

ВИНТОВЫЕ НАСОСЫ

Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплинам
«Гидравлические машины», «Гидромашины и компрессоры»,
«Гидропневмопривод бурового оборудования», «Гидропневмопривод
нефтепромыслового оборудования», «Нефтегазопромысловое оборудование»
для студентов специальностей 130602 (МОП), 130600 (НР) очной и заочной
форм обучения

ВВЕДЕНИЕ

Целью лабораторной работы является знание существующих конструкций винтовых насосов.

Задачи, решаемые для достижения цели:

- понять принцип действия винтовых насосов;
- изучить устройство винтовых насосов и области их применения;

- изучить особенности эксплуатации винтовых насосов. Винтовым насосам свойственны все достоинства гидравлических машин объёмного класса. Вместе с этим следует отметить преимущества, которые выгодно отличают их от других объёмных гидромашин. К этим преимуществам следует отнести минимум движущихся деталей, отсутствие клапанов и сложных проточных каналов, являющихся источниками гидравлических потерь энергии, равномерную подачу, исключая проявление инерционных сил и, наконец, возможность перекачивать более загрязнённые жидкости и жидкости большой вязкости, малые радиальные габариты. Винтовые насосы способны транспортировать глинистые и цементные растворы, масла, пасты, кремы и другие неньютоновские жидкости.

Очевидные достоинства винтовых насосов явились причиной появления их большого многообразия.

Существующие винтовые насосы можно разделить на отдельные группы, объединяемые общими конструктивными признаками, например, количеством винтов. В зависимости от общего числа работающих винтов наибольшее распространение получили одновинтовые, двух- и трёхвинтовые насосы.

Одновинтовые насосы нашли широкое применение в нефтегазодобывающей промышленности для подъёма воды и нефти из скважин.

В нефтегазодобывающей промышленности винтовые насосы нашли применение также в системах смазки насосных и газоперекачивающих агрегатов, технологических процессах нефтехранилищ и нефтебаз,

гидроприводах машин и механизмов агрегатов для подземного и капитального ремонта скважин.

Изучение винтовых насосов параллельно с теоретическим лекционным курсом проводится во время лабораторных занятий на существующих макетах, плакатах и настоящих методических указаний.

Конечным документом студента по лабораторной работе является отчёт, оформленный по единым требованиям и принятый преподавателем, проводившим лабораторные занятия. В отчёте необходимо указать цель, поставленные задачи, представить необходимые конструктивные схемы винтовых насосов и характерных отдельных их узлов, кратко изложить принцип действия и в конце сделать выводы, сравнив с насосами иных видов.

1 ОДНОВИНТОВЫЕ НАСОСЫ

В промышленности нашей страны и за рубежом используют большое многообразие конструктивных типов одновинтовых насосов. В технической и патентной литературе постоянно появляются все новые и новые схемы насосов этого типа. Конструкция одновинтового насоса и область его применения во многом определяются конструктивными средствами, обеспечивающими возможность выполнения планетарного движения рабочих органов насоса. Планетарное движение рабочих органов может быть осуществлено посредством установки между ними и приводным валом (корпусом) карданного вала с шарнирами, муфты, поворотного шарнира.

В большинстве конструкций одновинтовых насосов механизм преобразования вращательного движения приводного вала в планетарное движения винта представлен двумя универсальными шарнирами и соединяющих их карданным валом. Но имеется и ряд конструкций, в которых этот механизм представлен одним шарниром, муфтой, гибкой связью (тросом) или приводной вал жестко связан с винтом.

1.1 Устройство и принцип действия

Независимо от конструктивного исполнения принцип действия одновинтовых насосов один и тот же.

На рисунке 1.1 показан одновинтовой насос с двумя шарнирами.

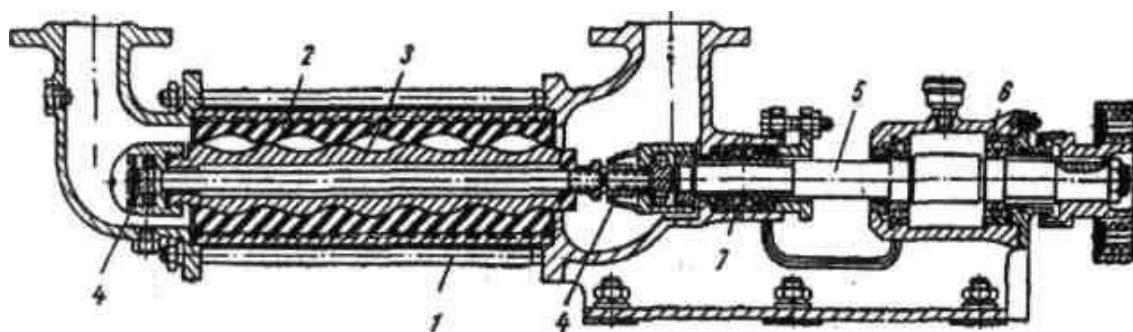


Рисунок 1.1. Схема одновинтового насоса

Основными деталями насоса (рисунок 1.1) являются корпус 1, обойма 2, винт 3, универсальный шарнир Кардана – Гука 4 (или эксцентриковая муфта), приводной вал 5, подшипники 6 и уплотнения 7. Патрубок, расположенный между приводным валом и винтом, является всасывающей камерой. Отдельно винт и обойма показаны на рисунке 1.2.

