**Лекция №12**

**4. ЗАБОЙНЫЕ ДВИГАТЕЛИ**

В процессе бурения скважины долото приводится во вращение либо ротором, либо забойными двигателями, расположенными непосредственно в нижней части бурильной колонны над долотом. Для этих целей применяют гидравлические и электрические двигатели.

# **Особенности турбинного способа бурения скважин**

****Турбинное бурение скважин представляет собой вид вращательного бурения, где породоразрушающий инструмент вращается трубобуром – гидравлическим забойным двигателем. Применяется для композиционных материалов твердого и сверхтвердого характера. Турбобур подбирается в зависимости от типа бурения скважины:

* с повышенным расходом жидкости;
* с подавлением вибрации долота;
* с большим запасом вращающего момента.

Данный метод применяется для осуществления бурения нефтяных, разведывательных и газовых  скважин, так как имеет свои преимущества:

* большая механическая скорость;
* скорость бурения наклонных скважин аналогична вертикальным;
* постоянные усовершенствования.

К недостаткам можно отнести тот факт, что при высокой скорости уменьшается проходка долота. Для того, чтобы увеличить длину рейса, приходится снижать обороты. Тем не менее, характеристики турбин регулярно подвергаются изменениям, что повышает эффективность всей установки. В частности:

* значительно улучшились показатели КПД;
* понизились частоты вращения на разгоне;
* понизился перепад давления в трубобурах;
* улучшились показатели стойкости.

В целом, турбинное бурение активно применяется в добыче нефтяных, газовых залежей, а также в ряду других разведывательных и эксплуатационных скважин.  Чаще всего этот способ применяется для бурения наклонных скважин.

## **Особенности турбинного режима**

Равно как и любой другой способ, особенности турбинного режима бурения также существуют.

Основной задачей при проведении проектирования режима трубинного бурения является:

* настройка работы насосов;
* подбор буров.

Кроме этого, исходя из типа грунта подбираются подходящие долота.

Их корректный выбор очень важен, так как от его правильности зависят показатели бурения качественного характера, а также количественный результат турбинного режима.

Это важно, особенно когда речь идет о нефтяных и газовых скважинах. Для получения максимального КПД нужно четко регулировать частоту вращения. Именно от неё зависит эффективность турбобура. Слишком высокие или низкие показатели приведут к тому, что КПД не будет максимальным. В целом, частота вращения бура в наиболее эффективном режиме должна составлять ½ от скорости вращения вала турбины.

Турбинный способ бурения скважин, по сравнению с роторным, гораздо более эффективен, так как коэффициент передачи мощности от источника энергии к долоту в нем на порядок выше. Это позволяет ощутимо повысить производительность и, соответственно, ускорить некоторые этапы работы.

Допускает использование любых промывочных жидкостей, что также снимает определенные ограничения. С точки зрения безопасности, турбинное бурение несет меньшую опасность и менее вредит здоровью персонала.

Правильный подбор долот и режимов работ – это залог эффективного бурения. Крайне важно найти наиболее оптимальные характеристики, которые позволят максимально рационально задействовать как временные, так и топливные и энергетические ресурсы.

При турбинном режиме бурения грамотный подход играет решающую роль. В противном случае, данный способ может оказаться менее эффективным, чем роторный.

**Часть №1**

**Турбобуры**

Существуют гидравлические двигатели двух типов: гидравлические многоступенчатые турбины, называемые турбобурами, и гидравлические двигатели объемного действия. Электрические забойные двигатели - электробуры - состоят из маслонаполненного электрического двигателя трехфазного переменного тока, соединенного со шпинделем, на котором укреплено долото.

Турбобур представляет собой забойный гидравлический двигатель с многоступенчатой турбиной. Гидравлическая энергия потока бурового раствора приводит во вращение вал, соединенный с валом шпинделя и долотом. Для различных условий бурения отечественная промышленность выпускает турбобуры, различающиеся по диаметру, числу секций, расположению и конструкции опор и устройству турбинных аппаратов.

**Принцип работы турбобура: основные моменты**

В основе функционирования турбобура лежит давление потока жидкости. Именно за счет неё возможно эффективное бурение. Она, под воздействием давления, постепенно проходит через все ступени турбобура, тем самым создавая рабочий реактивный момент. На этом и базируется принцип работы.

