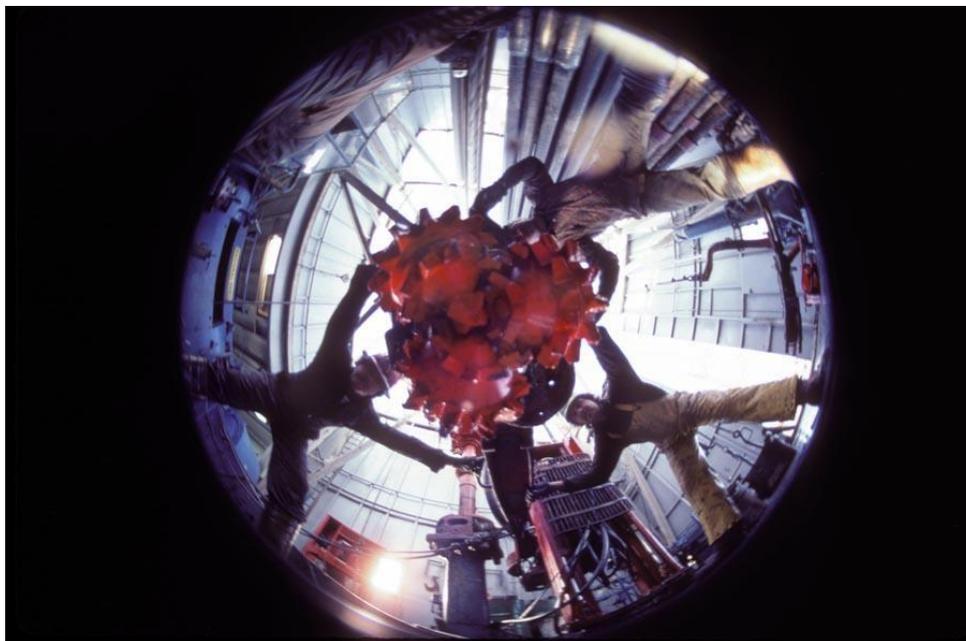


---

# Введение

## Оптимизация гидравлики

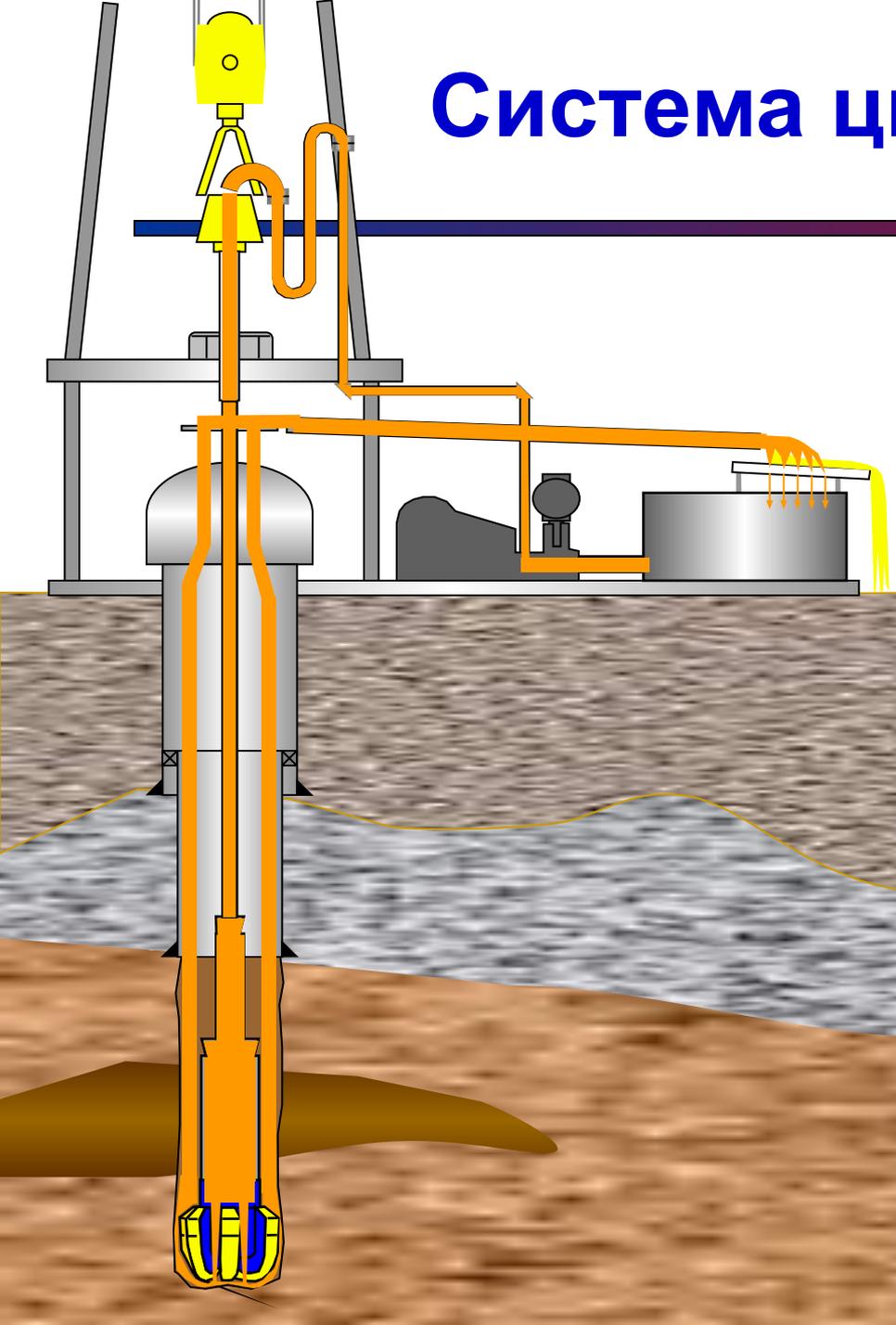


# Содержание

---

- Система циркуляции
- Потери давления в системе
- Буровые растворы
- Режимы течения
- Гидравлические дизайны долот
- Рассмотрение гидравлики для долот PDC и шарошечных долот

# Система циркуляции

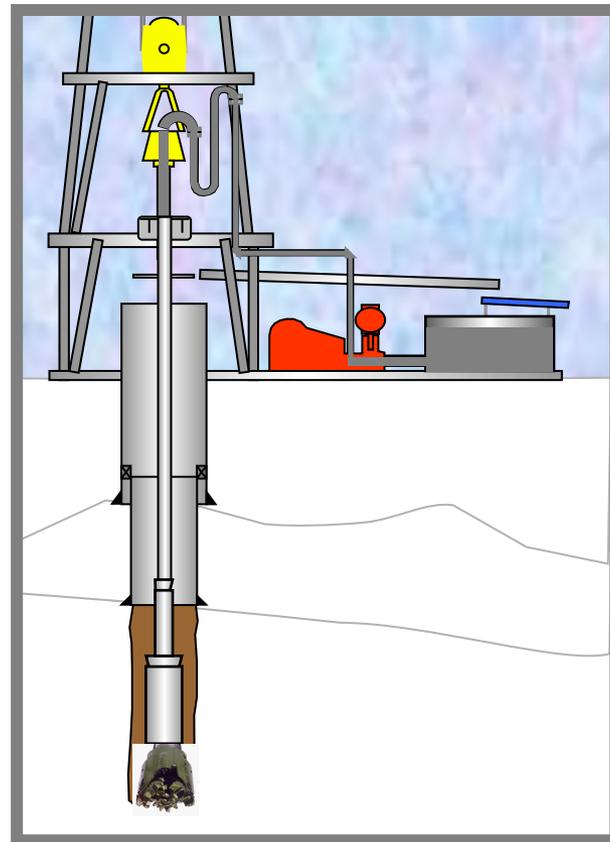


- Функции бурового раствора
  - Создание противодействия на пласт
  - Транспортировка шлама на поверхность
  - Передача энергии ГЗД
  - Охлаждение долота
  - Очистка забоя
  - Очистка долота
  - Очистка скважины

