



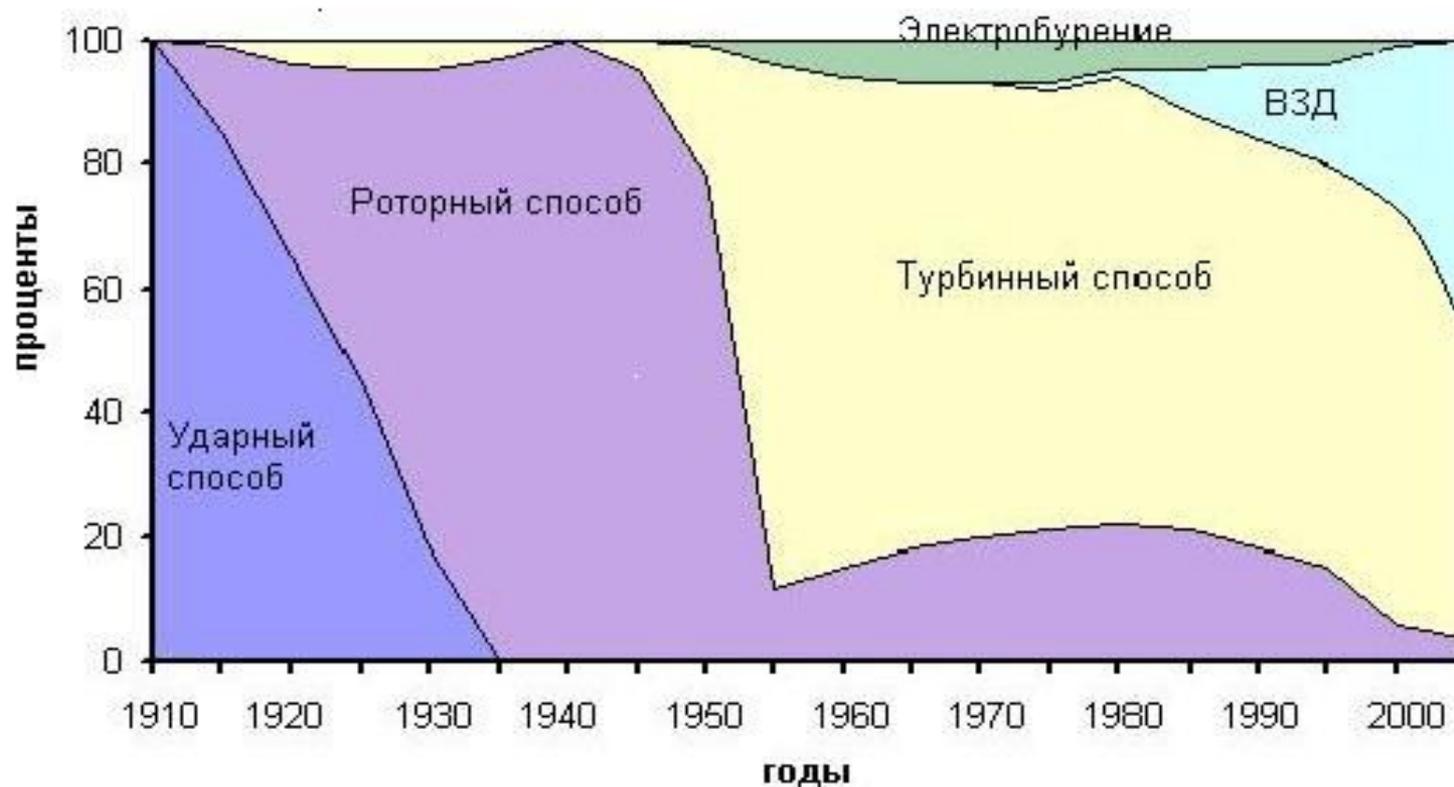
# Конструкции забойных двигателей и КОЛОНКОВЫХ СНАРЯДОВ

Доценко Борис Александрович

# Классификация способов вращательного бурения



# Соотношение по способам бурения нефтегазовых скважин в СССР и России



# Сравнение способов бурения

Показатели работы	Роторное бурение	Бурение ГЗД
Бурильная колонна	Вращается. Возможны поломки труб. Необходимы высокопрочные стальные дорогостоящие трубы.	Не вращается. Поломки труб маловероятны. Возможно использование недорогих стальных и алюминиевых труб.
Буровое долото	Трехшарошечные долота с герметизированными маслonaполненными опорами, одношарошечные долота, долота АТП. Долоту передается высокий крутящий момент при низких частотах вращения. Низкая механическая	Трехшарошечные долота с открытыми опорами, а также с герметизированными маслonaполненными опорами, алмазные долота, долота АТП. Крутящий момент на долоте часто недостаточно высокий. Высокая механическая скорость проходки. Проходка на

# Сравнение способов бурения

Буровые насосы	Работают в благоприятном режиме гидравлической мощности. Низкие гидравлические потери.	Работают на пределе гидравлической мощности. Высокие гидравлические потери.
Режим бурения	Низкооборотный, частота вращения от 30 до 120 об/мин. Расход жидкости и осевая нагрузка ограничиваются условиями технологии бурения.	Высоко- и низкооборотный, частота вращения от 60 до 1200 об/мин. Расход жидкости и осевая нагрузка ограничиваются мощностью ГЗД.
Параметры буровых растворов	Любые.	Ограничена плотность до 2 г/см <sup>3</sup> , температура до 120 °С.

# Сравнение способов бурения

Бурение наклонных и горизонтальных скважин	Возможно при использовании специальных инструментов и компоновок.	Подходит наилучшим образом.
Бурение глубоких и сверхглубоких скважин	Обеспечивает вертикальность ствола при использовании жестко стабилизированных КНБК и возможность бурения при утяжеленных буровых растворах.	Обеспечивает возможность применения облегченных бурильных труб и автоматизацию процесса углубления.

# Классификация гидравлических забойных двигателей (ГЗД)

По принципу  
действия рабочего  
органа

- Гидродинамические  
– турбобуры
- Гидростатические  
или объемные –  
винтовые двигатели



# Классификация гидравлических забойных двигателей (ГЗД)

По назначению:

- ГЗД общего назначения
  - ✓ Односекционные турбобуры
  - ✓ секционные шпindelные турбобуры
  - ✓ винтовые забойные двигатели
  - ✓ редукторные турбобуры
  - ✓ турбовинтовые двигатели
- ГЗД для искривления ствола скважины
  - ✓ односекционные турбобуры
  - ✓ винтовые забойные двигатели
  - ✓ турбобуры-отклонители
- ГЗД специального назначения
  - ✓ турбобуры и винтовые забойные двигатели для ремонта скважин
  - ✓ реактивно-турбинные и роторно-турбинные буры (РТБ) для бурения стволов большого диаметра
  - ✓ турбобуры и винтовые забойные двигатели для отбора керна
  - ✓ другие специальные ГЗД

# Классификация гидравлических забойных двигателей (ГЗД)

По конструктивной схеме:

Тип ГЗД	Односекционные турбобуры	Секционные шпindelные турбобуры	Винтовые забойные двигатели общего назначения	Винтовые забойные двигатели для искривления ствола скважины	Редукторные турбобуры	Турбовинтовые двигатели	Турбобуры отклонители
Узел искривления	Отсутствует или искривленный переводник	Отсутствует	Отсутствует	Искривленный переводник	Отсутствует или может быть	Отсутствует	Искривленный переводник
Узел трансмиссии	Отсутствует	Отсутствует	Шарнирное или торсионное соединение	Шарнирное или торсионное соединение	Отсутствует	Шарнирное или торсионное соединение	Шарнирное соединение
Узел преобразователя частоты вращения	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Редуктор зубчатого типа	Винтовая пара	Отсутствует
Опорный узел	Осевая опора установлена в одной секции с турбиной	Осевая опора установлена в шпindelной секции	Осевая опора установлена в шпindelной секции	Осевая опора установлена в шпindelной секции	Осевая опора установлена в шпindelной секции	Осевая опора установлена в шпindelной секции	Осевая опора установлена в шпindelной секции
Рабочий орган	Многоступенчатая турбина, установленная в одной секции с осевой опорой	Многоступенчатая турбина, установленная в турбинных секциях	Винтовая пара	Винтовая пара	Многоступенчатая турбина	Многоступенчатая турбина и винтовая пара	Многоступенчатая турбина

# Классификация гидравлических забойных двигателей (ГЗД)

По рабочей частоте вращения:

- Высокооборотные, с частотой вращения от 300 до 600 и более об/мин
  - ✓ турбобуры односекционные;
  - ✓ турбобуры секционные шпindelные;
  - ✓ Турбобуры-отклонители;
  - ✓ буры РТБ
- Среднеоборотные, с частотой вращения от 150 до 300 об/мин
  - ✓ винтовые забойные двигатели
  - ✓ редукторные турбобуры
  - ✓ турбовинтовые двигатели
- Низкооборотные, с частотой вращения менее 150 об/мин
  - ✓ винтовые забойные двигатели