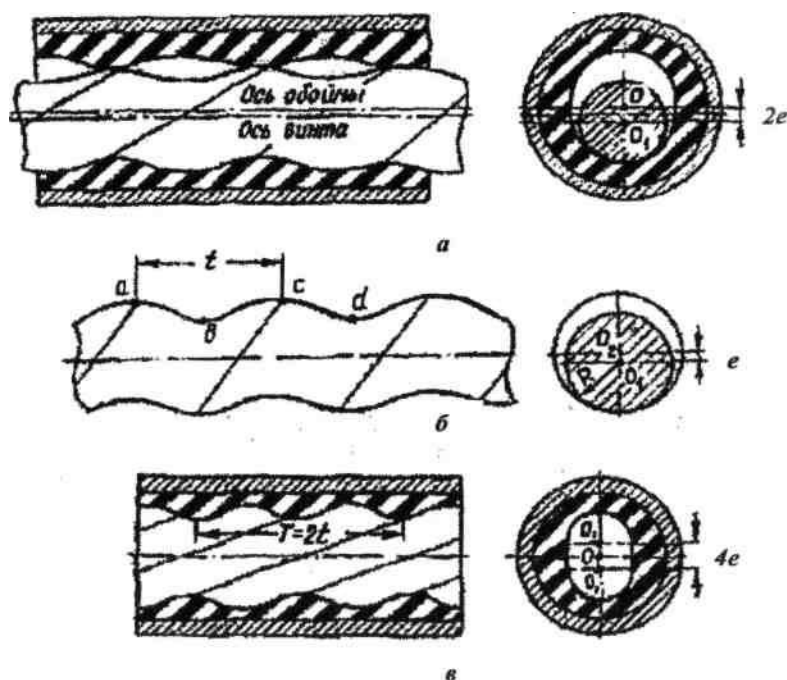


Рисунок 1.2. Винт и обойма винтового насоса

Винт однозаходный, круглого сечения, приводится во вращение от приводного вала при помощи карданного соединения. Внутренняя полость обоймы изготовлена в виде двухзаходной винтовой поверхности с шагом в два раза большим, чем у винта. При вращательном движении винта между

ним и внутренней поверхностью обоймы (точка O - ось обоймы) образуются свободные полости, в которых засасываемая жидкость герметически замыкается (рисунок 1.2, а) и при дальнейшем вращении винта проталкивается вдоль его оси к нагнетательной камере. При этом во всасывающей камере создается вакуум, под действием которого новая порция жидкости всасывается в насос. Здесь уместно указать на большую самовсасывающую способность винтовых насосов. Высота всасывания их достигает 6 – 8 м, что в некоторых случаях может играть очень важную роль.

Любое сечение винта представляет собой правильный круг радиуса R , центр которого O , сдвинут относительно оси винта O_2 на величину эксцентриситета e (рисунок 1.2, б). Поверхность винта образуется одновременным вращением и перемещением вдоль оси синусоиды $abed$. При одном полном обороте винта образующая синусоиды перемещается вдоль оси на величину шага t . Когда насос работает, винт совершает сложное движение. Он вращается вокруг своей оси, а ось его совершает круговое движение, по окружности радиуса $e = r$ в противоположную сторону. Для того, чтобы обеспечить винту возможность совершать такие движения, он крепится к приводному валу посредством шарнира Кардана – Гука или эксцентриковой муфты. Поперечное сечение обоймы (рисунок 1.2, в) образовано двумя полуокружностями радиуса R , соединенными между собой прямыми линиями, длина которых равна расстоянию между центрами этих полуокружностей $4e$. Шаг винтовой поверхности обоймы T равен удвоенному шагу винта $2t$.

Во время вращения винта его любое поперечное сечение непрерывно перемещается в соответствующем поперечном сечении обоймы от верхнего крайнего положения до нижнего, образуя лунообразные пространства.

