Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Инженерная школа природных ресурсов

Монтаж и эксплуатация бурового оборудования

Курс лекций

Автор: Епихин А.В.
ст. преп. ИШПР

Томск-2018 г.

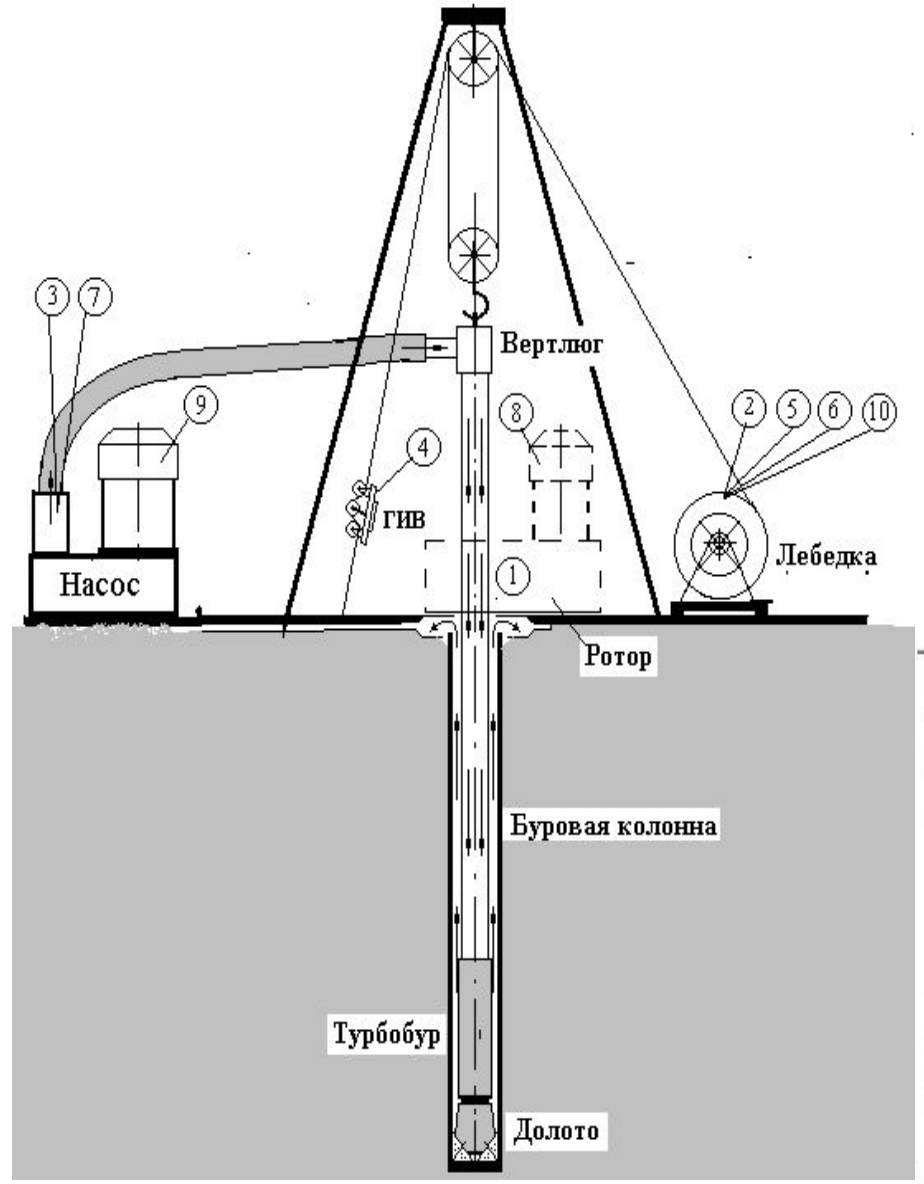
Забойные двигатели:

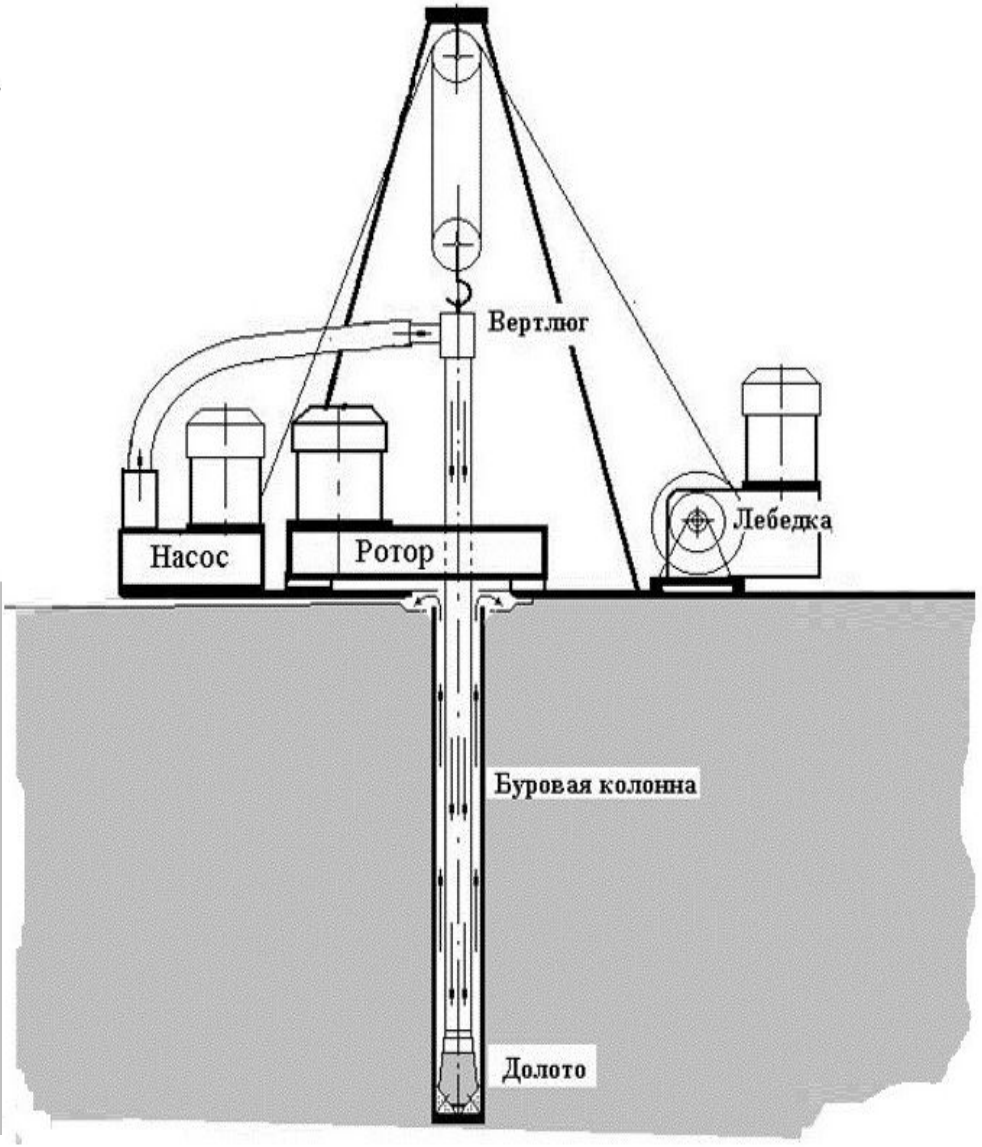
- *Типы, классификация, устройство*

ТЕМА 1.

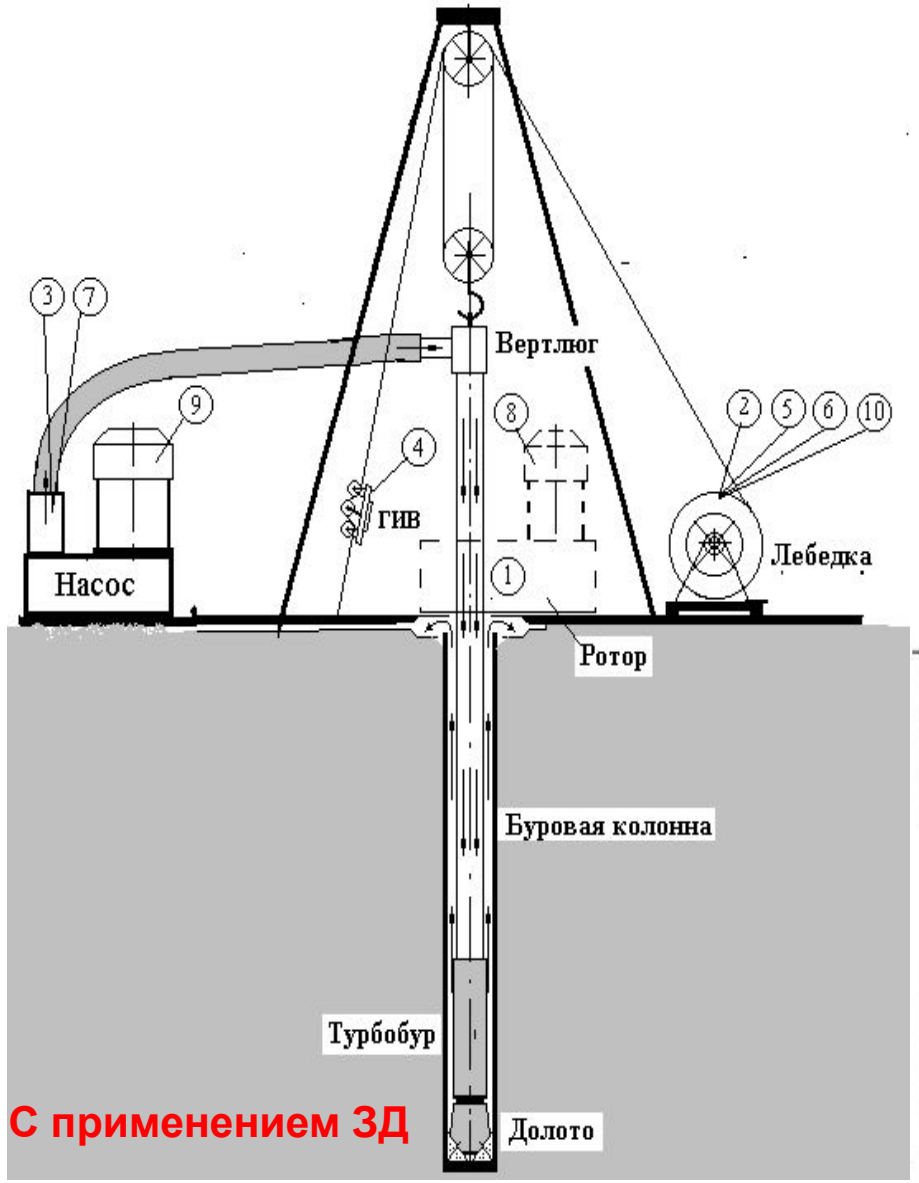
Способы подачи энергии к долоту

Какие способы подачи энергии к долоту существуют?

