

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Институт природных ресурсов
Кафедра бурения скважин



Технология бурения нефтяных и газовых скважин

*Курс
лекций*

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

Томск-2017 г.



Лекция №4.1

Забойные двигатели:

- Типы, классификация, устройство***
- Проектирование и расчет забойных двигателей для сооружения скважины***

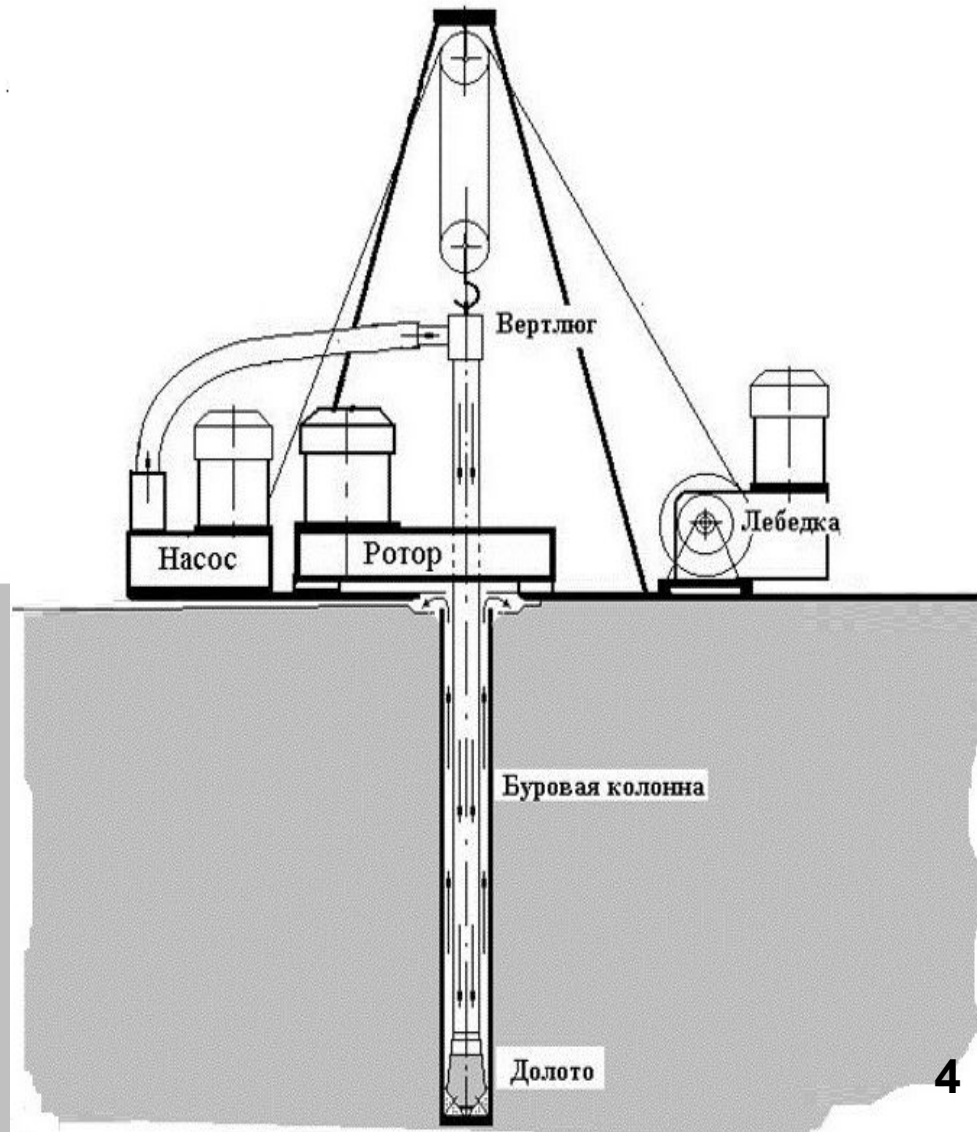
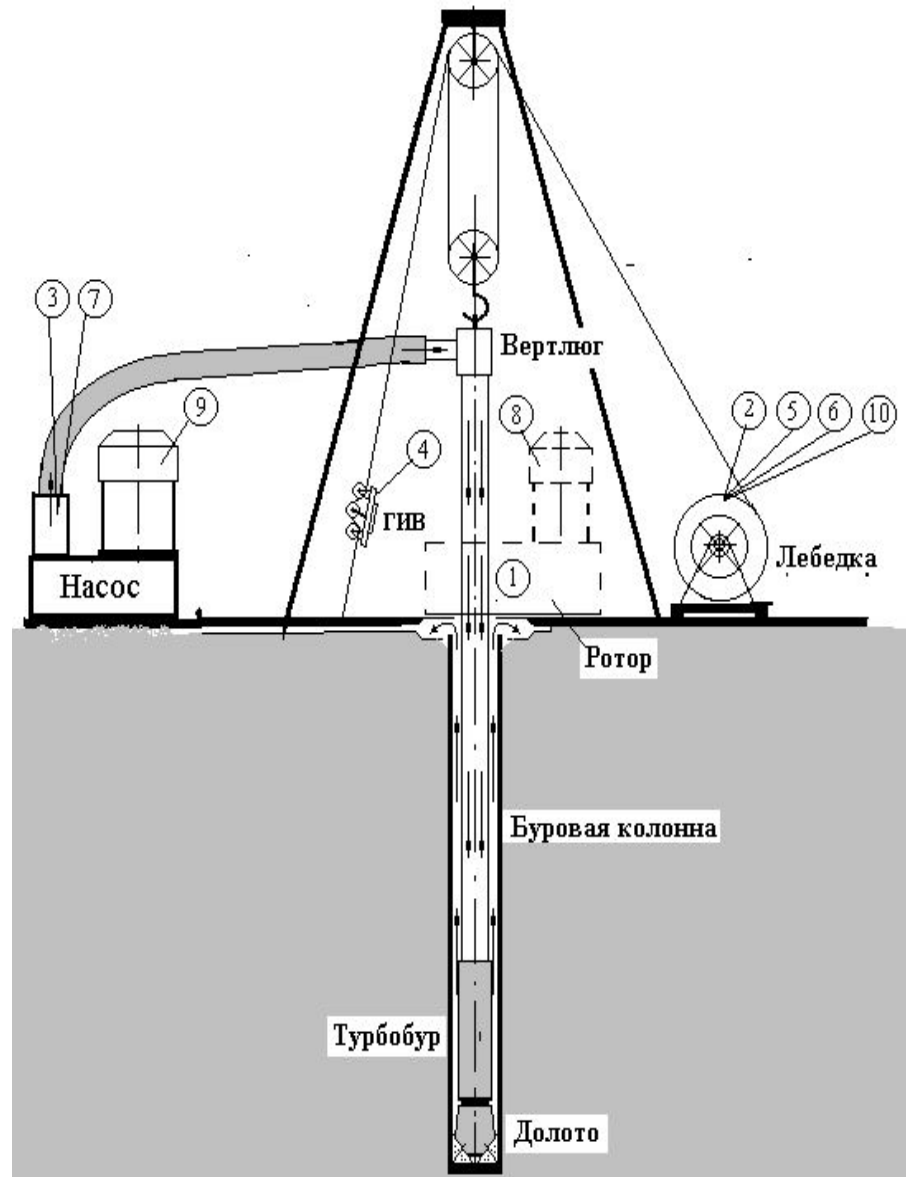


ТЕМА 1.

Способы подачи энергии к долоту

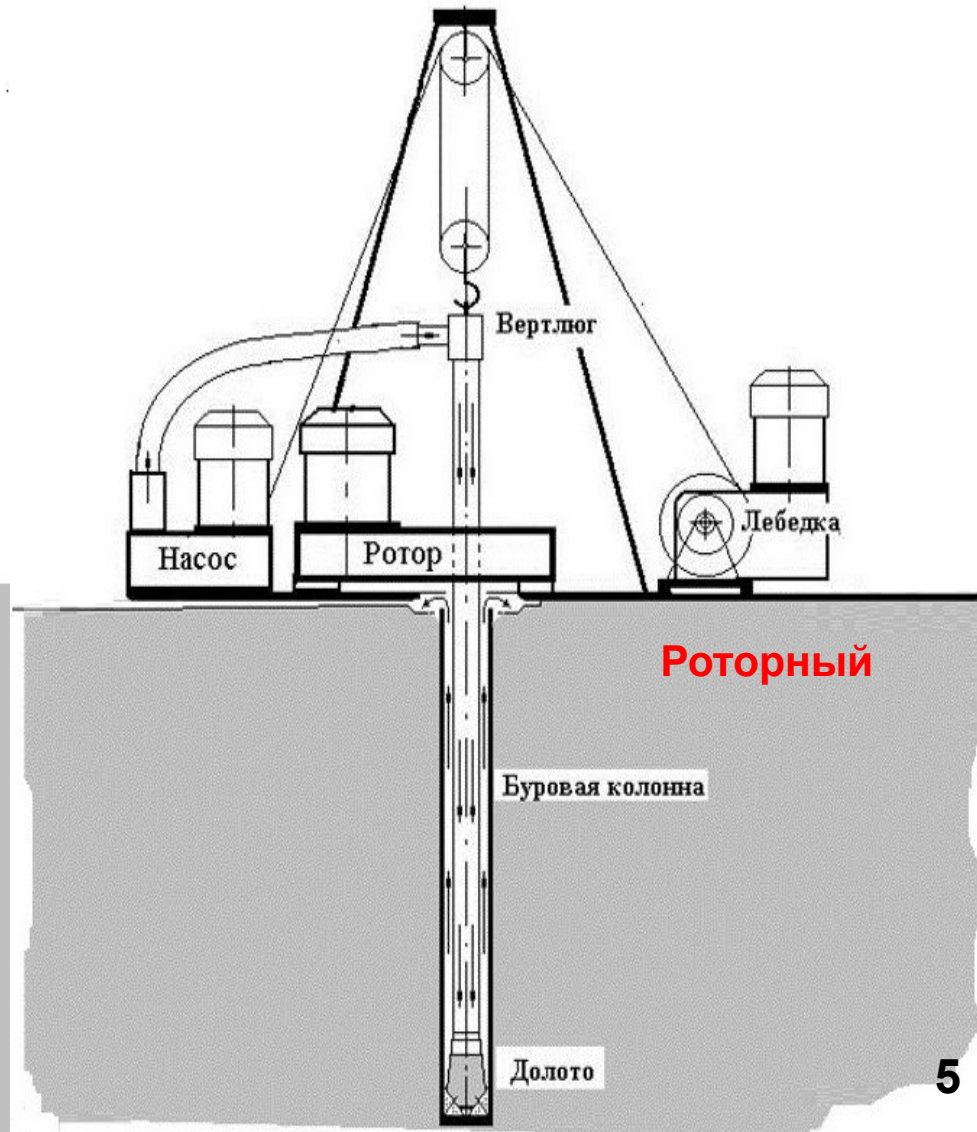
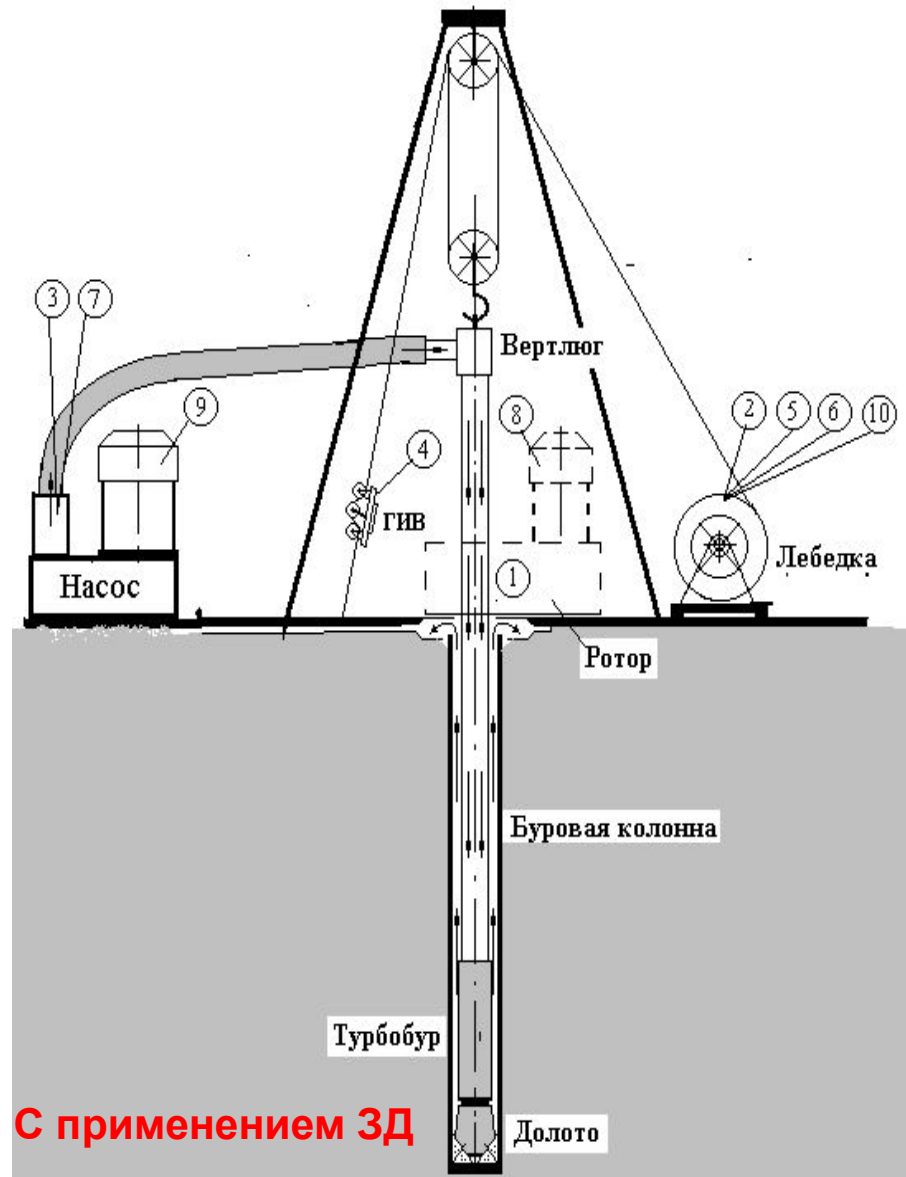


Какие способы подачи энергии к долоту существуют?