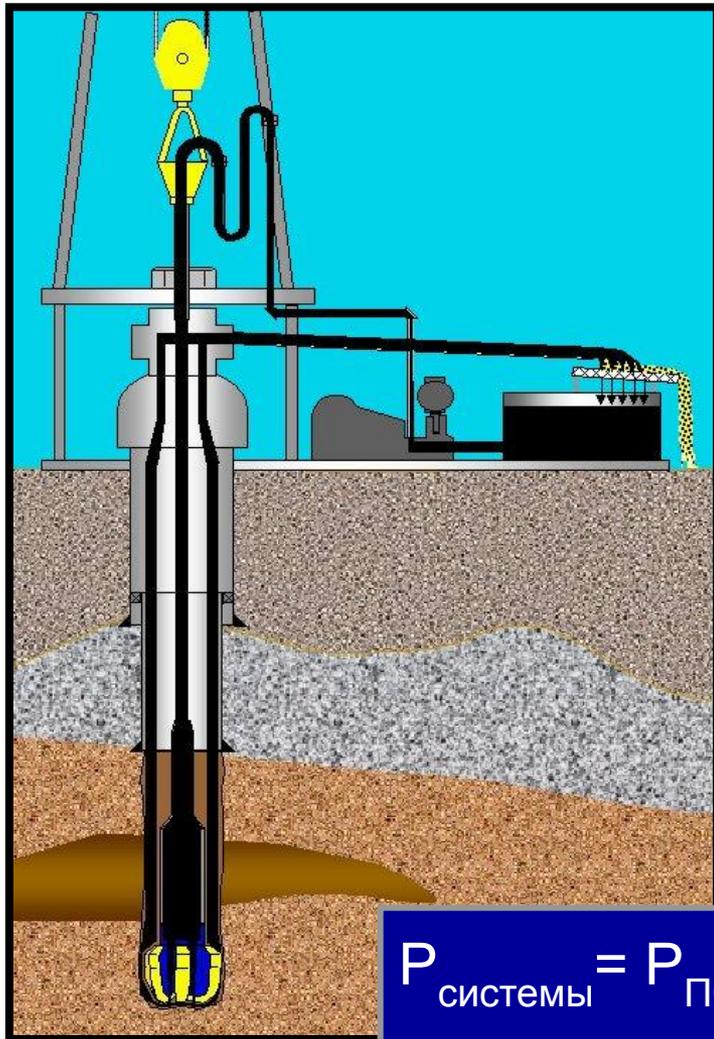
# Потери давления в циркуляционной системе

$$P_{\text{с-мы}} = P_{\text{по}} + P_{\text{инс}} + P_{\text{дол}} + P_{\text{затр}}$$

- Поверхностное оборудование (ПО)
  - Стояк
  - Манифольд
  - Вертлюг
  - Квадрат/Верхний привод
- Инструмент (инст)
  - Буровые трубы
  - Толстостенные БТ
  - КНБК
  - MWD/ОЗД/Турбобур
- Долото
- Затрубное пространство



# Пример потери давления

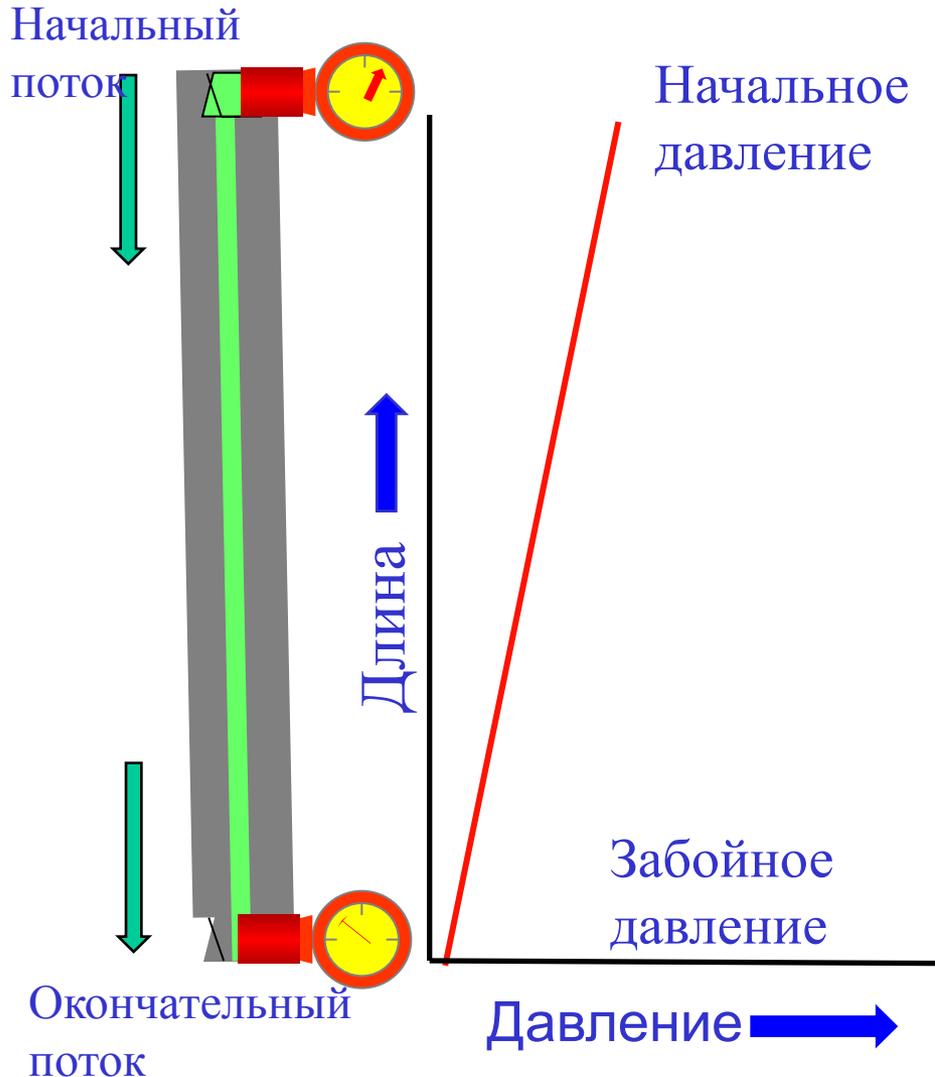


Диаметр скважины = 8 1/2"  
Глубина подъема = 15,000 футов  
Макс. давл-е на стояке = 3000 psi  
Расход = 238 GPM  
Плотность раствора = 14.5 ppg

**При макс гидравл мощности**  
Потери поверх оборуд = 20 psi  
Потери в инструменте = 968 psi  
Потери в моторе /телесистеме = 0  
Потери в долоте = 1890 psi  
В затруб пространстве = 122 psi  
Общие потери = 3000

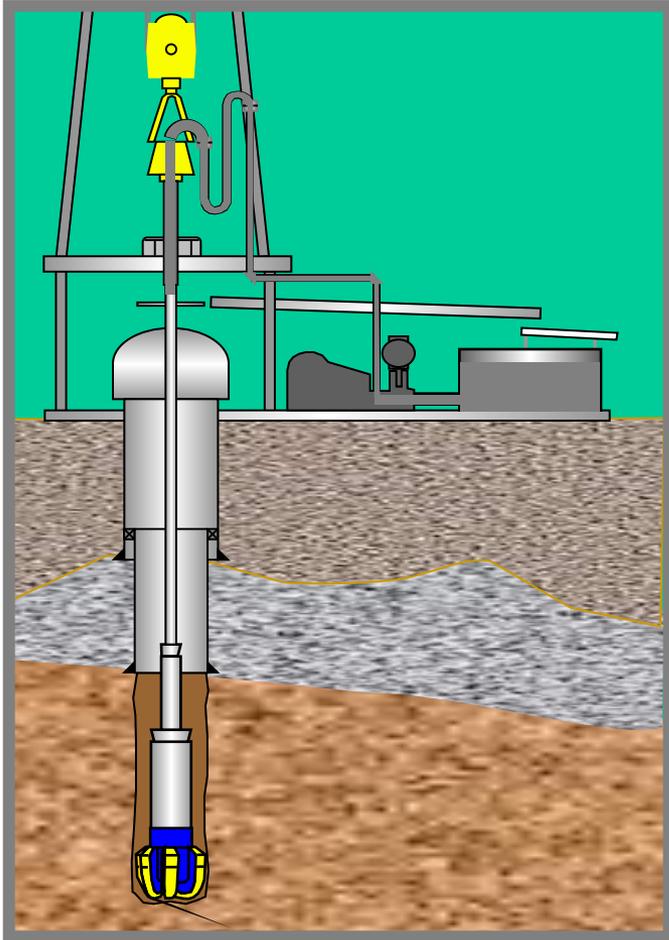
$$P_{\text{системы}} = P_{\text{ПО.}} + P_{\text{инстр}} + P_{\text{MWD/ГЗД}} + P_{\text{дол}} + P_{\text{затруб}}$$