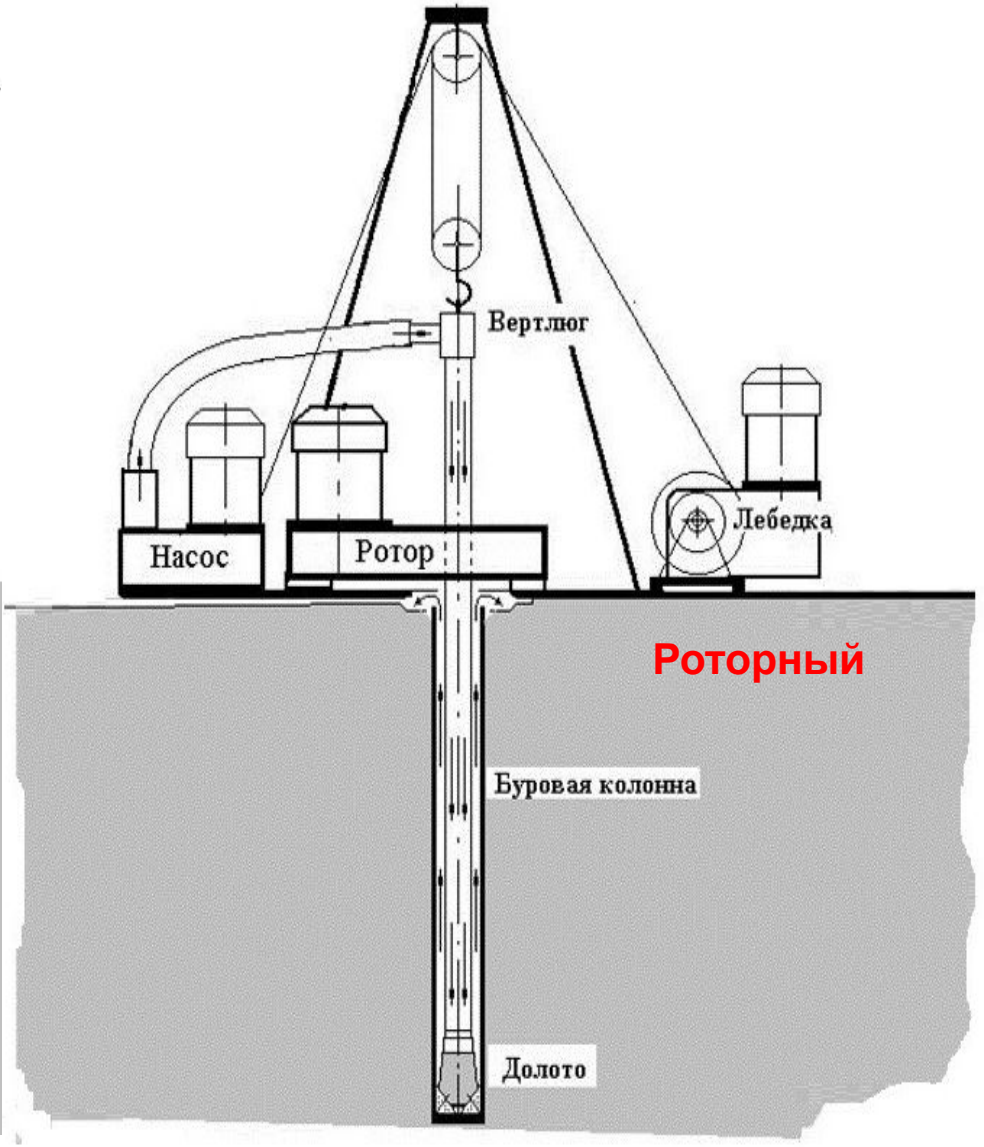




Какие способы подачи энергии к долоту существуют?



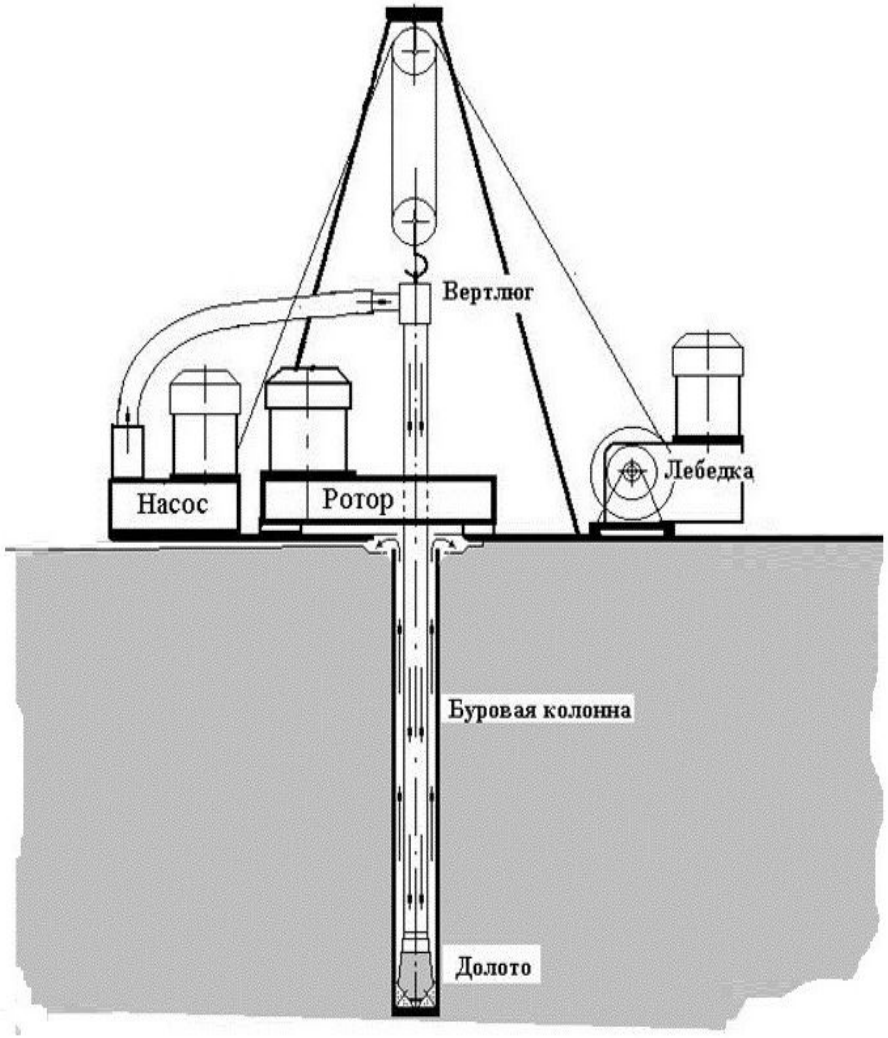
С применением ЗД



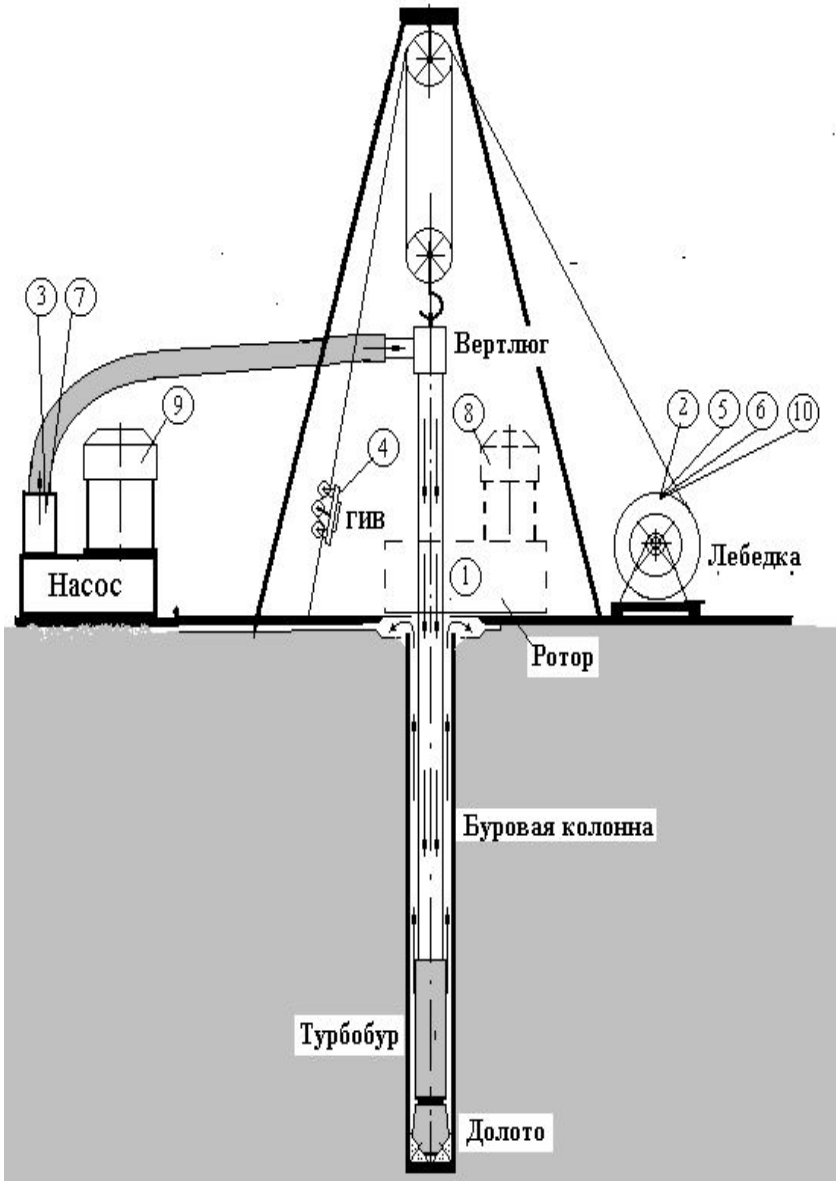
Роторный

Роторное бурение

- При бурении глубоких интервалов (более 3500 метров).
- Когда оптимальная частота вращения долота находится в пределах 35–150 об/мин.
- При применении энергоемких и высокомоментных долот.
- Бурение скважин в осложненных условиях, требующих применение буровых растворов плотностью более 1,7 гр/см^3, большой вязкости и большого СНС.
- Бурение скважин с продувкой забоя воздухом и промывкой аэрированной жидкостью с высокой степенью аэрации.
- Бурение скважин в условиях высоких забойных температур, более 150^0 С



Бурение с применением ГЗД



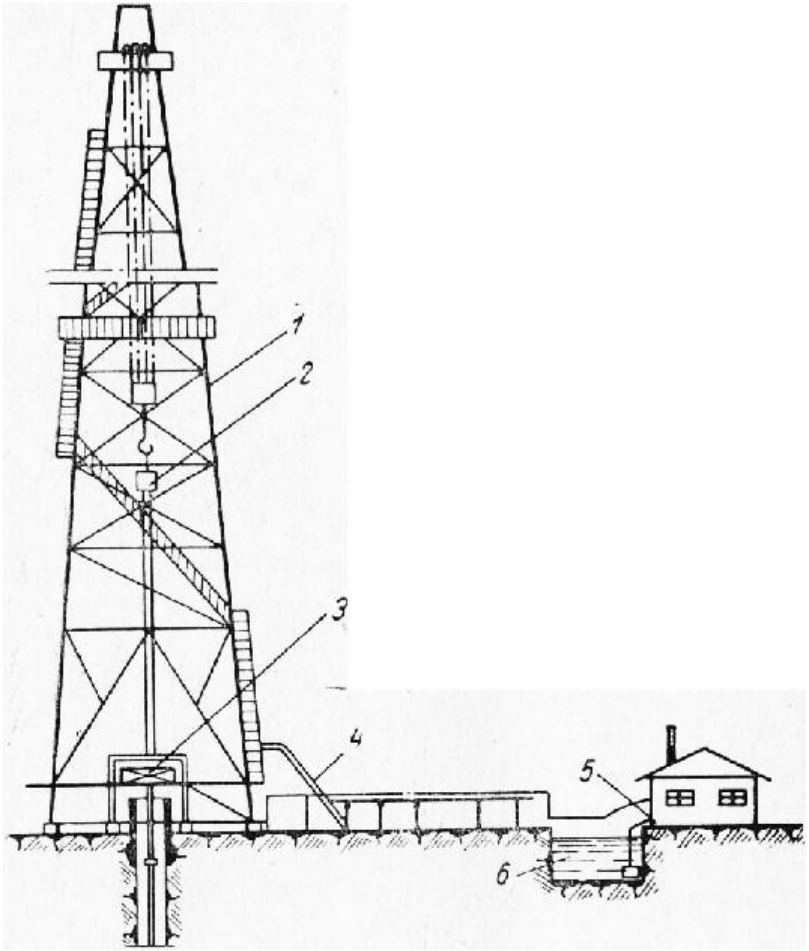
- При бурении наклонно-направленных и вертикальных скважин глубиной до 3500 метров.
- Использование буровых растворов плотностью менее 1,7 гр/см^3 (для стабильной работы рекомендуется не более 1,2-1,3 гр/см^3).
- Бурение скважин в условиях низких забойных температур, менее 150^{0}С. Про больших температурах идет интенсивная деформация и деструкция эластомеров и резинотехнических опор двигателя.