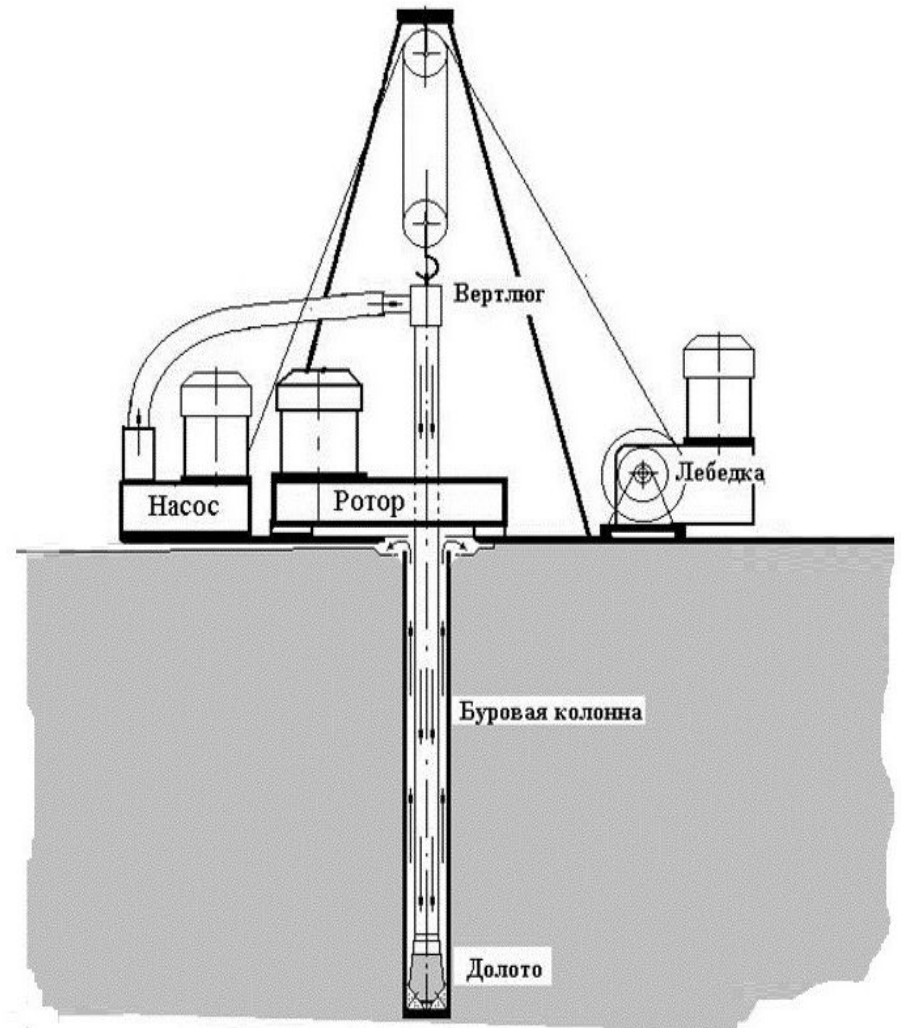
Какие способы подачи энергии к долоту существуют?





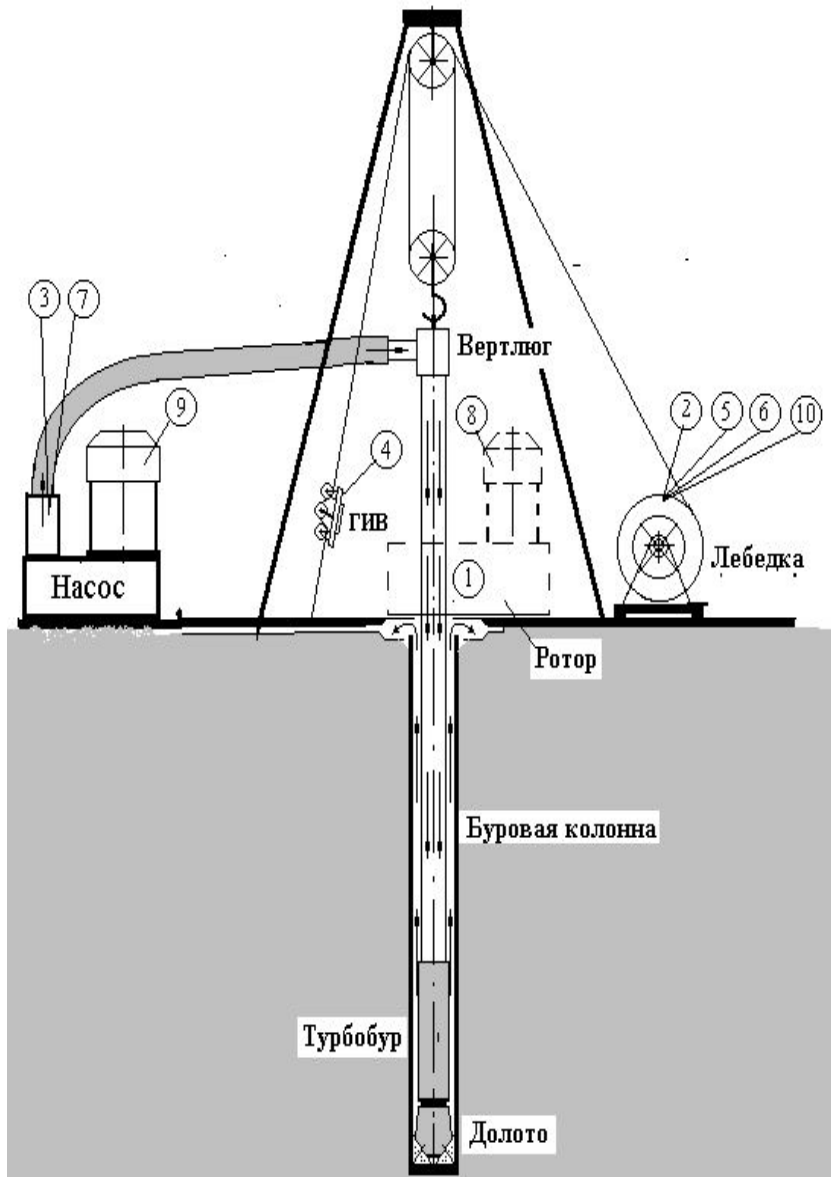
Роторное бурение

- 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 $1,7 \text{ г/см}^3$, большой вязкости и большого СНС.
- Бурение скважин с продувкой забоя воздухом и промывкой азрированной жидкостью с высокой степенью азрации.
- Бурение скважин в условиях высоких забойных температур более 150°C





Бурение с применением ГЗД



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



ТЕМА 2.

Типы, классификация, устройство забойных двигателей



Что такое забойный двигатель?





Что такое забойный двигатель?



Забойный двигатель (а. 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.



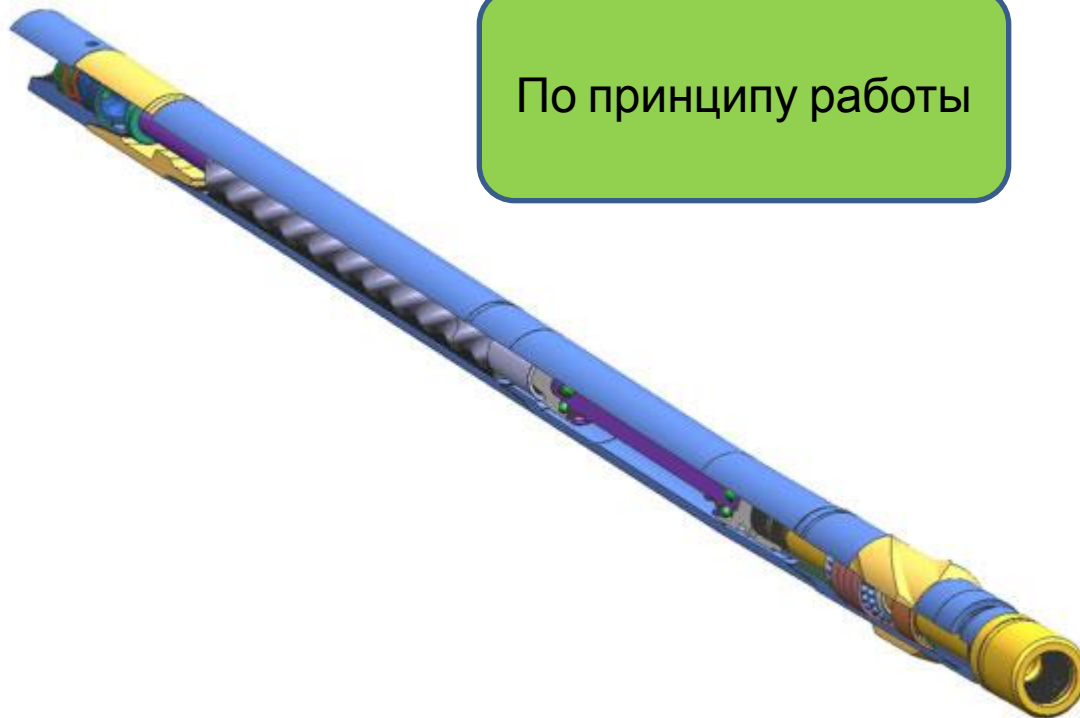
Классификации забойных двигателей

По типу
энергоносителя

По особенностям
ПРИ

По конструкции

По принципу работы



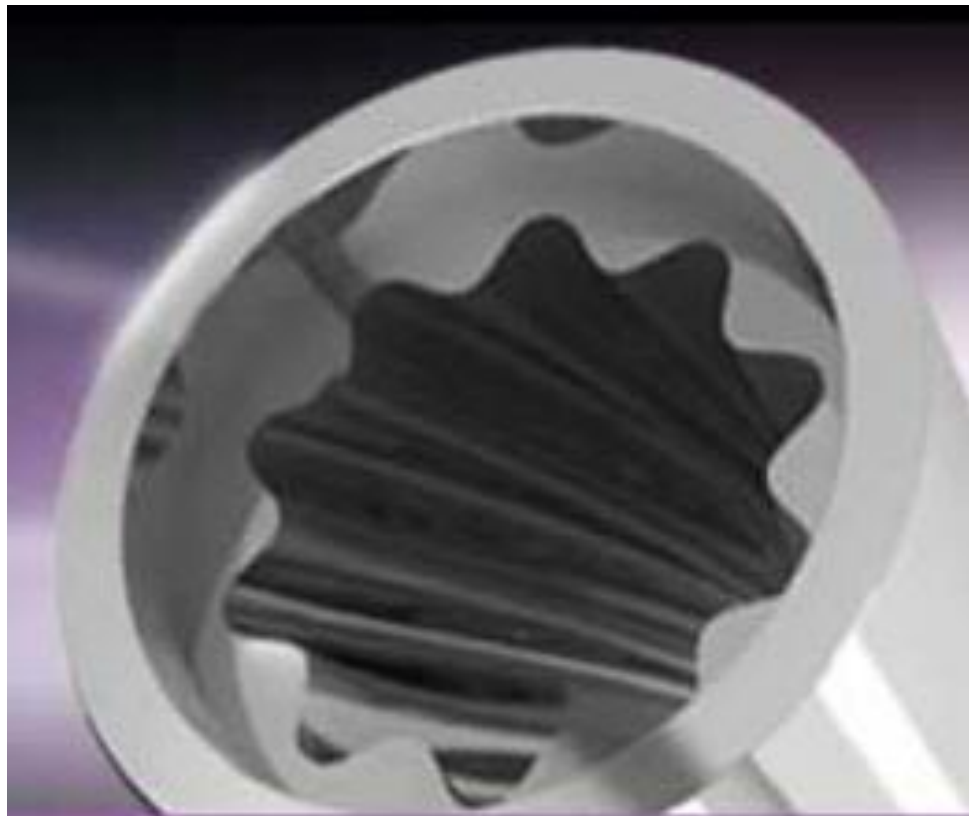
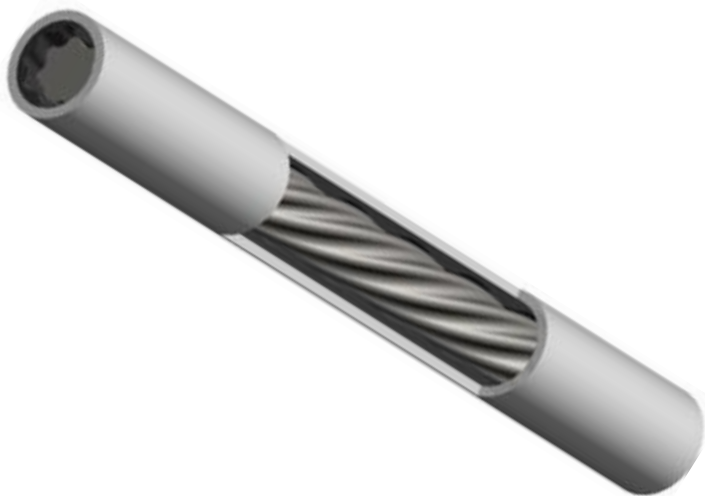