# Показатели работы ГЗД

Группа показателей	Наименование	Ед. изм.
Энергетические показатели	Тормозной крутящий момент	Н.м
	Частота вращения на холостом режиме	с-1 (об/мин)
	Частота вращения на рабочем режиме	с-1 (об/мин)
	Перепад давления на рабочем режиме	МПа
	Максимальный перепад давления	МПа
	Расход бурового раствора	м <sup>3</sup> /с (л/с)
	Максимальная мощность	кВт (л.с.)
	Максимальный КПД	%
Эксплуатационные показатели	Наработка на отказ (межремонтный период работы)	ч
	Наработка до списания (долговечность работы)	ч
	Унификация и взаимозаменяемость	-

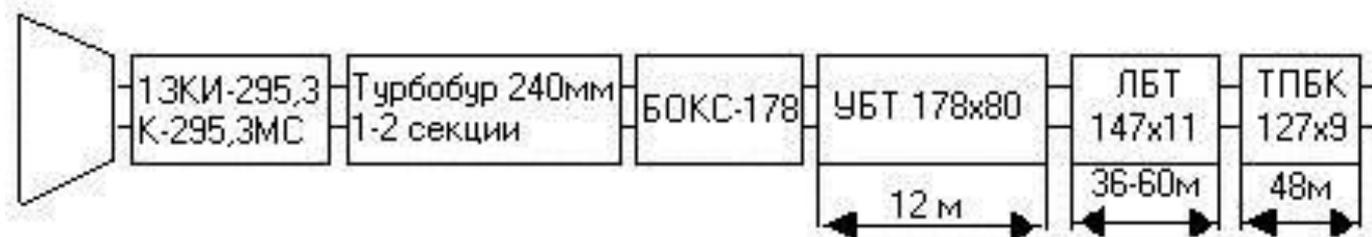
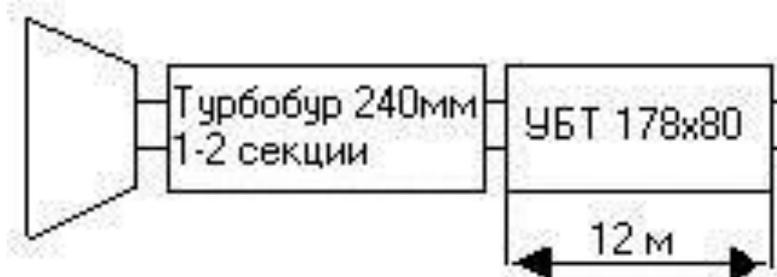
# Показатели работы ГЗД

Технологические показатели	Механическая скорость проходки	м/ч
	Рейсовая скорость проходки	м/ч
	Проходка на долото (за долбление)	м
	Время работы долота	ч
	Темп искривления ствола скважины	град/м
	Управляемость параметрами режима бурения	-
	Управляемость параметрами искривления ствола скважины	-
Экономические показатели	Цена ГЗД	руб
	Цена ремонта ГЗД	руб
	Стоимость часа эксплуатации ГЗД	руб/ч
	Стоимость метра проходки	руб/м

# Особенности турбобуров

- рабочий орган турбобура выполнен в виде многоступенчатой осевой турбины, имеющей лопатки статора и ротора, обтекаемые непрерывным потоком жидкости;
- взаимодействие между лопатками турбины и жидкостью носит гидродинамический характер, т.е. гидравлические силы, вращающие ротор, возникают в результате изменения величины и направления скорости движения жидкости между лопатками;
- подвижная часть турбобура - ротор, совершает простое вращательное движение.

# Компоновка низа бурильной колонны с турбобуром



# Классификация

## 1. Односекционные:

- бесшпиндельные;
- бесшпиндельные типа Т12;
- бесшпиндельные унифицированные типа ТУ-К;
- со вставным шпинделем типа ТВШ;
- с независимым креплением роторов типа ТНК;
- для бурения скважин большого диаметра типа ТБД.

## 2. Секционные:

- бесшпиндельные типа ТС;  
шпиндельные типа ТСШ;
- шпиндельные унифицированные типов ТСШ1, 2Т-К и 3Т-К;
- шпиндельные типов ТСША и ТДШ, для бурения алмазными долотами;
- шпиндельные типа АШ с наклонной линией давления;
- шпиндельные типа АГТШ со ступенями гидродинамического торможения.

# Классификация

3. С плавающими статорами типа ТПС.
4. С независимой подвеской валов секций типа ТНБ.
5. Термостойкие турбобуры типа ТТА для скважин с температурой до 240 °С.
6. Редукторные турбобуры типов ТР. ТРМ и ТСМ.
7. Малогабаритные турбобуры типов ТГ, ТШ и ТВІ для бурения и ремонта скважин.
8. Турбинные отклонители типа ТО.
9. Турбобуры-отклонители с независимой подвеской валов турбинных секций типа ТО2
10. Шпindelь-отклонитель типа Ш01.
11. Турбодолота колонковые типа КТД для отбора керна.
12. Керноотборное устройство типа УКТ.

# Классификация

По материалам:

- металлическими цельнолитыми отливкой;
- металлическими составными точного литья (ТЛ);
- пластмассовыми составными, в которых металлические ступицы и пластмассовые проточные части.

# Классификация

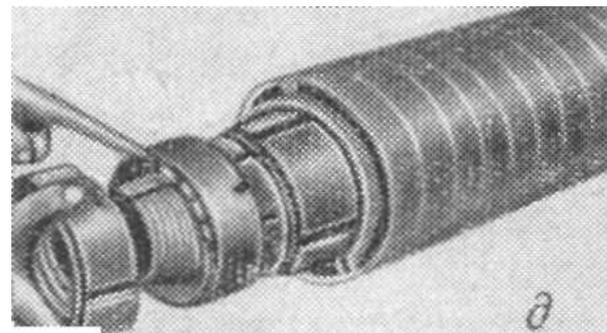
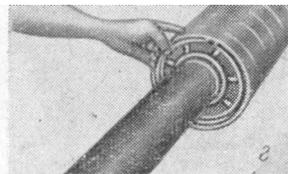
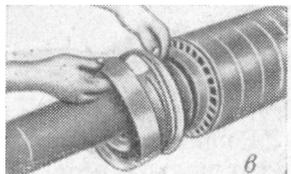
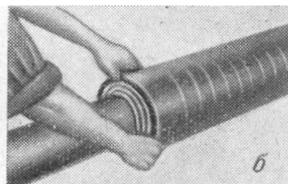
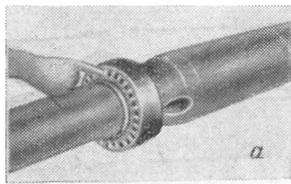
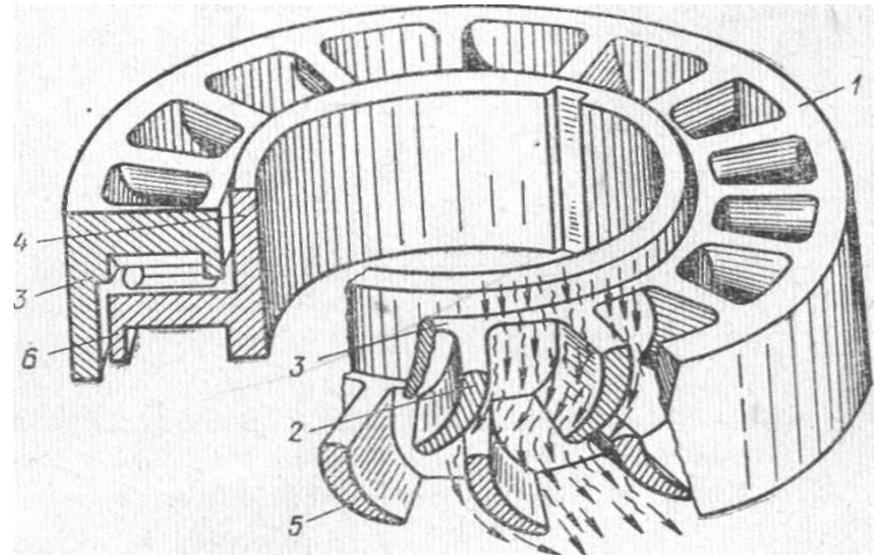
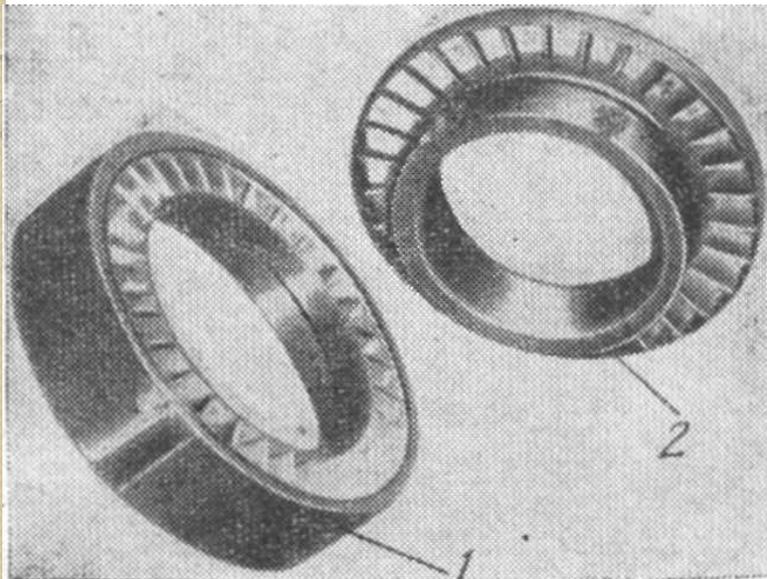
**По устройству турбин** (требующих различного расхода жидкости):

- Низколитражные, высоконапорная, имеющие максимальную мощность, большую частоту вращения и значительный вращающий момент;
- Среднелитражный, развивающие максимальный вращающий момент, среднюю частоту вращения при высоком расходе жидкости;
- Высоколитражные, имеющие максимальное отношение вращающего момента к частоте вращения, относительно низкую частоту вращения и повышенный расход жидкости.