Недостатки роторного бурения

Бурение роторным способом в этих условиях при повышенных частотах вращения (150–200 об/мин) приводит к быстрому износу бурильных труб, бурильных замков, а также к авариям. Для роторного бурения требуются бурильные трубы повышенной прочности и сбалансированный тяжелый низ бурильной колонны.

ВЗД смогли обзавестись дополнительными преимуществами, которые ранее были присущи только роторному способу бурения:

- При бурении глубоких интервалов (более 3500 метров).
- Когда оптимальная частота вращения долота находится в пределах 60–200 об/мин.
- Разбуривание мощных толщ горных пород, для которых целесообразно применять энергоемкие долота.



ТЕМА 2.

Типы, классификация, устройство забойных двигателей

Что такое забойный двигатель?

Что такое забойный двигатель?

Забойный двигатель (a. face engine; н. Bohrlochsohlenantrieb; Bohrlochsohlenmotor; ф. moteur d'attaque; и. motor de frente de arranque) — погружная машина, преобразующая гидравлическую, пневматическую или электрическую энергию, подводимую с поверхности, в механическую работу породоразрушающего инструмента (долота) при бурении скважин.

Классификации забойных двигателей

По типу энергоносителя

По особенностям ПРИ

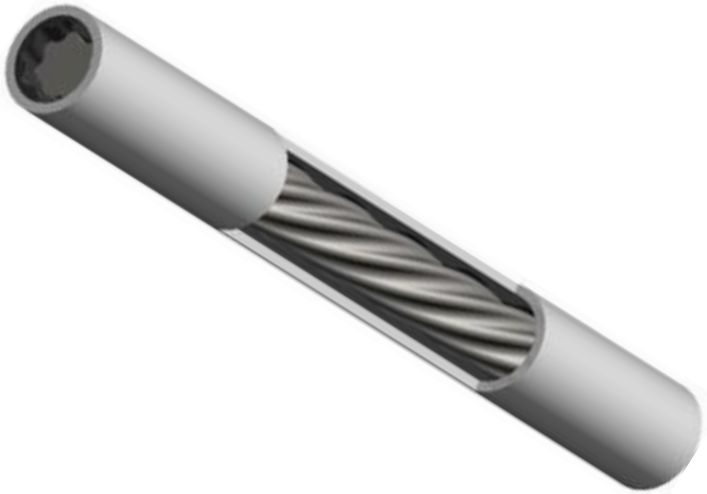
По конструкции

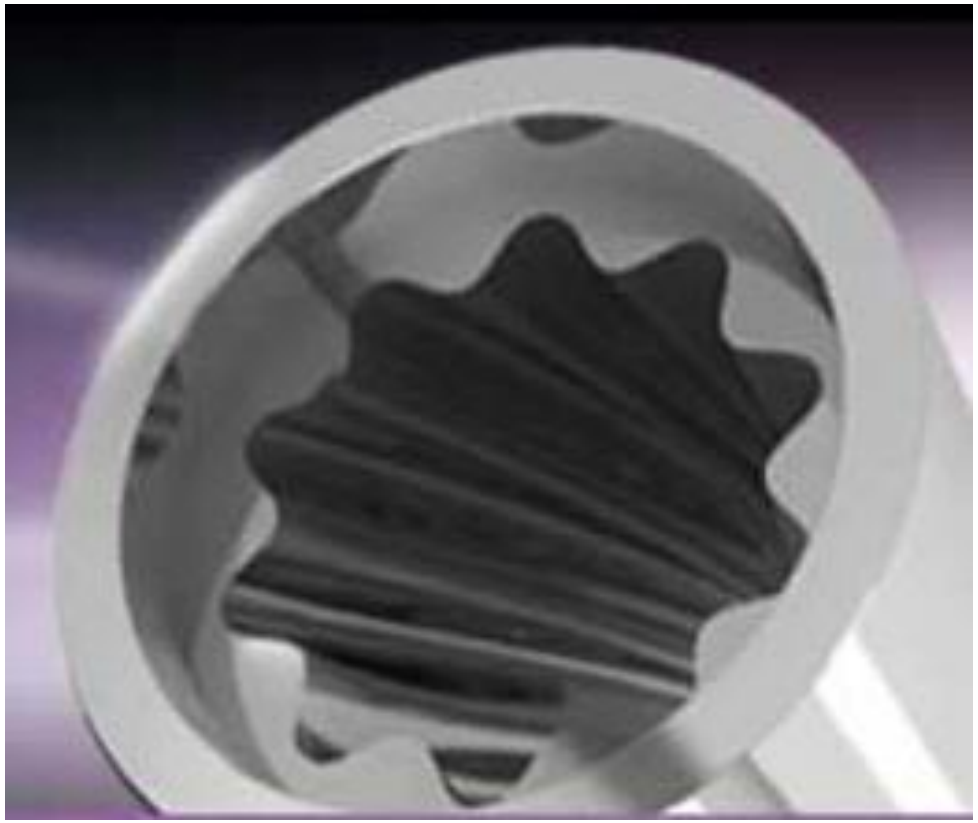
По принципу работы

Классификации забойных двигателей

По типу ПРИ

- для бурения сплошным забоем
- для колонкового бурения





Классификации забойных двигателей

По принципу работы

- вращательные
- ударные

Классификации забойных двигателей

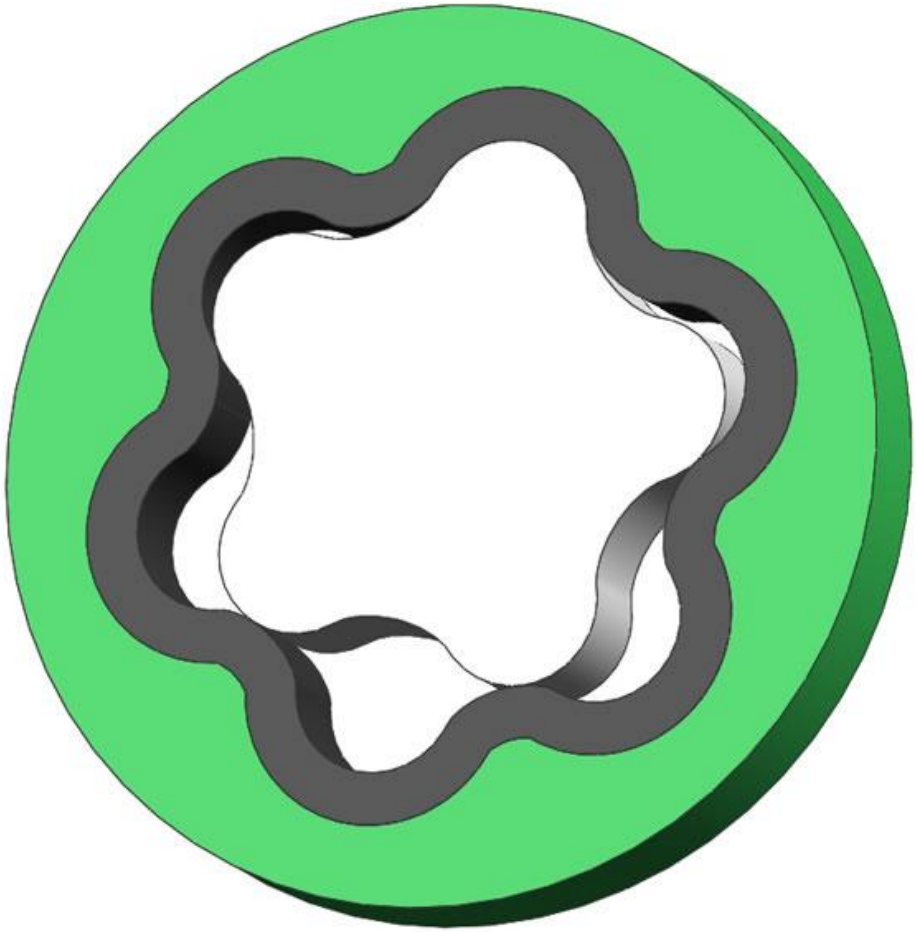
По конструкции

- одинарные
- секционные
- шпиндельные
- редукторные

Классификации забойных двигателей

По типу энергоносителя

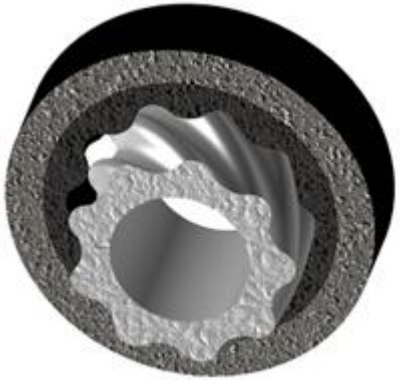
- гидравлические
- пневматические
- электрические

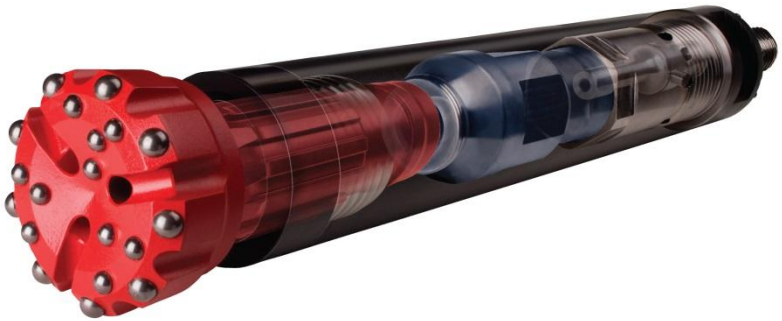


Классификации забойных двигателей

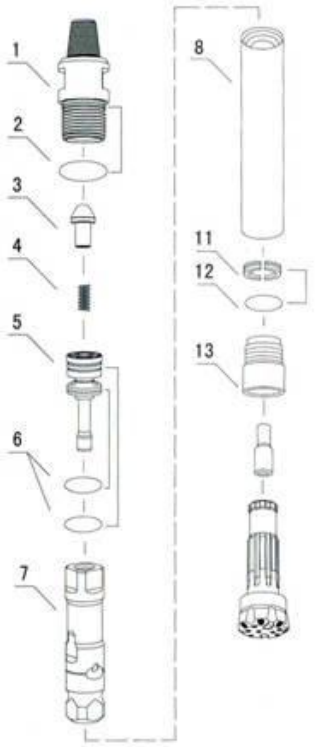
По типу энергоносителя

- гидравлические
  - гидроударник
  - турбобур
    - РТБ
    - ВЗД
    - ТВД
- пневматические
  - пневмоударник
- электрические
  - электробур

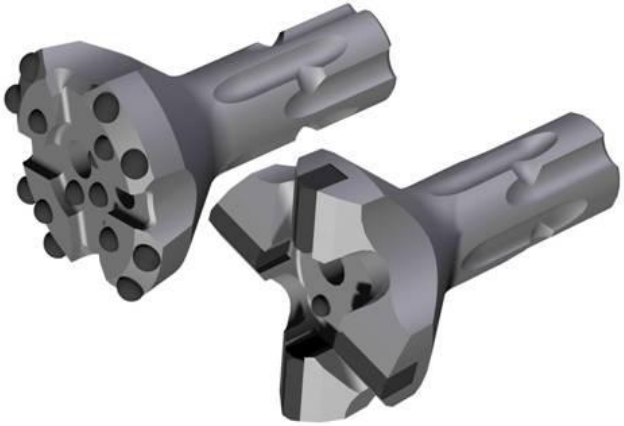


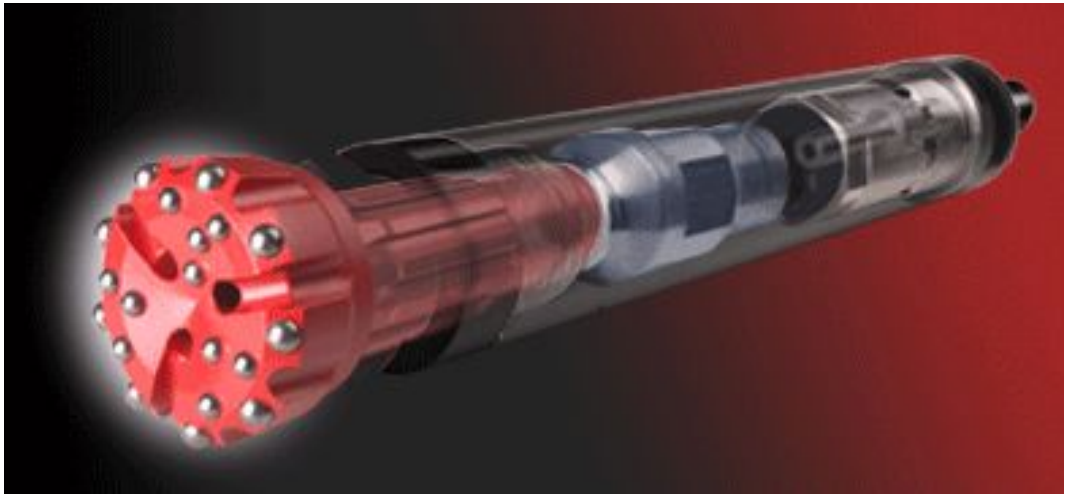


Пневмоударник: конструкция, принцип работы



Принцип работы: Сжатый воздух поступает в пневмоударник через верхнюю гайку из внутреннего канала буровой трубы. Через перепускные отверстия сжатый воздух приводит в движение поршень – ударник 7 который преобразует энергию сжатого воздуха в энергию удара. Нижняя часть поршня – ударника при ударе непосредственно воздействует на торцевую поверхность хвостовика коронки. Серия ударов циклически повторяется, частота и сила удара зависят от давления сжатого воздуха и объёмной производительности компрессора бурового станка.