Классификации забойных двигателей

По типу ПРИ

для бурения сплошным
забоем

для колонкового бурения





Классификации забойных двигателей

По принципу работы

вращательные

ударные





Классификации забойных двигателей

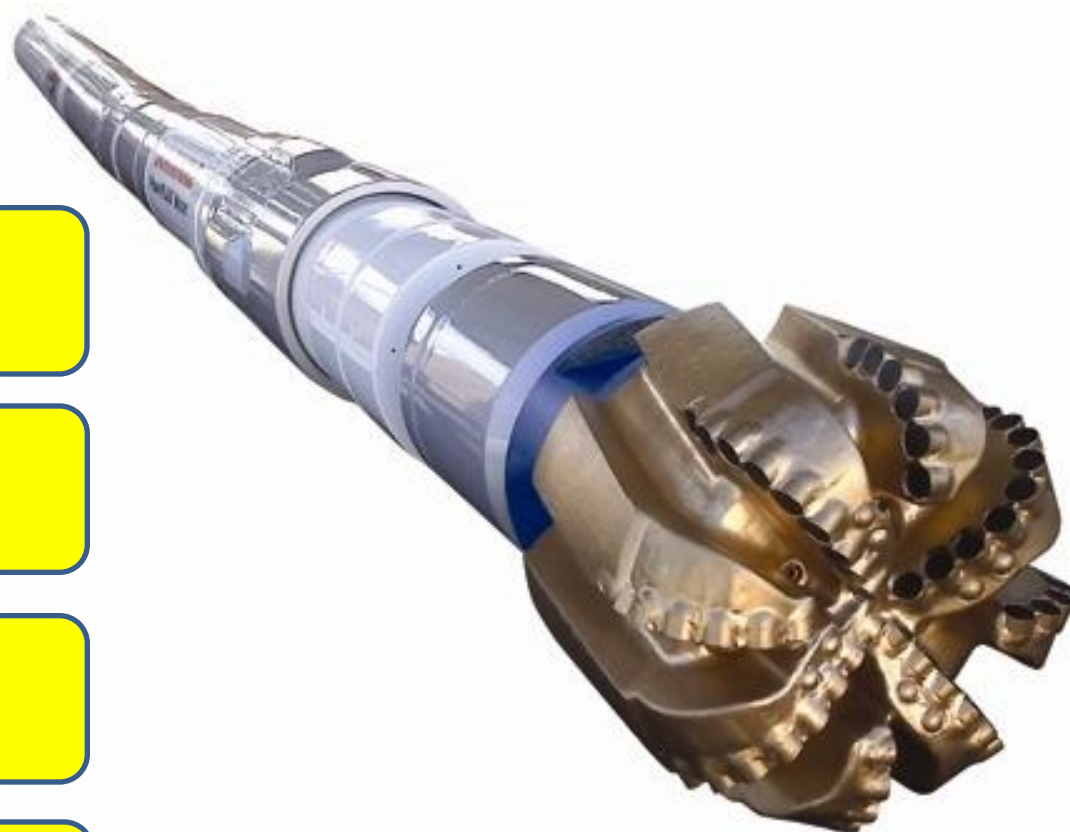
По конструкции

одинарные

секционные

шпиндельные

редукторные





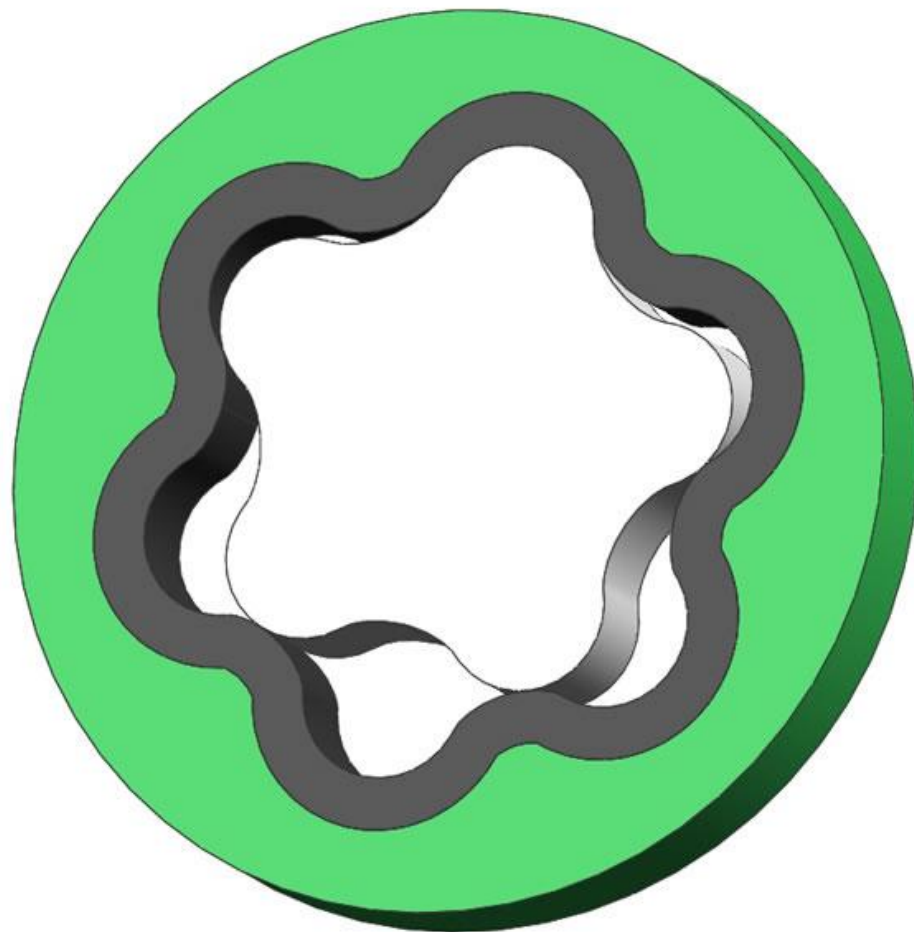
Классификации забойных двигателей

По типу
энергоносителя

гидравлические

пневматические

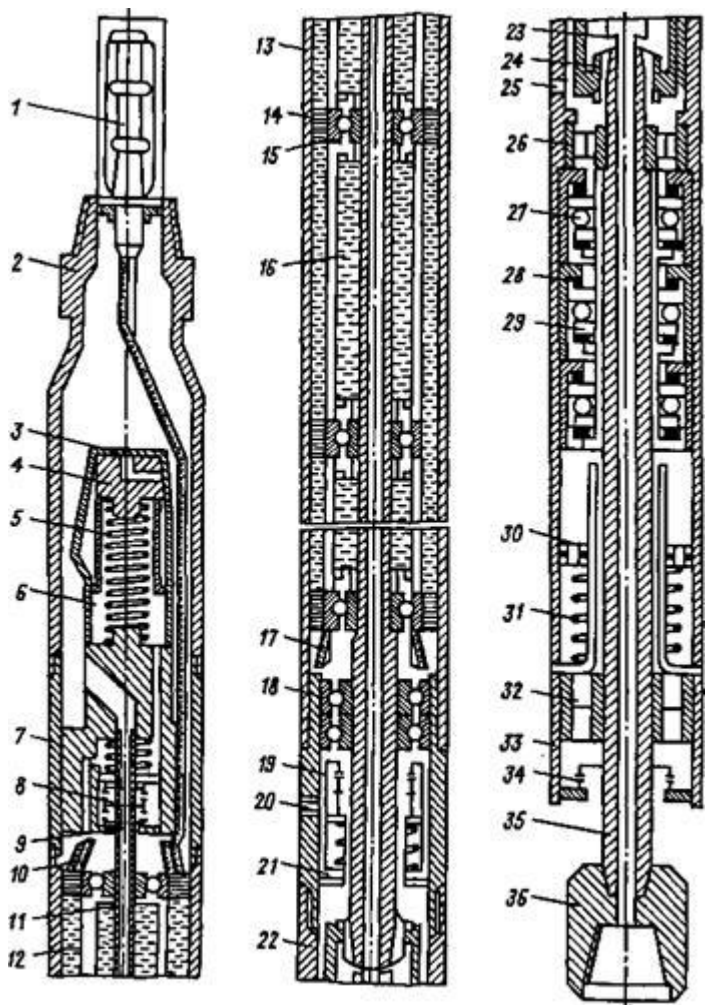
электрические





Электробур: конструкция, принцип работы

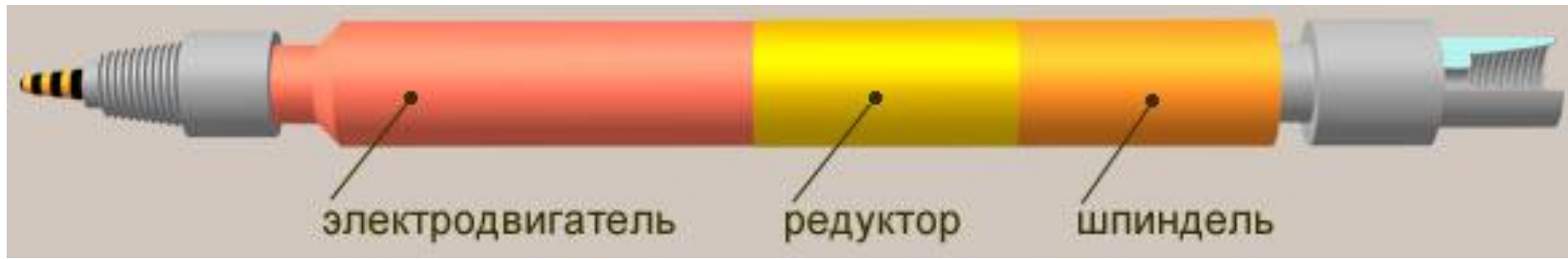
1950-1960 – изобретен электобур



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 — втулка; 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 на 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.

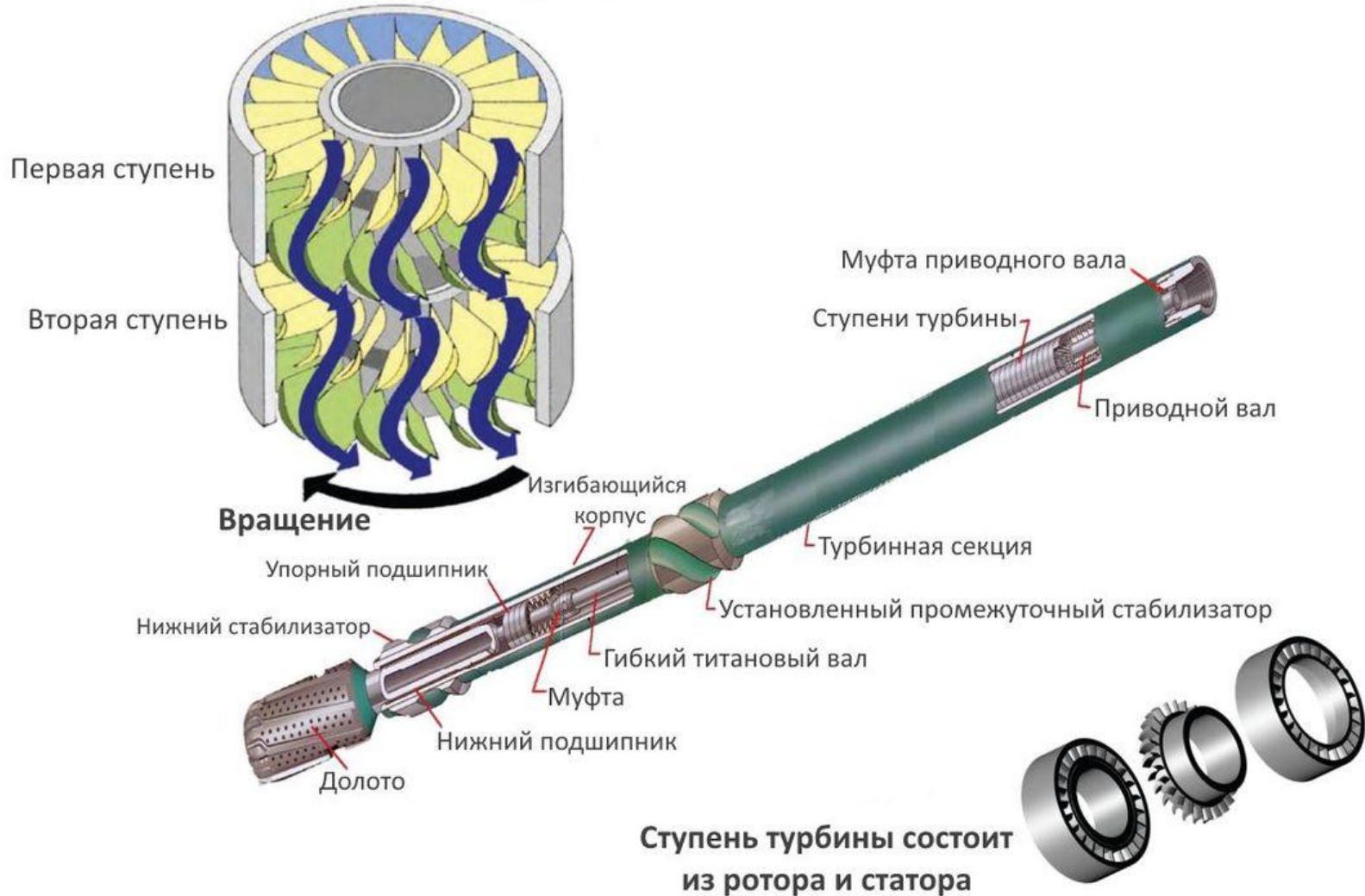
Конец **1950-х** гг. – работы по разработке опоры качения турбобура.