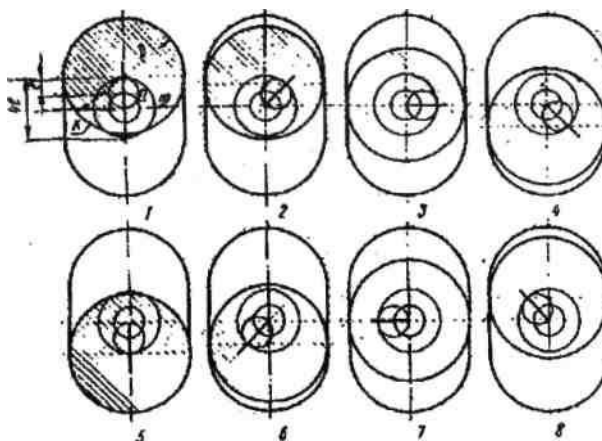


Рисунок 1.3. Положения винта при вращении в сечении обоймы

Суммарная площадь двух поперечных сечений лунообразных полостей равна разности площадей сечения обоймы и винта. Поскольку винт при вращении в осевом направлении не перемещается, то жидкость, заполняющая впадины нарезки, будет совершать движение вдоль оси, в соответствии с шагом нарезки винта t . Очевидно, что жидкость, замкнутая между обоймой и винтовой поверхностью, переместится за один оборот вала в осевом направлении на величину шага обоймы $T = 2t$.

Таким образом, зная площадь поперечного сечения потока

$$F = 4e \cdot 2R = 4eD,$$

где D – диаметр винта, и величину осевого перемещения жидкости за один оборот вала, равную T , можно найти теоретическую подачу винтового насоса за один оборот вала (рабочий объём q)

$$q = FT = 8eDT$$

и теоретическую подачу Q_T при частоте вращения n вала:

$$Q_T = 4eDTn = 8eDtn$$

Действительная подача насоса при объёмном КПД η_0 составит:

$$Q = 8eDtn\eta_0$$

При перемещении замкнутых полостей вдоль оси насоса давление в них возрастает от давления всасывания до давления нагнетания пропорционально пути, проходимому ими в обойме. Если допустить, что в каждой ступени уплотнения давление повышается на величину Δp , то

давление в первой замкнутой полости со стороны всасывания будет $p_{\text{ан}} + \Delta p$, во втором пространстве $p_{\text{ан}} + 2\Delta p$ и в последней ступени $p_{\text{ан}} + (L/T)\Delta p$ (здесь давление всасывания обозначено через $p_{\text{вс}}$, а длина обоймы - L). Таким образом, при одинаковой работе частей винта на всех шагах обоймы процесс повышения давления от $p_{\text{вс}}$ до конечного $p_{\text{кон}}$ изобразится ломаной линией (рисунок 1.4, а).

Действительное нарастание давления в винтовом насосе отличается от представленного на рисунке 1.4, а процесса.

При изготовлении рассматриваемых насосов невозможно создать одинаковые зазоры между обоймой и винтом. По этой причине давление в обойме повышается неравномерно. Действительное нарастание давления по длине обоймы изображено на рисунке 1.4, б. Здесь же пунктирной линией проведено расчетное нарастание давления.

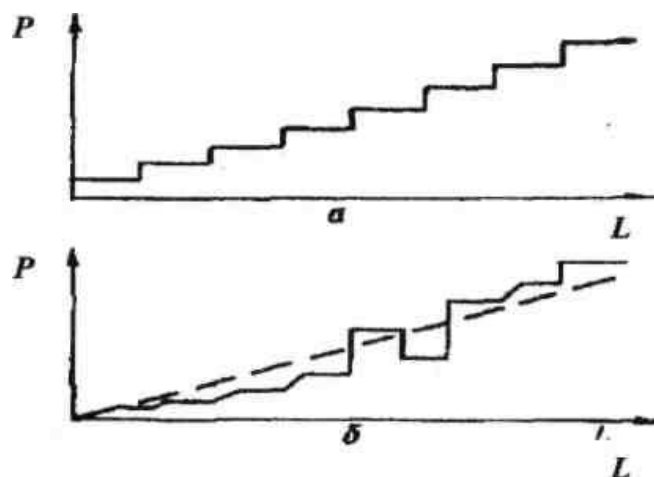


Рисунок 1.4. Изменение давления по длине винта

1.2 Одновинтовые насосы для водоподъёма

Многолетний опыт эксплуатации одновинтовых насосов для водоснабжения различных конструкций и типов выявил их следующие преимущества:

- развиваемый напор не зависит от частоты вращения приводного вала, вследствие чего исключается большая скорость движения жидкости в проточной части насоса;

- так как скорость жидкости в проточной части в 2...3 раза меньше, чем скорость в проточной части центробежного насоса того же габарита, а интенсивность гидроабразивного износа пропорциональна третьей степени скорости, долговечность проточной части одновинтового насоса значительно превосходит долговечность проточной части гидродинамических насосов;

- в отличие от плунжерных насосов пара трения одновинтового насоса винт - обойма представляет собой соединение с непрерывно меняющимся контактом, кинематика которого характеризуется сочетанием скольжения и качения;

- насосы характеризуются весьма высоким значением напора и удельной подачи, что предопределяет низкую металлоемкость конструкции и резервы уменьшения габаритов насоса;

- подача характеризуется весьма большой равномерностью;

- как и центробежные насосы, одновинтовые насосы весьма быстроходны; их можно агрегировать напрямую, без редуцирующих устройств, с электродвигателями, имеющими частоту вращения вала 1000...3000 об/мин.