Гидроударник: конструкция, принцип работы

Гидроударники прямого действия - энергия от источника (бурового насоса) отбирается на рабочем ходе. При этом часть ее передается бойку, а часть накапливается в пружине, за счет которой обеспечивается холостой ход.

Гидроударники обратного действия - энергия потока отбирается на холостом ходе бойка и накапливается, в основном, в пружине (упругом элементе) в виде потенциальной энергии сжатия

Гидроударники одинарного действия с одной рабочей полостью цилиндра, у которых один ход бойка совершается под действием промывочной жидкости, другой – за счет силы пружины или собственного веса бойка

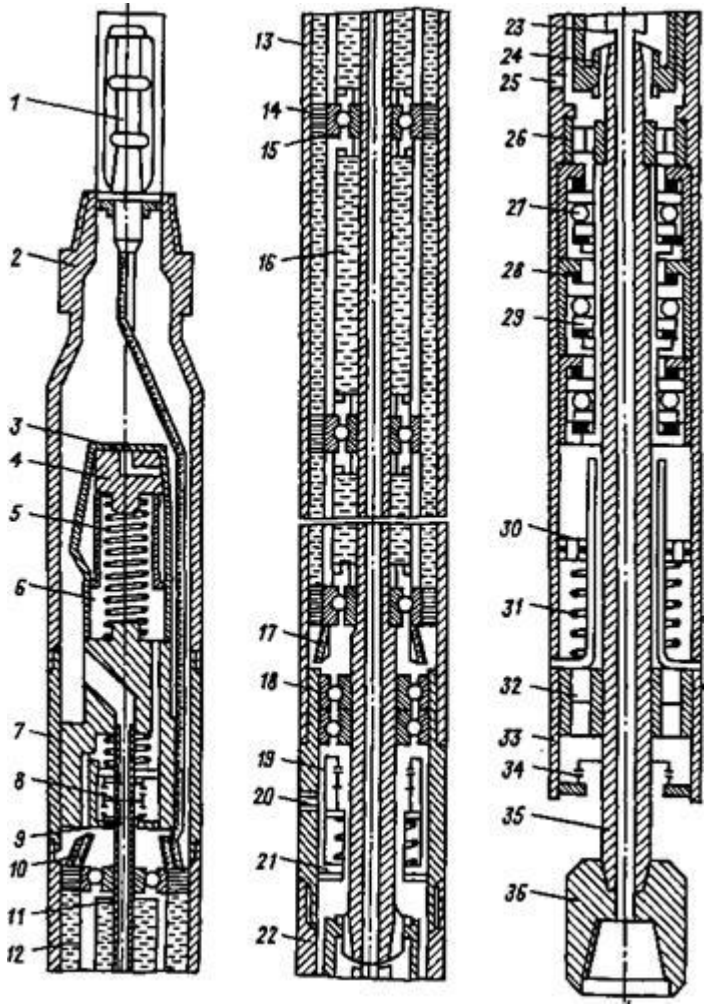
Две рабочие полости цилиндра, контролируемые водораспределительными устройствами.

Гидроударники двойного действия, с двумя рабочими полостями цилиндра, у которых возвратно-поступательное движение бойка обеспечивается энергией потока жидкости без участия пружин за собственного веса бойка

Гидроударники со ступенчатым (дифференциальным) поршнем, разделяющим цилиндр на две камеры.

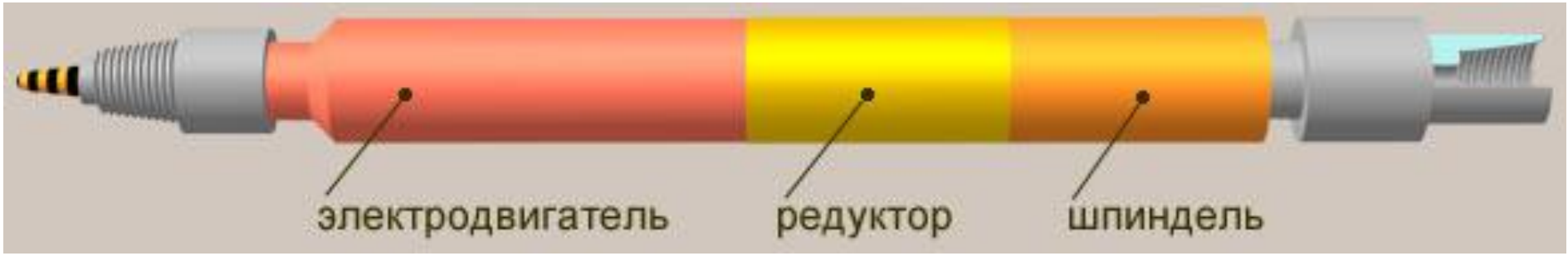
Электробур: конструкция, принцип работы

1950-1960 – изобретен электобур



1 — контактный стержень; 2 — переводник; 3 — резиновая диафрагма компенсации двигателя; 4 — поршень компенсатора; 5, 31 — пружины; 6 — цилиндр компенсатора; 7 — соединительный корпус двигателя; 8, 19_- верхний и нижний сальники двигателя соответственно; 9 — верхний клапан двигателя; 10, 17 — верхняя и нижняя части обмотки статора; И — вал двигателя; 12 — пакет магнитопроводной стали статора; 13 — корпус статора из немагнитопроводного материала; 14 — пакет немагнитопроводной стали; 15, 18 — промежуточный и нижний подшипники двигателя соответственно; 16 — секция ротора двигателя; 20 — клапан; 21 — нижний соединительный корпус; 22 — корпус шпинделя; 23 — втул — ка; 24 — зубчатая муфта; 25 — клапан; 26, 32 — верхний и нижний радиальные подшипники соответственно; 27 — упорный подшипник; 28 — наружная обойма распределителя осевой нагрузки; 29 — внутренняя обойма; 30 — поршень компенсатора шпинделя; 33 — пробка; 34 — сальник шпинделя; 35 — вал шпинделя; 36 — переводник на долото

Каковы недостатки электробура?



- Сложность подвода питания;
- Повышенные требования к герметичности и термостойкости;
- Сложность контроля работы (в гидравлических двигателях информация о функционировании оценивается по перепаду давлений).

Турбобур: конструкция, принцип работы

1873 г. – первый патент на турбину для бурения скважин получен Гроссом.

1890 г. – **Симченко Г.Г.** (г. Баку) разработал проект первого забойного круговращательного гидравлического двигателя.

Начало **1900-х** – **Вольский** разработал и использовал практике для быстроударного бурения твердых пород забойный гидравлический двигатель, создававший 500-600 ударов/минуту.

1923 г. – **Капелюшников М.А.** совместно с **Волохом С.М.** и **Корневым Н.А.** разработал турбинный аппарат для бурения скважин, называемый турбобуром Капелюшникова (12 л. с., одноступенчатая турбина, многоярусный планетарный редуктор).

Итоговый вид турбобура, получивший широкое распространение был создан **Шумиловым П.П., Иоаннесяном Р.А., Тагиевым Э.И., Гусманом М.Т.**

1950-е гг. – разработка секционных турбобуров для снижения частоты вращения долот. Позже осевая опора была вынесена отдельно в шпинедль.

Конец **1950-х** гг. – работы по разработке опоры качения турбобура.

Начало **1960-х – Иоаннесяном Р.А., Малышевым Д.Г., Иоаннесяном Ю.Р.** создана упорно-радиальная шаровая опора (многоступенчатый шарикоподшипник).

Турбобур: классификация

- с системой гидродинамического торможения;
- многосекционные;
- с высокоциркулятивной турбиной и клапаном – регулятором расхода бурового раствора;
- с системой демпфирования вибрации;
- с разделенным потоком жидкости и полым валом;
- с плавающей системой статора;
- с тормозной приставкой гидромеханического типа;
- с редукторной вставкой.

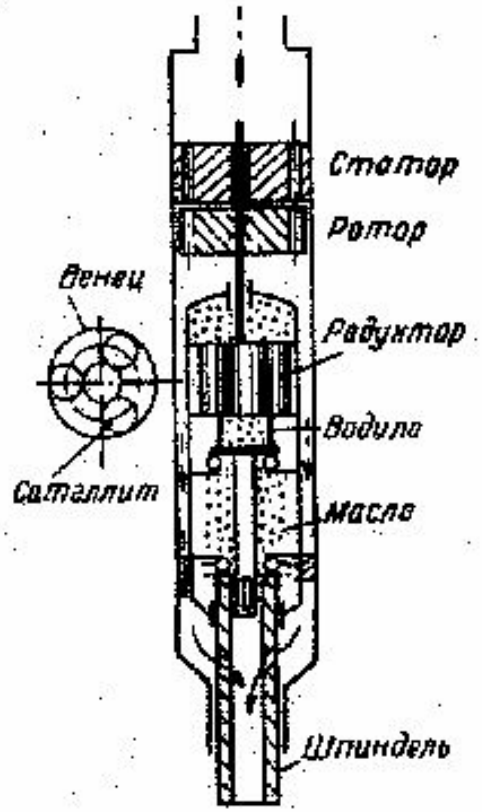
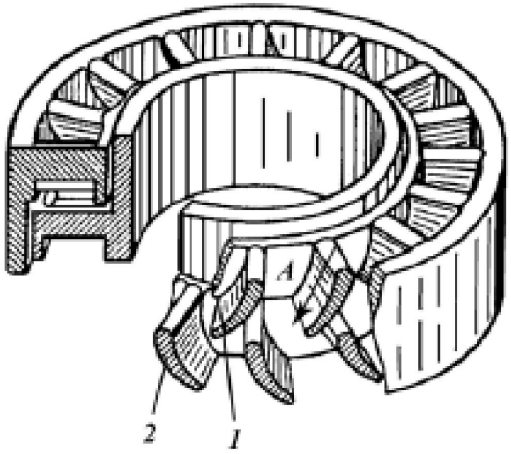