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



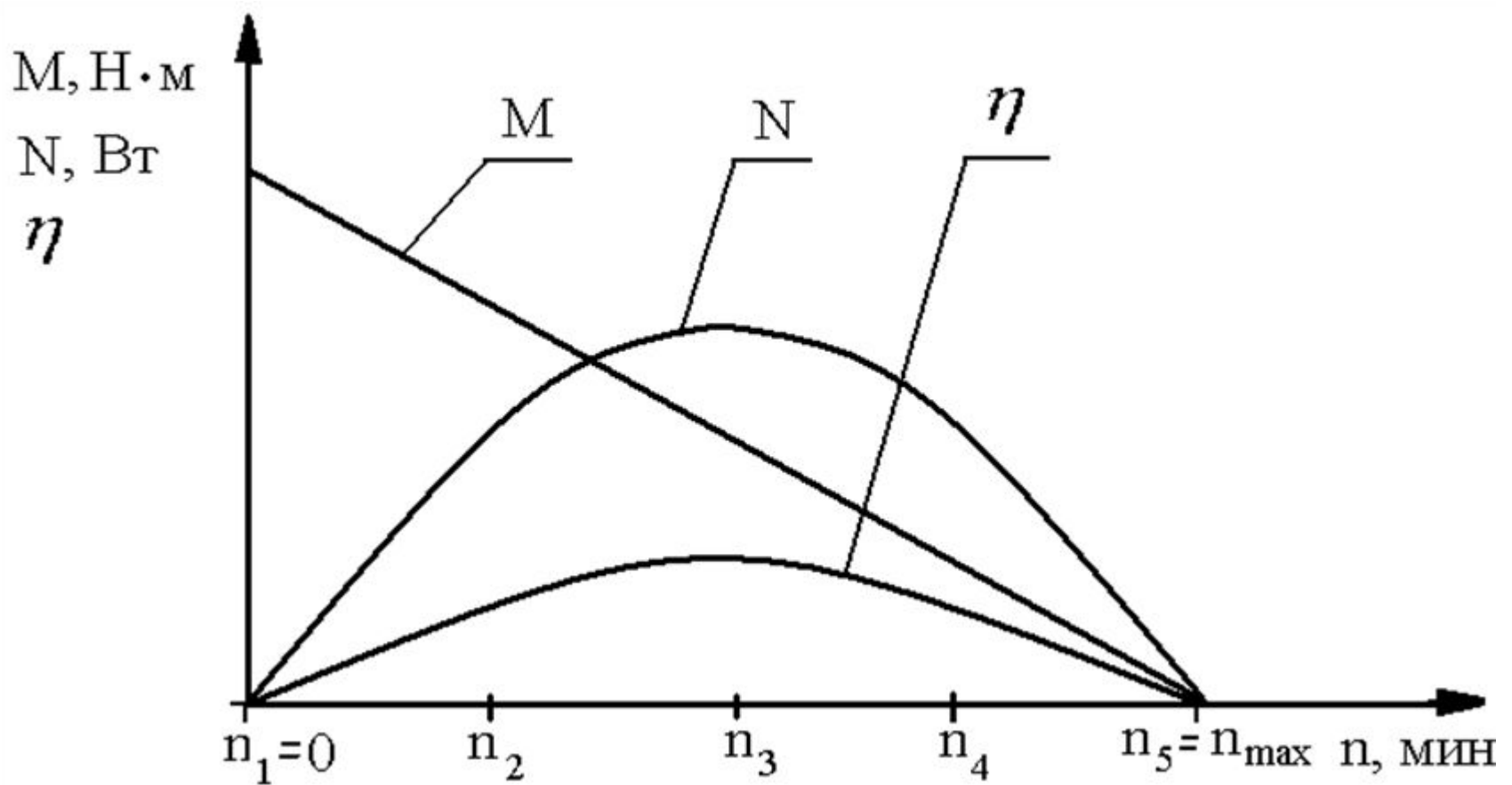
Турбобур: конструкция, принцип работы

Поток жидкости через турбину





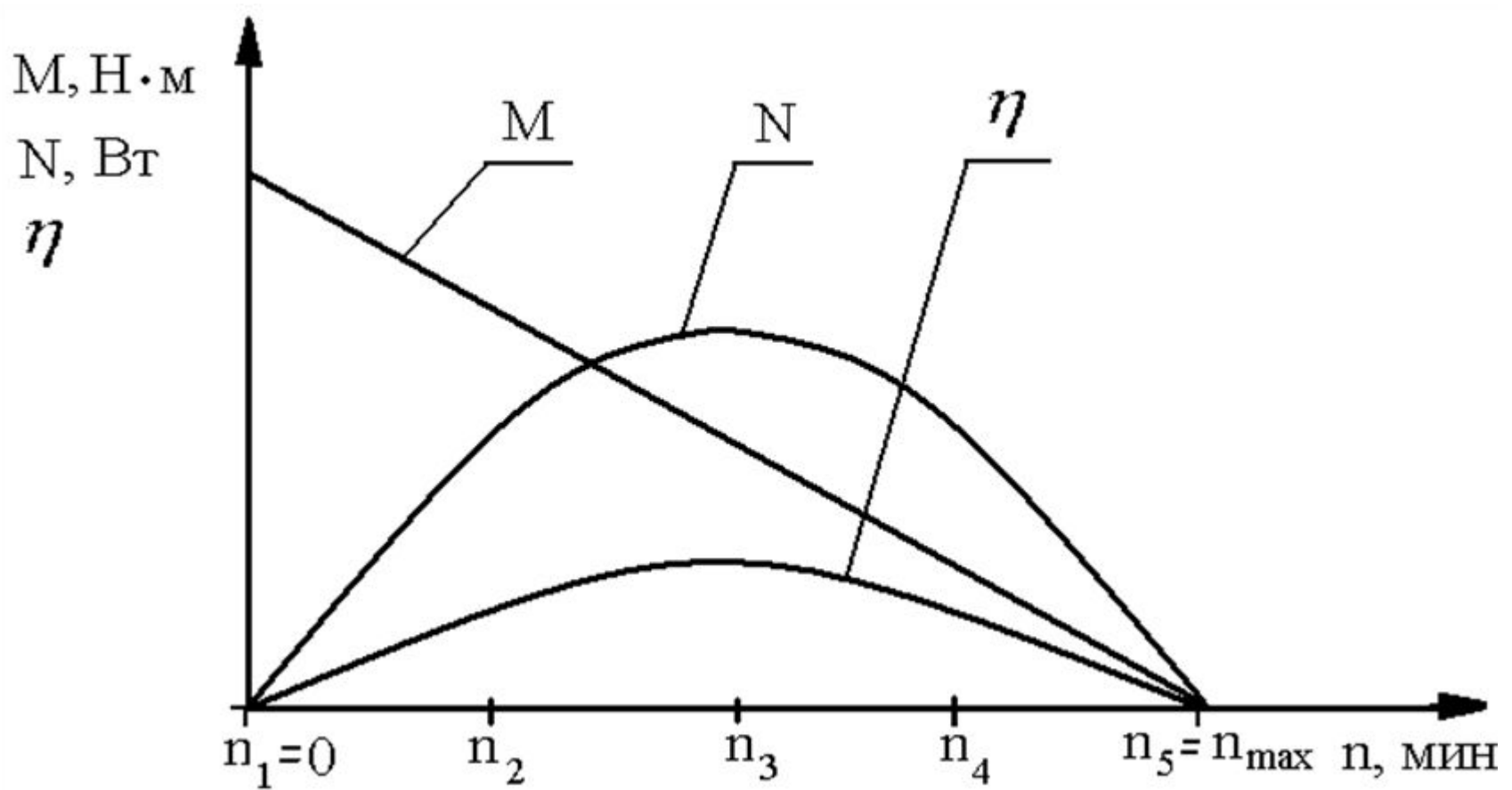
Турбобур: характеристика



Какой тип механической характеристики у турбобура?



Турбобур: характеристика



Мягкая механическая характеристика – с изменением момента сильно изменяется скорость.



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

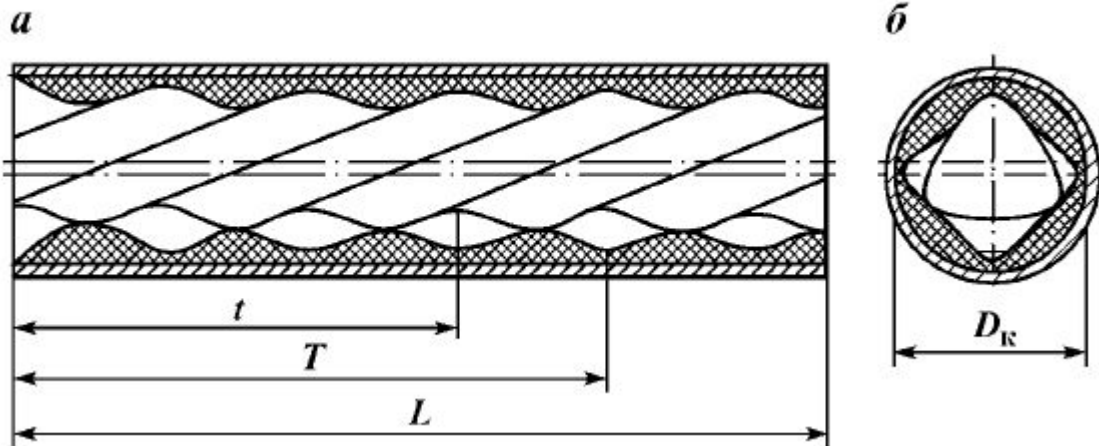
1. Характеристики ВЗД должны обеспечивать высокий уровень крутящего момента, требуемую частоту вращения инструмента (для шарошечных долот 100-300 об/мин и для алмазных – 500-800 об/мин), высокий КПД двигателя (использование мощности насосов), пропорциональная зависимость между расходом и частотой вращения, а также между крутящим моментом и перепадом давления (управление режимом бурения).
2. Рабочие элементы должны быть износо- и термостойкими, обеспечивающими возможность использования 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.



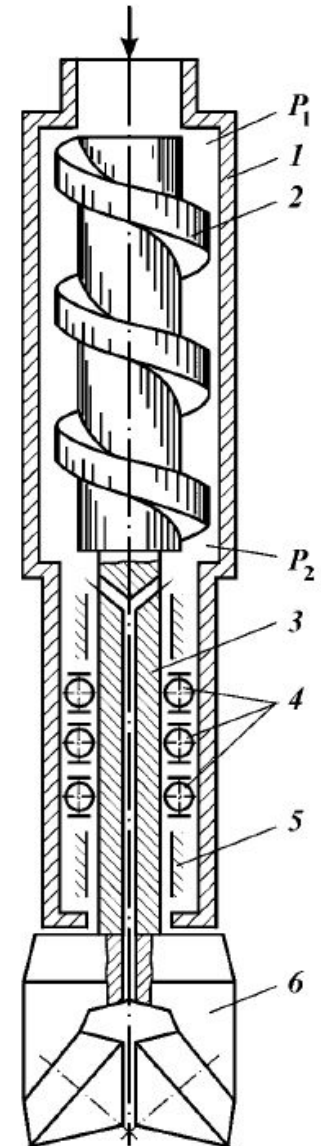
Винтовой забойный двигатель: конструкция, принцип работы

Рабочие органы:

- Ротор-винт
- Статор с полостями, примыкающими к камерам высокого и низкого давления
- Замыкатели-винты (уплотнение двигателя)



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



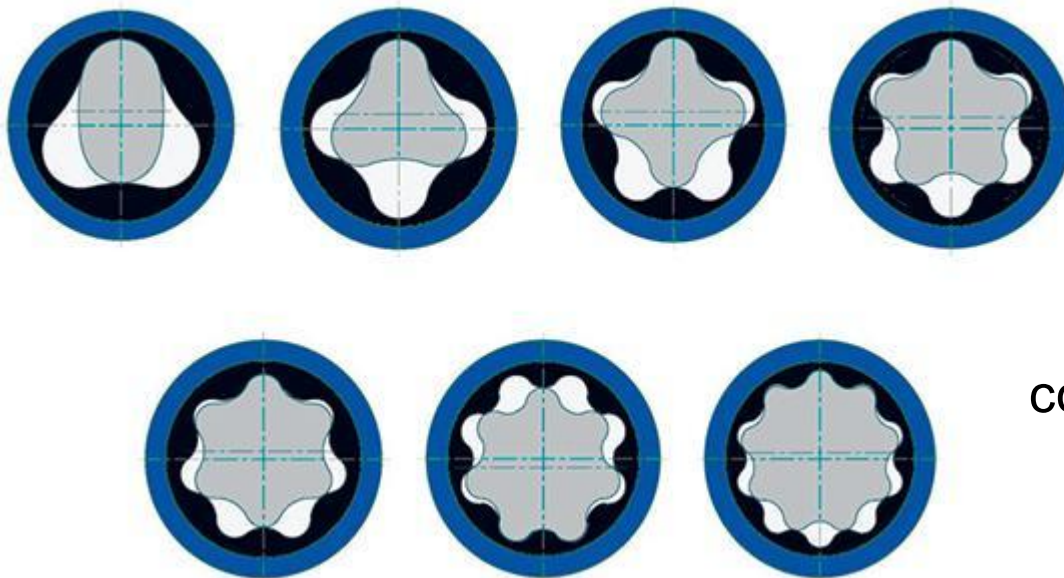
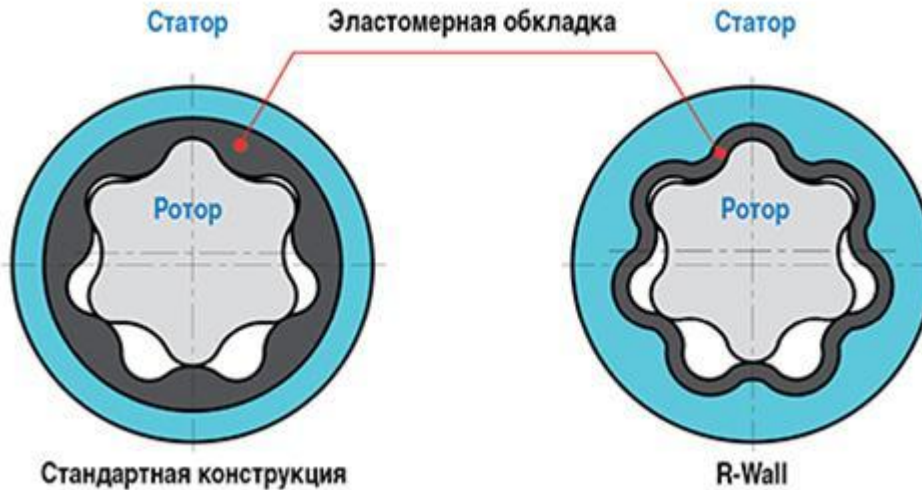