# Потери давления - раствор



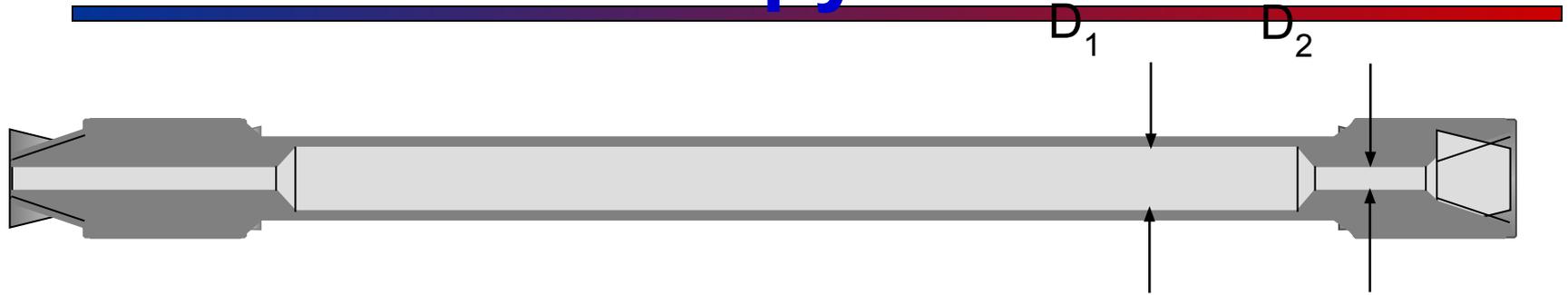
- Геометрия скважины
  - Внутренний диаметр
  - Площадь течения
  - Длина
  - Места сужений
- Расход
- Параметры бур р-ра
  - Тип флюида
  - Вес
  - Пластическая вязкость
  - ДНС

# Потери давления – Поверхностное оборудование



Вариант	Стояк		Гибкий манифольд		Вертлюг		Квадрат	
	Длина (фут)	Д <sub>внутр</sub> (дюйм)	Длина (фут)	Д <sub>внутр</sub> (дюйм)	Длина (фут)	Д <sub>внутр</sub> (дюйм)	Длина (фут)	Д <sub>внутр</sub> (дюйм)
1	40	3.0	45	2.0	4	2.0	40	2.25
2	40	3.5	55	2.5	5	2.5	40	3.00
3	45	4.0	55	3.0	5	2.5	40	3.25
4	45	4.0	55	3.0	6	3.0	40	4.0

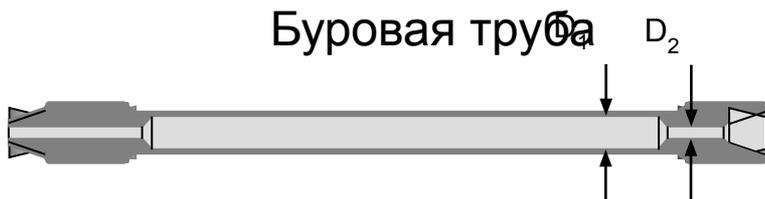
# Потери давления – буровой инструмент



Буровая труба

Двнеш (дюйм)	Вес (фунт/фут)	Внутр диаметр (дюйм)	
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
3 ½	15.5	2.992	2 1/8 – 2 9/16
5	19.5	4.276	2¾ – 3¾
5	25.6	4	3¼ – 3¾
6 5/8	25.2	5.965	4 5/8 - 5

# Потери давления – буровой инструмент

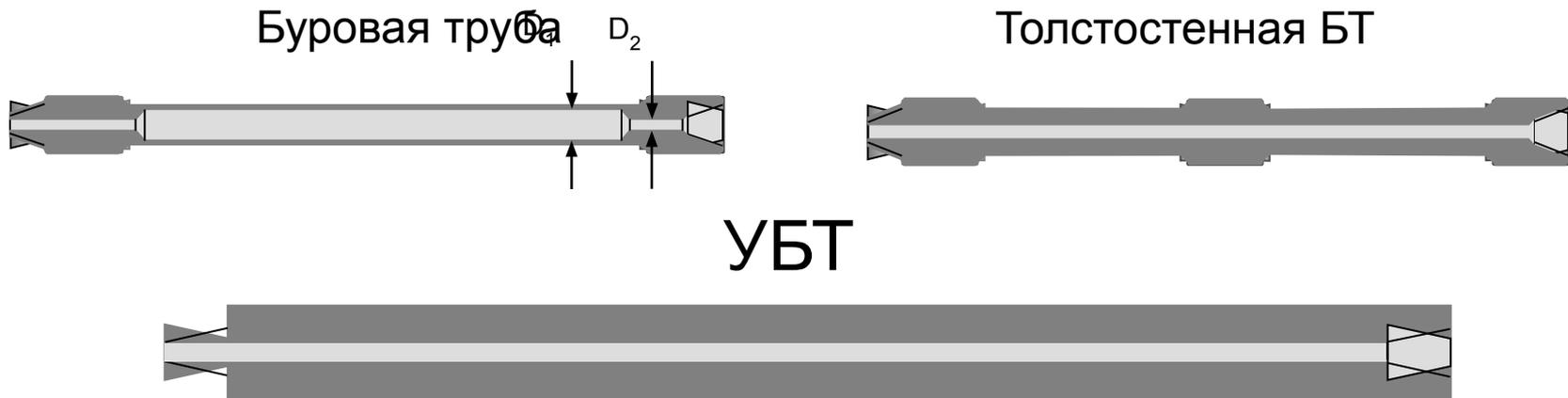


## Толстостенные бурильные трубы



Д <sub>нар</sub> (дюйм)	Вес (фунт/фут)	Д <sub>внутр</sub> (дюйм)	
		Тело	Замок
3 1/2	25.3	2 1/16	2 3/16
4 1/2	41	2 3/4	2 7/8
5	49.3	3	3 1/16

# Потери давления – буровой инструмент



Д <sub>нар</sub> (дюйм)	Вес (фунт/фут)	Д <sub>внутр</sub> (дюйм)
4 ¾	54	1 ½
4 ¾	44	2 ½
8	165	1 ½
8	143	3 ¼

# Потери давления – телесистемы и системы привода

---

- Телесистема
- ВЗД
- Турбобур
- УРК



# Потери давления - Долото



- Расход
- Вес раствора
- Насадки (Общая площадь)

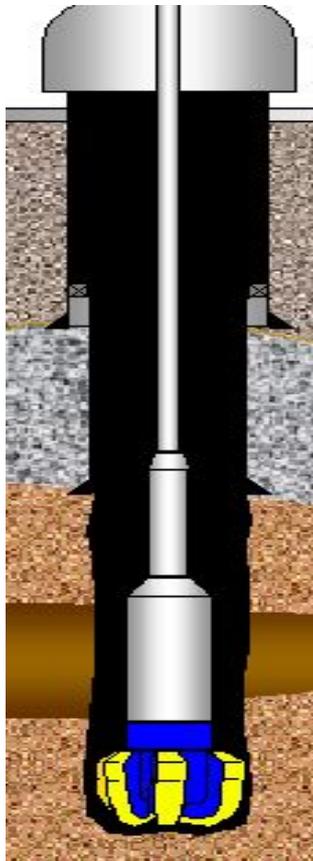
Перепад давления

Гидр мощность  
Гидр мощность  
на дюйм<sup>2</sup>

Гидромонитор

# Потери давления - Затруб

---



- Расход
- Вес раствора
- $D_{\text{внутр}}$  ОК
- $D_{\text{нар}}$  бур инструмента
- Длина

---

# Буровые промывочные жидкости



# Определение

---

- “...Буровой промывочной жидкостью называется любая циркулирующая в скважине жидкость, выносящая шлам на поверхность...”
- В буровой раствор обычно используется какой-либо тип жидкости, как основной фазы:
  - Нефть, Вода, Синтетические полимеры, минеральные масла
  - Также возможно наличие – воздуха, пены