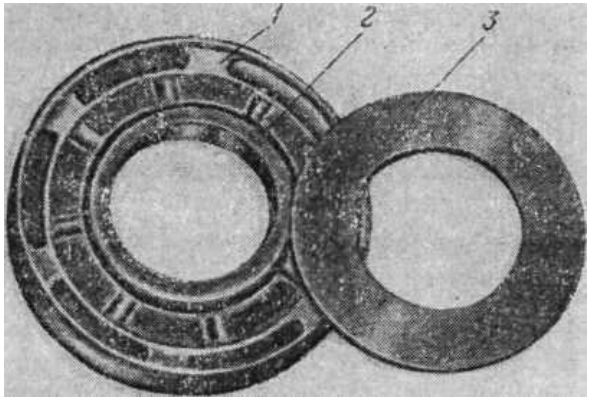
Схема первого турбобура Капелюшникова

Турбобур: конструкция, принцип работы

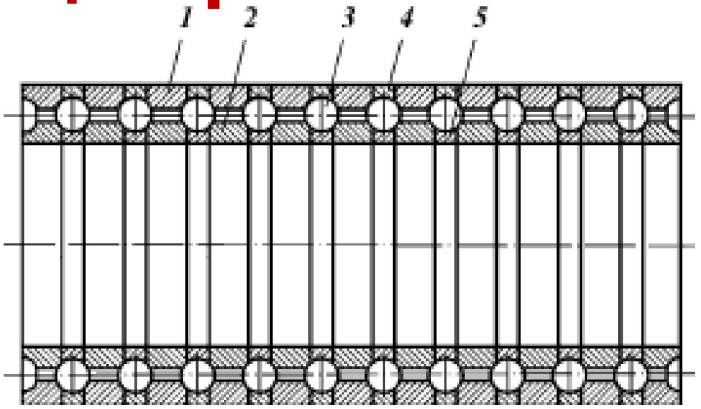
Турбобур: конструкция, принцип работы



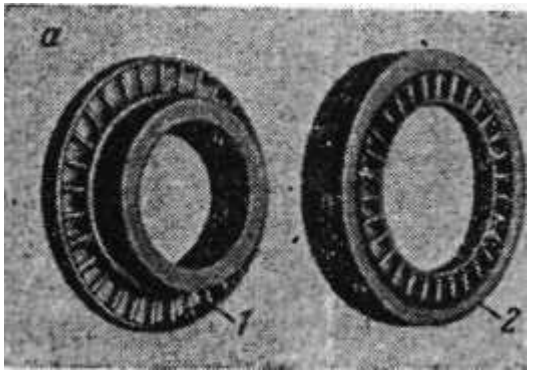
Турбинка:
1- лопатка статора
2 – лопатка ротора



1 – пята, 2 – подпятник, 3 – диск пяты



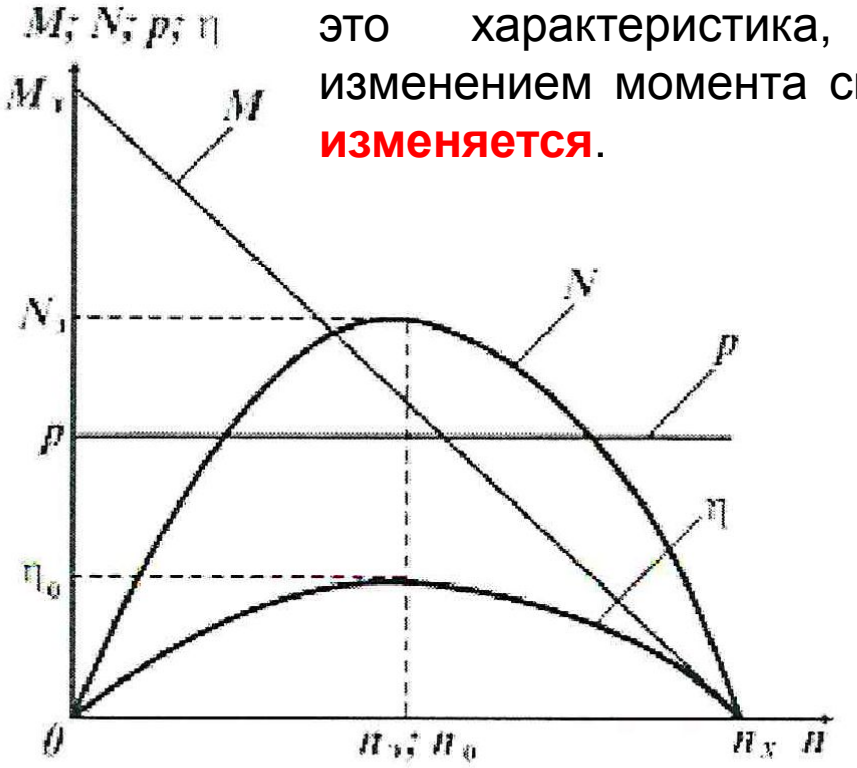
Опорный подшипник:
1 – наружное рабочее кольцо
2 – внутреннее рабочее кольцо
3 – кольцо
4 – наружное распорное кольцо
5 – внутреннее распорное кольцо



1 – статор, 2 - ротор

Техническая характеристика

Мягкая механическая характеристика - это характеристика, при которой с изменением момента скорость **значительно изменяется**.



Выходные параметры турбобура: мощность на валу, крутящий момент, перепад давления в турбобуре - существенно зависят от расхода промывочной жидкости Q и частоты вращения вала машины n. Зависимость крутящего момента M, мощности на валу N, перепада давления ΔP и коэффициента полезного действия и от частоты вращения n.

Винтовой забойный двигатель: история

Предпосылки: 1981-1982 гг. в США проходка за долбление была до 350 м, а в СССР – не более 90 м.

Первый работоспособный ВЗД – насос **Муано** – планетарно-роторный тип гидромашин.

Середина 1960-х – начало работа над создание опытных образцов ВЗД в США и СССР.

1966 г. – во ВНИИБТ Гусманом М.Т., Никомаровым С.С., Деркачем Н.Д., Захаровым Ю.В. и Меньшениным В.Н. первый ВЗД, рабочие элементы которого были выполнены на базе многозаходного винтового героторного механизма, выполняющего роль планетарного редуктора.

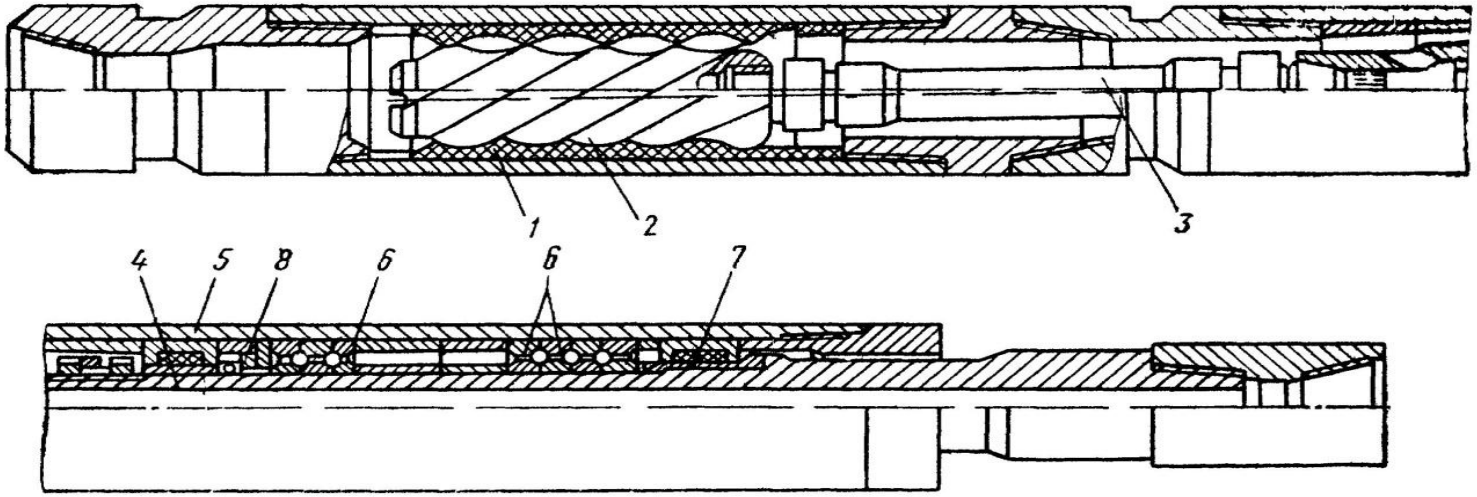
Позже этими учеными, а также Балденко Д.Ф. И Вадецким Ю.В. была разработана теория рабочего процесса ВЗД, технология их изготовления и эксплуатации

Винтовой забойный двигатель: требования

1. Характеристики ВЗД должны обеспечивать высокий уровень крутящего момента, требуемую частоту вращения инструмента (для шарошечных долот 100-300 об/мин и для алмазных – 500-800 об/мин), высокий КПД двигателя (использование мощности насосов), пропорциональная зависимость между расходом и частотой вращения, а также между крутящим моментом и перепадом давления (управление режимом бурения).
2. Рабочие элементы должны быть износо- и термостойкими, обеспечивающими возможность использование требуемого бурового раствора, в том числе с наполнителями.
3. Компоновка двигателя и проектные запасы прочности обеспечивают: стойкость двигателя для стабильной работы с современными долотами, возможность искривления корпуса для нужд ННБ, возможность установки опорно-центрирующих элементов на корпусе.
4. Размеры двигателя обеспечивают сооружение заданного интервала скважины без осложнений.

Схема винтового забойного двигателя

ВИНТОВОЙ ЗАБОЙНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ - это разновидность забойной гидравлической машины, в которой для преобразования энергии потока промывочной жидкости в механическую энергию вращательного движения использован винтовой механизм.



1 - статор; 2 - ротор; 3 - двухшарнирное соединение; 4 - вал шпинделя; 5 - корпус; 6 -шариковая осевая опора; 7 - радиальный подшипник; 8 - торцевой сальник.

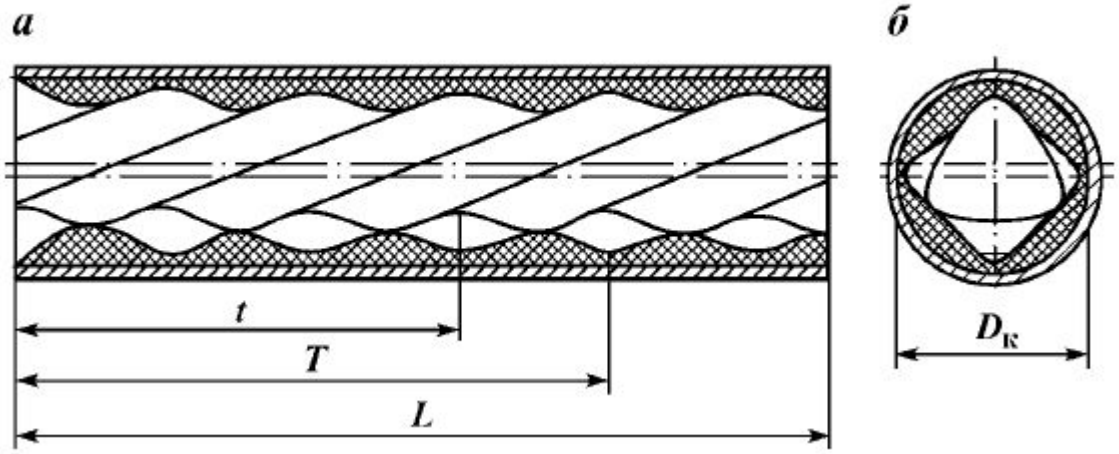
Винтовой забойный двигатель: конструкция, принцип работы

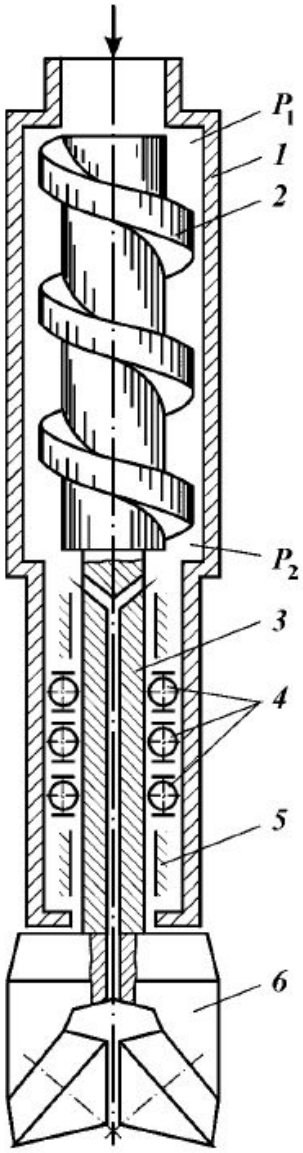
Рабочие органы:

-Ротор-винт

-Статор с полостями, примыкающими к камерам высокого и низкого давления

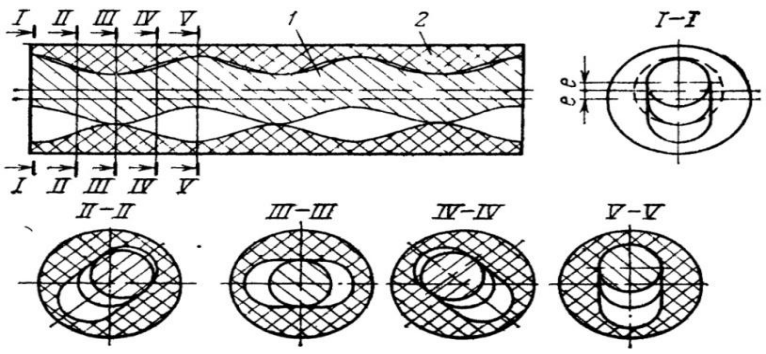
-Замыкатели-винты (уплотнение двиагателя)

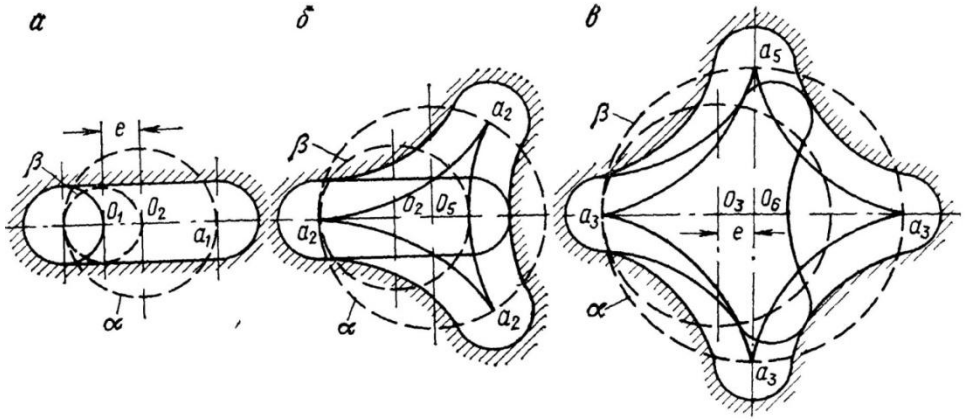




1 –корпус, 2 – ротор, 3 – вал, 4 – осевые подшипники, 5- радиальный подшипник, 6- долото

Рабочие органы ВЗД. Заходность.





1 - винтовой ротор;
2 - статор;
I-V - осевые сечения.

а - однозаходный,
б- двухзаходный,
в - трехзаходный,

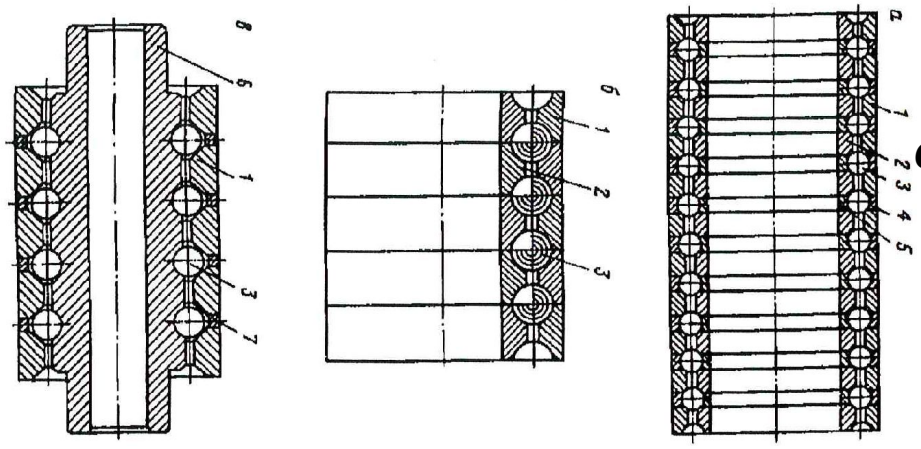
СТАТОР - это резинометаллическая деталь, состоящая из металлического корпуса и привулканизированной к нему резиновой обкладки. Внутренняя часть обкладки представляет собой зубчатый венец с винтовыми зубьями.

РОТОР - представляет собой многозаходный винт с нарезкой специального профиля, выполняемый из конструкционной или

Винтовой забойный двигатель: конструкция, принцип работы

Шпиндель передает крутящий момент и осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент, воспринимает реакцию забоя и гидравлическую осевую нагрузку, действующую в РО, а также радиальные нагрузки от долота и шарнирного соединения.

Шпиндель включает монолитный полый вал, соединенный в нижней части с долотом посредством наддолотного переводника, а в верхней части с помощью муфты - с шарниром.

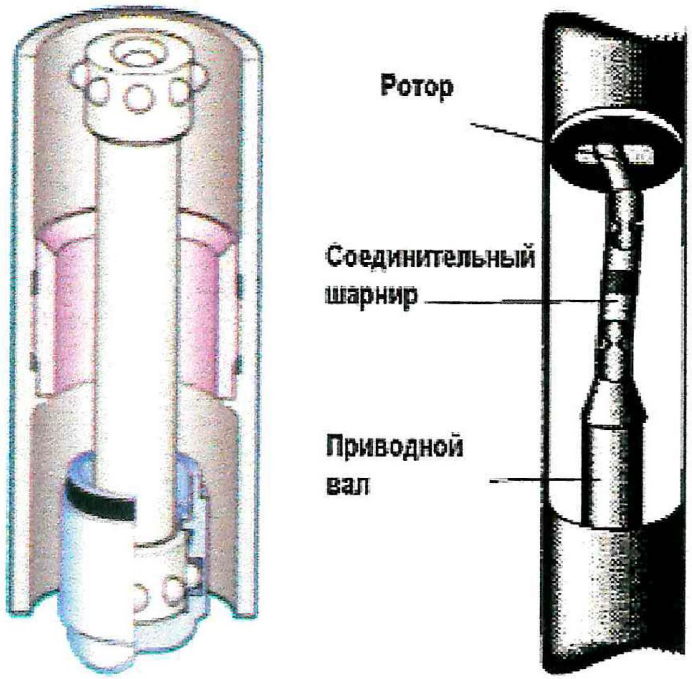


Упорно-радиальные подшипники: а - с коническими дорожками качения, б — с тороидными дорожками качения, в - с комбинированными дорожками качения; 1-наружнее кольцо, 2-внутреннее кольцо, 3-шар, 4,5-распорные втулки, 6-вал, 7-проставочное кольцо

Винтовой забойный двигатель: конструкция, принцип работы

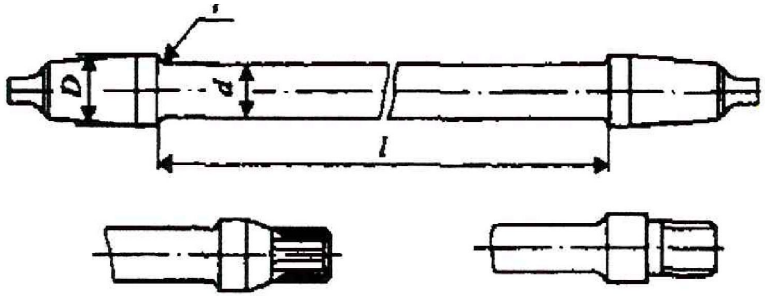
Шарнирные соединения

Корпусные шарнирные соединения используются в компоновках ВЗД, как правило, при бурении горизонтальных скважин по малому и среднему радиусам.



Гибкие валы

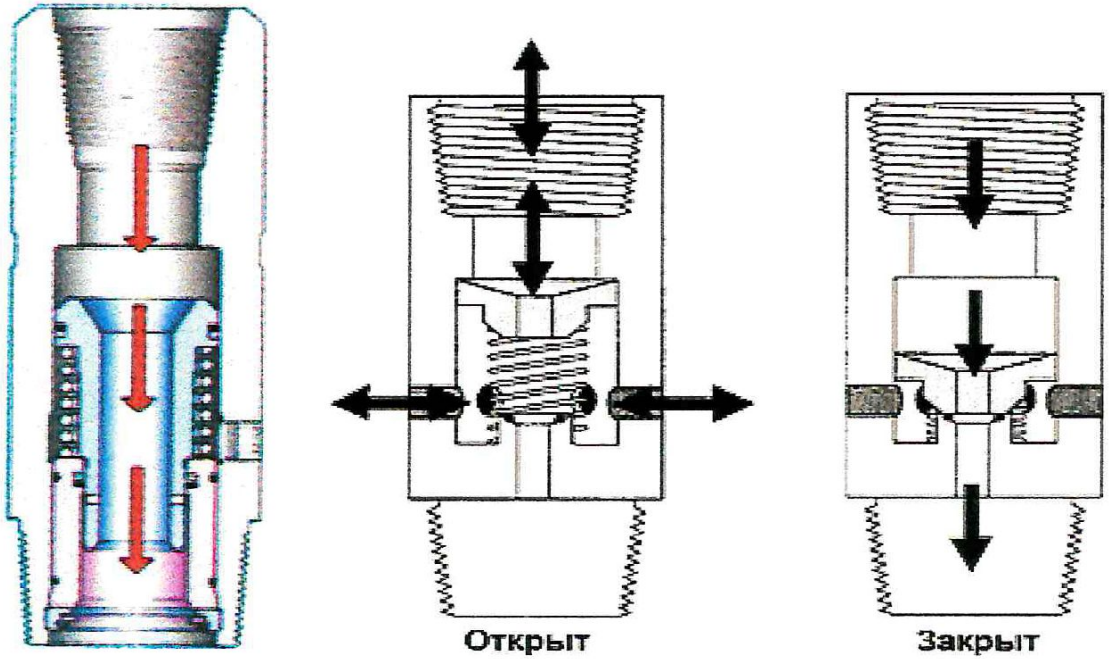
Гибкий вал представляет собой металлический стержень круглого сечения с утолщенными концами. На концах предусмотрено выполнение присоединительных элементов: гладкого конуса, конической резьбы или шлица.



Винтовой забойный двигатель: конструкция, принцип работы

Переливной клапан

Переливной клапан предназначен для сообщения внутренней полости бурильной колонны с затрубным пространством при спускоподъемных операциях. Применение клапана уменьшает гидродинамическое воздействие на забой, а также устраняет холостое вращение двигателя.

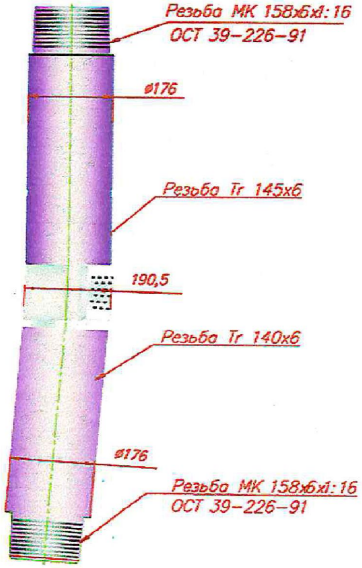


Винтовой забойный двигатель: конструкция, принцип работы

Кривой переводник

Представляет собой корпусной переводник с ниппельными резьбами по концам, оси которых смещены на определенный угол (до 4°).