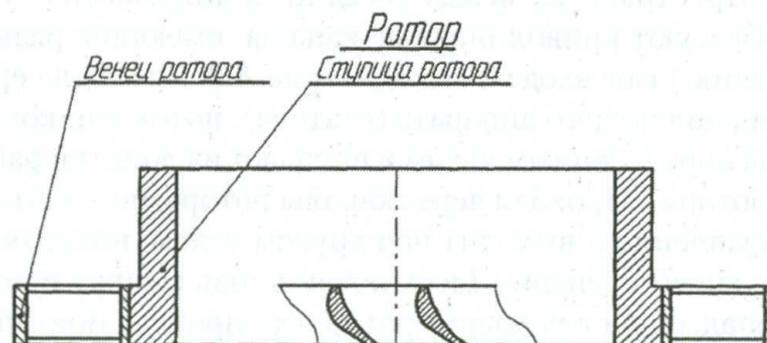
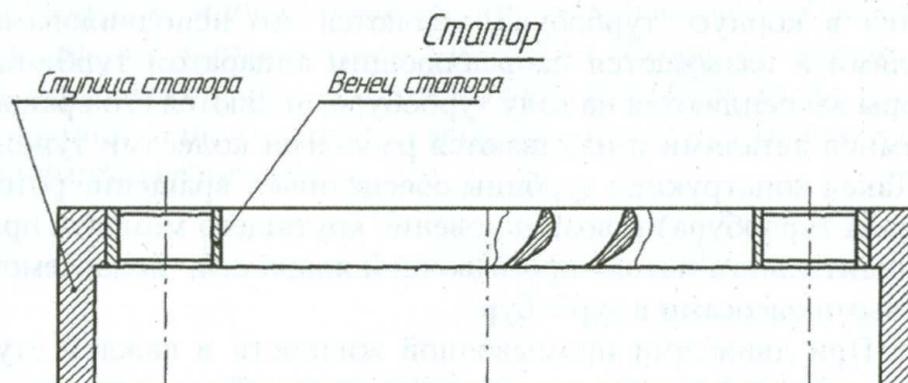
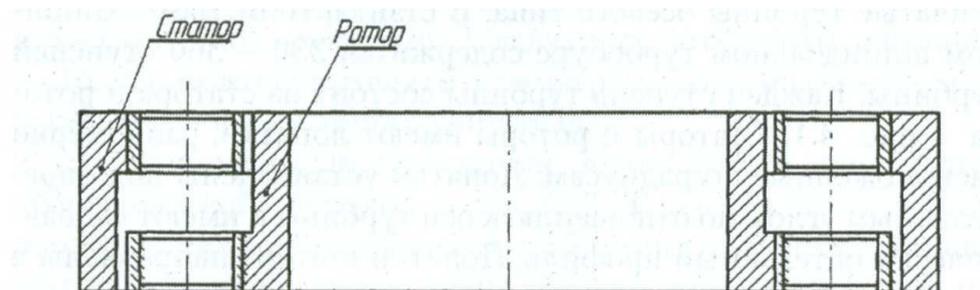
# Класификация

- По числу секций:
- Односекционные;
- Многосекционные.

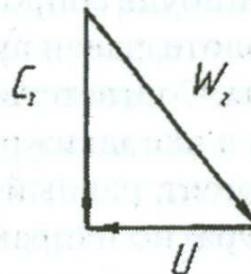
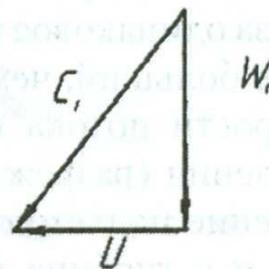
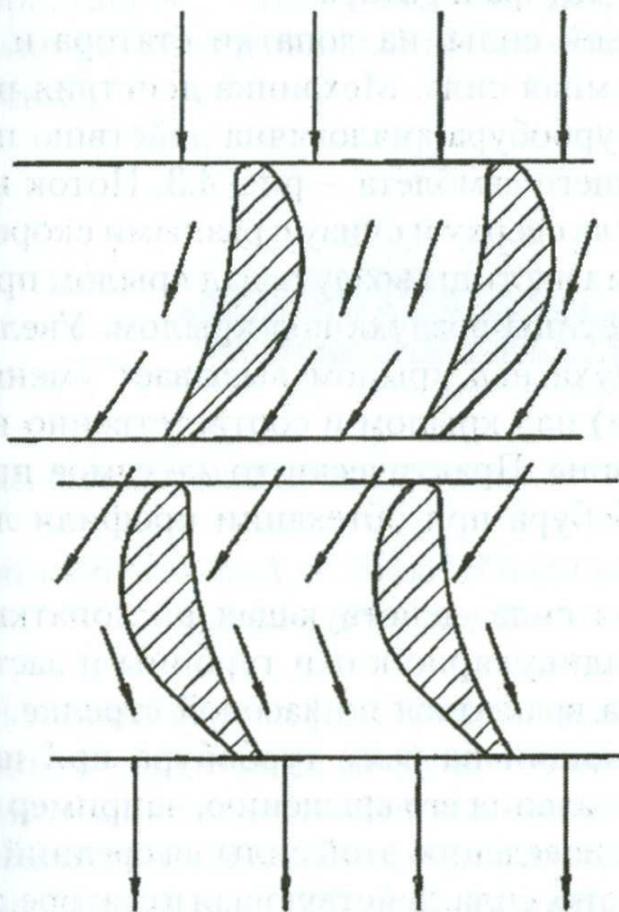
# Турбобур



# Ступень турбины турбобура



# Движение жидкости в турбине турбобура



$C$  - абсолютная скорость

$W$  - относительная (переносная) скорость

$U$  - окружная скорость

# Крутящий момент и эффективный перепад давления на турбине

- $M=2\pi Q\rho Zr^2n$        $H_{\text{эф}}=Z(U/g)(C_{1U}-C_{2U})$
- $P_{\text{эф}}=4\pi^2\rho Zr^2n^2$        $N_{\text{эф}}= QZ(\gamma/g)(C_{1U}-C_{2U})U$        $\eta_r = H_{\text{эф}}/H$

$N_{\text{эф}}$  – эффективная мощность турбины

$H_{\text{эф}}$  – эффективный напор жидкости

$Q$  – расход промывочной жидкости

$\rho$  – плотность промывочной жидкости

$Z$  – количество ступеней турбины

$r$  – средний радиус турбины

$n$  – частота вращения турбины

$C_{1U}-C_{2U}$  – проекции абсолютной скорости жидкости на направление окружной скорости ротора при входе и при выходе.