# Параметры буровых растворов

---

- Плотность
- СНС
- Скорость сдвига
- Пластическая вязкость
- ДНС



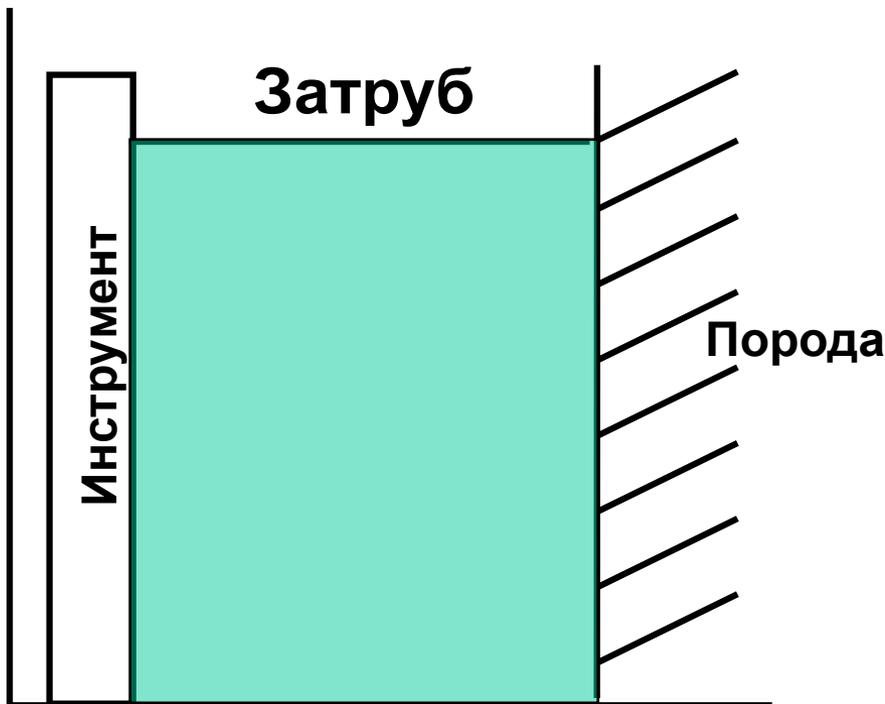
---

# Режимы течения



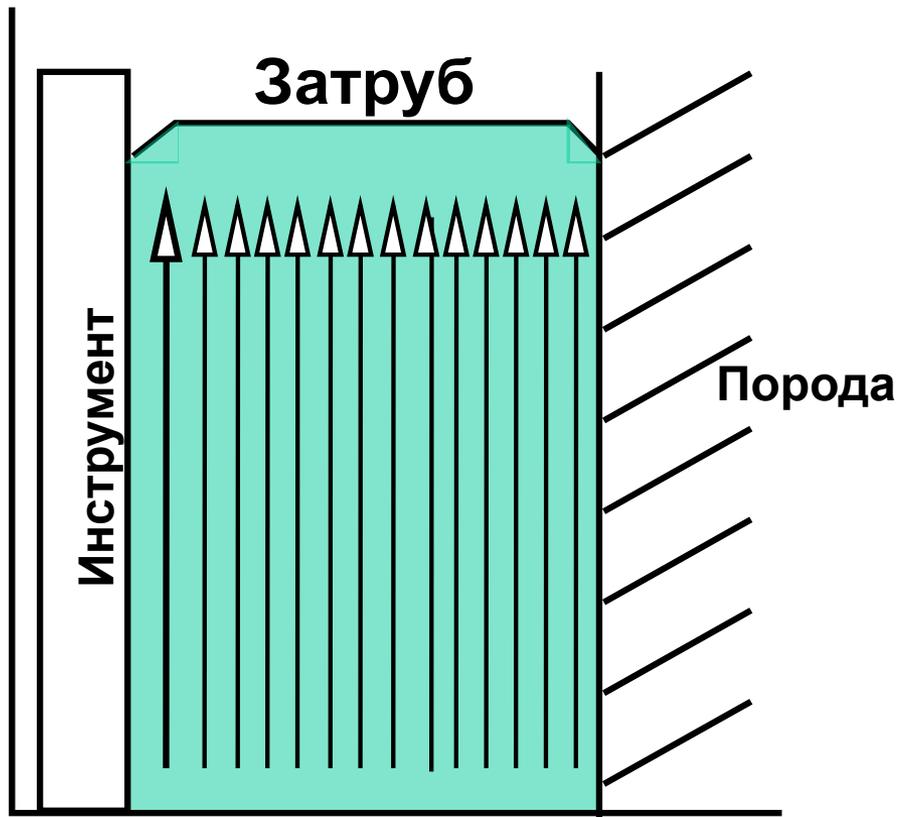
# Режимы течения

## Диаграмма течения



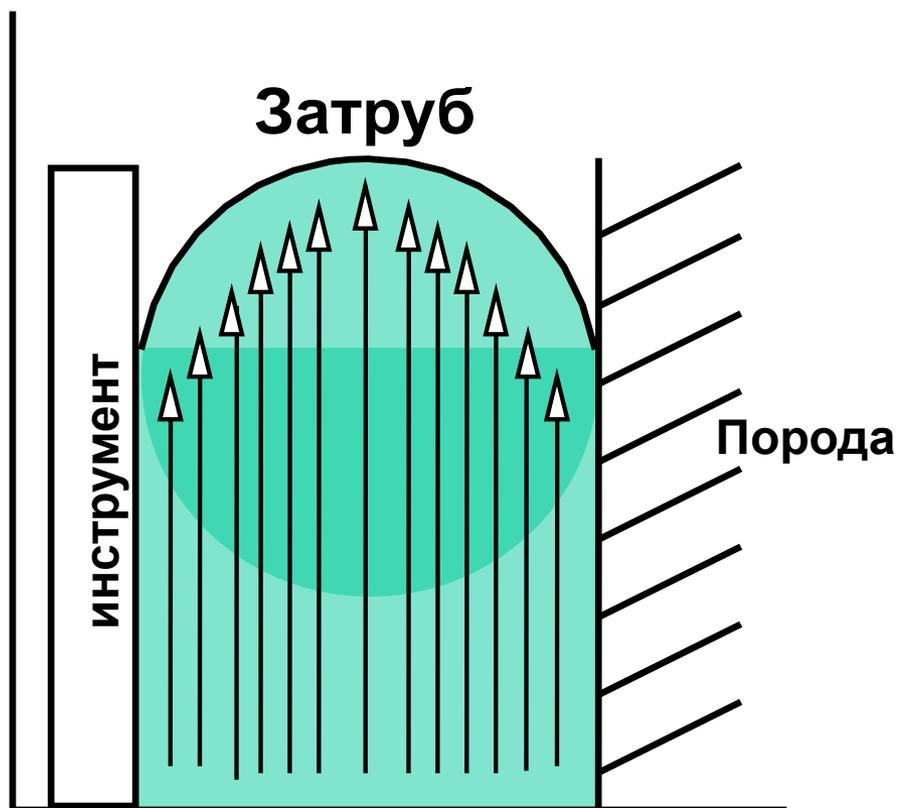
- Нет течения
- Пробковый режим
  - (идеальный ламинарный)
- Ламинарный
- Переходный
- Турбулентный

# Пробковый режим течения



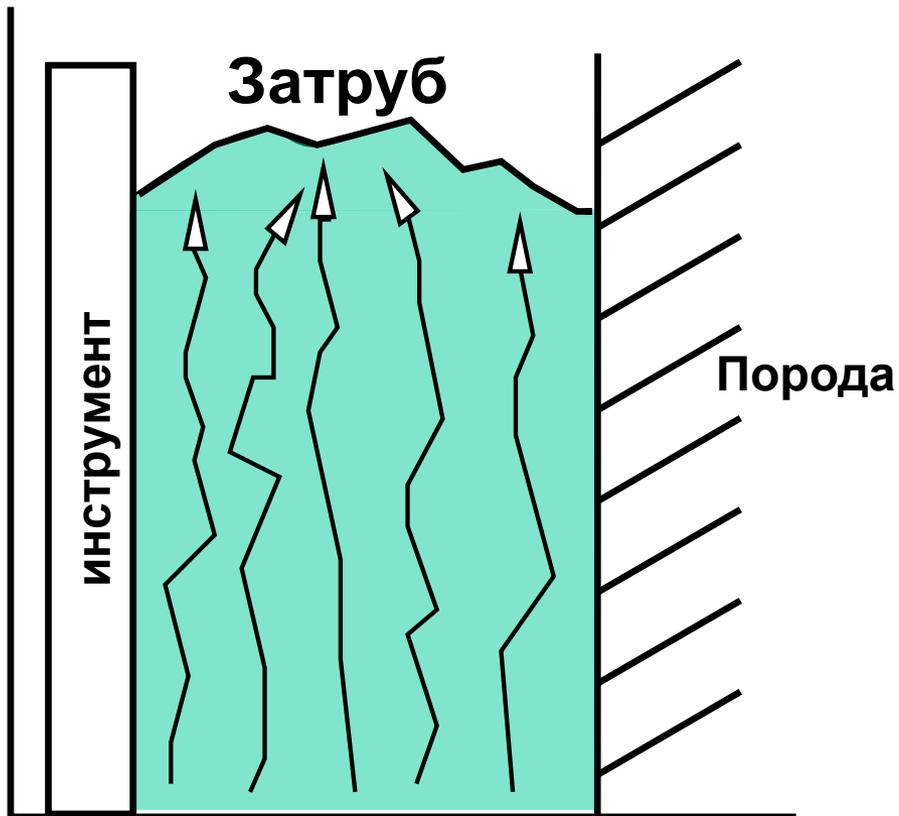
- Приложена сила выше СНС
- Низкая скорость потока
- Профиль течения жидкости плоский
- Скорость у границ близка к нулю