Таким образом, в одновинтовом насосе объединяются положительные свойства поршневых и центробежных насосов.

По схеме установки насосов в скважине одновинтовые насосы для водоподъема можно классифицировать на следующие типы: штанговые насосы с приводом, находящимся на поверхности; плавающие насосы, привод которых размещен непосредственно на поверхности жидкости, а рабочие органы погружены под уровень или подняты над ним в пределах высоты всасывания насоса; погружные насосы, гидравлическая часть и привод которых находится под уровнем жидкости.

Насос 1ВВ 1,6/4

В конструктивном отношении насос 1ВВ 1,6/4 весьма прост (рисунок 1.5). Он включает: головку 1 с обратным клапаном, реверсивно-

предохранительный клапан 2, обойму 3, винт 4, эластичную эксцентриковую муфту 5, корпус 6, приёмную сетку 7.

Рабочие органы винт и обойма выполнены двухшаговыми.

Анализ схем погружных насосов показывает, что рабочие органы насоса необходимо предохранять от изнашивания при обратном вращении (явлении, связанном с неправильной фазировкой электродвигателя). Если в иных насосах это достигается с помощью механического приспособления в виде кулачковой односторонней муфты (см. п. 1.3.1), то в насосе 1ВВ 1,6/4 эти функции выполняет специальный гидравлический реверсивно-предохранительный клапан 2. В период вращения винта в направлении, обратном рабочему, жидкость из напорной камеры насоса перемещается в область всасывания. Шар клапана опускается из седла-тарелки и ложится на упор. Тем самым напорная камера насоса через каналы в корпусе клапана соединяется с затрубным пространством, обеспечивая циркуляцию жидкости через рабочие органы. При вращении винта в рабочем направлении шар потоком жидкости, идущим из всасывающей камеры, прижимается к седлу, разобщая камеру с затрубным пространством. Наконец, при увеличении давления в напорном трубопроводе выше заданного, седло-тарелка с прижатым шаром поднимается вверх, преодолевая натяжение пружины, выполняя функции предохранительного клапана.

В нижней части насоса расположен корпус 6 и всасывающая сетка 7. Вал ротора электродвигателя без промежуточных звеньев непосредственно связан с ротором насоса. Между ними находятся упругая муфта 5, корпус которой выполнен, из резины. Осевые усилия от давления жидкости на винт передаются на опору электродвигателя. Таким образом, конструкция насоса весьма компактна и проста.

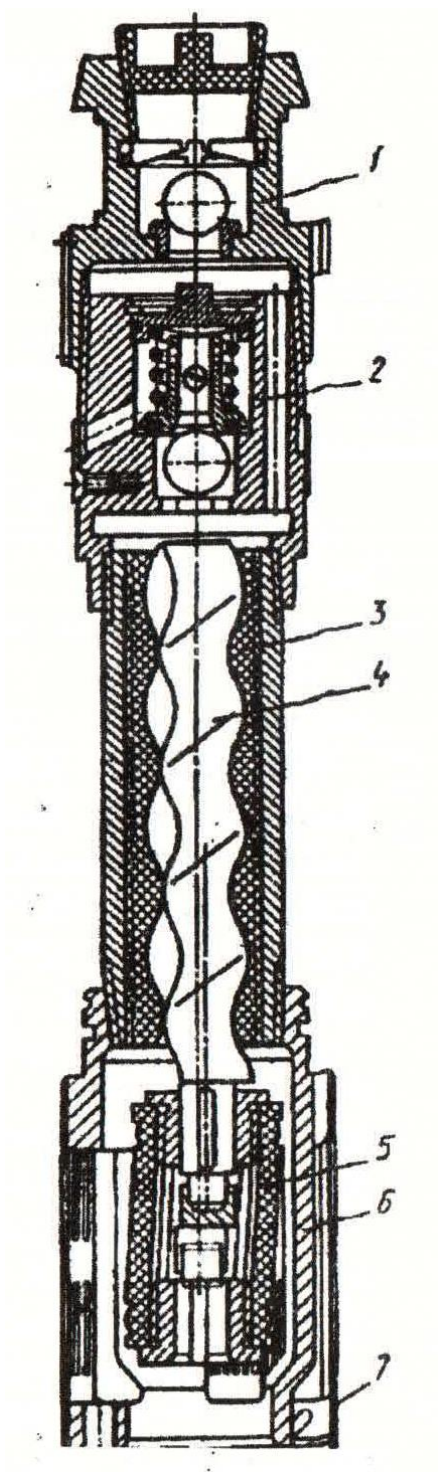


Рисунок 1. 5. Насос 1BV 1,6/4

1.3 Насосы для добычи нефти

Винтовые насосы для добычи нефти применяются как с погружными электродвигателями (ЭВН), так и с наземными приводами (ВШН).

