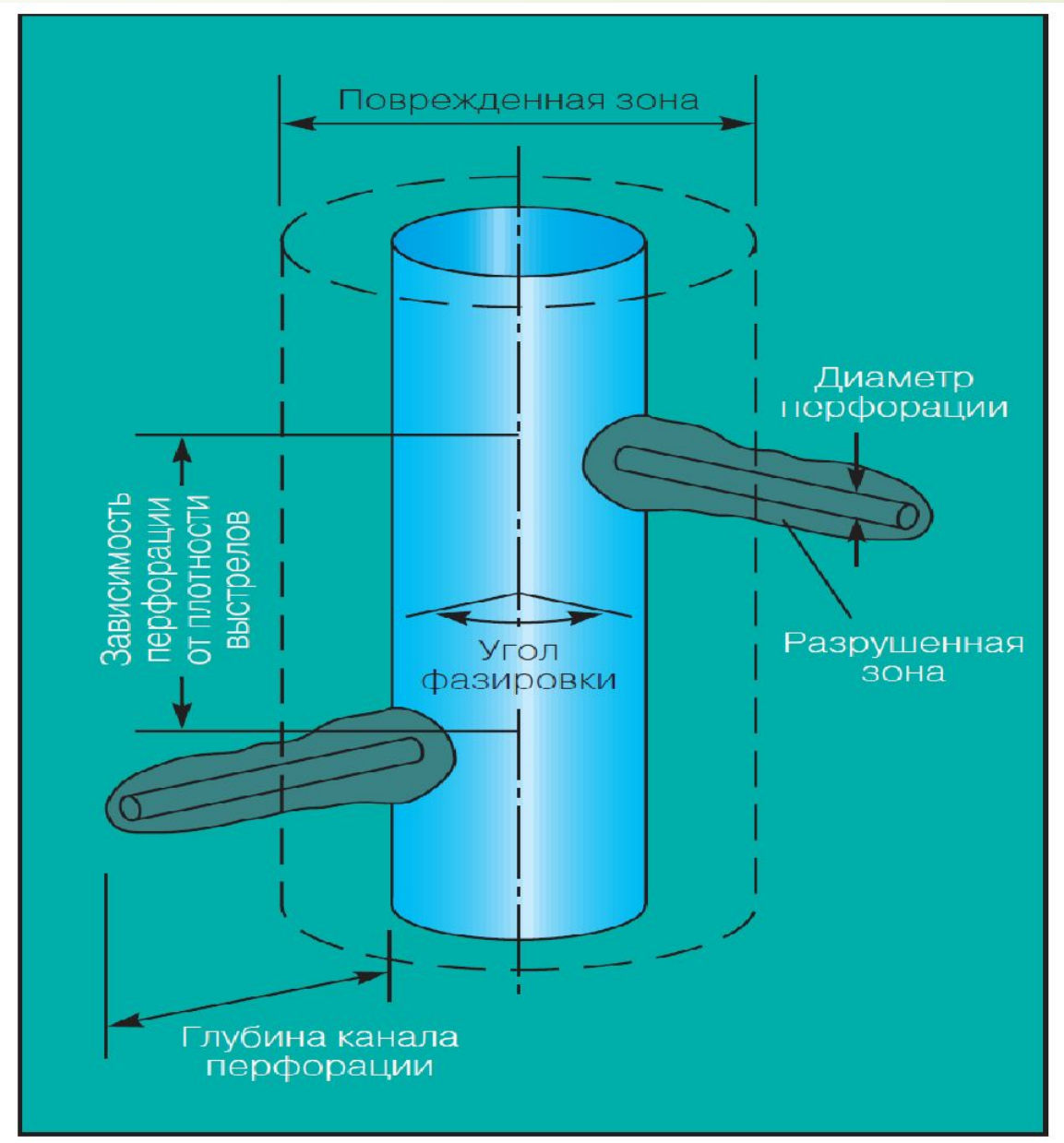
Перфоратор, спускаемый через обсадную колонну