# Ламинарный режим течения



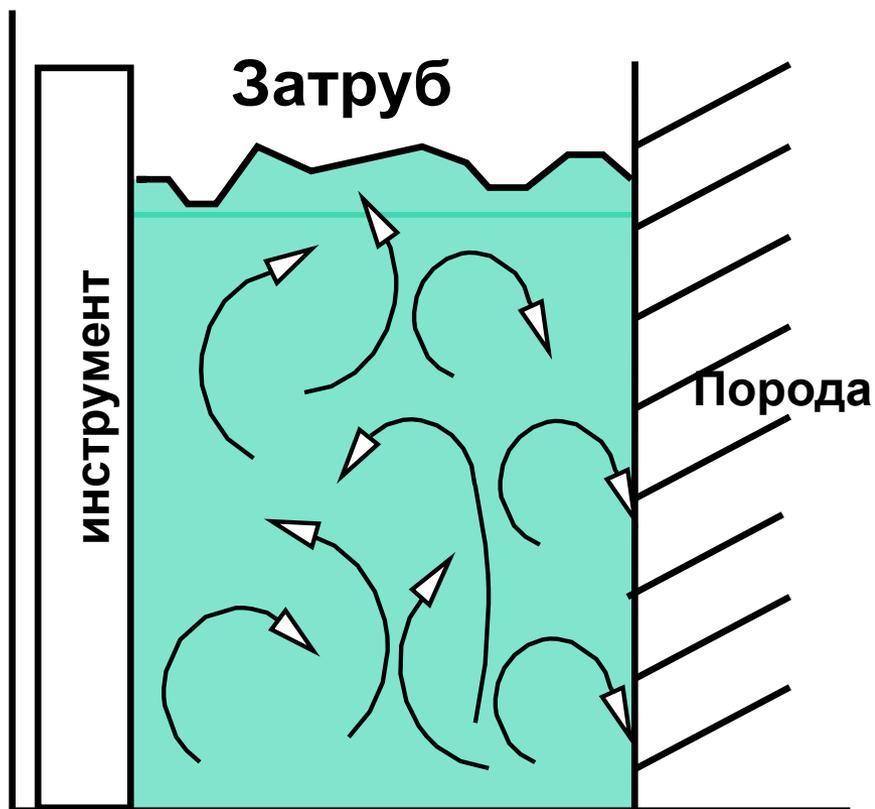
- Диаграмма течения напоминает пулю – Наибольшая скорость в центре
- Скорость вблизи стенок близка к нулю

# Переходный режим течения



- Скорость вблизи стенок примерно равна скорости в центре

# Турбулентный режим течения



- Окончательная турбулентность
- Плоский профиль
- Потери давления из-за повышенного трения
- Эрозия стенок скважины буровым раствором
- Не эффективный режим течения для бурового раствора

# Режимы течения - Критические значения

- Число Рейнольдса – показывает переход режима течения от ламинарного к турбулентному, в зависимости от:
  - Плотности бурового раствора
  - Геометрии скважины
  - Скорость потока
  - Вязкости флюида

$$R_N = \frac{928 DV (MW)}{\mu}$$

D = Гидравлический диаметр - дюйм

V = Скорость потока - фут/сек

MW = Плотность раствора- фунт/гал

$\mu$  = Пластическая вязкость - сП

# Число Рейнольдса – критическая скорость

---

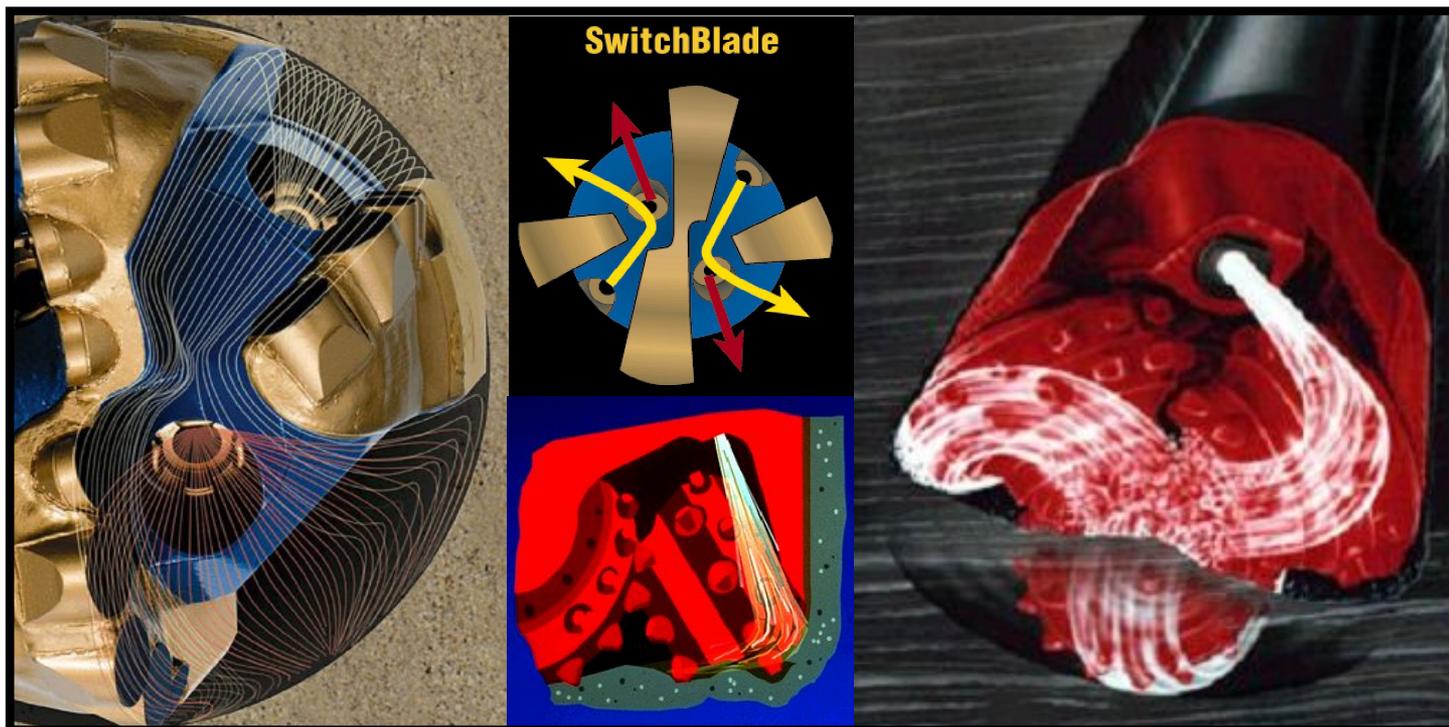
< 2100      Ламинарный режим

2100 – 4100      Переходный режим

> 4100      Турбулентный режим

- Значение числа Рейнольдса, при котором образуется турбулентный поток течения называется критической скоростью
- Обычно предполагается, что при числе Рейнольдса выше 2100 образуется турбулентный режим

# Гидравлический дизайн в буровых долотах



# Оптимизация гидравлики долот

---

- Цель: Определение диаметра насадок и расхода бурового раствора для достижения максимальной гидравлической мощности или гидромониторного эффекта и очистки скважины – исходя из возможности бурового станка
- Макс-но эффективной гидравлике препятствует:
  - Максимально допустимое давление на стояке
  - Мин и макс допустимый расход
  - Ограничения мощности БУ
  - Плотность раствора
  - Ограничения в телесистеме/ГЗД
  - Фиксированный расход
  - Фиксированная площадь истечения