1.3.1 Насосы с погружными электродвигателями

В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются электропогружные винтовые насосы для добычи нефти следующего параметрического ряда:

ЭВН5-12-1200; ЭВН5-12-1500; ЭВН5-16-1200; ЭВН5-16-1500; ЭВН5-25-1000; ЭВН5-25-1500; ЭВН5-63-1200; ЭВН5-100-1000; ЭВН5-100-1200; ЭВН5-200-900. Базовым является насос ЭВН5-63-1200.

В условных обозначениях насосов принято: Э - привод от погружного электродвигателя; В - винтовой; Н - насос; 5 - группа насоса для колонны обсадных труб диаметром 146 мм с минимальным внутренним диаметром 121.7; первые числа (12, 16, 25, 63, 100 и 200) после группы насоса соответствуют номинальным подачам, м³/сут.; последние числа (900, 1000, 1200, 1500) - номинальным напорам, м. Дополнительно в обозначении могут быть буквы Р и Б, указывающие соответственно наличие редуктора и завод - изготовитель (ООО «Борец»). Конструктивно насосы практически не отличаются друг от друга.

Все погружные винтовые электронасосы выполнены по одной и той же схеме с двумя рабочими органами с противоположными направлениями спиралей. Преимущества этой схемы:

- при одном и том же поперечном габарите насоса получается удвоенная подача;
- рабочие органы гидравлически взаимно уравновешены, что исключает передачу значительных осевых сил на основание насоса и пяту электродвигателя.

На рисунке 1.6 представлен насос ЭВН5.

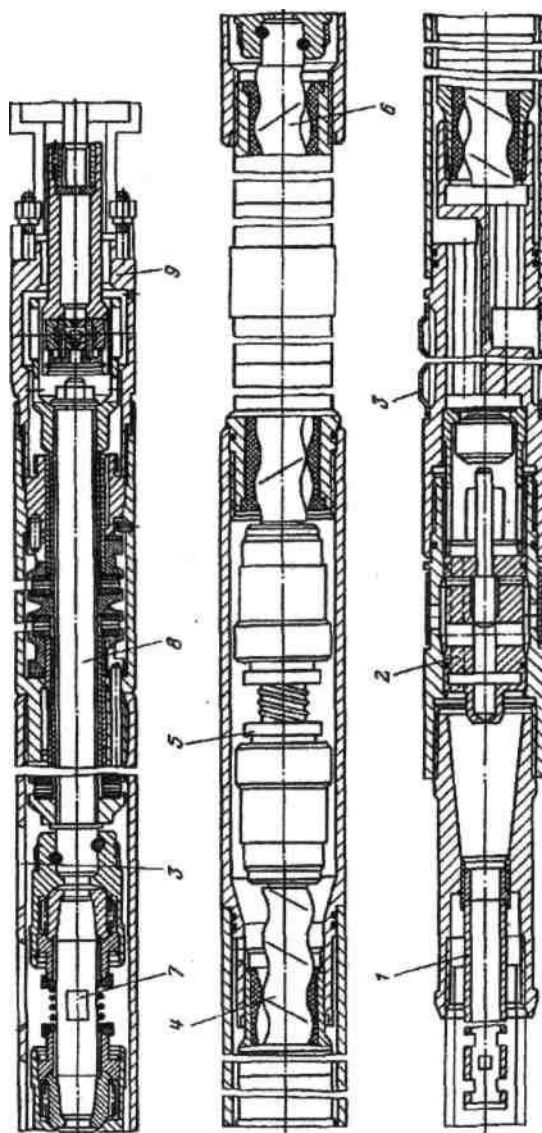


Рисунок 1. 6. Насос погружной винтовой

Погружной винтовой насос (рисунок 1.6) состоит из следующих основных узлов и деталей: пусковой кулачковой муфты центробежного типа 9, основания с приводным валом 8, сетчатых фильтров 3, установленных на приеме насоса, рабочих органов с правыми и левыми обоймами и винтами 6 и 4, двух эксцентриковых шарнирных муфт 5 и 7, предохранительного клапана 2 и шламовой трубы 1.