$U$  – окружная скорость ротора

$\gamma$  - удельный вес жидкости

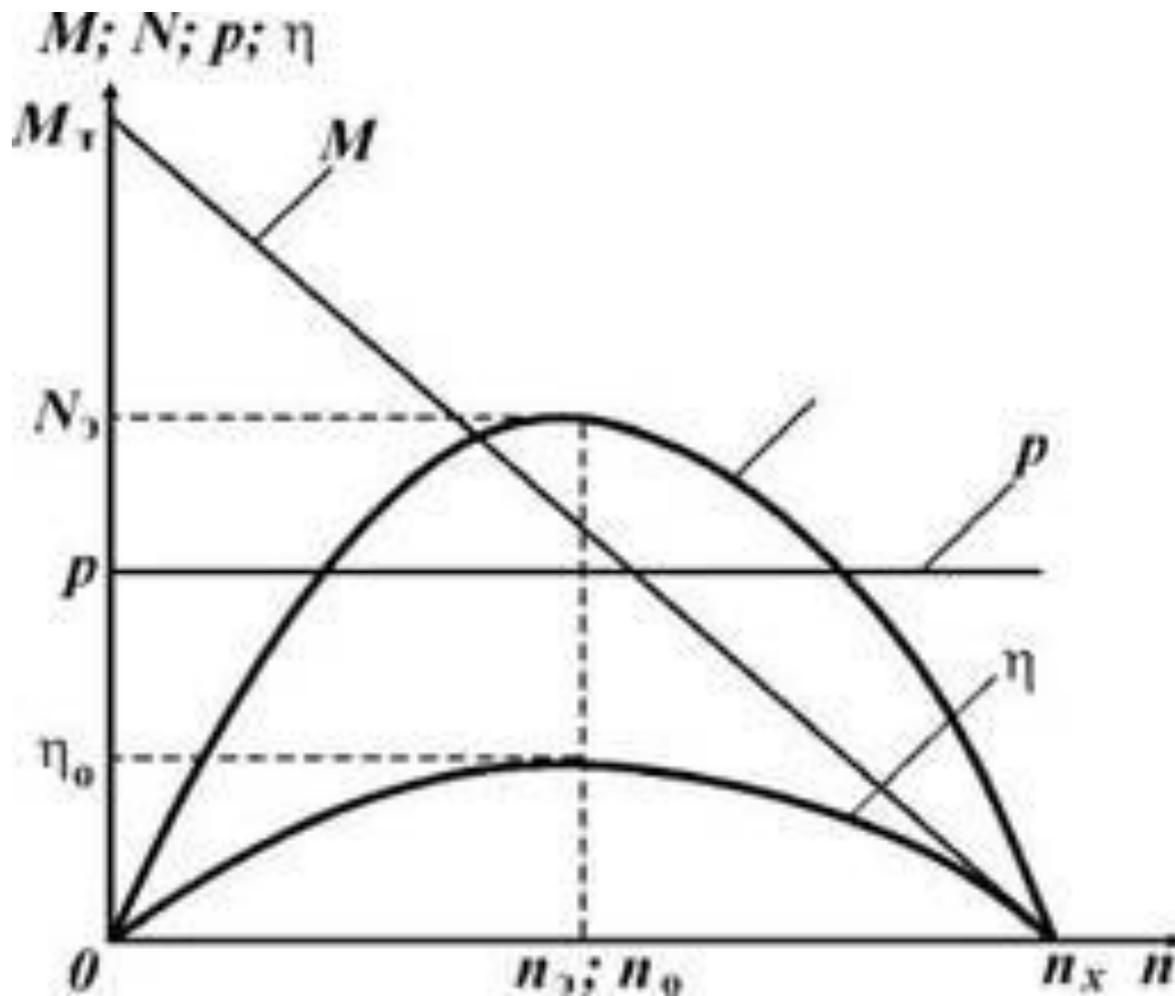
# Энергетическая характеристика турбобура

Энергетической характеристикой турбобура называется совокупность зависимостей крутящего момента  $M$ , перепада давления  $P$ , мощности  $N$  и коэффициента полезного действия (КПД)  $\eta$  от частоты вращения вала  $n$ , характеризующих режим работы турбобура при заданных значениях расхода  $Q$  и плотности  $\rho$  бурового раствора.

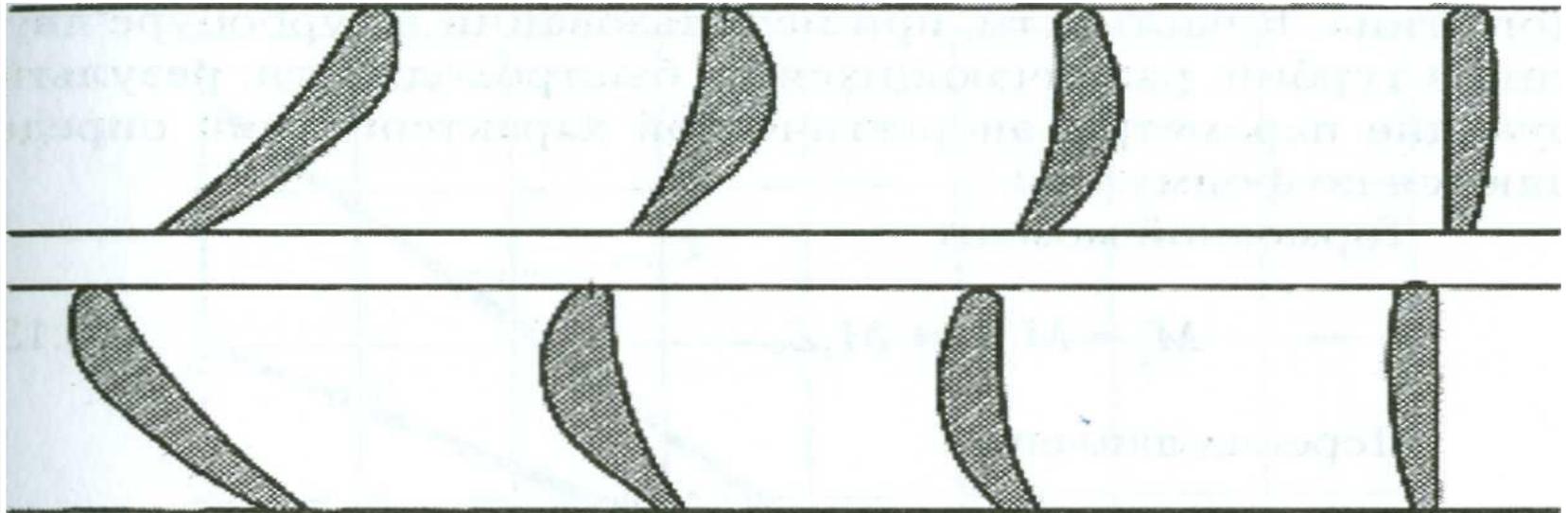
# Основные режимы работы турбобура

- холостой, при  $n = n_x, M = 0$ ;
- экстремальный, при  $N = N_M$
- оптимальный, при  $\eta = \eta_M$
- тормозной, при  $n = 0, M = M_T$

# Энергетическая характеристика турбобура



# Профили лопаток турбин разной быстроходности



- Наиболее быстроходная турбина
- Турбина средней быстроходности
- Тихоходная турбина
- Турбина нулевой быстроходности - гидротормоз

# Конструкция односек- ционного турбобура

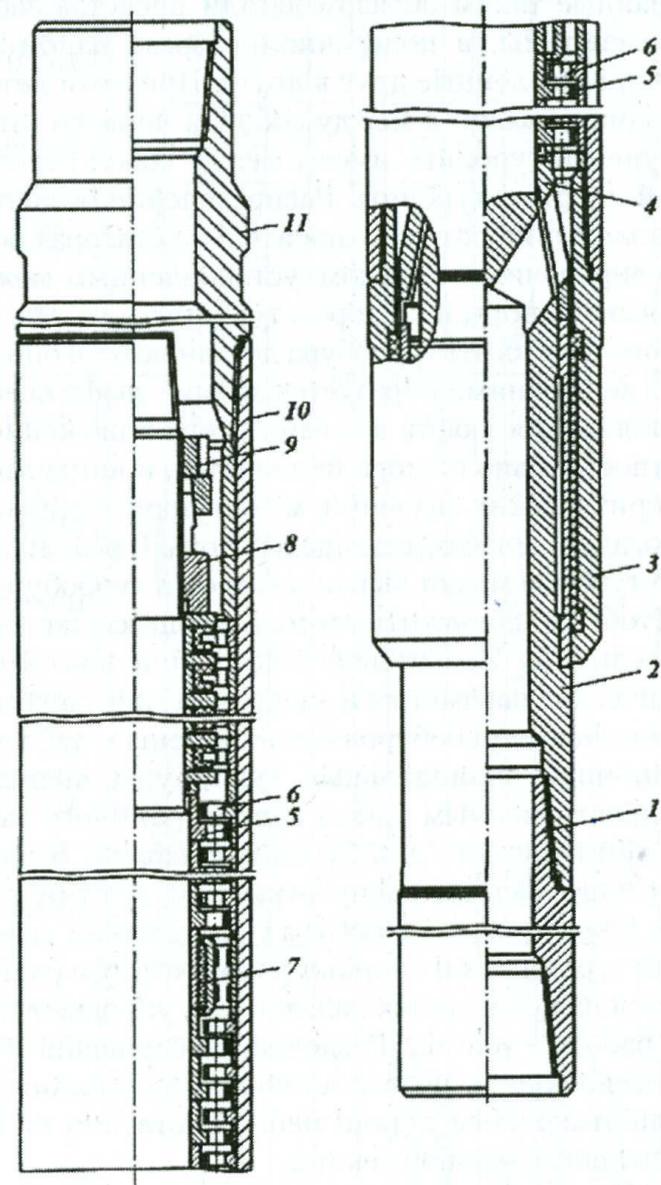


Рис. 6.1. Односекционный турбобур [2]:

1 – переводник вала; 2 – вал; 3 – ниппель; 4 – упор; 5 – ротор;  
6 – статор; 7 – опора средняя; 8 – гайка роторная; 9 – контргайка;  
10 – корпус; 11 – переводник верхний