Винтовой забойный двигатель: конструкция, принцип работы





Винтовой забойный двигатель: конструкция, принцип работы

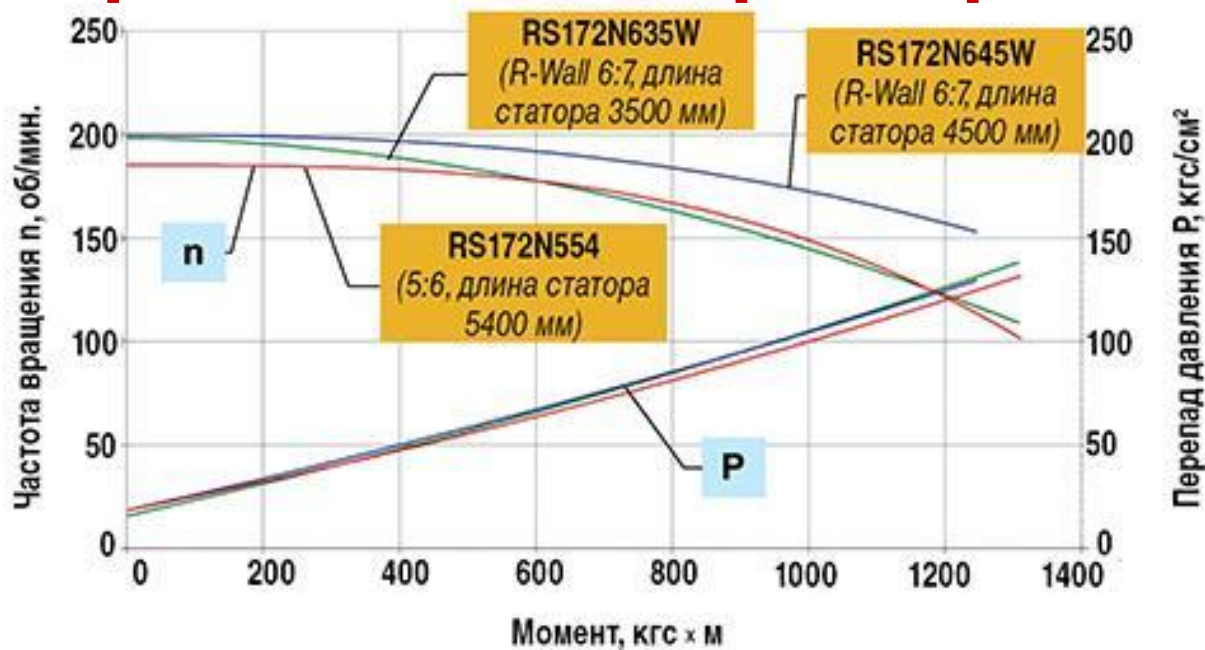


**Какова зависимость
заходности и мощности
двигателя?**

**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



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



Вопросы для самоконтроля

1. Что такое забойный двигатель?
2. По каким признакам классифицируют забойные двигатели?
3. Какие двигатели бывают по типу энергоносителя?
4. Какие забойные двигатели бывают по особенностям ПРИ?
5. Какие забойные двигатели бывают по конструкции?
6. Какие забойные двигатели бывают по принципу работы?
7. Что такое пневмоударник?
8. Каков принцип работы пневмоударника?
9. Что такое гидроударник?
10. Каков принцип гидроударника?
11. Чем отличается гидроударник прямого действия от обратного действия?
12. Что из себя представляет гидроударник одинарного действия?
13. Что из себя представляет гидроударник двойного действия?
14. Что такое электробур?
15. Назовите преимущества и недостатки электробура?
16. Что такое турбобур?
17. Опишите конструкцию турбобура?
18. Опишите принцип работы турбобура?
19. Достоинства и недостатки турбобура?
20. Опишите классификацию турбобуров.
21. Чем отличается секционный турбобур от шпиндельного?
22. Что такое шпиндель?
23. Что такое секций турбобура?
24. Особенности турбобуров со вставным шпинделем?
25. Особенности турбобуров с независимым креплением роторов?
26. Особенности высокомоментных турбобуров?



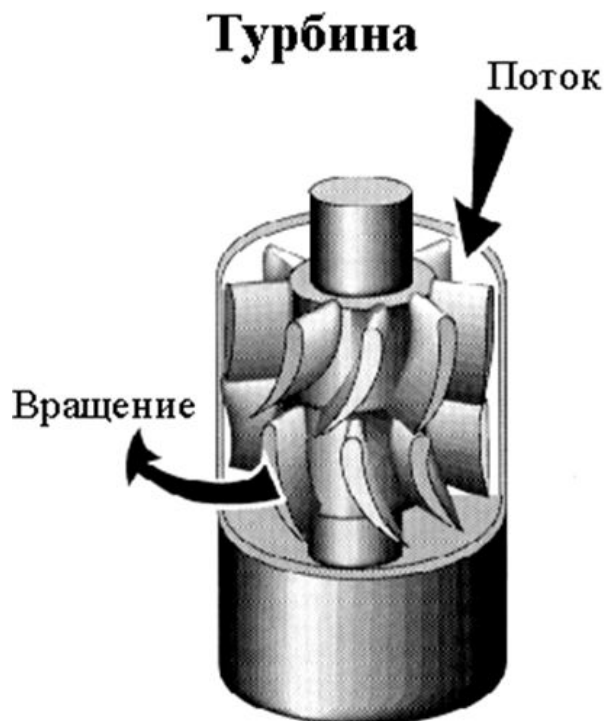
Вопросы для самоконтроля

27. Особенности турбобуров с системой гидроторможения?
28. Особенности турбобуров с плавающим статором?
29. Особенности турбобуров с полым валом?
30. Особенности турбобуров с независимой подвеской?
31. Особенности редукторных турбобуров?
32. Особенности конструкции турбобуров для направленного бурения?
33. Что такое винтовой забойный двигатель?
34. Опишите конструкцию ВЗД?
35. Опишите принцип работы ВЗД?
36. Опишите классификацию ВЗД по назначению?
37. Назовите рабочие элементы ВЗД?
38. Назовите рабочие элементы турбобуров?
39. Особенности конструкции многомодульных ВЗД?
40. Особенности конструкции ВЗД с полым валом?
41. Особенности конструкции ВЗД для отбора керна?
42. Что такое турбовинтовой двигатель?
43. Типы исполнения турбовинтовых двигателей?
44. Опишите конструкцию турбовинтового двигателя?
45. Что такое роторно-турбинный бур?
46. Что такое реактивно-турбинный бур?
47. Чем отличаются роторно-турбинный и реактивно-турбинный бур?
48. От чего зависит выбор типа забойного двигателя?
49. Какие требования предъявляют к забойному двигателю при проектировании?

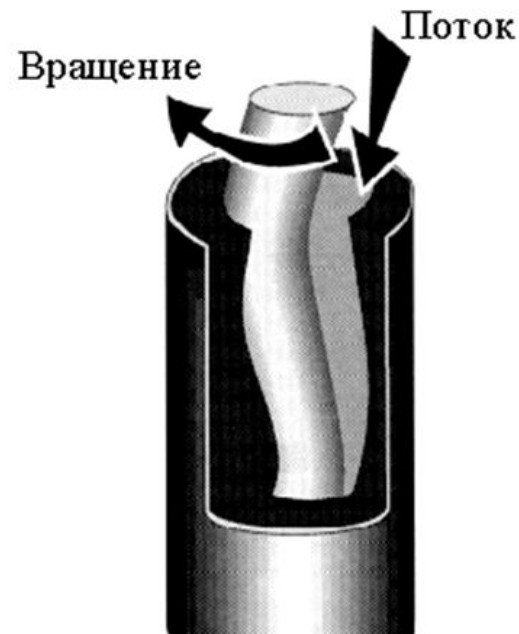


Вопросы для самоконтроля

50. Как зависят друг от друга расход бурового раствора, частота вращения двигателя, перепад давления, момент на валу.
51. Как влияет плотность бурового раствора на рабочие характеристики двигателя.
52. Что такое тормозной момент двигателя?
53. Что такое рабочий момент двигателя?
54. Что такое режим холостого хода?
55. Что такое режим максимальной мощности ВЗД?
56. Что такое режим наивысшего КПД ВЗД?



**Винтовой забойный
двигатель**





Литература для самоподготовки

- Булатов А.И., Проселков Ю.М., Шаманов С.А Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин, 2003 – **С. 693-752.**
- Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Проселков Ю.М. Бурение нефтяных и газовых скважин, 2002 – **С. 80-114.**
- Абубакиров В.Ф., Архангельский В.Л., Буримов Ю.Г., Малкин И.Г., Межлумов А. О., Мороз Е.П. Буровое оборудование, 2000, т.2 – **С. 87-193.**



Лекция №4.2

- ***Телеметрические системы и другое забойное оборудование для контроля процесса бурения***
- ***Проектирование телеметрических систем для сооружения скважины***

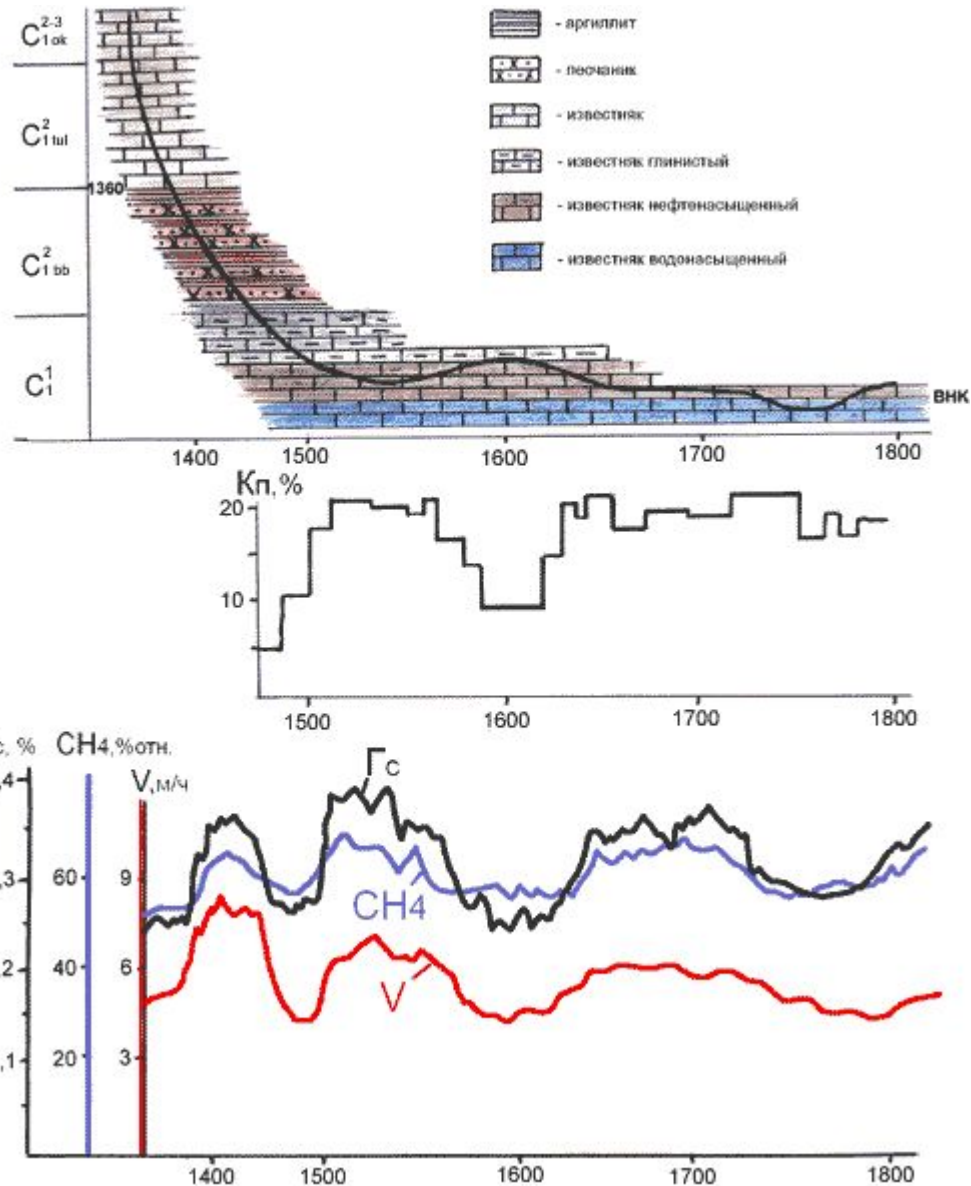


ТЕМА 1.

Телеметрические системы и другое забойное оборудование для контроля процесса бурения



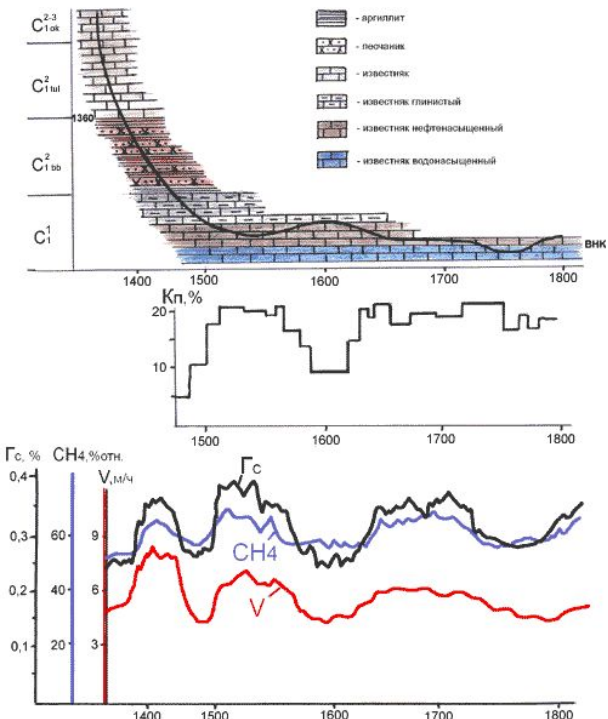
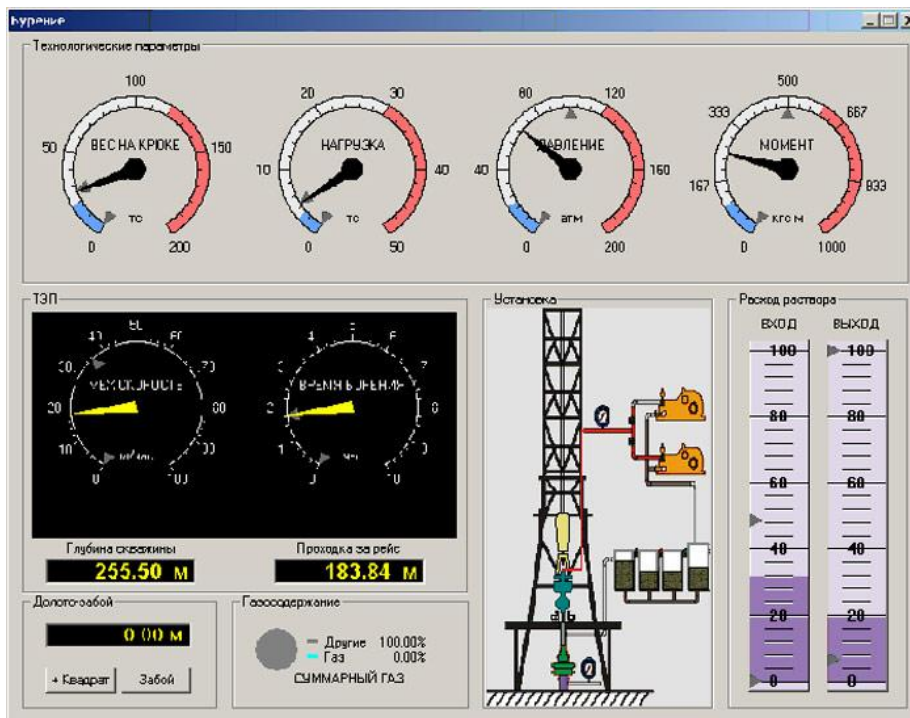
Какие параметры процесса бурения на забое нужно контролировать?