Через бурильную колонну сам поток попадает на I ступень турбобура. Направление данной жидкости задается посредством статора. Именно в нем происходит формирование закрутки и достигается заданная скорость. Механическая энергия преобразуется из кинетической в роторе, и используется для непосредственного вращения вала.

Вышеперечисленные детали являют собой составляющие ступеней двигателя. Система, в которую входят статоры, подпятников и опор промежуточного типа, фиксируется с помощью ниппеля с повышенным осевым усилием. За счет этого на торцах элементов создается сила трения, которые и удерживают детали в неподвижном состоянии. Охлаждение подпятников обеспечивается за счет постоянно поступающей жидкостью, которая проходит через верхнюю часть турбобура, а именно – проходит через подпятниковые дисковые окна.

Жидкость промывочная поступает непосредственно в двигатель гидравлический, и только после этого – в нижележащую валовую полость.

Ниппель – это опора радиального вида для двигателя. По этой причине внутренняя площадь полностью покрыта резиной.

**Бурение турбобуром: основные сведения**

Турбобуры применяются для бурения скважин. Данная процедура подразумевает несколько процессов:

* спуск турбобура;
* опускание долота;
* обеспечение циркуляции жидкости промывочной;
* корректировка забойной нагрузки.

За счет изменения забойной нагрузки, а также постоянного удерживания допустимого давления в системе циркуляции трубопровода, в турбобуре поддерживается стабильный перепад. Он подстраивается таким образом, чтобы соответствовать установленной частот вращения. Именно она и определяет мощность, которую и развивает турбобур.

Устройство турбобура способствует обеспечению достаточной вариативности относительно частоты вращения. Сама конструкция содержит турбобур с долотом, который устанавливается на колонну бурильной трубы, а также снабжен:

* спуско-подъемным устройством;
* аппаратом для обеспечения циркуляции жидкости;
* аппаратурой, фиксирующей её давление;
* автомат подачи буро-инструмента.

Последние два программно связаны между собой, так что при указанном расходе жидкости для промывки поддерживается максимально возможное давление.

Система бурения располагается над местом будущей скважины. Исходя из геологического исследования и прогнозов относительно особенностей почв, подбирается конкретный вид долота. Если грунт состоит из нескольких слоев, то скважина создается с помощью долот нескольких видов.

В зависимости от глубины забоя, процесс может приостанавливаться для монтажа специальных труб – они препятствуют обрушению грунта со стенок скважны.

Турбобур может использоваться в различных климатических условиях, и является универсальным двигателем, обеспечивая надежную работу и высокую эффективность.

Последнее возможно при ответственном подходе к процессу оптимизации режимов отработки.

Турбинный принцип работы гораздо более производительный, чем роторный, а показатели крутящего момента не зависит от глубины забоя, свойств горных пород или режимов бурения.

Во время бурения управляющему узлу (человеку или автомату) после доведения до забоя необходимо производить нагрузку на долото до тех пор, пока на выбросе насоса давление стабильно повышается.

**Конструкция турбобура**

Гидравлический забойный двигатель представляет собой достаточно сложную и компактную конструкцию, которая обеспечивает работу добывающие установки, а именно – функционирование долота.

Сам турбобур можно разделить на следующие элементы:

* турбинный вал;
* опора осевая и радиальная;
* статоры.

Различают две группы деталей: вращающиеся и не вращающиеся.

К не вращающейся группе относятся:

1. Переводник. С его помощью бурильная колонна присоединяется к турбобуру.
2. Цилиндрический корпус. Является основой всего комплекса.
3. Кольца пяты. Функциональный элемент.
4. Диска статора. Через его окна буровая жидкость попадает внутрь.
5. Средняя опора. Обеспечивает поддержку отдельных элементов.
6. Ниппель. Обеспечивает фиксацию деталей внутри корпуса.

К вращающейся группе относятся:

* вал;
* диски ротора;
* пяты (осевой подшипник).

В основе функционирования оборудования для бурения лежат идентичные ступени гидравлического вида, элементами которых являются:

* направляющий элемент – неподвижный статор;
* рабочее колесо – подвижный ротор.

Статорные колеса крепко зафиксированы в корпусе, а роторные – непосредственно на турбинном валу. В подавляющем большинстве ситуаций, на нижний конец турбобура навинчивается долото, а верхний подсоединяется к бурильным трубам с помощью резьбы.