Перфоратор, спускаемый на НКТ



Перфоратор, спускаемый через НКТ



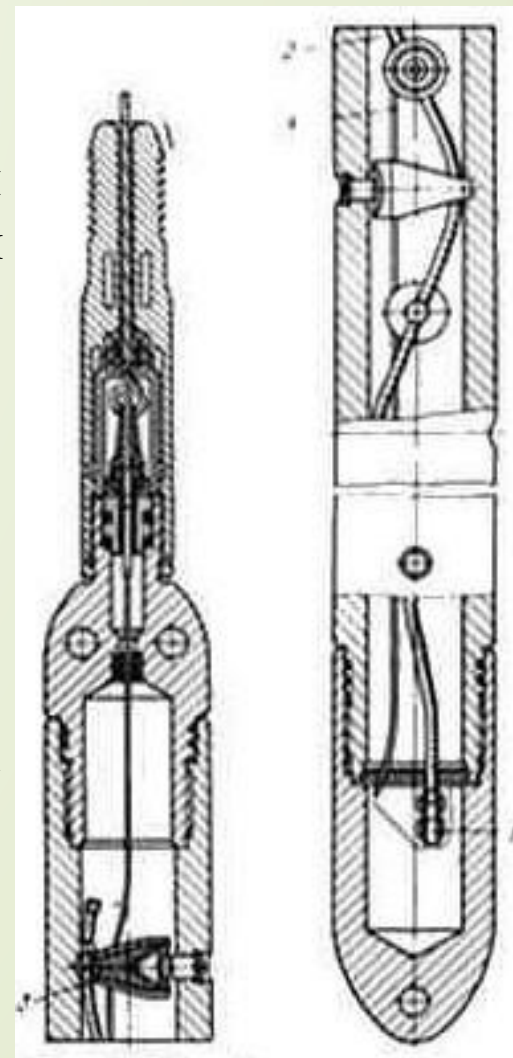
# Кумулятивная перфорация

Перфораторы спускаются на кабеле (имеются малогабаритные перфораторы, опускаемые через НКТ, а также на насосно-компрессорных трубах). В последнем случае взрыв производится не электрическим импульсом, а сбрасыванием в НКТ **резинового шара**, действующего как поршень на взрывное устройство. **Масса ВВ** одного кумулятивного заряда составляет **25 - 50 г**.

**Максимальная толщина вскрываемого интервала кумулятивным перфоратором достигает 30 м торпедным - 1 м, пулевым - до 2,5 м.** Это одна из причин широкого распространения кумулятивных перфораторов.

Корпусные перфораторы простреливают интервал до 3,5 м за один спуск корпусные одноразового действия - до 10 м бескорпусные или ленточные - до 30 м.

Рис. 4.7. Корпусный кумулятивный перфоратор ПК105ДУ:  
1- взрывной патрон; 2 - шнур; 3 - заряд; 4 - электропровод.



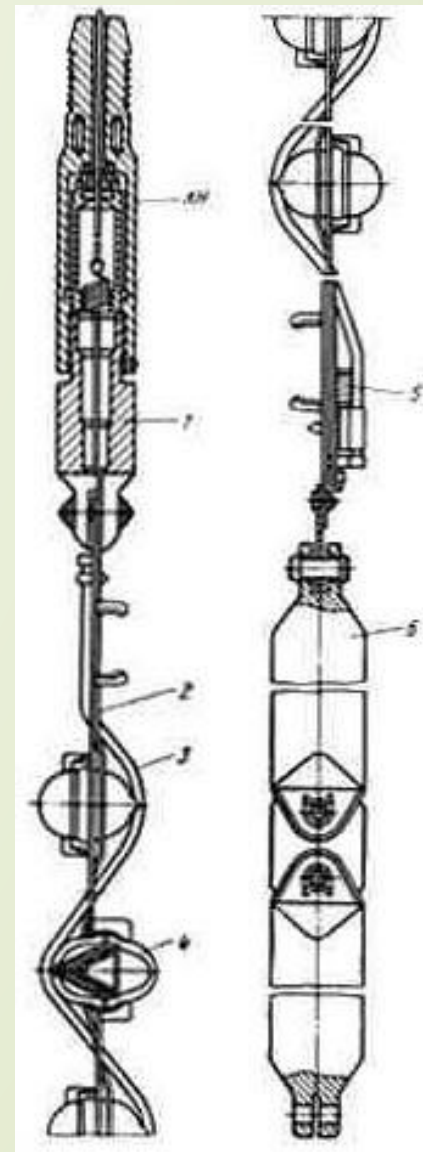
# Кумулятивная перфорация

Ленточные перфораторы легче корпусных, но их применение ограничено давлениями и температурами на забое скважины, так как взрывной патрон и детонирующий шнур находятся в контакте со скважинной жидкостью.

В ленточном перфораторе заряды смонтированы в стеклянных (или из другого материала), герметичных чашках, которые размещены в отверстиях стальной ленты с грузом на конце. Гирлянда спускается на кабеле. При залпе лента полностью не разрушается, но для повторного использования не применяется.