# Параметры гидравлики для долот

---

- Расход (Q) = (Кол-во ходов насоса x производительность одного хода)
- Перепад давления на долоте ( $\Delta P_{\text{дол}}$ ) =  $(\text{Вес}_{\text{БР.}} \times Q^2) / (10858 \times \text{ОПИ}^2)$
- Гидравлическая мощность ( $\text{ГМ}_{\text{дол}}$ ) =  $(\Delta P_{\text{дол}} \times Q) / (1714)$
- ГМ/дюйм<sup>2</sup> (ГМД) =  $(\text{ГМ}_{\text{дол}}) / (.7854 \times D^2)$
- Скорость истечения (из насадок) (СИ) =  $(.32086 \times Q) / (\text{ОПИ})$
- Гидромониторная сила (ГМС) =  $(\text{СИ}) \times (\text{Вес}_{\text{бр}}) \times (Q) \times (.000516)$

Вес<sub>бр</sub> = Вес бурового раствора

ОПИ = Общая площадь истечения

D = Диаметр долота

# Расход

- Ограничения расхода промывочной жидкости
  - Достаточно высоким для выноса шлама на поверхность
    - Проработки, образование сальников, малый вынос шлама на ВС говорят о возможной проблеме
  - Достаточно низким, чтобы предотвратить эрозию ствола скважины, износ оборудования, чрезмерное давление на стояке
  - При большом расходе, как правило, требуется
    - Большой размер насадок (или без них)
    - Большую площадь межлопастного пространства
    - Больше пространства между зубками/зубами долота



# Расход

- Рекомендуется от 25 до 80 GPM на дюйм от диаметра долота
  - Слишком низкий – образование сальника/плохой вынос шлама
  - Слишком высокий – высокая ЭППЖ
    - (Эквивалентная плотность промывочной жидкости/ эрозия стенок скважины и промыв инструмента)
  - Шкала МСП            GPM на каждый дюйм диаметра
    - 5 to 10 фут/час            - 25 to 39
    - 10 to 15 фут/час            - 35 to 49
    - 15 to 25 фут/час            - 38 to 50
    - 25 to 50 фут/час            - 40 to 60
    - > 50 фут/час                - 50 to 80



# Перепад давления на долоте

---

- Гидравлика долота проектируется таким образом, чтобы перепад давления на долоте составлял от 50% до 65%
  - Может сильно варьироваться в зависимости от расхода
  - 35% - 50% потери давления приходится на инструмент и затрубное пространство
  - При оптимизации гидромониторного эффекта ~50%
  - При оптимизации Гидравлической мощности ~65%

# Гидравлическая мощность (HSI)

- Рекомендуется между 2.5 и 8.0+
  - Возможно увеличение при запасе мощности для бурового насоса
  - Возможна эрозия тела шарошки при  $HSI > 5$
  - $HSI > 8$  возможен в некоторых дизайнах долот PDC
- При вероятности образования сальника следует максимизировать
  - Увеличения HSI для снижения вероятности образования сальника на долоте и забое скважины
    - Высокая плотность раствора/раствор на водяной основе
    - Глубокие скважины / химически активные породы
    - Трудности с удержанием шлама в растворе
  - Налипания шлама на зубы долота говорит о проблеме динамического или статического удержания шлама в растворе



# Гидромониторный эффект (JIF)

- Оптимален, когда перепад давления на долоте ~ 50% от общего перепада
  - Обычно оптимизируют для интервалов с большим диаметром на небольшой глубине
  - Очень мягкие породы с высокой МСП
  - Увеличение за счет более высокого расхода и большего диаметра насадок
  - Помогает снизить риск образования сальника в химически активных породах

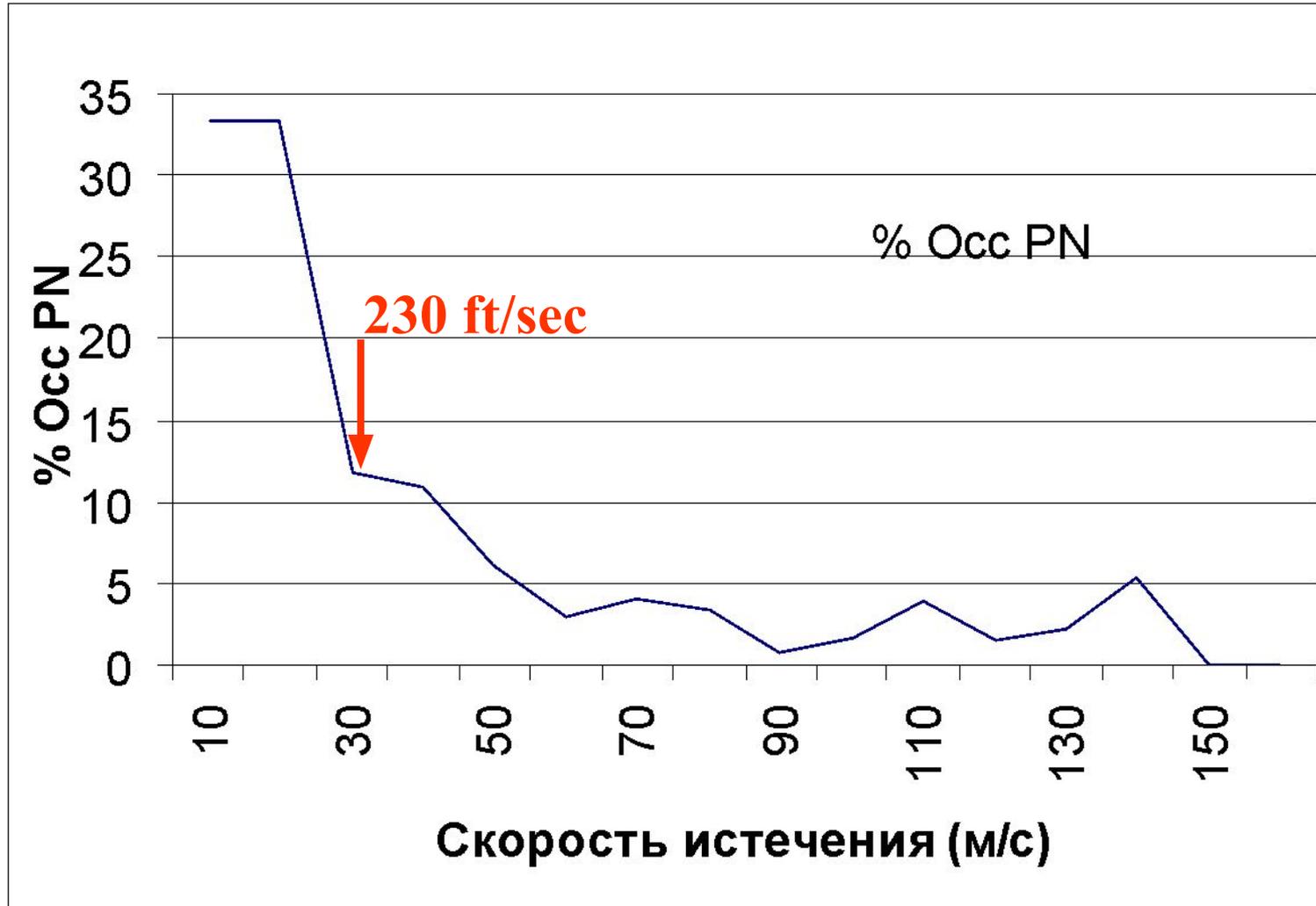


# Скорость истечения

---

- Рекомендуется скорость истечения между 350 и 450 фут/сек (100 – 140 м/с)
- Оказывает влияние на удержание шлама и МСП
  - Не должна быть ниже чем *250 фут/с (76 м/с)*
  - Возможно рассмотрения использования 2 насадок и одной заглушенной (завихрение потока, таже общая площадь истечения)
  - Mudpick и Mudpick II создают завихрения потока без глушения насадки