В идеальном варианте, конструкция турбобура должна:

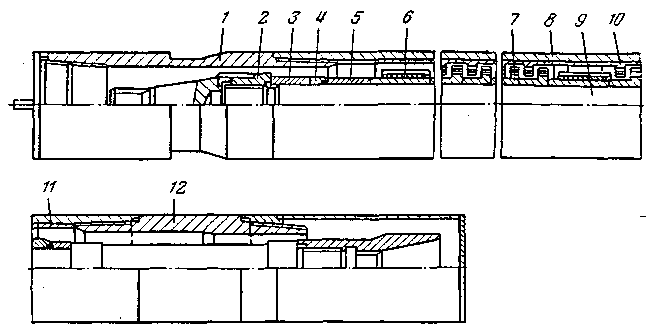
* обеспечивать достаточны крутящий момент;
* стабильно работать при низкочастотном вращении;
* иметь постоянную энергетическую характеристику;
* быть независимым от свойств бурового раствора.

Несмотря на конкретные требования, на данный момент не существует модели двигателя, который бы полностью им удовлетворял.

Рассмотрим конструкцию на примере турбобура ЗТСШ-195

Турбобур состоит из унифицированной турбинной секции турбобура, применяемая для одно- и многосекционных турбобуров и шпиндельной секции.

Унифицированная турбинная секция турбобура ЗТСШ-195 (рис. 1.) состоит из переводника *1*, свинченного на конусной резьбе с корпусом *8*, в котором находятся пакеты статоров гидротормоза *7* и турбины *10*, сжимаемые регулировочными кольцами *11* и фиксируемые нижним переводником *12*. Этот переводник снабжен ниппелем с конусной замковой резьбой, к которой присоединяется вторая секция турбобура или шпиндельная секция, а при транспортировке навинчивается колпак.



**Рис. 1.** Унифицированная турбинная

секция турбобура ЗТСШ-195

Вращающаяся группа деталей: регулировочное кольцо *3* втулки уплотнения *4* и распорная *5*, радиальные опоры средняя и верхняя *6* и пакеты роторов гидротормоза *7* и турбины *10*, закрепленные на валу секции *9* стяжной полумуфтой *2*.

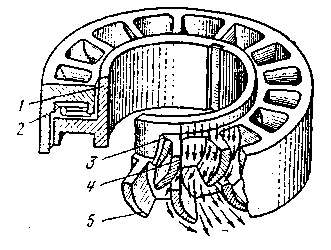
В многосекционных турбобурах валы секций соединяются с помощью конусных или шлицевых муфт на резьбах с небольшим углом конусности. 

Рис. 4.2.Ступень турбины турбобура

Турбина состоит из большого числа ступеней (до 370). Каждая ступень (рис. 4.2) состоит из статора с наружным *2* и внутренним *3* ободами, между которыми размещены лопатки *4* и ротора, обод *1* которого снабжен лопатками *5*. Лопатки статора и ротора расположены под углом друг к другу, вследствие чего поток жидкости, поступающий под углом из каналов статора на лопатки ротора, меняет свое направление и давит на них. В результате этого создаются силы, стремящиеся повернуть закрепленный на валу ротор в одну сторону, а закрепленный в корпусе статор - в другую.Далее поток раствора из каналов ротора вновь поступает на лопатки статора второй ниже расположенной ступени, на лопатки ее ротора, где вновь изменяется направление потока раствоpa. На роторе второй ступени также возникает крутящий момент. В результате раствор под действием энергии давления, создаваемой буровым насосом, расположенным на поверхности, проходит все ступени турбобура. В многоступенчатой турбине раствор движется вдоль ее оси. Активный крутящий момент, создаваемый каждым ротором, суммируется на валу, а реактивный (равный по величине и противоположный по направлению), создаваемый на лопатках статора, суммируется на корпусе турбобура.

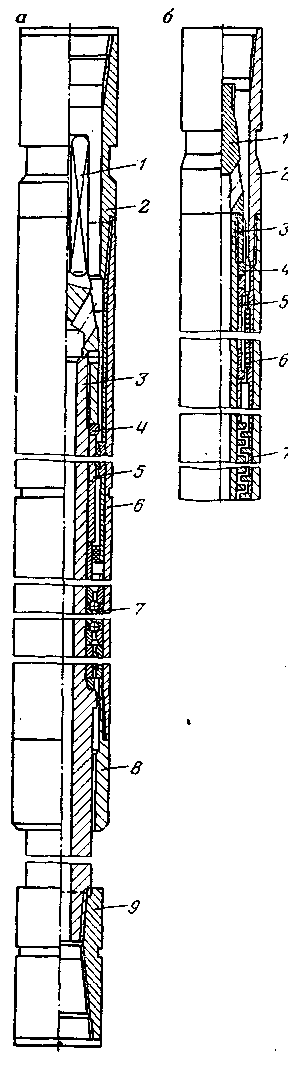


Рис.4.3. Унифицированная

шпиндельная секция

турбобура ЗТСШ-195:

*а* - на резино-металлической опоре; *б* - на упорнорадиальных шарикоподшипниках

Реактивный момент через корпус турбобура передается соединенной с ним бурильной колонне, а активный - долоту. На создание крутящего момента перепад давления, создаваемый в турбобуре, составляет от 3 до 7 МПа, а иногда и более. Это является большим недостатком турбобура, поглощающего значительную часть энергии, создаваемую насосом и затрачивающего ее на вращение долота.

Унифицированная шпиндельная секция (рис. 4.3) представляет собой самостоятельную сборку, которую можно использовать с одно- и многосекционным турбобуром. Шпиндельная секция выполняется в двух модификациях: на упорном подшипнике качения (рис.4.3, *а*) и на резинометаллической опоре скольжения (рис. 4.3, *б*).

Все основные детали шпиндельных секций - взаимозаменяемые, что упрощает ремонт и обслуживание. Вал *3* шпинделя в нижней части имеет ниппельную часть с резьбой для присоединения переводника *9* долота. Верхний конец вала *3* снабжен конической резьбой, на которую навинчивается полумуфта *1*, стягивающая регулировочные кольца *4*, втулку радиальной нижней опоры *5* и внутренние кольца упорно-радиального подшипника *7* (рис. 4.3, а) или диски резинометаллической пяты *7.*

По устройству турбин, требующих различного расхода жидкости, турбобуры подразделяются на: низколитражные, высоконапорные, имеющие максимальную мощность, большую частоту вращения и значительный вращающий момент; среднелитражные, развивающие максимальный вращающий момент, среднюю частоту вращения при высоком расходе жидкости; высоколитражные, имеющие максимальное отношение вращающего момента к частоте вращения *М/п*, относительно низкую частоту вращения и повышенный расход жидкости.

По числу секций турбобуры подразделяются на односекционные, в которых турбина и опорная пята расположены в одном корпусе, и многосекционные, состоящие из нескольких турбинных секций и шпинделя с осевой опорой.

К недостаткам забойных гидравлических двигателей относится также потребление значительно большего количества жидкости, чем требуется для работы долота.

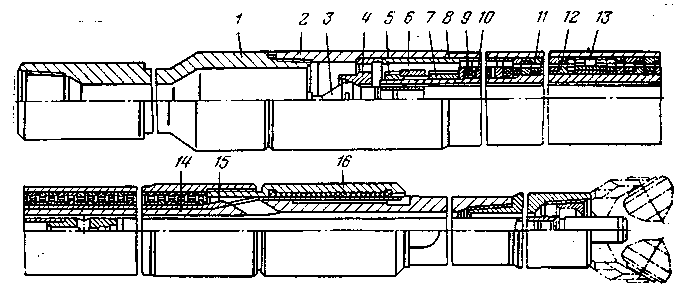
*****Турбодолото***

Рис.4. Турбодолото КТД:

*1* - переводник; *2* - корпус; *3* - керноприемная труба; *4* - опора грунтоноски;

*5* - контргайка; *6* - колпак; *7* - гайка; *8* -втулка; *9, 10* - кольцо и диск пяты;

*11, 12* - диски статора и ротора; *13* - опоры; *14* - вал; *15* - переводник; *16* - ниппель

Турбодолото (рис. 4) - турбинный забойный двигатель, служащий для

вращения колонковой головки для бурения скважин с отбором образцов породы (кернов). Оно представляет собой одно- или двухсекционный турбобур, с резинометаллической осевой опорой и пустотелым валом. Вал турбодолота имеет полость, внутри которой расположена колонковая труба - грунтоноска для приема выбуренного керна. В верхней части корпуса турбодолота помещена опора грунтоноски, имеющая конусное посадочное гнездо. Грунтоноска снабжена головкой с конусной поверхностью, на которую она садится. Благодаря этому при вращении вала турбодолота с бурильной головкой керноприемная труба не вращается.