Недостаток бескорпусных перфораторов – невозможность контролирования числа отказов, тогда как в корпусных перфораторах такой контроль осуществим при осмотре извлеченного из скважины корпуса.

Рис. 4.8. Ленточный кумулятивный перфоратор ПКС105:  
КН - кабельный наконечник; 1- головка перфоратора; 2 - стальная лента; 3- шнур; 4 - заряд; 5 - взрывной патрон; 6 - груз.



# Кумулятивная перфорация

- **Марки корпусных кумулятивных перфораторов многоразового использования:**
  - **ПК** - с зарядами в бумажных оболочках;
  - **ПК-10x4** - четырехстороннего действия;
  - **ПКДУ** - с повышенной термобаростойкостью;
  - **ПКН** - с зарядами повышенной пробивной способности и проходимости в цинковых оболочках
  
- **Марки корпусных кумулятивных перфораторов однократного использования:**
  - **ПКО** - секционные с корпусной трубой;
  - **ПКОТ** - с опорными трубами и повышенной термобаростойкостью;
  - **ПКОС** - с опорными втулками;
  - **ПНК** - спускаются на НКТ;
  - **ПНКТ** - спускаются на НКТ, с повышенной термобаростойкостью.

# Гидропескоструйная перфорация

При **гидропескоструйной перфорации** (ГПП) разрушение преграды происходит в результате **абразивного и гидромониторного эффектов высокоскоростных песчано-жидкостных струй**, вылетающих из насадок **пескоструйного перфоратора**, прикрепленного к нижнему концу НКТ. Песчано-жидкостная смесь закачивается в НКТ насосными агрегатами высокого давления.

При **ГПП** создание отверстий в колонне, цементном камне и канала в породе достигается за счет **большой скорости песчано-жидкостной струи - несколько сотен метров в секунду**. Перепад давления составляет **15 - 30 МПа**. В породе вымывается **каверна грушеобразной формы**, обращенной узким конусом к перфорационному отверстию в колонне. Размеры каверны зависят от прочности горных пород, продолжительности воздействия и мощности песчано-жидкостной струи. При **стендовых испытаниях были получены каналы до 0,5 м**.