В основном все эти узлы и детали унифицированы и применяются, за некоторым исключением, во всех насосах одни и те же.

Пусковая муфта, устройство которой показано на рисунке 1.7, обеспечивает включение насоса при максимальном крутящем моменте двигателя, соответствующем частоте вращения 800 – 1100 об/мин.

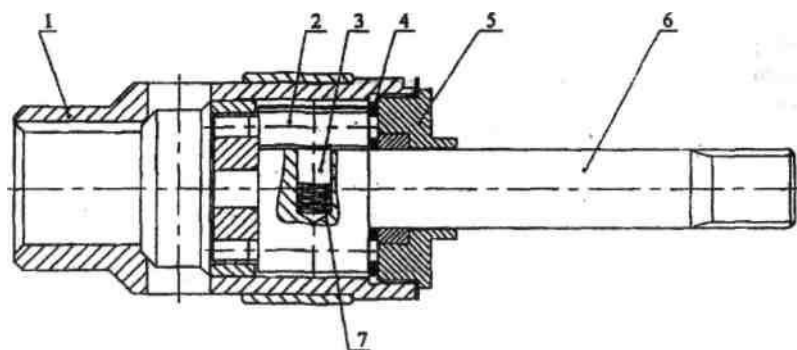


Рисунок 1.7 - Пусковая муфта:

1 - полумуфта; 2 - кулачок; 3 - штифт; 4 - шайба; 5 - крышка; 6 - вал нижней полумуфты; 7 - пружина

Необходимость включения муфты при максимальном крутящем моменте вызвана тем, что винтовой насос имеет большую инерцию покоя, для преодоления которой требуется повышенный пусковой момент. Зацепление кулачков и включение насоса происходит после того, как кулачки вошли в соответствующие окна в ведомой полумуфте, обеспечивающей вращение приводного вала насоса только в заданном направлении. При обратном вращении муфта не включается.

Основание насоса с пусковой муфтой отдельно представлено на рисунке 1.8.

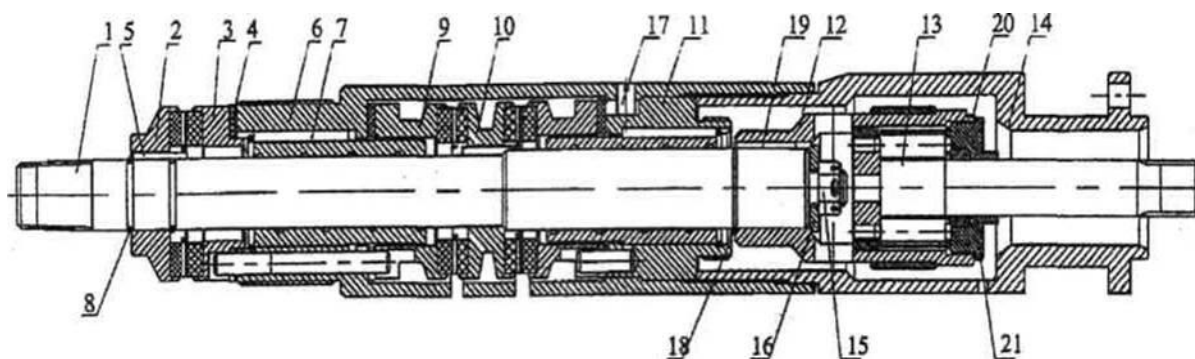


Рисунок 1. 8. Основание:

1 - вал; 2 - обойма; 3 - обойма; 4 - кольцо; 5 - шпонка; 6 – корпус основания; 7 - шпонка; 8 – кольцо запорное; 9 - обойма; 10 - пята; 11 - вкладыш; 12 - полумуфта; 13 – муфта пусковая; 14 - переводник; 15 - гайка; 16 - шайба; 17 – винт стопорный; 18 – кольцо запорное; 19 - шпонка; 20 - кольцо; 21 - крышка;

Опорные пяты, воспринимающие осевые нагрузки, выполнены из силицированного графита СГ-П. Концевые неподвижные опорные пяты

опираются на резиновые прокладки для равномерной передачи усилий на всю поверхность пяты.

Основание используется в насосах, комплектуемых гидрозащитой 1Г51. В этом узле нет сальника, а смазка трущихся поверхностей осуществляется пластовой жидкостью.

Эксцентриковые муфты 5 и 7 (рисунок 1.6) обеспечивают возможность сложного планетарного вращения винтов в обоймах, благодаря чему жидкость проталкивается вдоль оси винта и создается необходимый напор для подъема жидкости на поверхность.

На рисунке 1.9 показана эксцентриковая муфта, применяемая в насосах с подачей 100 и 200 м³/сут.