Грунтоноска закрывает отверстие в валу, благодаря чему жидкость не проходит через него, а поступает в турбину турбодолота. Так как давление раствора в верхней части турбины больше чем в нижней, то под действием этого перепада колонковая труба прижимается к опоре, что препятствует утечке жидкости через зазор между колонковой трубой и отверстием вала. Это могло бы приводить к разрушению выбуренного керна.

В остальном, конструкция турбодолота аналогична турбобуру.

***Турбобуры для забуривания наклонных скважин***

Для забуривания наклонных стволов скважин турбобур с долотом должен быть поставлен в скважине под углом к вертикали. Чтобы этот угол был большим, турбобур должен быть, возможно, меньшей длины. Для этих целей применяют укороченные турбобуры-отклонители с числом ступеней 52 - 109. По конструкции они аналогичны унифицированным турбобурам и состоят из турбинной и шпиндельной секций с той разницей, что шпиндельная секция соединяется с турбинной переводником, имеющим перекос осей 1º30'. Это позволяет набирать кривизну ствола скважины. Вал турбины соединяется с валом шпинделя шарнирной муфтой, компенсирующей эксцентриситет. Корпус турбины через переводник соединяется с бурильной колонной. (Видео)

***Реактивно-турбинные агрегаты***

Для бурения верхних интервалов скважин диаметром 0,394 - 1,02 м применяют реактивно-турбинные агрегаты, у которых два турбобура смонтированы параллельно и жестко соединены между собой.

Для бурения скважин в горнорудной промышленности используют реактивно-турбинные агрегаты с тремя и четырьмя турбобурами, соединенными параллельно. Такими агрегатами бурят скважины диаметром от 1,26 до 5 м.

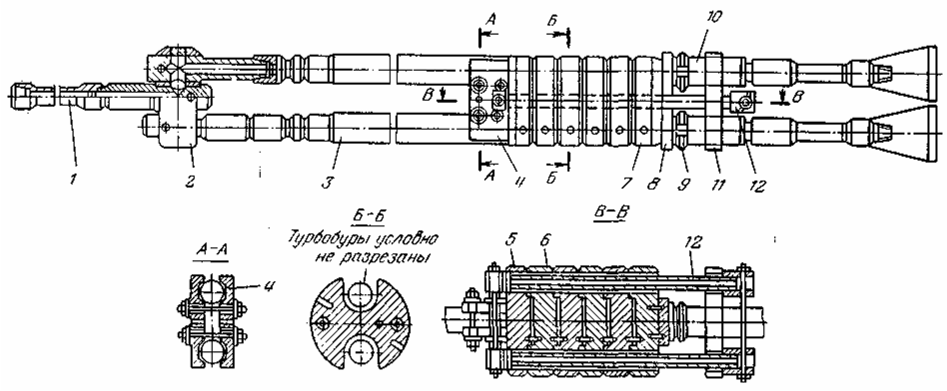


Рис. 4.5. Реактивно-турбинный агрегат РТБ - 1020

На рис. 4.5. показан реактивно-турбинный агрегат для бурения скважин диаметром 1,02 м. Этот агрегат имеет: переводник *1*, соединяющий его с бурильной колонной, траверсу *2*, скрепляющую верхние части агрегата и подводящую жидкость к двум турбобурам, турбобуры *3*, соединенные в средней части полухомутами *4*, грузы *5,6* и *7*, плиту *8*, две разрезные втулки *9*, кольца *10*, нижнюю плиту *11* и стяжки *12*. К валам турбобуров присоединены долота.

При бурении агрегат вращается бурильной колонной вокруг ее оси, а долота совершают как бы планетарное вращение вокруг осей турбобуров и оси скважины, разрушая ее забой. Нагрузка на забой создается грузами *5*, *6* и *7*. Разбуренная порода выносится циркулирующим потоком бурового раствора, подаваемого в скважину насосами.

Для бурения скважин с помощью РТБ используются обычные буровые установки.

**Винтовые гидравлические двигатели**

Винтовые двигатели относятся к объемным роторным гидравлическим машинам.