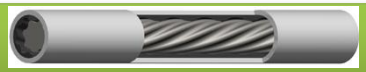
Регулятор угла



Сконструирован по принципу поворота двух сопряженных цилиндрических элементов, имеющих косой срез

Винтовой забойный двигатель

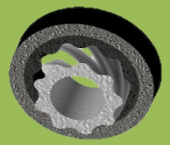
Двигательная секция



Рабочая пара

Ротор

Статор

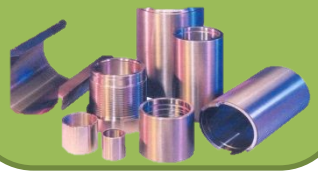


Шпиндельная секция

Карданный вал и шпиндель

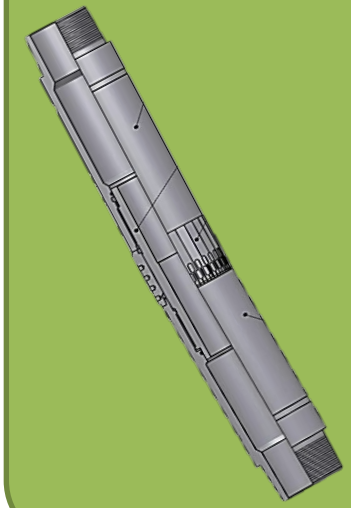
Осевые подшипники

Радиальные опоры



Регулятор угла

Верхний, нижний переводник, сердечник, зубчатая муфта



Дополнительные узлы

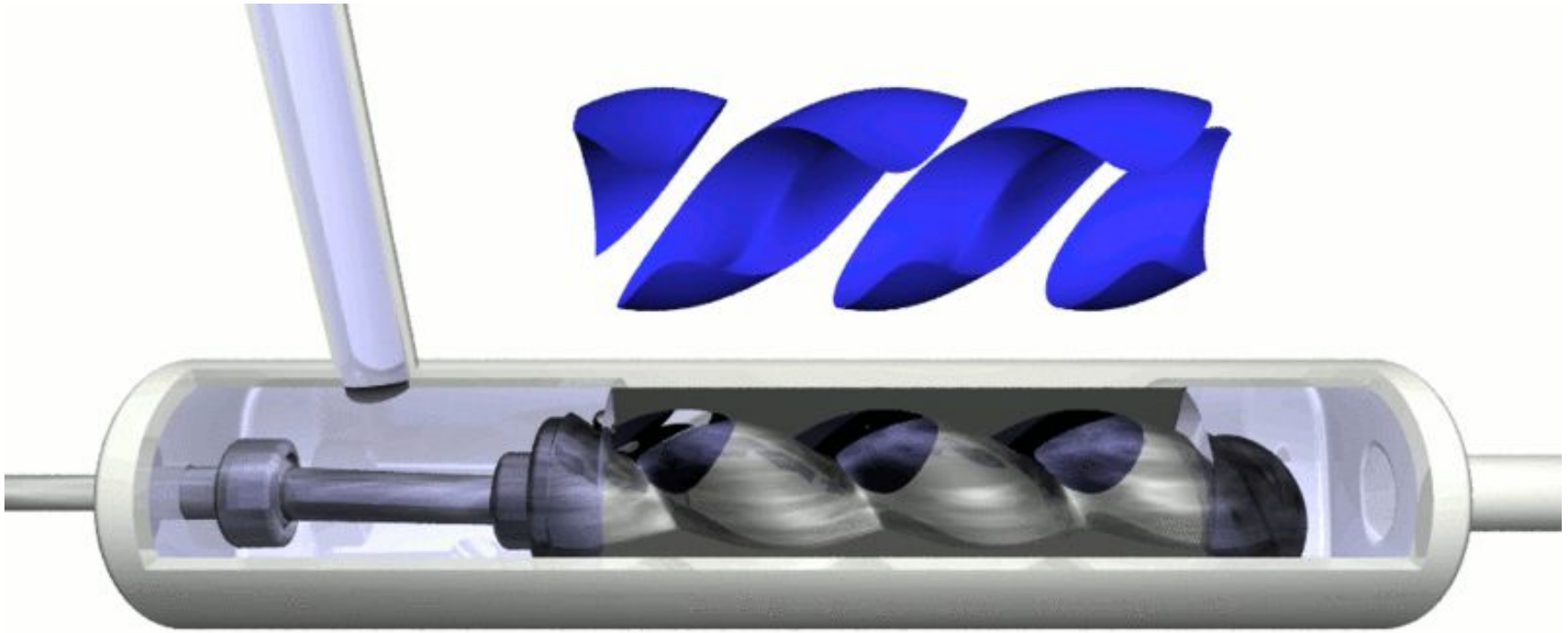
Предохранительный переводник

Клапан обратный

Клапан переливной

Центратор

Винтовой забойный двигатель: конструкция, принцип работы



Винтовой забойный двигатель: конструкция, принцип работы

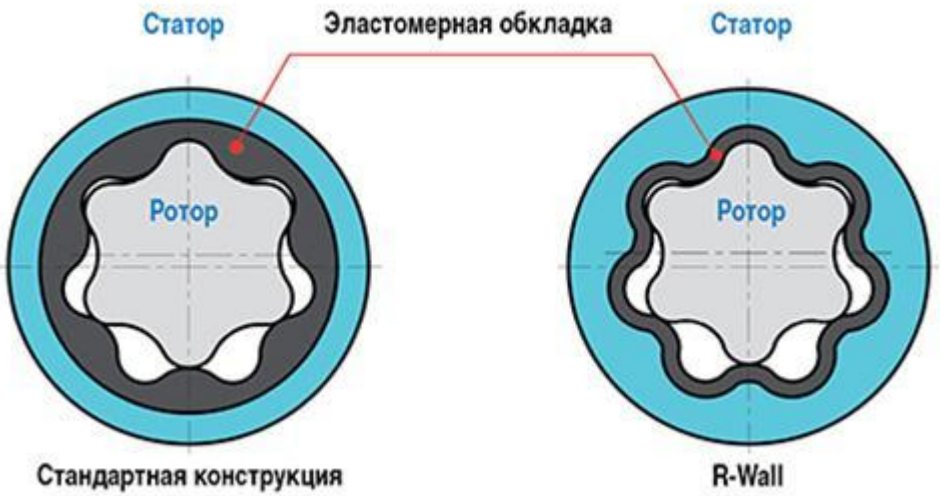
Шпиндельная секция

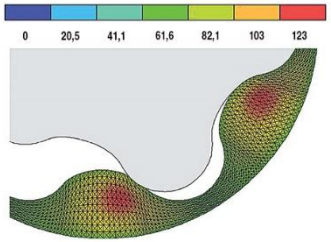
Винтовой забойный двигатель: классификация

- Общего назначения
- С раздельным потоком
- Для наклонно-направленного и горизонтального бурения
- Для ремонта скважин
- Для отбора керна

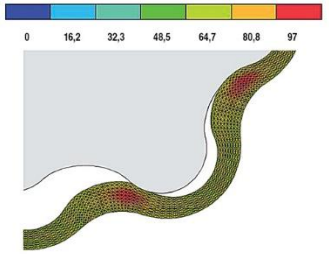
Классификация **Балденко Ф.Д.** и **Гоноевых А.Н.** по **17 признакам**: по кратности действия рабочих органов; по кинематике рабочих органов; по конструктивной компоновке; по конструкции силовой секции; по характеру распределения потока рабочей жидкости; по конструкции ротора рабочих органов; по конструкции узла соединения ротора и вала шпинделя; по типу осевой опоры в шпинделе; по конструкции уплотнения вала шпинделя; по назначению; по наружному диаметру; по термостойкости; по частоте вращения выходного вала; по типу механизма искривления; по роду рабочего реагента; по типу зацепления профилей рабочих органов.

Винтовой забойный двигатель: конструкция, принцип работы

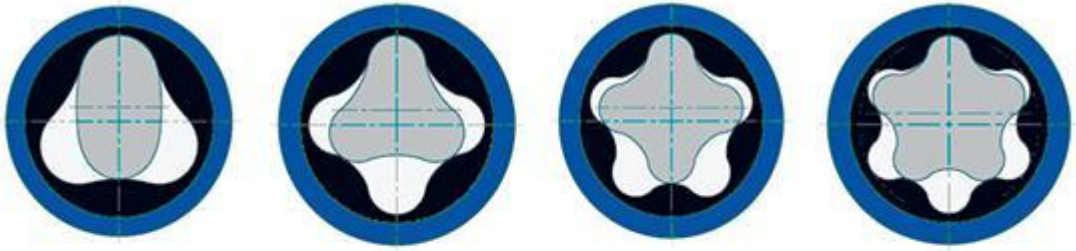




Разогрев обкладки статора «традиционной» двигательной секции 5/6, max t = 123°C



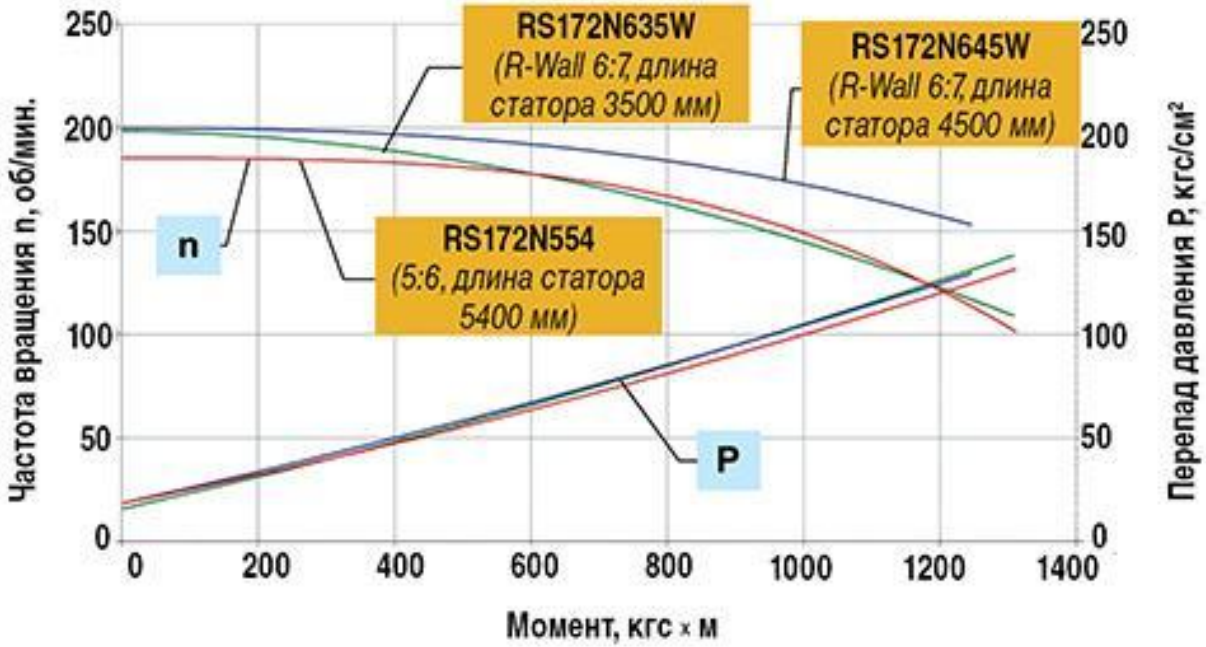
Разогрев обкладки статора R-Wall RS172N645W, max t = 96°C



Остов статора R-Wall

Заходность двигателя – соотношение витков на роторе и статоре

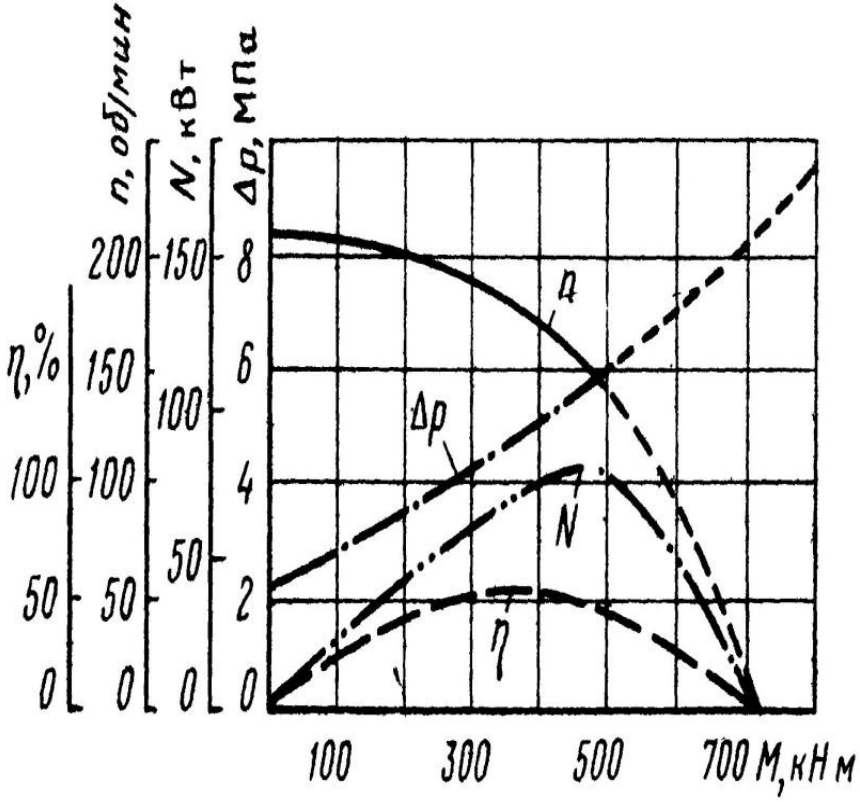
Винтовой забойный двигатель: энергетические характеристики



С заходностью 1:2	Многогребневые ВЗД
Высокая скорость	Низкая скорость
Низкий крутящий момент	Высокий крутящий момент
Низкие скорости потока	Более высокие скорости потока
Низкая потеря давления на двигателе	Более высокая потеря давления на двигателе
Низкая потеря давления на долоте	Более высокая потеря давления на долоте
Малый эффективный вес на долото	Более высокий предел нагрузки на долоте
Необходимы высокоскоростные долота	Можно применять шарошечные долота

Техническая характеристика

Абсолютно **жесткая характеристика** - скорость вращения двигателя остается неизменной при изменении нагрузки двигателя в пределах от нуля для номинальной.