# Скорость истечения и глушение насадки



# К чему следует стремиться?

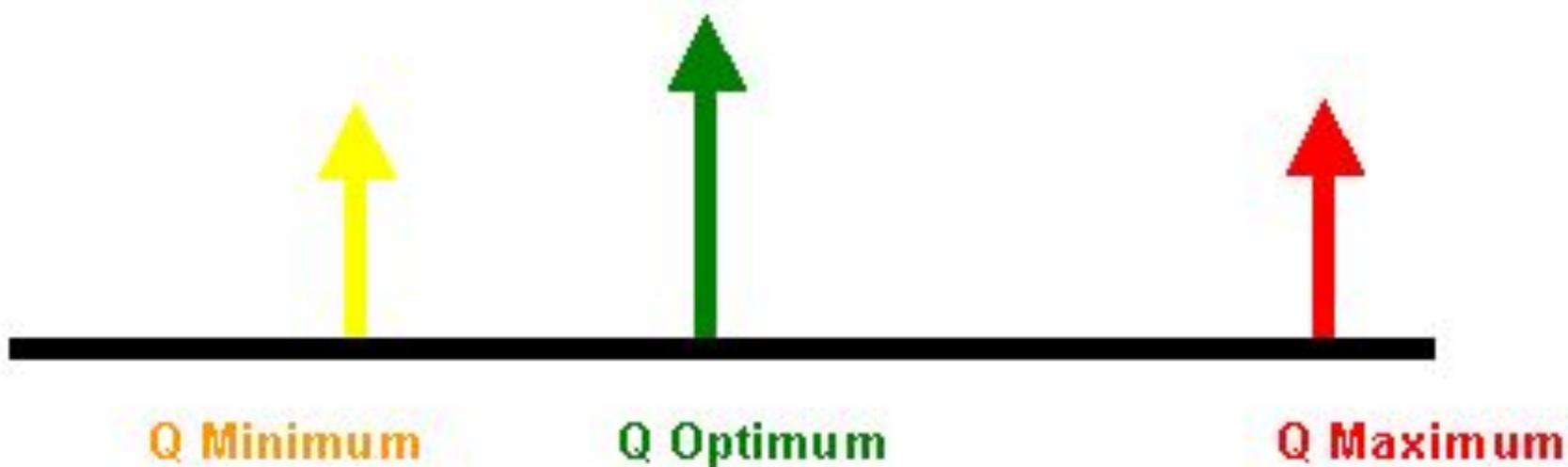
---

- Цель: Оптимальная очистка скважины против гидромониторного эффекта
- Оптимизация расхода исходя из всех компонентов системы
- Определение цели для максимизации
  - Гидравлической мощности на долоте(ННР)
  - Гидромониторного эффекта (JIF)
- Подбор общей площади истечения для наибольшей глубины и наибольшей плотности бурового раствора

# Выбор расхода

---

- Q минимальный
- Q максимальный
- Q оптимальный



# Q Минимальный

Факторы	Относительная важность		
	Шарошка	PDC	Алмаз
Очистка затруба	Высокая	Высокая	Средняя
Очистка долота	Средняя	Высокая	Средняя
Очистка забоя	Высокая	Средняя	Средняя
Охлаждение долота	Низкая	Оч высокая	Оч высокая
Забойные инструменты	←-----Основа----->		

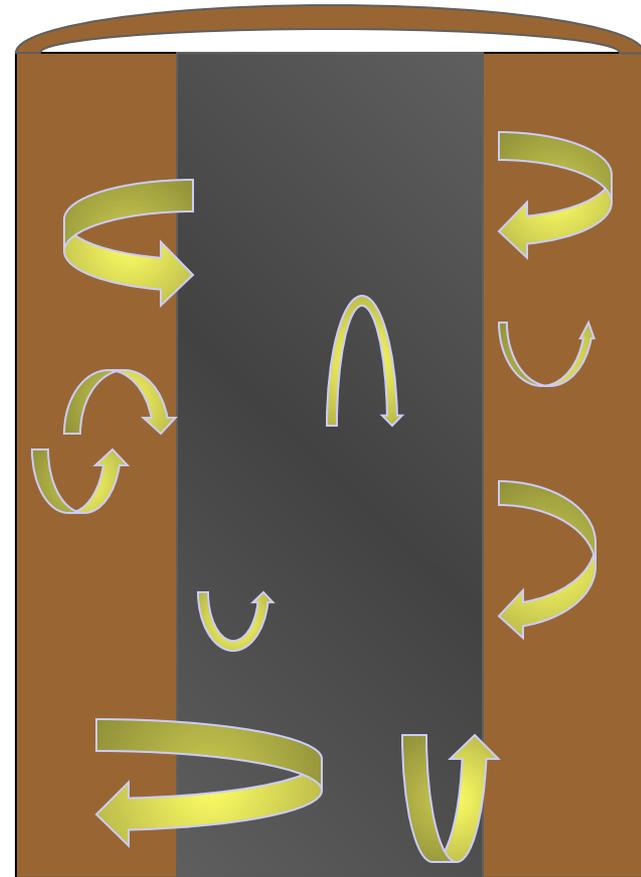
# Определение Q минимум

---

- Очистка затрубного пространства
  - Основные правила
  - Исследования
  - Расчет скорости потока
- Очистка долота и забоя
  - Цели оптимизации
- Охлаждение долота
  - Как правило не проблема
- Охлаждение резцов
  - Эмпирические Рекомендации
  - Наблюдение
- Забойные инструменты
  - Особенности

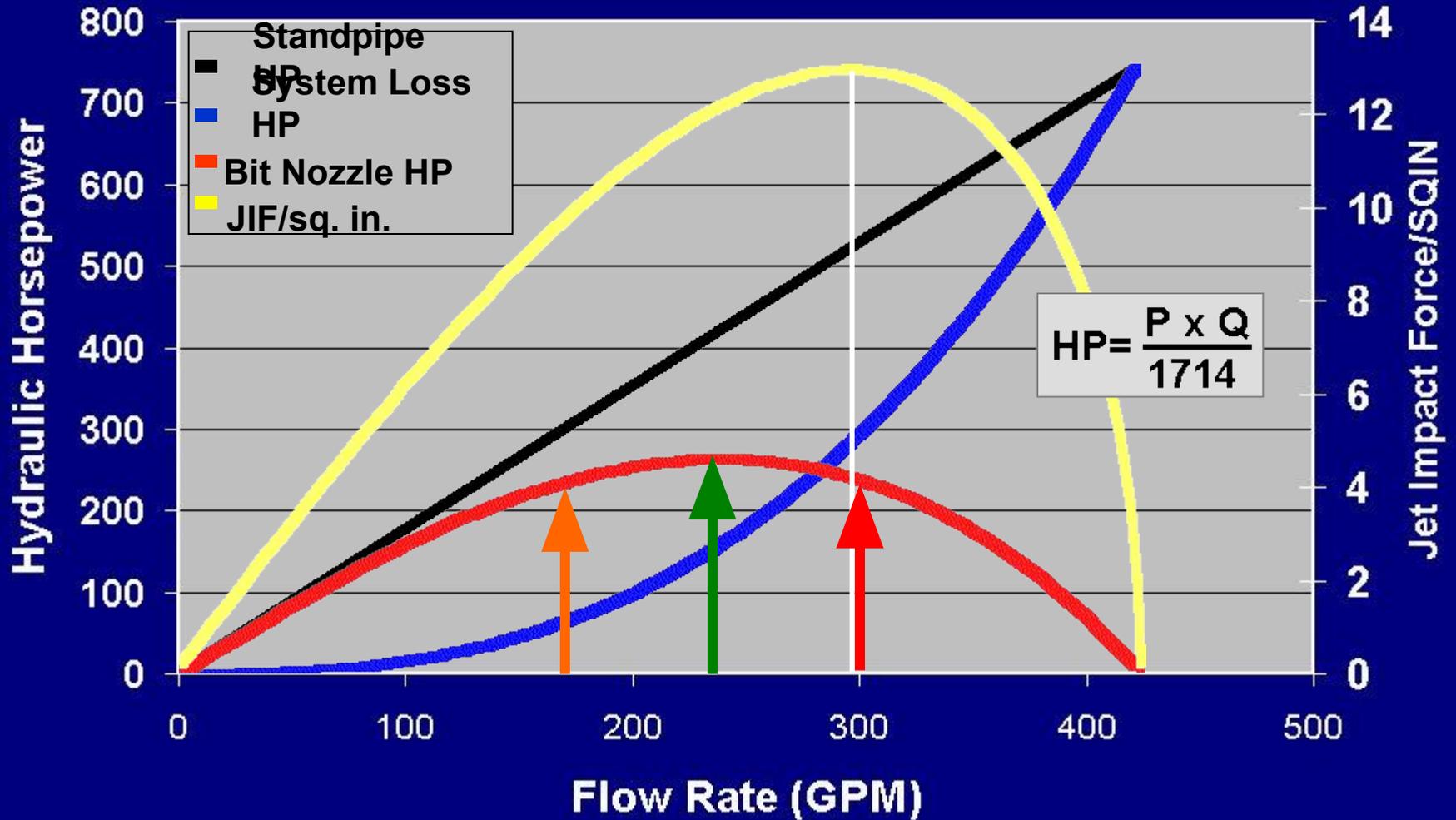
# Выбор Q Максимального

- Турбуленция/Крит ск-ть:
  - Расчет
- ЭППЖ и коэф гидроразрыва
  - Расчет
  - Забойные исследования
- Возможности насоса
  - Спецификации
- Забойные инструменты
  - Спецификации
- Контроль содержания твердой фазы
  - Наблюдения