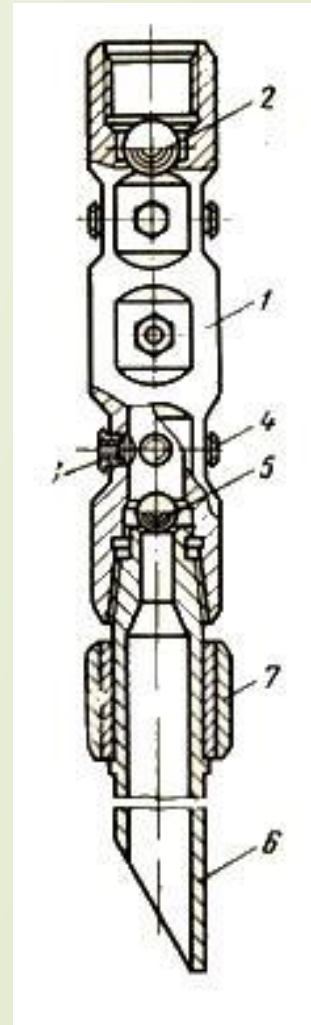
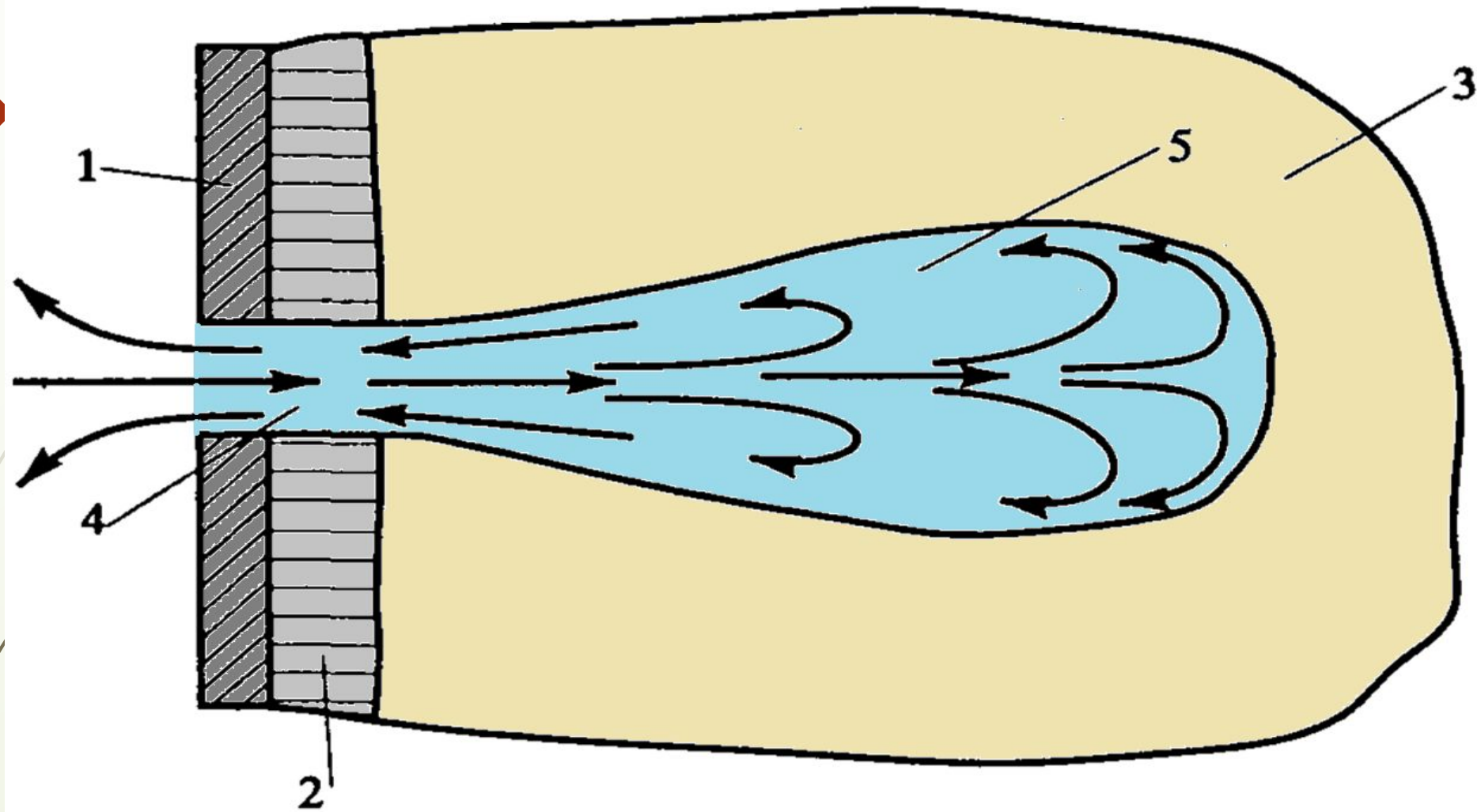


Рис. 4.10. Аппарат для ГПП АП-6М: 1 - корпус; 2 - шар опрессовочного клапана; 3 - узел насадки; 4 - заглушка; 5 - шар клапана; 6 - хвостовик; 7 - центратор





**Схема образования грушеобразной каверны в породе при гидropескоструйной перфорации:**

1 - обсадная колонна; 2 - цементный камень;

3 - горная порода; 4 - круглое отверстие;

5 - грушеобразная каверна.

# Гидропескоструйная перфорация

Время воздействия на преграду не должно превышать 15 - 20 мин, так как при более продолжительном воздействии каналы не увеличиваются.

Аппарат АП-6М конструкции ВНИИ БТ имеет **шесть боковых отверстий**, в которые ввинчиваются шесть насадок для одновременного создания шести перфорационных каналов.

**Насадки в стальной оправе** изготавливаются из **твердых сплавов** устойчивых против износа водопесчаной смесью, трех стандартных диаметров **3; 4, 5 и 6 мм**.

Медленно **вращая** пескоструйный аппарат или **вертикально его перемещая** можно получить горизонтальные или вертикальные надрезы и каналы. Сопротивление обратному потоку жидкости уменьшается и каналы получаются **2,5 раза глубже**. В пескоструйном аппарате предусмотрены **два шаровых клапана**, сбрасываемых с поверхности. Диаметр нижнего клапана меньше, чем седло верхнего клапана, поэтому нижний шар свободно проходит через седло верхнего клапана.

После спуска аппарата, обвязки устья скважины и присоединения к нему насосных агрегатов система спрессовывается давлением, превышающим рабочее в **1,5 раза**.