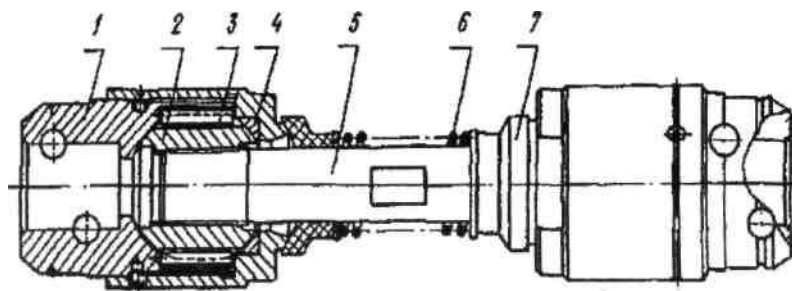


Рисунок 1.9. Эксцентриковая муфта

Муфта состоит из двух шарнирных узлов, соединенных резьбовым валиком 5. Вращение в муфте передается через ролики 3, расположенные в специальных гнездах поводка 2 и корпуса 1. Осевая сила воспринимается поводком и сферической шайбой 4. Резиновые манжеты 7 и пружина 6 сохраняют смазку в шарнирном узле и защищают его от механических примесей. Шарнирность узла обеспечивается сферическими опорными поверхностями поводка и шайбы и зазором между роликами и соответствующими отверстиями в корпусе и поводке.

Эксцентриковая муфта с винтом насоса соединяется штифтами.

В насосах с подачами 12, 16,25 и 63 м³/сут. применяются эксцентриковые муфты, в которых соединение муфты с винтом резьбовое. Устройство такой муфты показано на рисунке 1. 10.

Рабочие винты насоса однозаходные с поперечными сечениями в виде правильного круга. В насосах с подачей 12, 16 и 25 м³/сут рабочие винты изготовлены из стали марки 40Х, а в насосах с подачей 100 и 200 м³/сут - из титанового сплава ОТ-4. Плотность такого сплава примерно в 1,7 раза меньше плотности стали, а по прочности данные материалы практически равноценные. Применение сплава ОТ-4 позволяет уменьшить массу винта, что снижает нагрузку на эластомер обоймы от центробежной силы при вращении винта. Необходимая твёрдость поверхности винта и чистота поверхности достигаются нанесением на поверхность твердого слоя хрома и его полированием в специальном приспособлении.

Двухзаходные обоймы выполнены из специальной резины марки 2Д-405, имеющей высокие физико-механические свойства. Гарантированная наработка до отказа обоймы, непрерывно работающей в нефтяной скважине с напором 900 - 1500 м, должна быть не менее 1 года при сроке хранения 2 года.

Предохранительный клапан 2 расположен в верхней части насоса (рисунок 1.6).

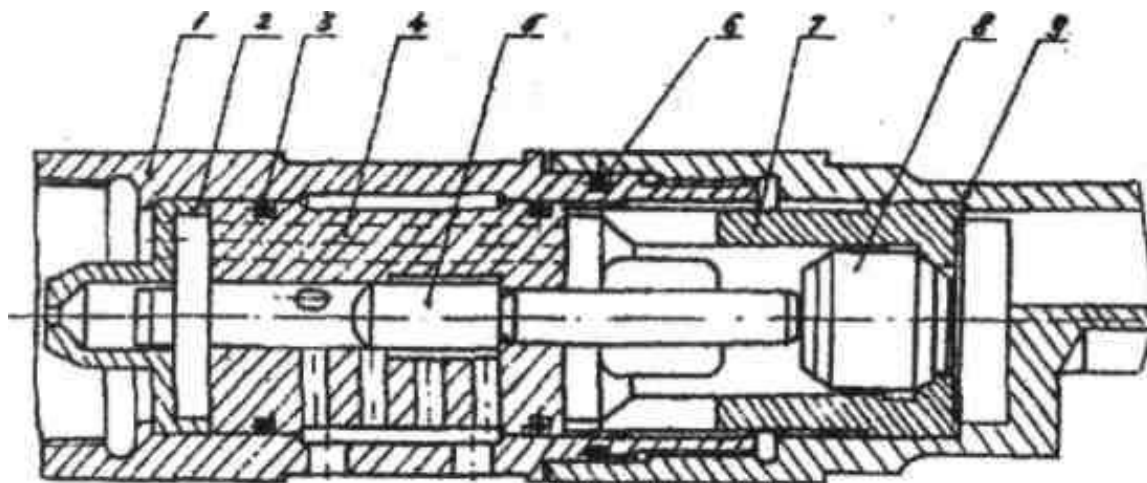


Рисунок 1.11. Предохранительный клапан

Клапан поршеньково-золотниковый, отдельно показанный на рисунке 1.11, состоит из корпуса золотника 4, золотника 5, поршня 8, седла 7 поршня, амортизатора (упора) 2, уплотнительных колец 3 и 6, корпусных деталей 1 и 9.