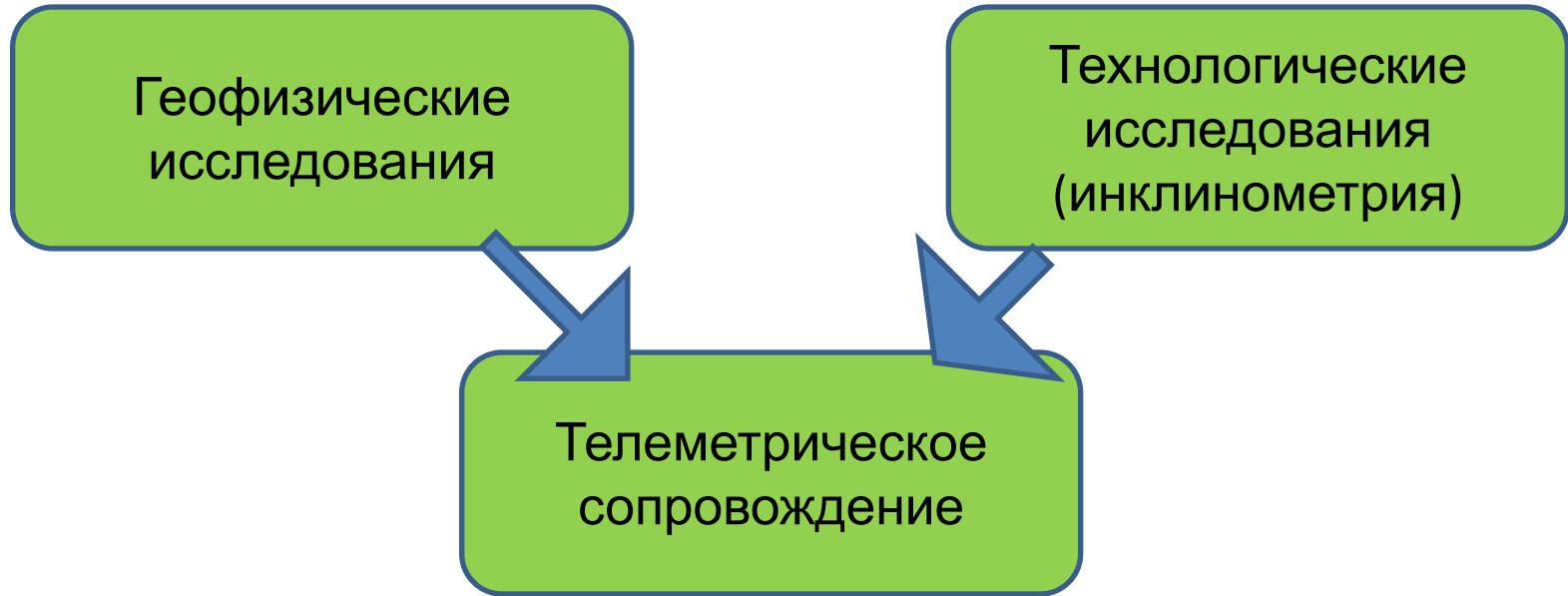
Какие параметры процесса бурения на забое нужно контролировать?

- пространственное положение инструмента и параметры траектории скважины;
- состав геологического разреза;
- параметры режима бурения;
- техническое состояние бурового оборудования.





Эволюция систем сопровождения процесса бурения





Предпосылки

- **1950е** гг. – создание проводного канала связи «забой-устье» для контроля частоты вращения турбобура (отказы турбобура на мощностях, близких к максимальным).
- **1960е** гг. – развитие электробуров с наличием инклинометрического датчика в составе.
- **1960е** гг. – появление первых вариантов беспроводного электромагнитного канала связи
- **1950-1960е** гг. – разработка гидротурботахометра для контроля частоты вращения турбобура – предпосылка гидравлического канала связи.
- **Гидротурботахометр** – был единственным источником связи «устье-забой» на Кольской сверхглубокой скважине СГ-1 (при глубинах более 10 км).



Первый опыт

- Первые практические разработки по телеметрическим системам измерений с использованием импульсов, передаваемых на поверхность через буровой раствор, были созданы в **50-х** годах.
- Спустя более **20** лет, в **1978** г. в результате интенсивных работ, проводимых в **США**, была создана серийная модель телеметрической системы (ТС) для измерения скважинных параметров, которая была отработана в промышленных условиях.
- В **СССР** были разработаны телеметрические системы СТЭ, СТТ с электропроводным каналом связи, телесистемы ЗИТ, ЗИС-4м с электромагнитным каналом связи, телесистемы ГИТ с гидравлическим каналом связи, прошедшие предварительные испытания в скважине Бориславского УБР "Укрнефть", а позднее телесистемы ТСГК ВНИПИморнефтегаза, также с гидравлическим каналом связи.



Конструкция телеметрической системы

Забойная часть

Канал связи

Наземная аппаратура





Конструкция телеметрической системы

Забойная часть

Канал связи

Наземная аппаратура

Источник питания

Батарея

Турбогенератор





Конструкция телеметрической системы

Забойная часть

Канал связи

Наземная
аппаратура

Датчики

угол искривления (a)
азимут искривления
(b)
угол установки
отклонителя (g)
текущая глубина
забоя

обороты турбобура (n);
давление в трубах и
затрубье (RT, RЗ);
разница давлений (DR);
температура в трубах и
затрубье (ТТ, ТЗ);
разница температур (DT);
нагрузка на долото (W);
момент на долоте (МД);
напряжения питания (Un)

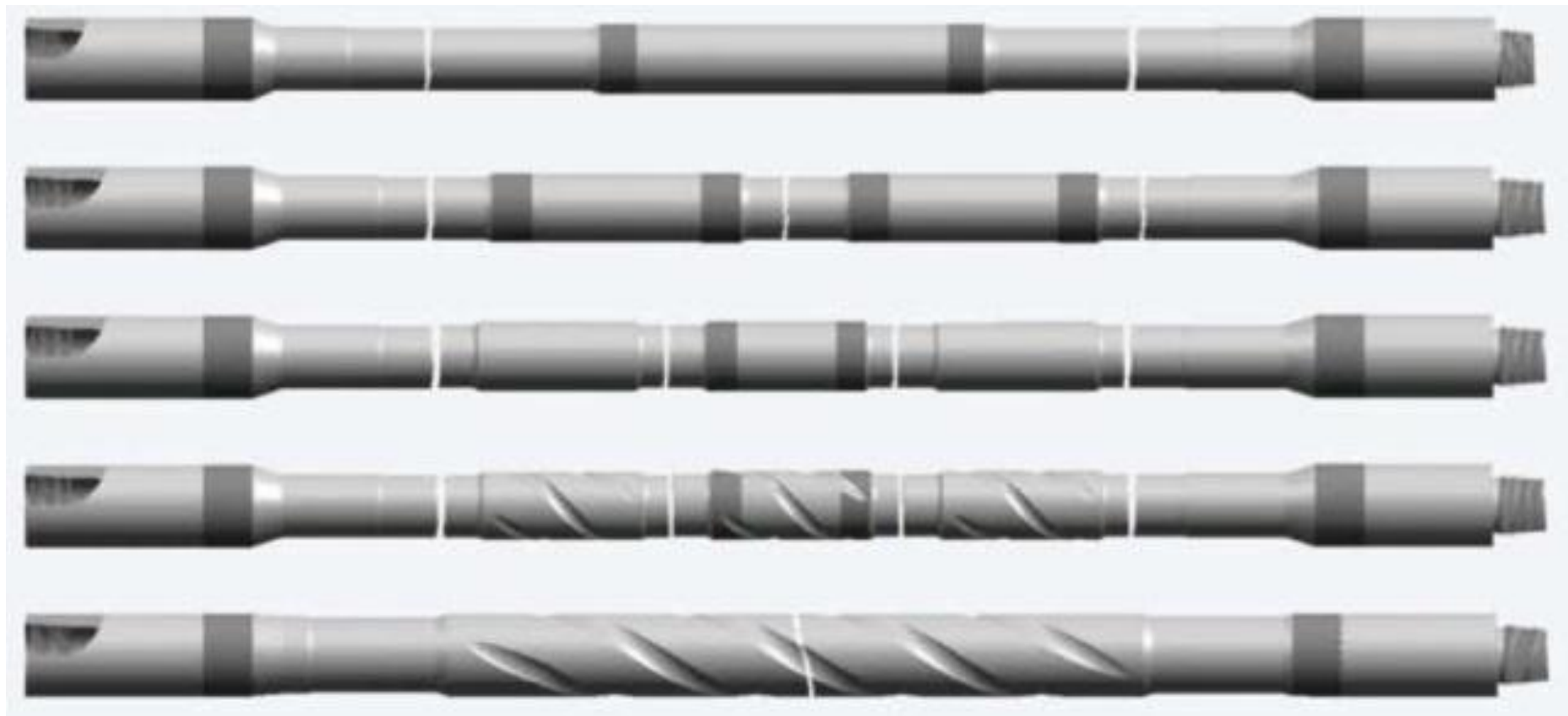
сопротивление горных
пород (rr. n) по 1-2 зондам;
гамма-активность горных
пород (g-Ar. n);
виброакустический
каротаж (ВАК) в виде
амплитуды
виброускорения;
самопроизвольная
поляризация горных
пород (DUc.n);
КНК; ГГПК



Конструкция телеметрической системы: забойная часть

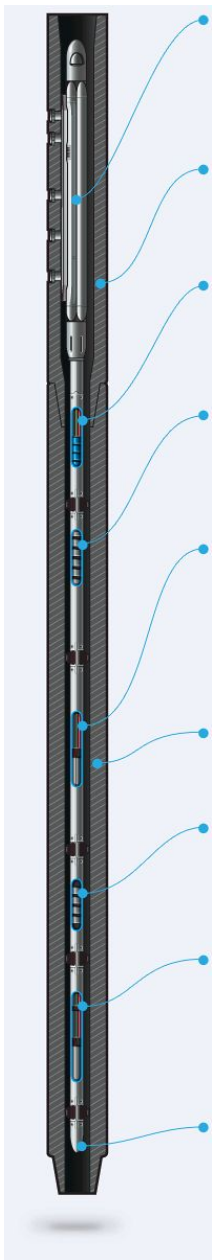
Немагнитные УБТ

Зачем?





Пример типовой сборки телесистемы



Стандартный передатчик: Стандартный передатчик генерирует последовательность импульсов отрицательного давления, чтобы передавать полученные в скважине данные на поверхность. Передатчик заключен в корпус специально изготовленного для него немагнитного переводника передатчика.

Переводник передатчика: Переводники передатчиков изготовлены из бериллиево-медных сплавов (BeCu).

Преобразователь питания: Сборка преобразователя APC обеспечивает формирование электрических импульсов на передатчик для трансляции регистрируемых данных посредством гидравлического канала связи.

Сборка источника питания: В состав сборки источника питания входит литий–тионил–хлоридная батарейная сборка, которая подает питание на датчики и передатчик. Батарейная сборка рассчитана на рабочую температуру до 150°C.

Считывающий инклинометр: Считывающий инклинометр состоит из трехкоординатных инклинометрических датчиков (инклинометров и магнетометров), которые обеспечивают возможности исследования инклинометрии и управления на всем диапазоне наклона от 0 до 180°. Кроме того, инклинометр SEA оборудован электронной аппаратурой, регулирующей работу всего инклинометрического прибора.

Немагнитная УБТ: Немагнитные УБТ изготавливаются из бериллиево-медных сплавов (BeCu).

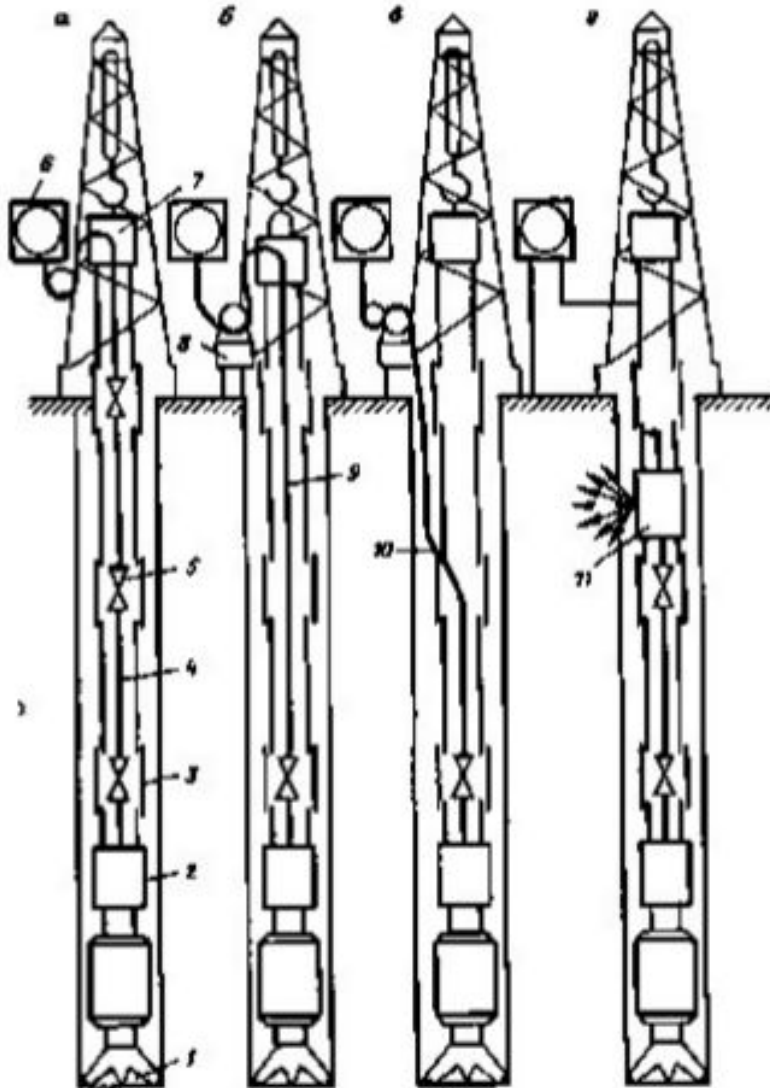
Сборка электропитания гамма узла: В состав сборки электропитания гамма узла входит литий–тионил–хлоридная батарейная сборка, которая обеспечивает питанием гамма-детектор и электронную аппаратуру управления.