# Гидропескоструйная перфорация

Перед опрессовкой в НКТ сбрасывается шар диаметром 50 мм от верхнего клапана для герметизации системы. После опрессовки обратной промывкой, верхний шар выносится на поверхность и извлекается. Затем в НКТ сбрасывается малый - нижний шар, и при его посадке на седло нагнетаемая жидкость получает выход только через пазы. После этого проводится перфорация закачкой в НКТ водопесчаной смеси.

# Гидропескоструйная перфорация

При ГПП применяется то же оборудование, как и при гидроразрыве пласта. Устье скважины оборудуется стандартной арматурой типа 1АУ-700 рассчитанной на рабочее давление 70,0 МПа. Для прокачки песчано-жидкостной смеси используются насосные агрегаты, смонтированные на платформе тяжелых грузовых автомобилей 2АН-500 или 4АН-700, развивающие максимальные давления соответственно 50 и 70 МПа. При меньших давлениях используют цементировочные агрегаты. Число агрегатов  $n$  определяется как частное от деления общей необходимой гидравлической мощности на гидравлическую мощность одного агрегата, причем для запаса берется еще один насосный агрегат,

$$n = \frac{Q \cdot P_y}{\eta \cdot q_a \cdot P_a} + 1$$

где  $Q$  - суммарный расход жидкости;  $P_y$  - давление на устье скважины;  $q_a$  - подача одного агрегата;  $P_a$  - давление, развиваемое агрегатом;  $\eta$  - коэффициент, учитывающий износ насосных агрегатов  $\eta = 0,75 - 1$ . Агрегат 4АН-700 снабжен дизелем мощностью 588 кВт при 2000 об/мин, трехплунжерным насосом 4Р-700 с диаметрами плунжеров 100 или 120 мм. Ход плунжера 200 мм.

# Гидропескоструйная перфорация

В качестве рабочей используют различные жидкости, исходя из условия ее дешевизны, предотвращения ухудшения коллекторских свойств пласта и открытого фонтанирования. Для целей ГПП используют воду, 5 - 6%-ный раствор ингибированной соляной кислоты, дегазированную нефть, пластовую сточную или соленую воду с ПАВами, промывочный раствор. Если плотность жидкости не обеспечивает глушение скважины, добавляют утяжелители: мел, бентонит и др.