# Оптимизация гидравлики

## 3000 psi Standpipe Pressure



# Руководство: рекомендуемый расход для очистки скважины

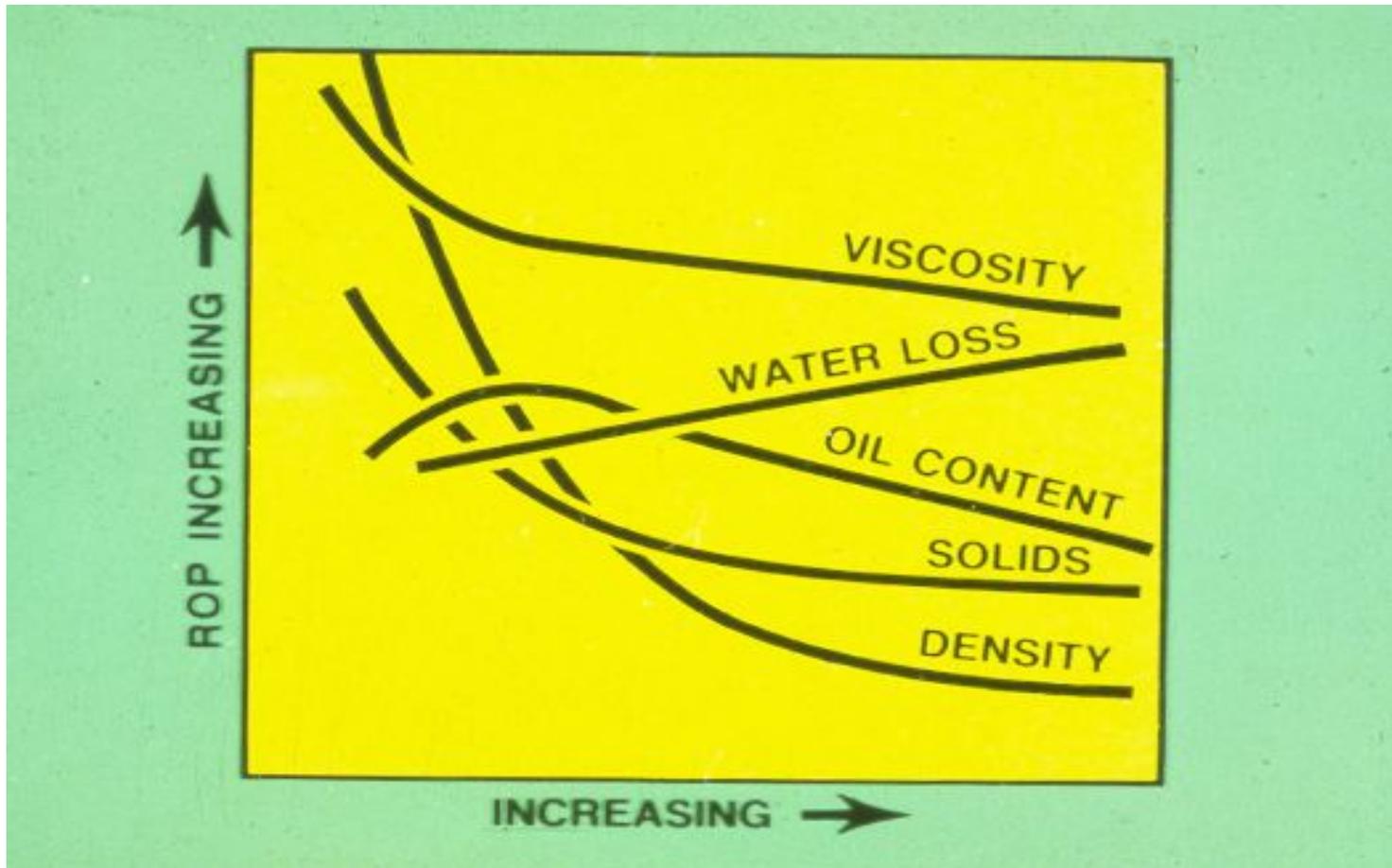
Диам. Долота			
17.5"	440 - 875	600 - 1200	700 - 1200
12.25"	310 - 615	425 - 1100	490 - 1100
9.875"	250 - 500	250 - 900	350 - 900
8.5"	215 - 425	215 - 600	300 - 600
6.0"	150 - 300	150 - 360	180 - 390

*Примечание* – Использовать большие знач-я Q при высокой МСП

Основана на расходе 25-50 гал/дюйм диаметра долота (1.6-3.2 л/с)

--	--	--	--	--	--

# Параметры раствора против МСП



---

# Анализ гидравлики для долот PDC и шарошечных долот

# Руководство для PDC

---

- При использовании и сменных насадок и фиксированных портов, размер сменных насадок должен быть больше или, по крайней мере, таким же как и размеры фиксированных портов
- По возможности, используйте один и тот же размер насадок для одного долота
- При использовании насадок с разным размером, всегда необходимо убедиться, что максимальная разница размеров соответствует Разрешенной Комбинации для размеров насадок
- Устанавливайте насадки большего диаметра в центр долота

# Руководство для шарошечных долот

---

- 20% либо меньше от общего расхода пускается через центральную насадку
- Желательно создание ассиметричного потока из-за разных размеров насадок
- При заглушенной насадке образуется поперечный потое
  - Глушить следует насадку, направленную на шарошку с наименьшим количеством вооружения на калибре
  - Для максимально эффекта доступна специальная особенность Special Cross Flow (Y)
- На один дюйм долота рекомендуется 25-80 gpm (1,6-5 л/с)
- Рекомендованная гидравлическая мощность 3-7
  - Не всегда реально достичь

# Таблица площади истечения для насадок разного диаметра

Общая площадь истечения (квадратные дюймы)									
Размер нас-к (дюйм)	Количество насадок								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
7/32	0.038	0.075	0.113	0.150	0.188	0.225	0.263	0.301	
8/32	0.049	0.098	0.147	0.196	0.245	0.295	0.344	0.393	
9/32	0.062	0.124	0.186	0.249	0.311	0.373	0.435	0.497	
10/32	0.077	0.153	0.230	0.307	0.383	0.460	0.537	0.614	
11/32	0.093	0.186	0.278	0.371	0.464	0.557	0.650	0.742	
12/32	0.110	0.221	0.331	0.442	0.552	0.663	0.773	0.884	
13/32	0.130	0.259	0.389	0.518	0.648	0.778	0.907	1.037	
14/32	0.150	0.301	0.451	0.601	0.752	0.902	1.052	1.203	
15/32	0.173	0.345	0.518	0.690	0.863	1.035	1.208	1.381	
16/32	0.196	0.393	0.589	0.785	0.982	1.178	1.374	1.571	
18/32	0.249	0.497	0.746	0.994	1.243	1.491	1.740	1.988	
20/32	0.307	0.614	0.920	1.227	1.534	1.841	2.148	2.454	
22/32	0.371	0.742	1.114	1.485	1.856	2.227	2.599	2.970	
24/32	0.442	0.884	1.325	1.767	2.209	2.651	3.093	3.534	
26/32	0.519	1.037	1.556	2.074	2.593	3.111	3.630	4.148	
28/32	0.601	1.203	1.804	2.405	3.007	3.608	4.209	4.811	

# Основа программы ГИДРАВЛИКА

---

Цель: Определение оптимальных размеров насадок и расхода для достижения максимальной гидравлической мощности или гидромониторного эффекта при определенных постоянных.

Ограничения:

1. Максимально допустимое давление на стояке
2. Минимальный и максимальный расход
3. Максимальная мощность насоса
4. Плотность раствора
5. Ограничения для телесистемы и ГЗД
6. Фиксированный расход
7. Фиксированная площадь истечения

# Основа программы ГИДРАВЛИКА