Секция гамма электроники отдельной сборки: Сборка гамма-узла регистрирует данные измерения естественной радиоактивности разбуренной породы, направляет их инклинометру SEA для передачи в режиме реального времени, а также сохраняет информацию в скважинном запоминающем устройстве для последующей визуализации на поверхности.

Соединитель и наконечник: Соединители сборки приборов Orienteer обеспечивают обмен данными между отдельными сборками и подачу питания, а также стабилизируют прибор внутри немагнитной УБТ.



Принцип работы электропроводного канала связи



- 1 - долото;
- 2 - скважинный прибор;
- 3 - резьбовое соединение труб;
- 4 - провод;
- 5 - контактное устройство;
- 6 - наземный прибор;
- 7 - вертлюг;
- 8 - лебедка для подъема провода;
- 9 - сбросовый провод;
- 10 - вывод провода через резьбовое соединение;
- 11 - ретранслирующее устройство.



Достоинства и недостатки каналов связи

Электрический проводной

Непрерывный

Разъемный

Смешанное кабельное соединение

Достоинства:

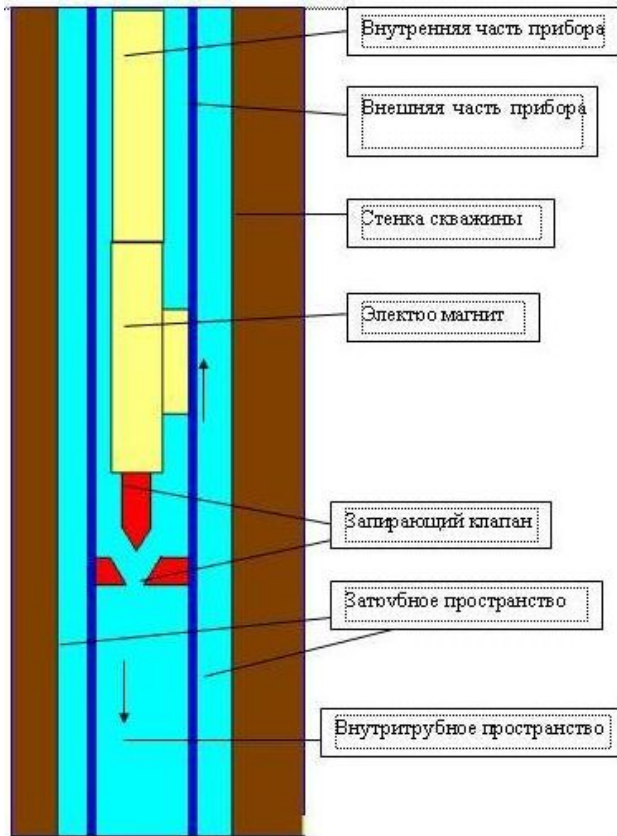
- максимально возможная информативность,
- быстродействие,
- многоканальность,
- помехоустойчивость,
- надежность связи,
- отсутствие забойного источника электрической энергии и мощного передатчика;
- возможность двусторонней связи;
- не требует затрат гидравлической энергии;
- может быть использован при работе с продувкой воздухом и с использованием азрированной промывочной жидкости

Недостатки:

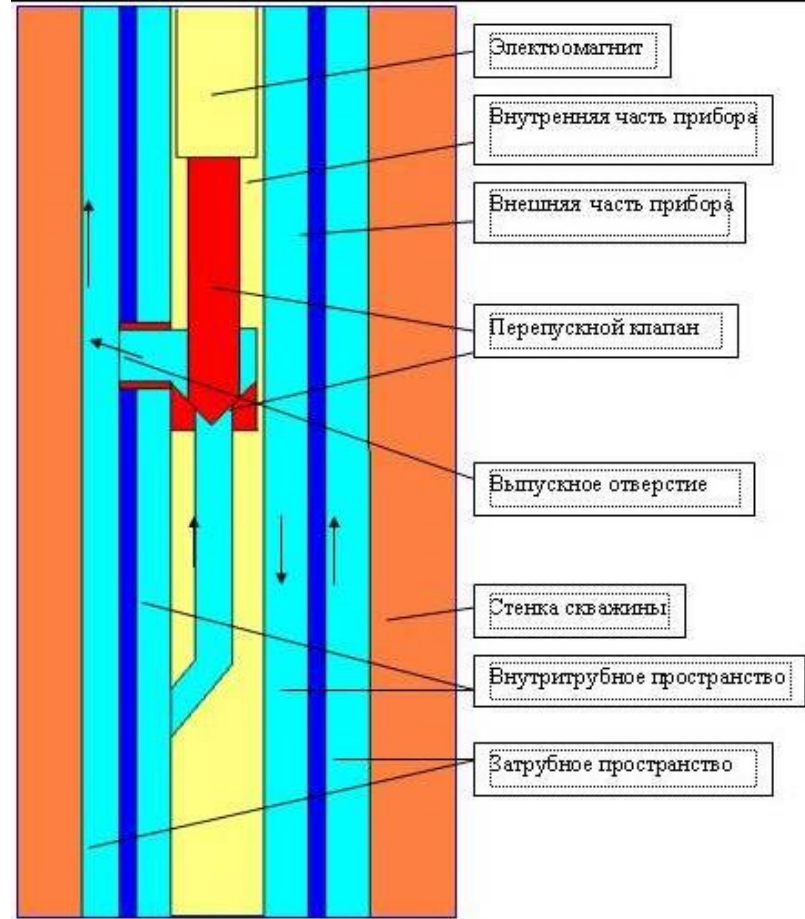
- наличие кабеля в бурильные колонне и за ней, что создает трудности при бурении;
- затраты времени на его прокладывание;
- необходимость защиты кабеля от механических повреждений;
- невозможность вращения колонны;
- невозможность закрытия превентора при нахождении кабеля за колонной бурильных труб;
- необходимость доставки (продавки) забойного модуля или контактной муфты до места стыковки (посадки) при зенитных углах более 60 градусов с помощью продавочного устройства.



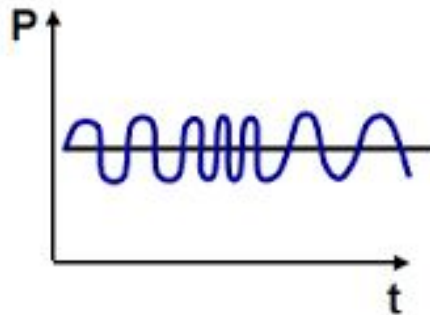
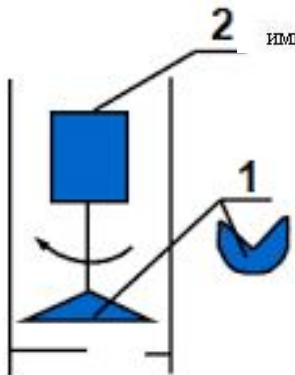
Принцип работы гидравлического канала связи



Устройство передачи сигнала (с положительным импульсом) в системе с гидравлическим каналом связи.



Устройство передачи сигнала (с отрицательным импульсом) в системе с гидравлическим каналом связи.



Устройство передачи сигнала с импульсом типа «Сирена»



Достоинства и недостатки каналов связи

Гидравлический

Излучатель давления высокой частоты и малой амплитуды

Излучатель давления низкой частоты и большой амплитуды

Упругие колебания, возникающие при работе бурильного инструмента

Достоинства:

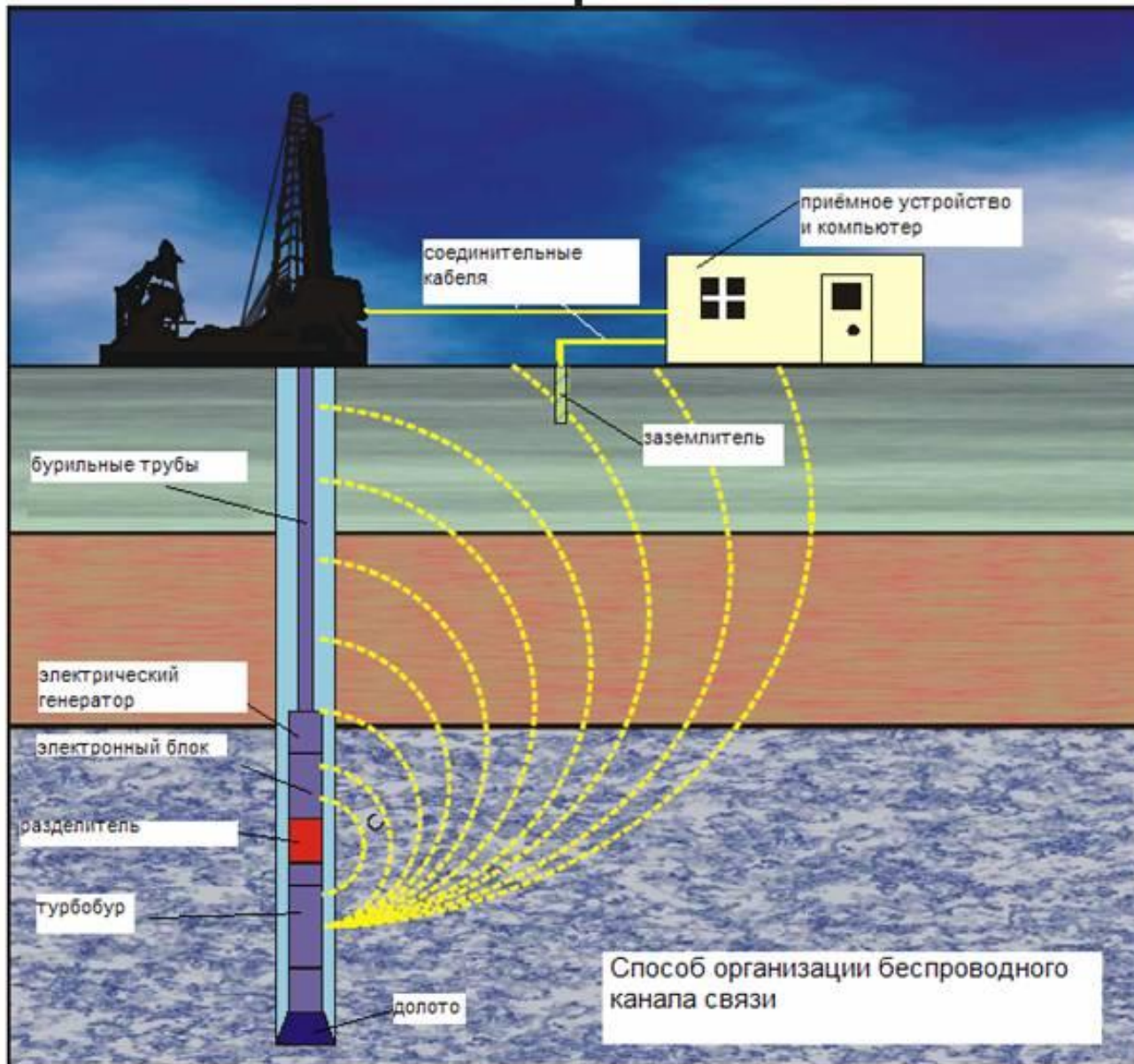
- дальность передачи,
- независимость от геологических условий.

Недостатки:

- низкая информативность из-за низкой скорости передачи,
- низкая помехоустойчивость, последовательность в передаче информации,
- необходимость в источнике электрической энергии (батареи, турбогенераторы),
- отбор гидравлической энергии для работы передатчика и турбогенератора,
- невозможность работы с продувкой воздухом и аэрированными жидкостями.



Принцип работы электромагнитного канала связи





Достоинства и недостатки каналов связи

Электромагнитный канал

Достоинства:

- информативность,
- простота,
- скорость.

Недостатки:

- дальность связи (зависит от проводимости и переменяемости горных пород, затухания сигналов),
- слабая помехоустойчивость,
- сложность установки антенны в труднодоступных местах,
- невозможность использования на море.



Достоинства и недостатки каналов связи

Акустический канал (передача по БТ)

Акустических колебаний встроенных вибраторов

Акустических колебаний от спектра упругих колебаний долота

Достоинства:

- информативность,
- простота,
- скорость.

Недостатки:

- слабая помехоустойчивость.