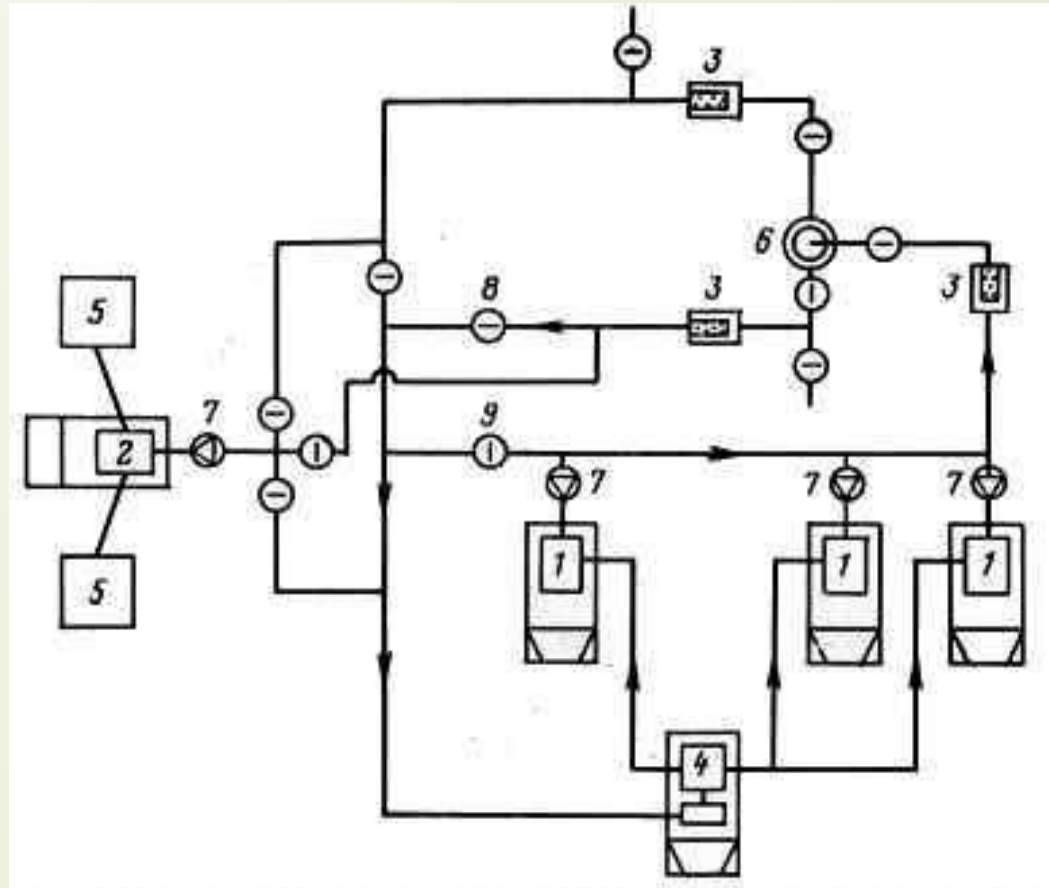


Рис. 4.12. Схема обвязки поверхностного оборудования при работе по замкнутому циклу: 1 - АН-700; 2 - ЦА-320; 3 - шламоуловитель; 4 - пескосмеситель; 5 - емкость; 6 - скважина; 7 - обратный клапан; 8 - открытые краны; 9 - закрытые краны

# Гидропескоструйная перфорация

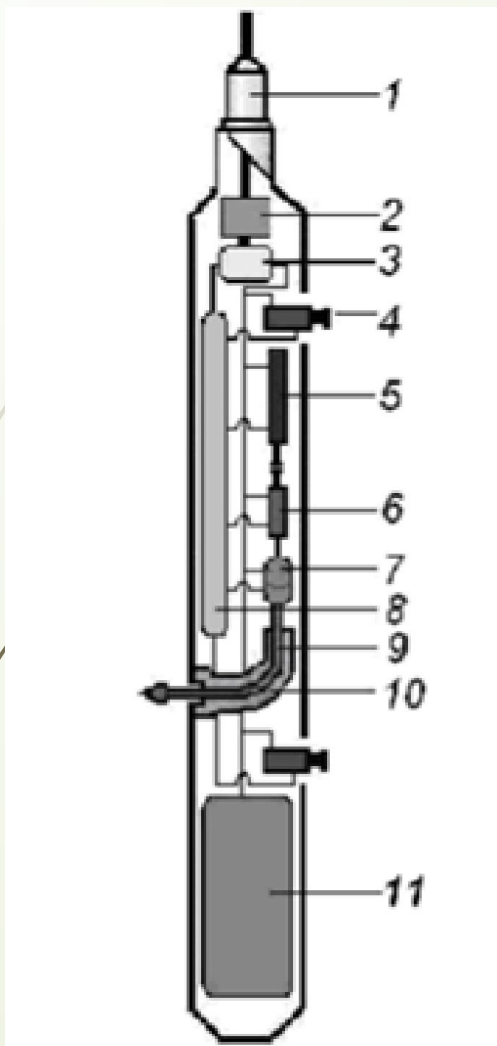
**Объем рабочей жидкости принимается равным 1,3 - 1,5 объема скважины при работе по замкнутому циклу.**

Процесс ГПШ связан с работой насосных агрегатов, развивающих высокие давления, и в некоторых случаях с применением горячих жидкостей. Поэтому **проведение работ регламентируется особыми правилами по охране труда и пожарной безопасности, несоблюдение которых может привести к очень тяжелым последствиям.**

**Пескоструйная перфорация в отличие от кумулятивной или пулевой перфорации позволяет получить каналы с чистой поверхностью и сохранить проницаемость на обнаженной поверхности пласта. Громоздкость операции, задействование мощных технических средств и большого числа обслуживающего персонала определяют довольно высокую стоимость этого способа перфорации и сдерживают ее широкое применение по сравнению с кумулятивной перфорацией.**