Энергетические параметры винтового гидравлического двигателя определяются его передаточным отношением, перепадом давления и расходом рабочей жидкости. При постоянном расходе *Q* двигатель характеризуется изменением вращающего момента *M* от перепада давления Δp , частоты вращения *n* вала шпинделя, мощности *N* и коэффициентом полезного действия η

Выявление отказа ВЗД и его причины

Не запуск нового или отремонтированного двигателя над устьем скважины	Повышение давления в нагнетательной линии при работе двигателя в скважине (при отрыве от забоя давление не снижается)	Снижение МСП; двигатель плохо принимает осевую нагрузку	Снижение давления в нагнетательной линии, остановки двигателя при осевом нагружении, отсутствие проходки
1. Большой натяг резины в рабочей паре 2 Отслоение или повреждение резиновой обкладки статора 3. Заклинивание шарнира кардана 4. Неисправен шпиндель	1. Засорение фильтра под рабочей трубой 2. Зашламование двигателя 3. Попадание посторонних предметов в рабочую пару и повреждение резиновой обкладки статор	1. Износ рабочих органов (ротора и статора) 2 Износ осевой и радиальных опоры шпинделя 3. Проворот пакета опор в шпинделе вследствие неправильной сборки, регулировки и закрепления 4. Нет герметичность переливного клапана	1. Промыв переливного клапана 2. Износ рабочих органов 3. Выход из строя шарниров (расцепление ротора с валом шпинделя)

Турбовинтовой забойный двигатель: история

1970 г. – первая схема турбовинтового агрегата предложена коллективом ВНИИБТ в составе Гусмана М.Т., Балденко Д.Ф., Кочнева А.М., Никомарова С.С.

Особенности: высокая стойкость свойственная турбобурам и оптимальная энергетическая характеристика характерная для ВЗД (высокий уровень отношения M/n при незначительном падении частоты вращения при нагрузке двигателя).

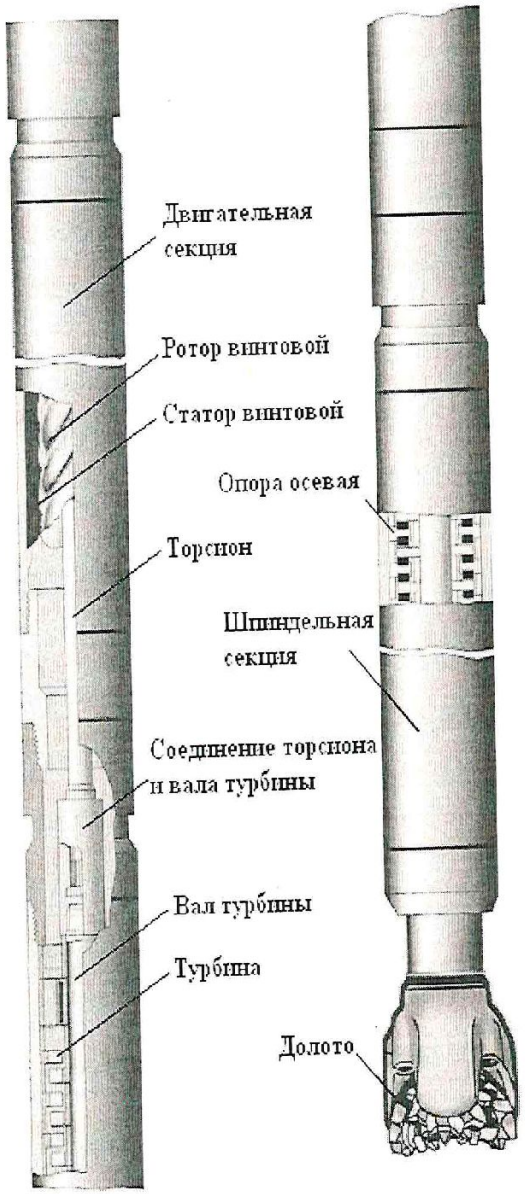
Турбовинтовой двигатель – редукторный турбобур с редуктором в виде винтовой пары.

Исполнение

Винтовая пара монтируется над турбинной секцией

Винтовая пара монтируется между турбинными секциями

Турбовинтовой забойный двигатель: история



Универсальные турбинно-винтовые двигатели типа ТПС - У

Турбинно-винтовые забойные двигатели типа ТПС-У состоят из взаимозаменяемых двух или трех турбинных секций, шпиндельной секции с осевой опорой и преобразователя частоты вращения выходного вала (винтовая пара «статор» - «ротор»).

Унифицированные модульные турбинно - винтовые двигатели 2ТУ240КД

Нижняя секция двигателя представляет собой односекционный турбобур ТУ240. Средняя секция двигателя конструктивно выполняется аналогично серийной турбине. Верхняя секция двигателя является активным тормозным модулем, содержащим в одном корпусе турбинную часть и рабочие органы винтового забойного двигателя, соединяющиеся с помощью съемного торсиона.

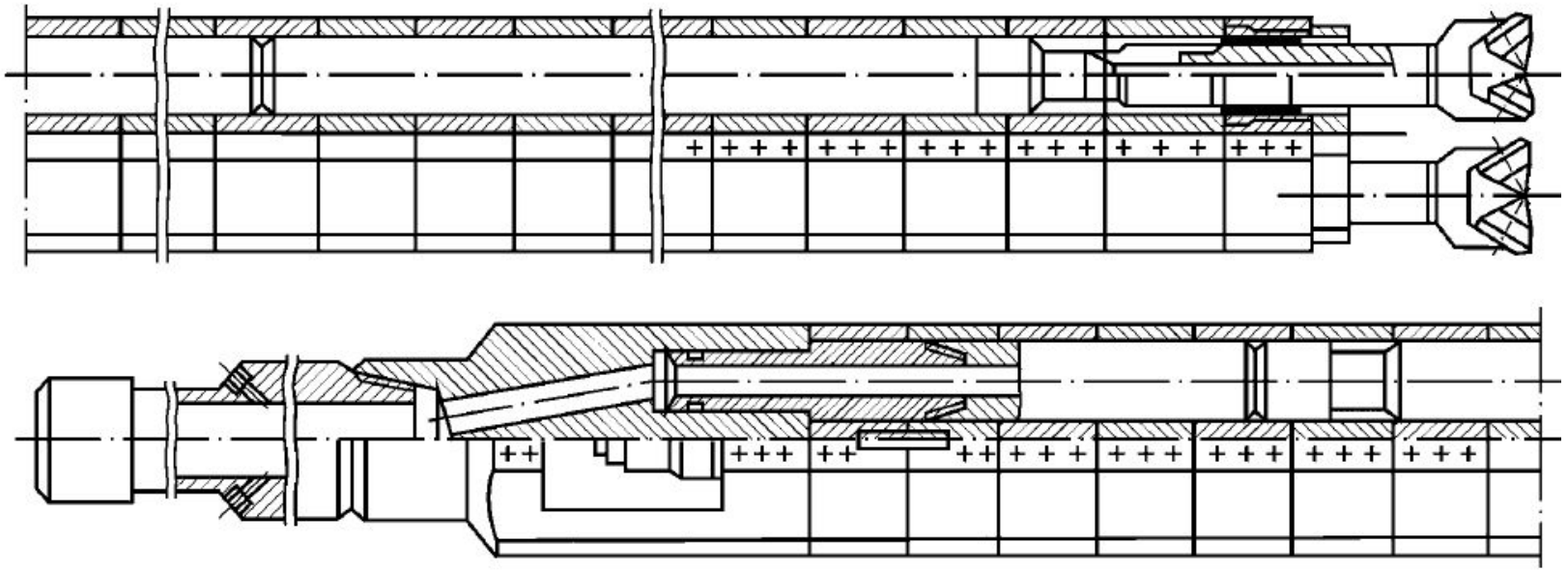
Модульные турбинно-винтовые двигатели ТНВ

Конструктивно двигатели ТНВ выполнены на базе трех узлов: шпинделя, турбинной секции и винтового модуля. Конструкцией предусмотрены различные варианты агрегатирования указанных узлов.

Роторно-турбинный бур, реактивно-турбинный бур

Область применения: бурение скважин 394-640 мм (роторно-турбинные буры) и 760-2600 мм (реактивно-турбинные буры).

Конструкция: верхняя секция с шпинделя турбобура, используется параллельно несколько турбобуров

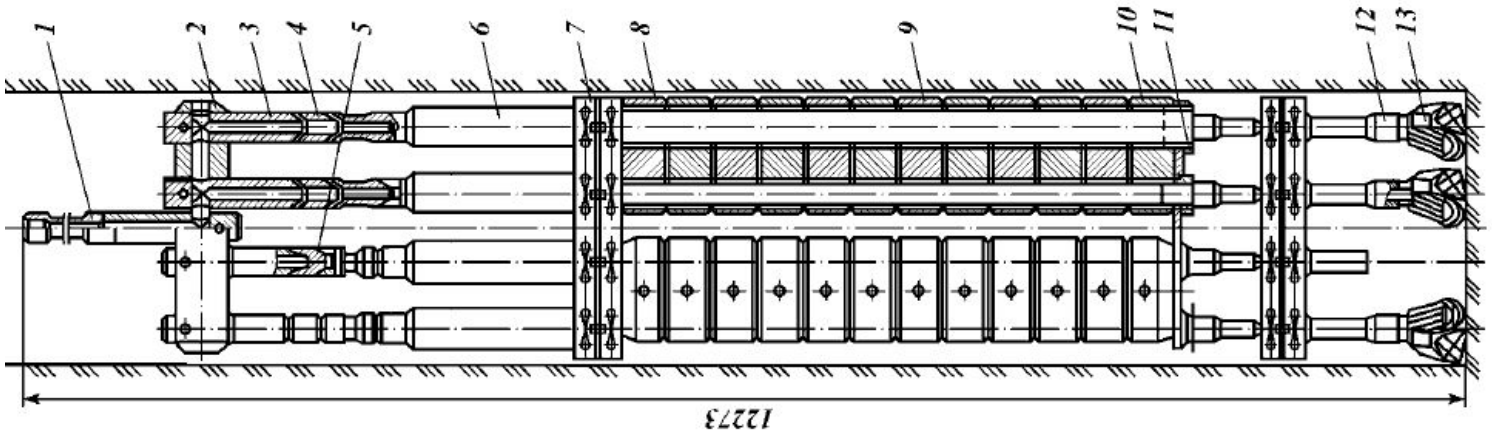


Роторно-турбинный бур

Роторно-турбинный бур, реактивно-турбинный бур

Область применения: бурение скважин 394-640 мм (роторно-турбинные буры) и 760-2600 мм (реактивно-турбинные буры).

Конструкция: верхняя секция с шпинделя турбобура, используется параллельно несколько турбобуров



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

Реактивно-турбинный бур

Спасибо за внимание!!!