Согласно общей теории винтовых роторных гидравлических машин элементами рабочих органов (РО) являются:

1) статор двигателя с полостями, примыкающими по концам к камерам высокого и низкого давления;

2) ротор-винт, носящий название ведущего, через который крутящий момент передается исполнительному механизму;

3) замыкатели-винты, носящие название ведомых, назначение которых уплотнять двигатель, т.е. препятствовать перетеканию жидкости из камеры высокого давления в камеру низкого давления.

|  |
| --- |
| https://www.ok-t.ru/studopediaru/baza4/935095466497.files/image300.jpg |

**Рис. 16.1. Упрощенная схема винтового двигателя:**

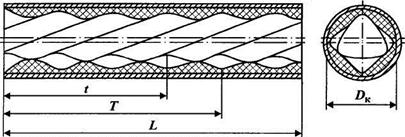
1 - корпус; 2 - ротор; 3 - вал; 4, 5 - осевой и радиальный подшипники; 6 - долото

В одновинтовых гидромашинах используются механизмы, в которых замыкатель образуется лишь двумя деталями, находящимися в постоянном взаимодействии, - статором и ротором.

При циркуляции жидкости через РО в результате действия перепада давления на роторе двигателя создается крутящий момент, причем винтовые поверхности РО, взаимно замыкаясь, разобщают области высокого и низкого давления. Следовательно, по принципу действия винтовые двигатели аналогично поршневым, у которых имеется винтообразный поршень, непрерывно перемещающийся в цилиндре вдоль оси двигателя.

Для создания в РО двигателя полостей, теоретически разобщенных от областей высокого и низкого давления (шлюзов), необходимо и достаточно выполнение четырех условий (рис. 16.2):

1) число зубьев **zl**наружного элемента (статора) должно быть на единицу больше числа зубьев **z2** внутреннего элемента (ротора):



Винтовой двигатель представляет собой забойный агрегат (рис.9) с гидравлическим объемным двигателем, приводимый в действие потоком бурового раствора, который закачивается в бурильную колонну с поверхности насосами.

Винтовой двигатель состоит из статора и эксцентрично расположенного винтового ротора, представляющего собой как бы зубчатую пару с внутренним зацеплением с винтовыми зубьями. Число зубьев статора на один больше зубьев ротора, что позволяет ему совершать планетарное движение, как бы обкатываясь по зубьям статора: ось ротора при этом движется по окружности диаметром, равным двойному эксцентриситету *е*. Для соединения ротора с валом шпинделя, соосно расположенного с корпусом, служит шаровая двухшарнирная муфта, компенсирующая эксцентриситет.

Шпиндель винтового двигателя сходен по конструкции со шпинделем турбобура. Он укреплен на радиальных резинометаллических подшипниках и снабжен шаровой пятой для восприятия осевой нагрузки. Вал шпинделя - пустотелый, в верхней части снабжен каналами для прохода жидкости к долоту, присоединяемому через переводник к нижней части вала двигателя. Корпус последнего через переводник прикрепляется к нижней части бурильной колонны.

По принципу действия винтовые двигатели относятся к объемным роторным машинам. Основными элементами рабочих органов таких машин являются: статор - корпус с полостями, примыкающими по концам и камерам высокого и низкого давления; ведущий ротор - винт, вращающий момент которого передается валу шпинделя;

Винтовые поверхности статора и ротора делят рабочий объем двигателя на ряд полостей. Полости, связанные с областями высокого и низкого давления, называются камерами, а замкнутые полости - шлюзами. В поперечном сечении имеются камеры, разделенные между собой контактной линией. Каждая камера по мере вращения периодически связывается с полостями высокого и низкого давления и в каждый заданный момент времени становится шлюзом. Теоретически на длине одного шага происходит разобщение полостей, находящихся выше и ниже рабочих органов.

Поверхности винтовых зубьев ротора и статора, взаимно пересекаясь, отсекают область высокого давления жидкости от области низкого давления и препятствуют ее свободному перетоку. Под действием перепада давления жидкости на ведущем винте образуется вращающий момент, передаваемый на вал шпинделя. Чем больше перепад давления на двигателе, тем больше вращающий момент. По принципу действия винтовой двигатель можно сравнить с поршневым гидравлическим двигателем, снабженным поршнем, который перемещается вдоль оси ротора по винтовой линии. Роль поршня выполняют отсекающие поверхности винтового ротора.

Винтовые двигатели и насосы имеют ряд преимуществ, что позволило использовать их как гидравлические забойные двигатели:

* отсутствие клапанных и золотниковых распределителей потока жидкости;
* отсутствие относительного перемещения трущихся деталей пары

ротор - статор;

* непрерывное изменение положения линии контакта рабочих органов при вращении ротора позволяет потоку бурового раствора удалять абразивные частицы из камер и шлюзов.