# Осевая опора

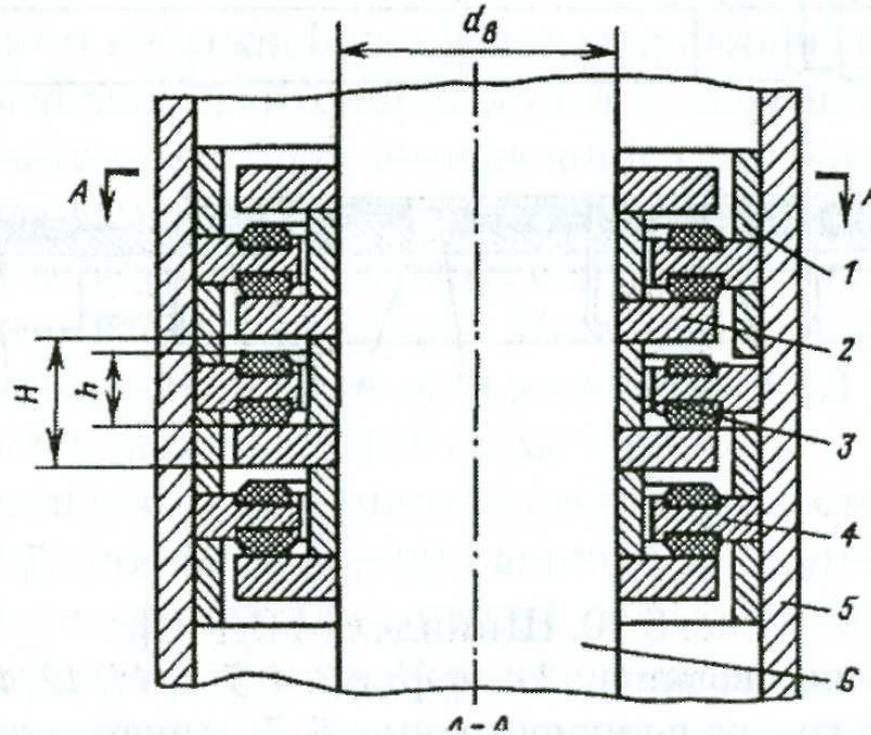


Рис. 6.11. Резинометаллическая осевая опора [3]:

1 – кольцо наружное; 2 – диск; 3 – кольцо внутреннее; 4 – подпятник; 5 – корпус шпинделя; 6 – вал шпинделя

# Радиальная опора

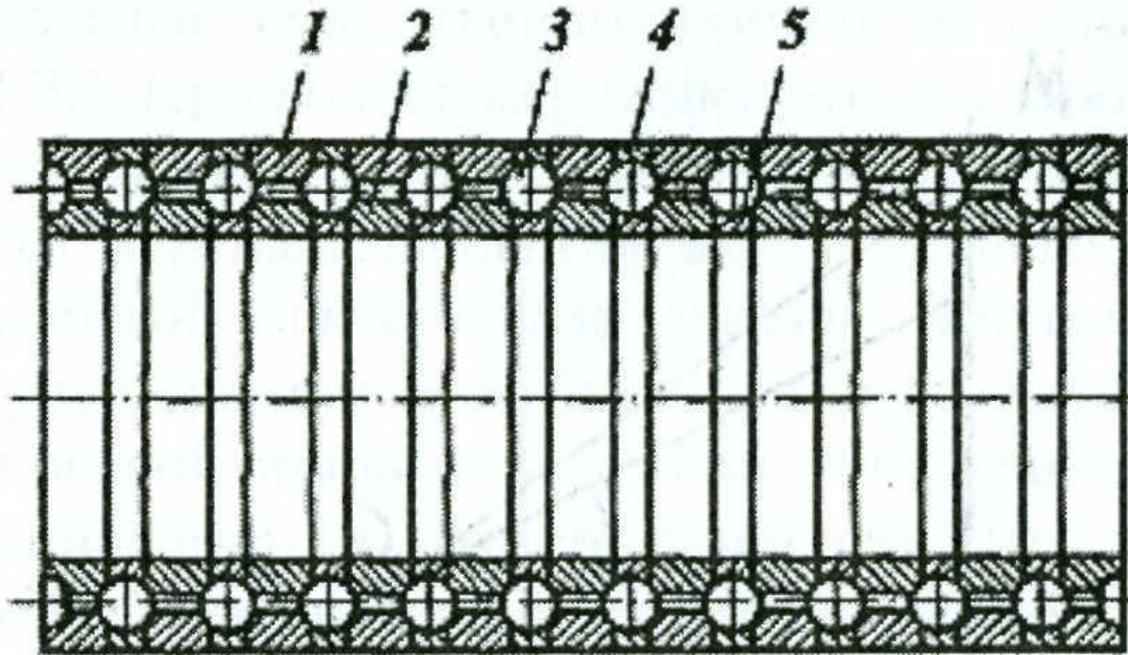


Рис. 6.13. Упорно-радиальная шаровая осевая опора [3]:

1 – кольцо наружное; 2 – кольцо внутреннее; 3 – шар; 4, 5 – проставочные кольца

# Редукторный турбобур

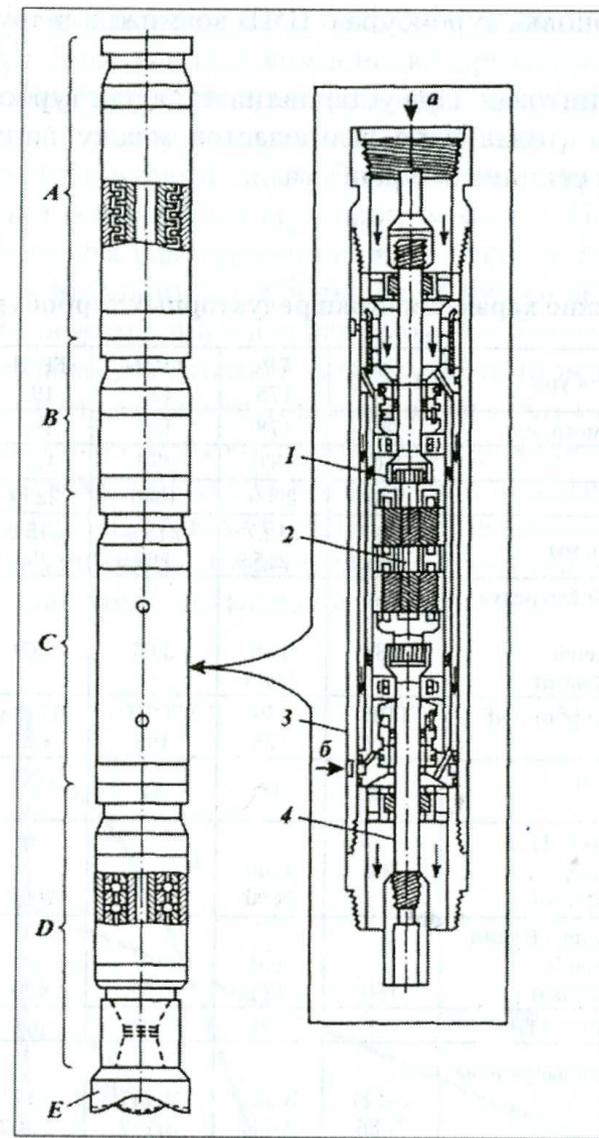


Рис. 6.5. Редукторный турбобур [2]:

*A* – турбинная секция; *B, D* – опорный узел; *C* – редуктор; *E* – долото

*1* – входной вал; *2* – планетарная передача; *3* – корпус редуктора;  
*4* – выходной вал

(*a* – буровой раствор; *б* – масло)