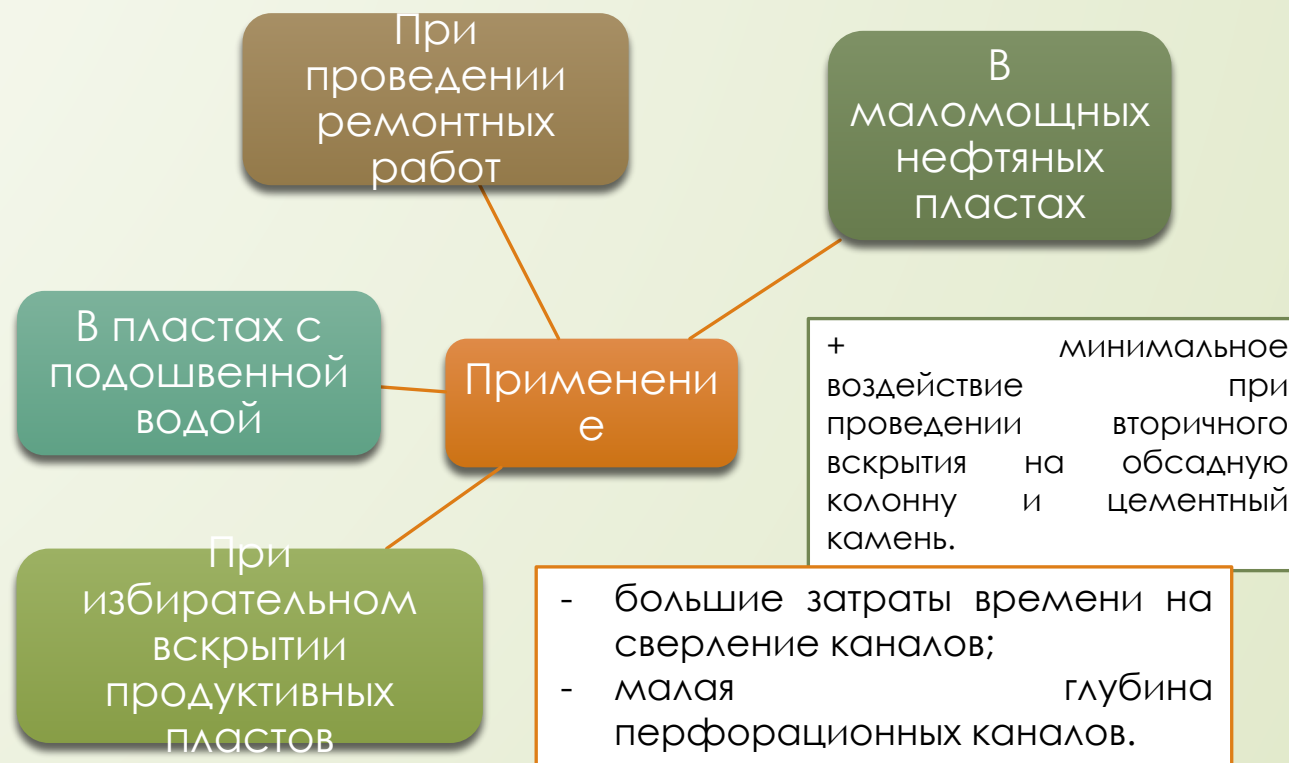
# СВЕРЛЯЩАЯ ПЕРФОРАЦИЯ

Сверлящая перфорация – это один из методов вторичного вскрытия нефтяных и газовых пластов, основанный на механическом способе разрушения элементов крепления скважины и горных пород.



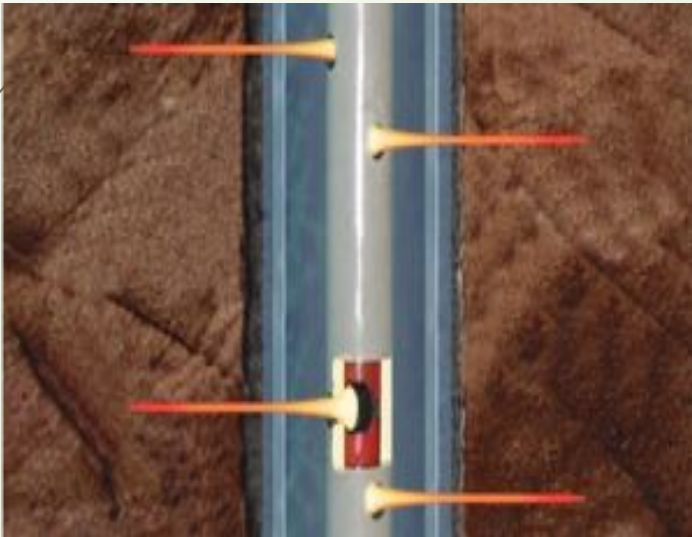
Сверлящий перфоратор.

1 – головка, 2 – электродвигатель,  
3 – насос, 4 – гидроцилиндры фиксации, 5- гидроциклоны подачи бура, 6 – гидроцилиндр перфорации, 7 – гидромотор,  
8 – бак,  
9 – бур на гибком валу, 10 – криволинейная направляющая, 11 – гидроаккумулятор.