Конструкция телеметрической системы: наземная аппаратура

Универсальный наземный блок

Пульт бурильщика

Персональный компьютер

Прибор скважинный



Наземный пульт оператора



Пульт бурильщика

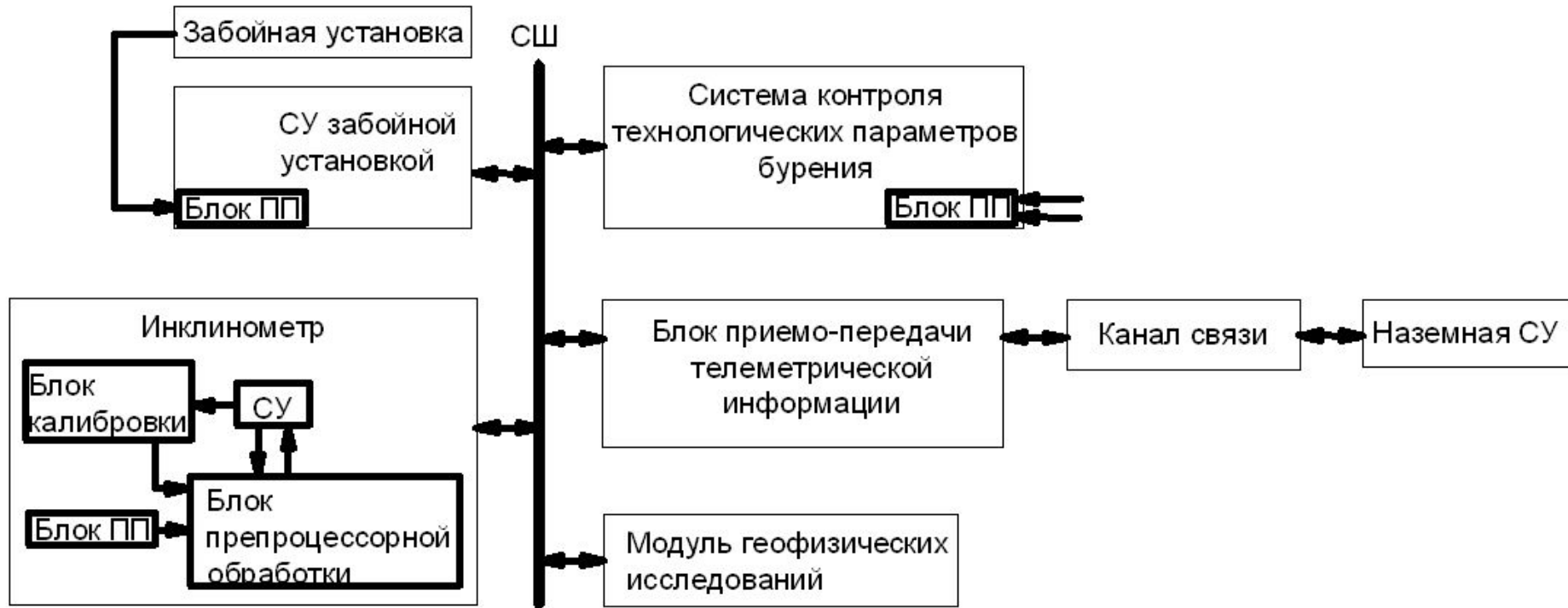


ПК





Конструкция телеметрической системы



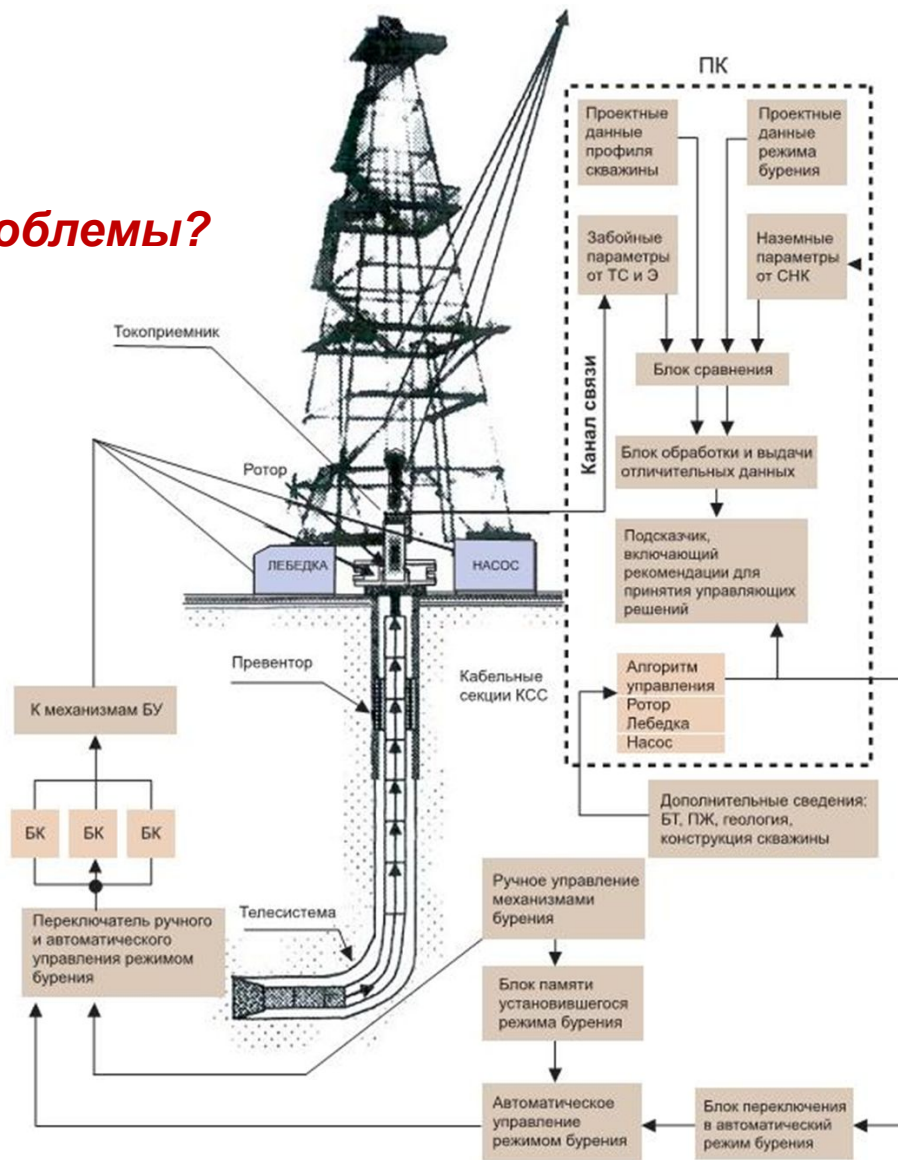
ПП - первичные преобразователи, СУ – система управления, СШ – системная шина

Данные от первичных преобразователей через коммутатор поступают на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), затем через кодирующее устройство (КУ), усилитель-передатчик поступают в канал связи. На поверхности закодированная различными способами информация расшифровывается в обратном порядке и поступает на системы отображения и обработки для принятия решений по технологическому режиму.



Перспективы развития телеметрии

Перспективы и проблемы?



Системы автоматического управления процессом бурения

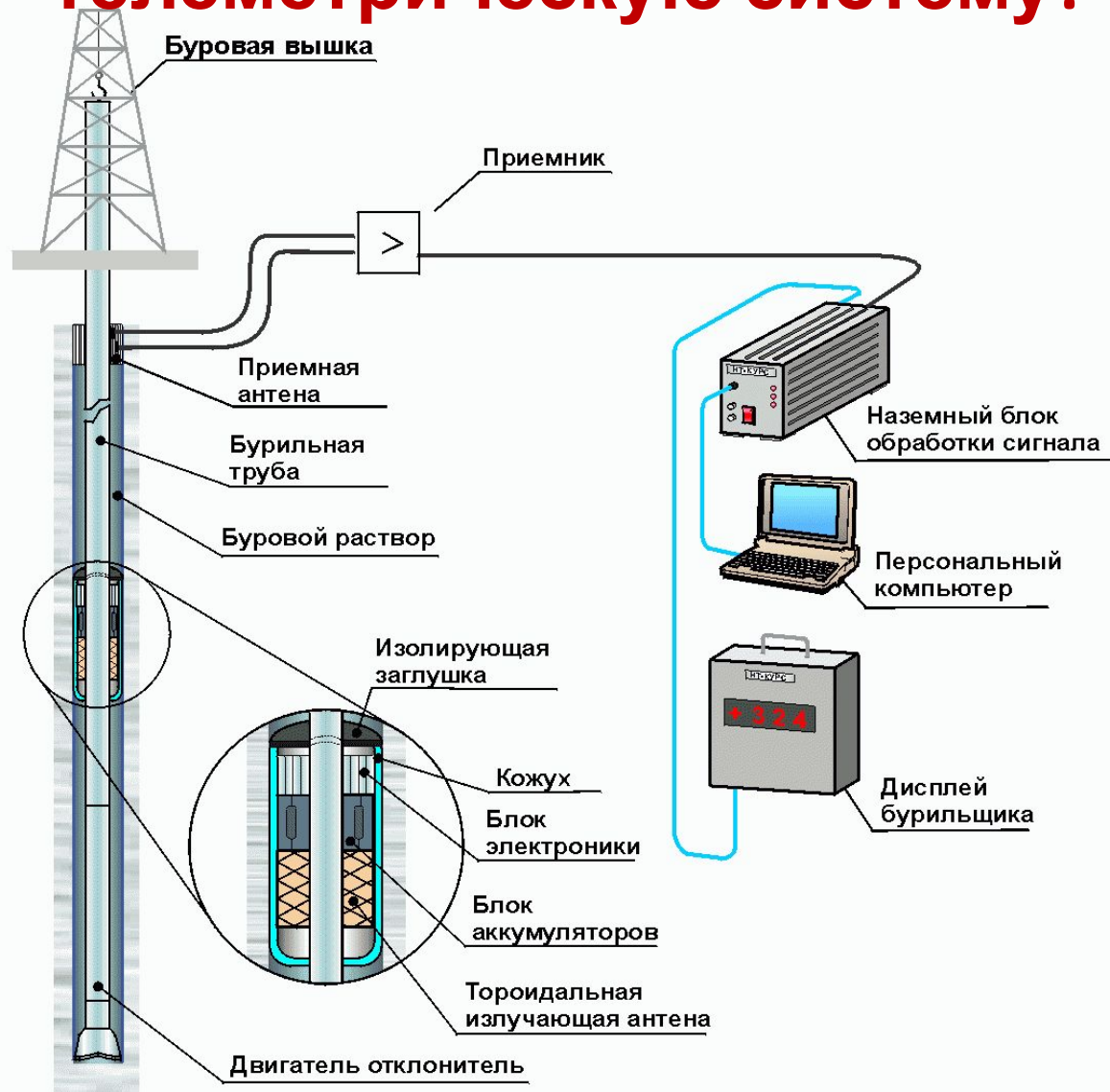


ТЕМА 2.

Проектирование телеметрических систем для сооружения скважины



По каким параметрам выбирать телеметрическую систему?

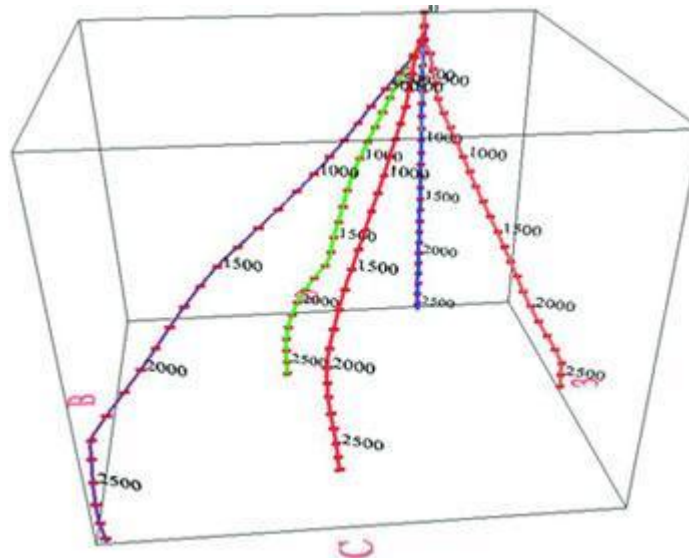




По каким параметрам выбирать телеметрическую систему?

Технические
параметры

Экономические
параметры





Технические параметры

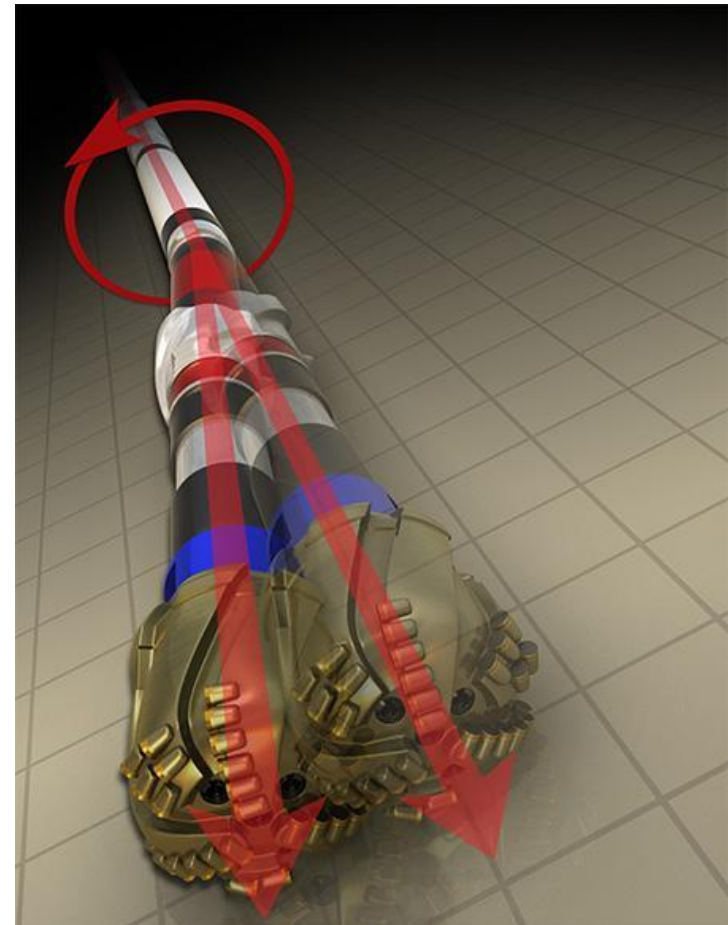
Диаметр

Длина

Состав датчиков

Ограничения по условиям работы (температуры, давления)

Параметры режима бурения





Выбор телеметрической системы

1. Определение выборки телеметрических систем.
2. Разработка таблицы параметров выборки и требуемых параметров.
3. Выбор оптимальной телеметрической системы по техническим и экономическим параметрам.

Параметр	Эталон	ТС1	ТС2	ТС3	...
Диаметр, мм					
Длина, м					
Состав датчиков					
Максимально возможная температура, °C					
Максимально возможное давление, МПа					
Максимально возможная осевая нагрузка, т					
Максимально возможная частота вращения, об/мин					
Диапазон требуемого расхода раствора, л/с					



Вопросы для самопроверки

1. Классификация телесистем по непрерывности передачи информации.
2. Классификация телесистем по скорости передачи информации.
3. Классификация телесистем по способу предоставления информации.
4. Классификация телесистем по дальности передачи информации.
5. Классификация телесистем по целевому назначению.
6. Классификация телесистем по составу первичных преобразователей информации.
7. Достоинства и недостатки электропроводного канала связи.
8. Типы электропроводного канала связи «забой-устье».
9. Достоинства и недостатки гидравлического канала связи.
10. Типы гидравлического канала связи «забой-устье».
11. Достоинства и недостатки канала передачи по бурильным трубам.
12. Типы канала связи «забой-устье» по бурильным трубам.
13. Достоинства и недостатки канала передачи по горным породам.
14. Типы канала связи «забой-устье» по горным породам.
15. Элементы конструкции телеметрической системы.
16. Состав забойной части телесистемы.
17. Состав наземной части телесистемы.
18. По каким параметрам выбирается телесистема.



Литература для самоподготовки

- Булатов А.И., Проселков Ю.М., Шаманов С.А Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин, 2003 – **С. 693-752.**
- Абубакиров В.Ф., Архангельский В.Л., Буримов Ю.Г., Малкин И.Г., Межлумов А. О., Мороз Е.П. Буровое оборудование, 2000, т.2 – **С. 257-272.**
- Кульчицкий В.В. Геонавигация скважин, 2008 – **С. 197-281.**

Спасибо за внимание!!!