# Реактивно-турбинные буры

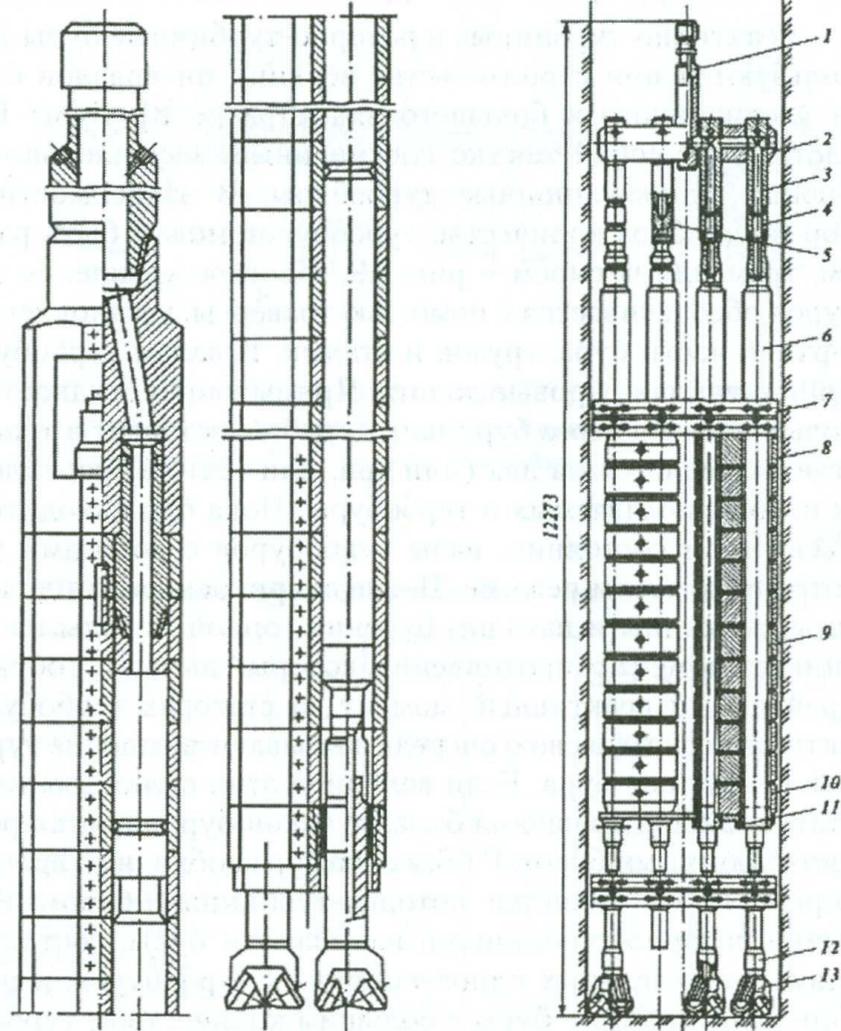


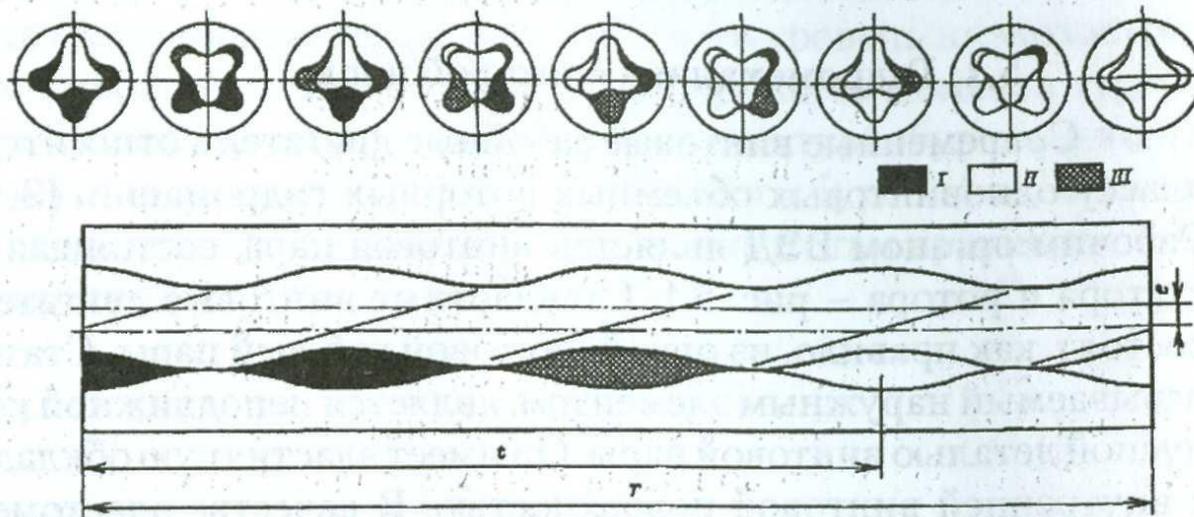
Рис. 6.9. Буры РТБ [2]:

(слева – роторно-турбинный бур; справа – реактивно-турбинный бур)

1 – переводник; 2 – траверса; 3 – ниппель; 4 – переводник предохранительный; 5 – переводник глухой; 6 – турбобур; 7 – хомут верхний; 8 – груз-утяжелитель верхний; 9 – груз-утяжелитель средний; 10 – груз-утяжелитель нижний; 11 – плита; 12 – переводник вала; 13 – долото

# Винтовой забойный двигатель (ВЗД)

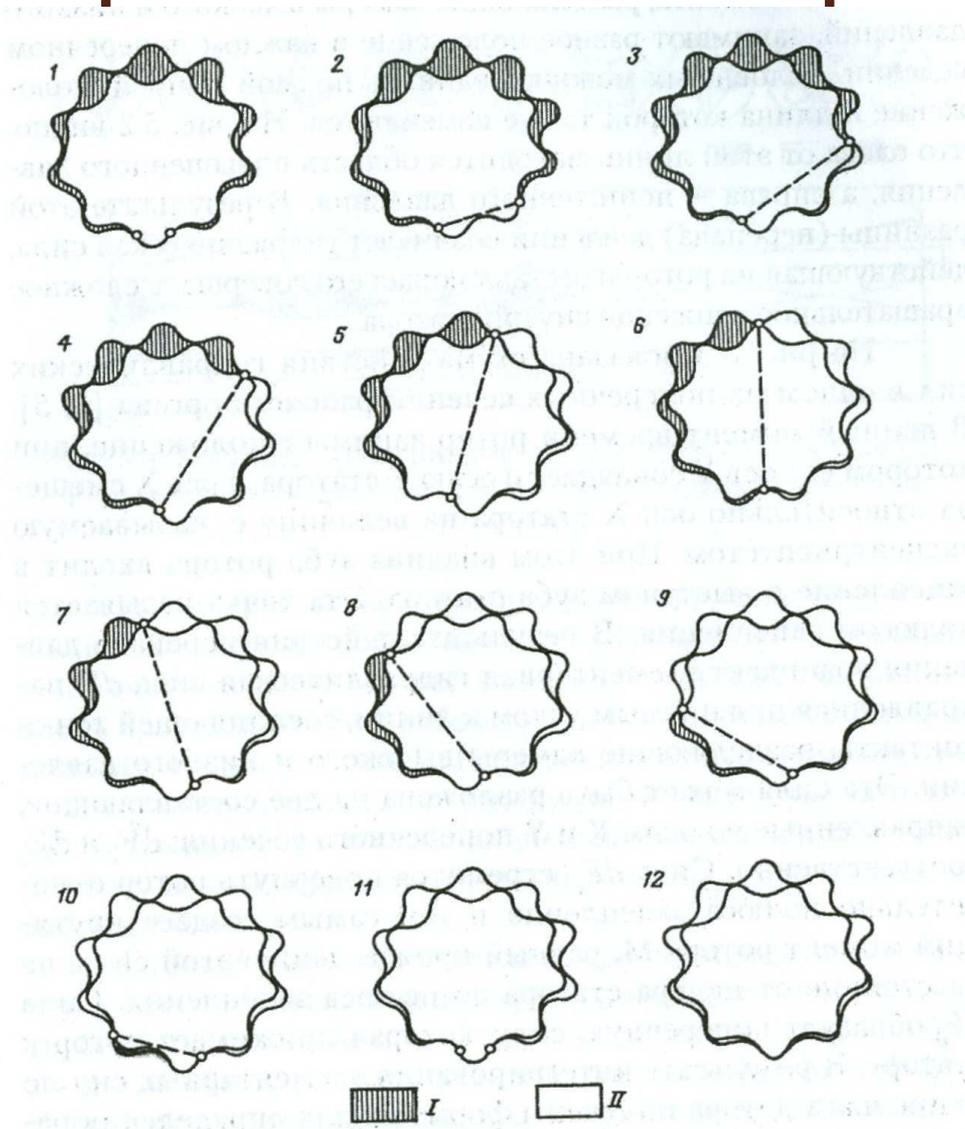
- Современные винтовые забойные двигатели относятся к классу одновинтовых объемных роторных гидромашин [3, 5]. Рабочим органом ВЗД является винтовая пара, состоящая из статора и ротора



# Необходимые условия для работы ВЗД

- Число зубьев статора всегда должно быть на единицу больше, чем число зубьев ротора
- отношение шагов винтовых поверхностей наружного и внутреннего элементов должно быть пропорционально отношению числа зубьев статора и ротора
- длина рабочего органа должна быть не меньше шага винтовой поверхности статора
- профили зубьев наружного и внутреннего элементов должны быть взаимоогибаемыми и находиться в непрерывном контакте между собой в любой фазе зацепления

# Распределение давления в камерах винтовой пары



# Энергетическая характеристика ВЗД

Энергетической характеристикой винтового забойного двигателя называется совокупность зависимостей частоты вращения вала  $n$ , перепада давления  $P$ , мощности  $N$  и коэффициента полезного действия (КПД)  $\eta$  от нагружающего крутящего момента  $M$ , характеризующих режим работы ВЗД, при заданных значениях расхода  $Q$  и плотности  $\rho$  бурового раствора.