# Механические

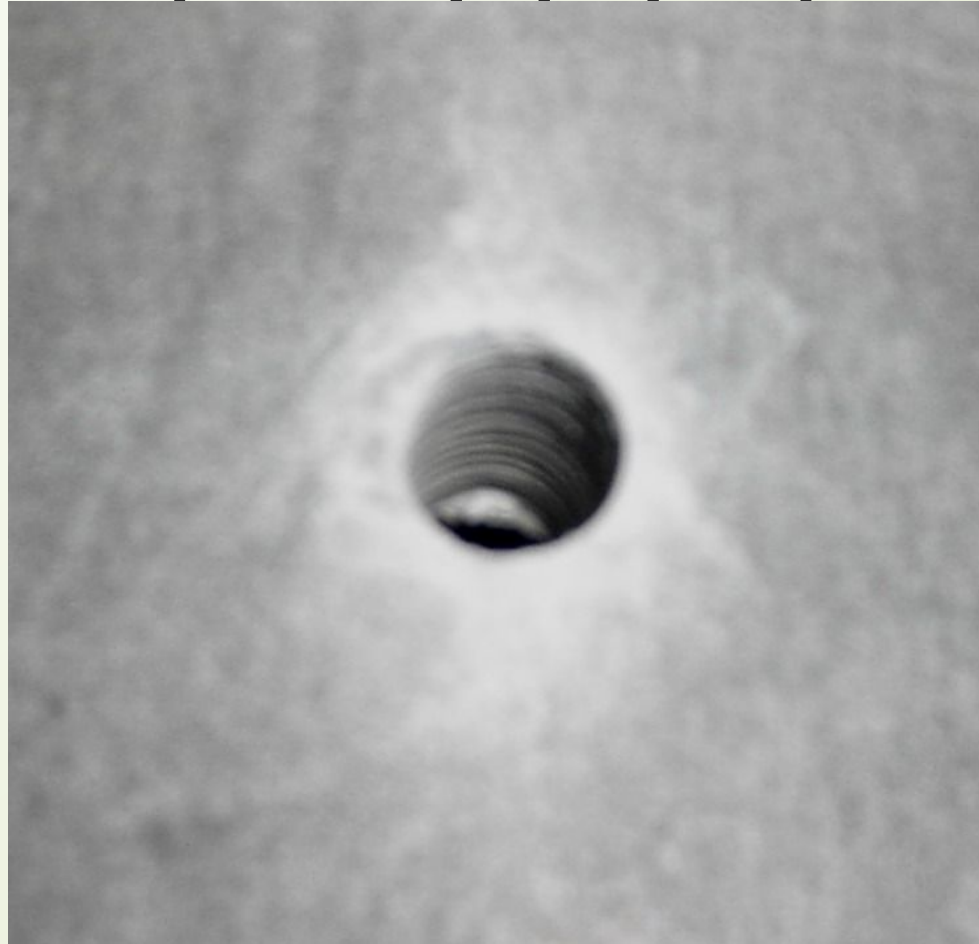
## Перфорация при помощи сверла



- При этом методе вторичное вскрытие осуществляется сверлением отверстий диаметром 14-16 мм; при сверлении обсадной колонны давление на цементный камень является малым, и он не повреждается. При соответствующем выходе сверла просверливаются не только обсадная колонна и цементный камень, но и часть горной породы. Поверхность такого канала является гладкой, а горная порода не уплотненной. Отсутствуют заусенцы и на внутренней поверхности обсадной колонны.



# Образец цементного камня после сверлящей перфорации



# Сравнительная оценка способов перфорации

<b>N</b>	<b>Способ перфор.</b>	<b>L, см</b>	<b>D, мм</b>	<b>N, на 1 м.</b>	<b>ΔP, МПа</b>	<b>Сохр. Цем.</b>	<b>Сохр. пласта</b>
1	Пулевая	5-10	10-15	До 20	До 100 МПа	-	-
2	Торпедная	5-15	10-15	До 20	До 100 МПа	-	-
3	Кумулятив.	10-25	5-15	До 20	До 300 МПа	-	-
4	Гидропескоструйная	До 100	До 500	1-2	До 10 МПа	+	- / +
5	Сверление	2-5	10-30	До 20	До 3 МПа	+	+
6	Щелевая	2-5		1-4	До 3 МПа	+	+
7	Мг загл.	0	15-25	До 20	0	+	+