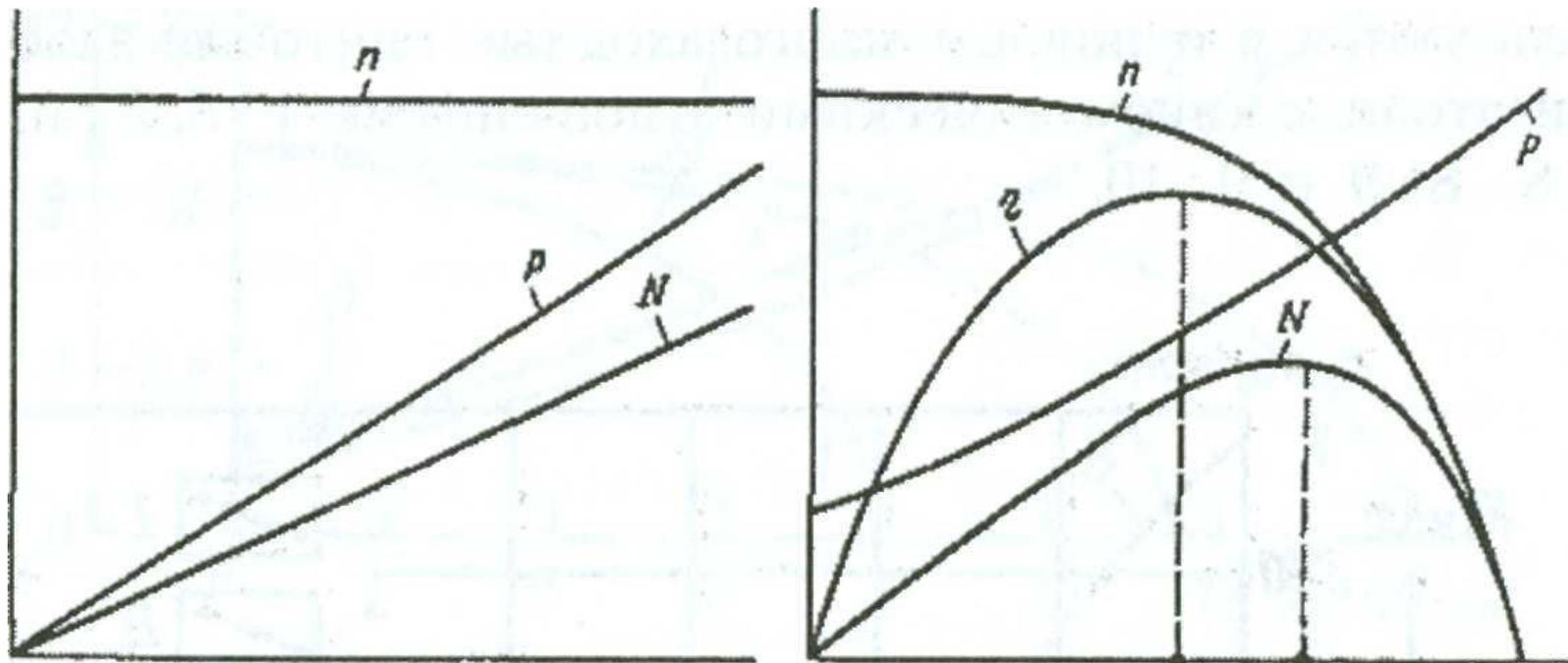
# Основные параметры энергетической характеристики ВЗД

- тормозной (максимальный) крутящий момент  $M_T$
- частота вращения на холостом режиме (максимальная)  $n_x$
- частота вращения на рабочем режиме  $n$
- перепад давления на рабочем режиме  $P^P$
- перепад давления на тормозном режиме  $P_T$
- перепад давления на холостом режиме  $P_x$
- максимальная мощность  $N_M$
- максимальный КПД  $\eta_M$

# Основные режимы работы ВЗД

- холостой, при  $n = n_x, M = 0$ ;
- экстремальный, при  $N = N_M$
- оптимальный, при  $\eta = \eta_M$
- тормозной, при  $n = 0, M = M_T$

# Идеальная и реальная характеристики ВЗД



# Кинематическое соотношение

- Главным геометрическим параметром, определяющим характеристику ВЗД, является кинематическое отношение  $i$ , которое определяется по формуле:

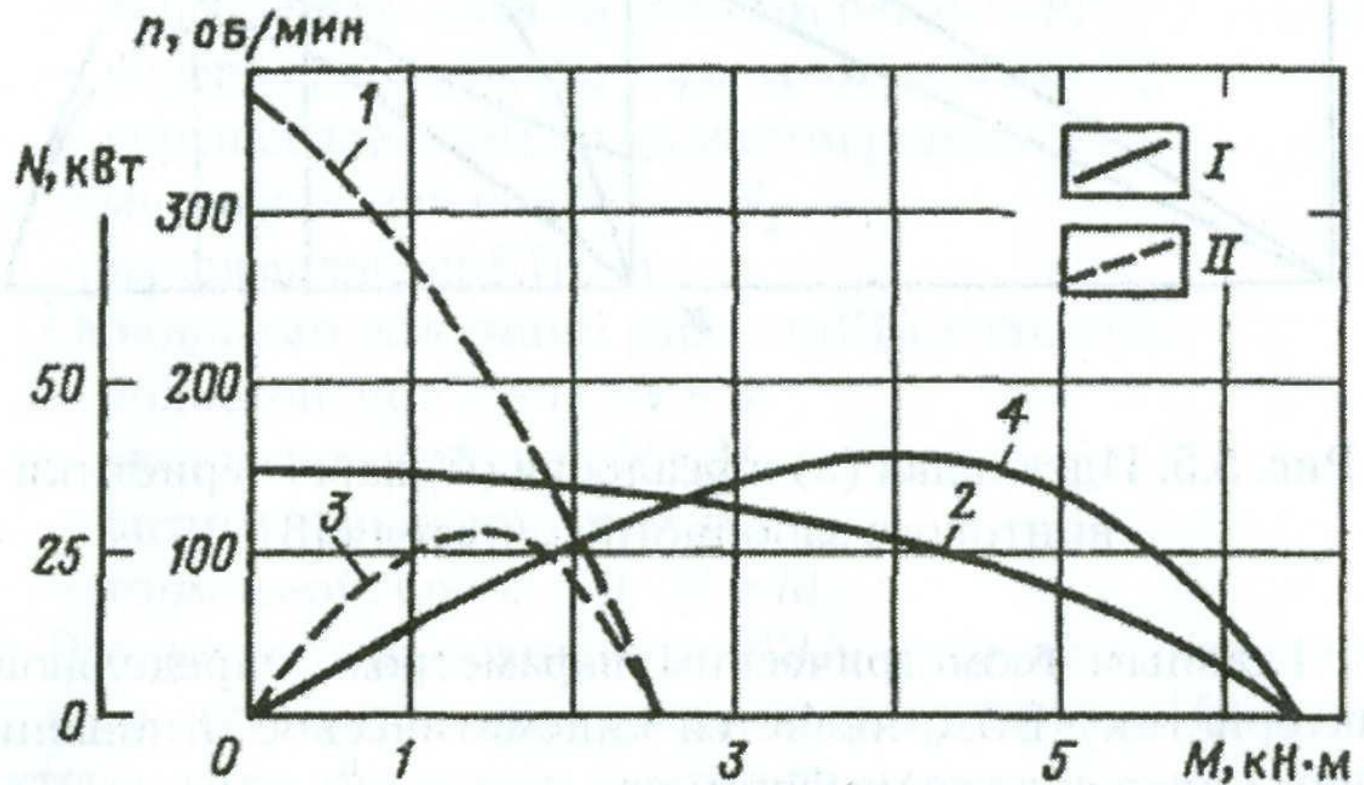
$$i = Z_1 : Z_2$$

где  $Z_1$  - число зубьев ротора;

$Z_2$  - число зубьев статора.

$i = 1 : 2$ , называется однозаходным

# Влияние заходности рабочего органа на характеристику ВЗД



- I заходность 9:10
- II заходность 1:2

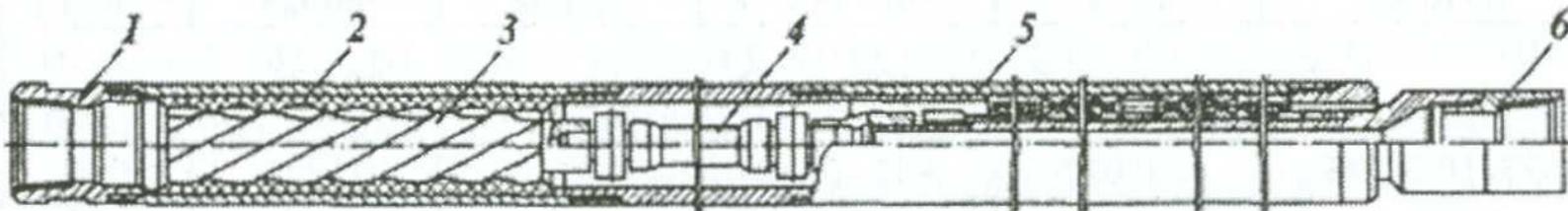
# Основные типы винтовых пар

- кинематическое отношение, или заходность рабочей пары;
- длина активной части рабочего органа (статора)

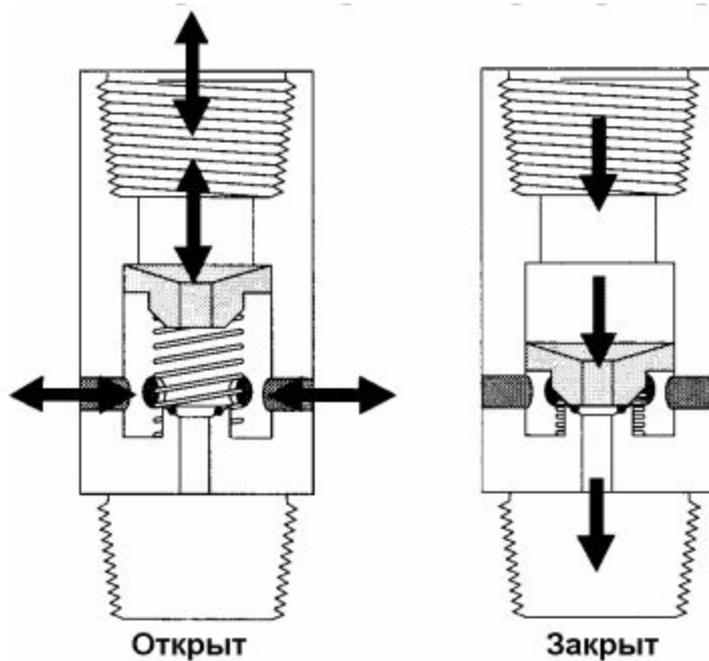
# Основные характеристики ВЗД

- рабочий орган ВЗД, выполненный в виде винтовой пары, состоящей из статора и ротора, имеет рабочие камеры, периодически сообщаемые с входом или выходом, при этом жидкость периодически наполняет каждую камеру или вытесняется из нее;
- гидравлические силы возникают в рабочем органе в результате действия перепада давления и почти не зависят от скорости движения жидкости в камерах;
- подвижная часть ВЗД - ротор, совершает сложное планетарно-вращательное движение.

# Конструкция винтового забойного двигателя (ВЗД)



# Узел перепускного клапана



# Типы выпускаемых двигателей в габаритах 42-240 мм

- -"Д" - двигатели прямые;
- -"ДР" - двигатели с регулируемым узлом искривления;
- -"ДГР" - двигатели с укороченным шпинделем;
- -"ДВ" - двигатели с повышенной частотой вращения.

# Керноотборный инструмент

- Керноотборное устройство
- Бурильная головка

## Классификация

- Р1 - колонковый снаряд со съемным керноприемником для роторного бурения;
- Р2 - колонковый снаряд с не съемным керноприемником для роторного бурения;
- Т1 - колонковый снаряд со съемным керноприемником для турбинного бурения;
- Т2 - колонковый снаряд с не съемным керноприемником для турбинного бурения.

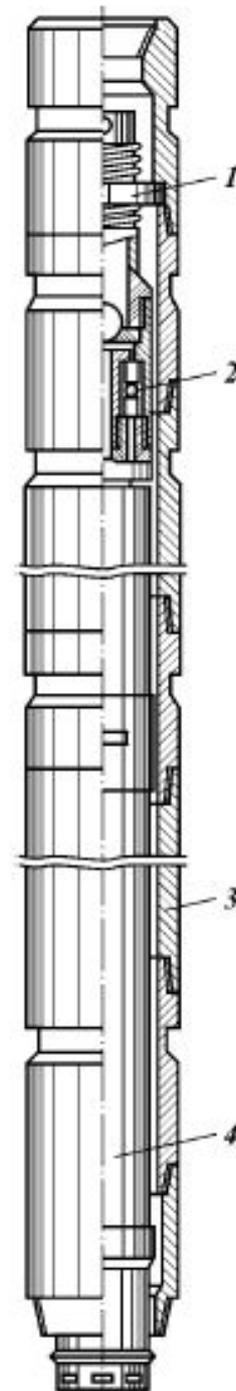
# Типы керноотборных устройств

- **Серия «Недра» – для отбора керна в неосложненных условиях;**
- **Серия «Кембрий» – для отбора керна из отложений рыхлых, слабосцементированных и трещиноватых пород роторным способом;**
- **Серия «Силур» – для отбора керна в отложениях горных пород, осложненных осыпями и обвалами роторным способом;**
- **Серия «Тенгиз» – для отбора керна в отложениях горных пород, осложненных нефтегазопроявлениями и поглощениями бурового раствора и высокими коллекторскими свойствами роторным способом;**
- **Серия «Риф» для отбора керна из отложений рыхлых, сыпучих, сильно трещиноватых, в том числе рифогенных горных пород с высокими коллекторскими свойствами роторным способом;**
- **Серия МАГ – для отбора керна в интервалах залегания твердых солидированных и абразивных пород, в том числе из пород кристаллического фундамента турбинным способом.**

# Общий вид керноотборного устройства серии К

Рис. 2.1. Общий вид керноотборного устройства серии К:

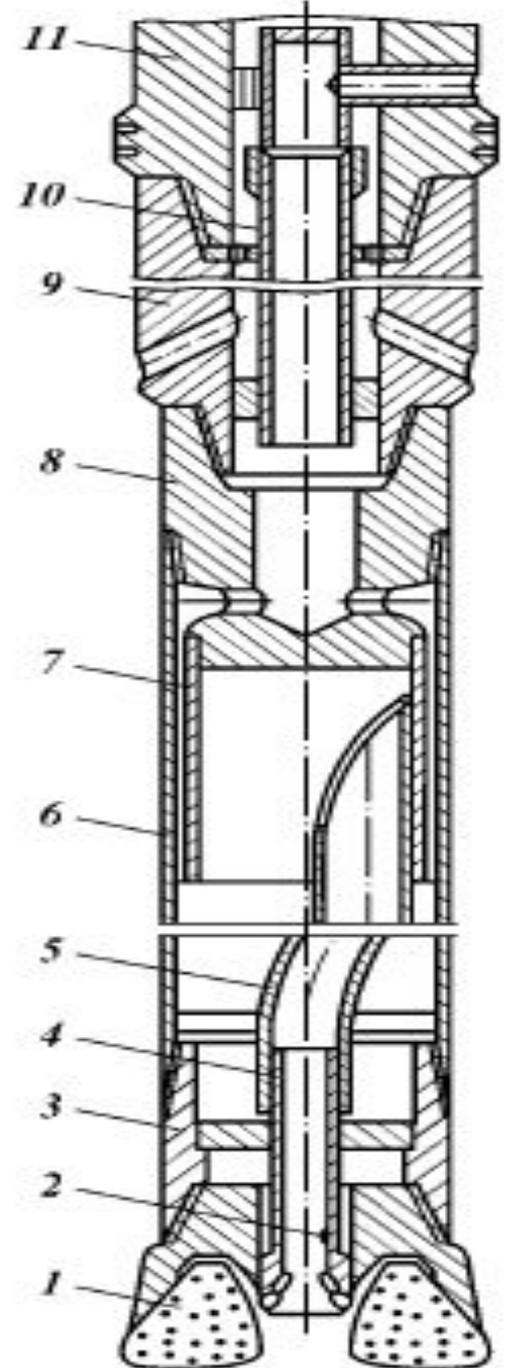
1 — регулировочная головка; 2 — узел подшипника; 3 — корпус; 4 — керноприемная труба с кернорвателем



# Общий вид керноотборного устройства серии К

Рис. 2.2. Схема конструкции керноотборного устройства серии МАГ [6]:

1 — буровая головка; 2 — кернолом; 3 — переводник; 4 — керноприемная труба с опорной плитой и телескопическим соединением с кернорвателем; 5 — изогнутая керноприемная труба с упорным фланцем; 6 — наружный корпус; 7 — юбка для изменения направления обратного потока; 8 — специальный переводник для обратной промывки; 9 — утяжеленная буровая труба с отверстиями; 10 — труба с опорной плитой; 11 — узел обратной промывки



Технические характеристики зерноотборных устройств конструкции ВНИИБТ

Зерноприемное устройство	Наружный диаметр корпуса, мм	Длина устройства, мм	Диаметр зерна, мм	Число секций, шт	Длина зерноприема, мм	Резьба		Масса устройства в сборе, кг
						верхняя	нижняя	
УКР-240/100 «Урал»	240	16210	100	2	14835	З-171	З-189	3640
УКР-203/100 «Недра»	203	16210	100	2	14835	З-171	З-189	2300
УКР-195/120 «Риф»	195	8120	120	2	6800	З-171	Ниппель З-189	924
УКР-185/100 «Темиз»	185	15727	100	2	14200	Муфта З-147	Ниппель З-161	1530
УКР-164/80 «Недра-2»	164	15635	80	2	14300	З-121	МК150××6×1:8	1569
УКР-172/80-100 «Лайнер» с пластиковым вкладышем	172	15825	80—100	2	14000	З-122	З-161	1180
УКР1-64/80 «Недра» (односекционное)	164	8180	80	1	7300	З-121	МК150××6×1:8	812
УКР-172/100 «Кеэбрый»	172	16130	100	2	14315	З-133	З-161	1405
УКР-146/80 «Силур»	146	9297	80	2	6660	З-121	З-150	620
УКР-138/67 «Недра»	138	15943	67	2	13775	З-121	З-133	1010
УКР-127/67 «Кеэбрый-2»	127	7190	67	2	6150	З-121	З-133	345
УКР-122/67 «Кеэбрый»	122	7190	67	2	6150	З-121	З-133	400
УКР-138/52 «Недра»	138	18190	52	2	16200	З-88	МК110××6×1:8	876
УКР-114/52 «Силур»	114	8695	52	2	6600	Муфта З-101	Ниппель М110×6××1:16	380
Снаряд зерноотборный с гидротранспортом зерна	195	10204	60	1	Вместимость 20000	Муфта З-171	Муфта З-161	1345
МАГ-3У-195/60	195	8550	60	1	Вместимость 20000	Муфта З-117 З-147 З-171	Муфта З-147 З-161	885
МАГ-2У-195/60	146	—	32	1	Вместимость 15000	Муфта З-121	Муфта З-21	630
СПК-240/60*	240	—	60	1	Вместимость 38000	Муфта	Муфта	2360

\* Данные о параметрах зерноотборных снарядов типа МАГ приведены в [6].

# Керн



# Кернорватель

- Служит для отрыва и удержания керна различных по составу и свойствам горных пород.