Клапан обеспечивает технологические и эксплуатационные операции по обслуживанию и монтажу насоса.

Основные функции клапана: защита насоса от перегрузки в случае повышенного давления в напорной линии; обеспечение слива и залива колонны труб при спускоподъемных операциях; перепуск жидкости из напорной линии обратно в скважину или при недостаточном притоке жидкости из пласта в скважину, или при содержании в жидкости большого количества газа; предотвращение обратного потока откачиваемой жидкости из труб через рабочие органы при остановках насоса.

На рисунке 1.12 показаны три промежуточных положения клапана при эксплуатации насоса: заполнение жидкостью колонны труб и слив жидкости при спуске и подъеме установки (рисунок 1.12, а), подача жидкости на поверхность при работающей установке (рисунок 1.12, б) и сброс жидкости при недостаточном притоке жидкости или большом газовом Факторе обратно в скважину (рисунок 1.12, в).

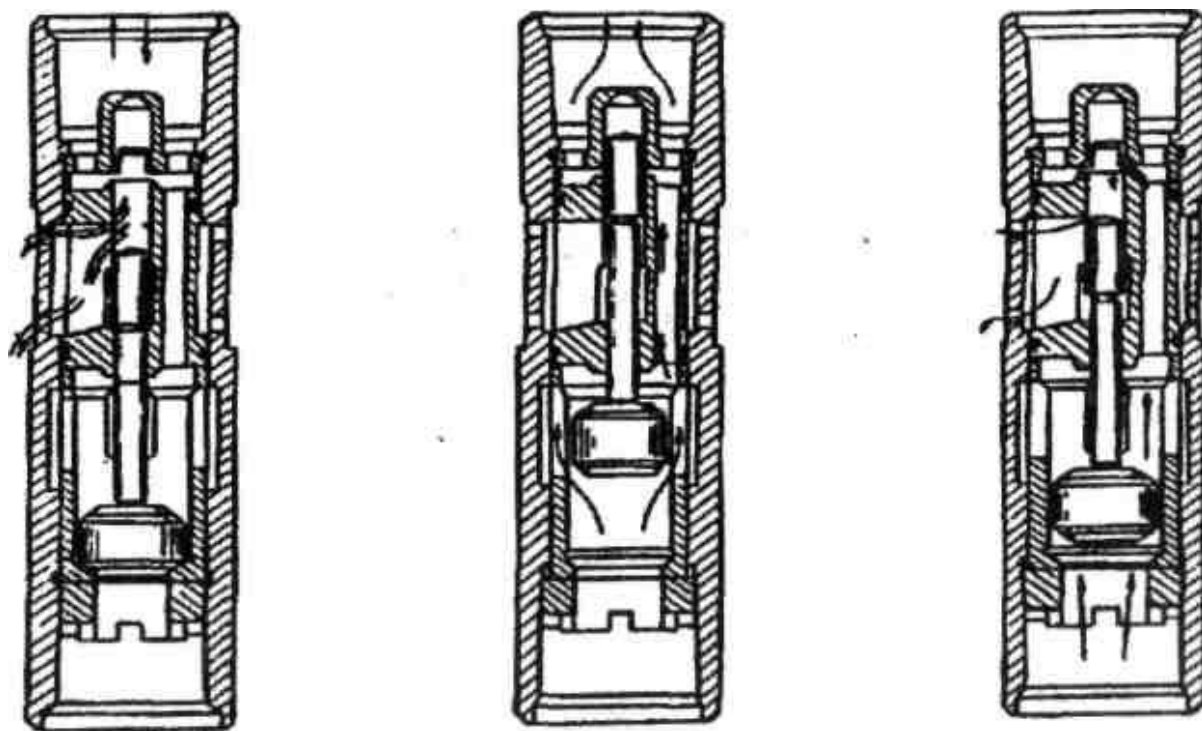


Рисунок 1.12. Схема работы предохранительного клапана

Шламочная труба 1 (рисунок 1.6) защищает насос от механических примесей, выпадающих из колонны труб, заполненных жидкостью, при остановке насоса.

Метрические резьбы и резьбы насосно-компрессорных труб корпусных деталей - правого направления. Конические резьбы на винтах, соединительных валиках эксцентриковых муфт и приводном валу основания - левого направления. Это позволяет достичь того, что все резьбы, во время эксплуатации насоса, работают на заворот.

Конструктивное различие в модификациях насосов состоит только в разнице зазоров в парах «винт - обойма». Зазор считается как разница между внутренним диаметром винтовой поверхности резинового слоя обоймы в свету и наружным диаметром сечения винта. Исполнение насоса выбирается исходя из условий его эксплуатации.

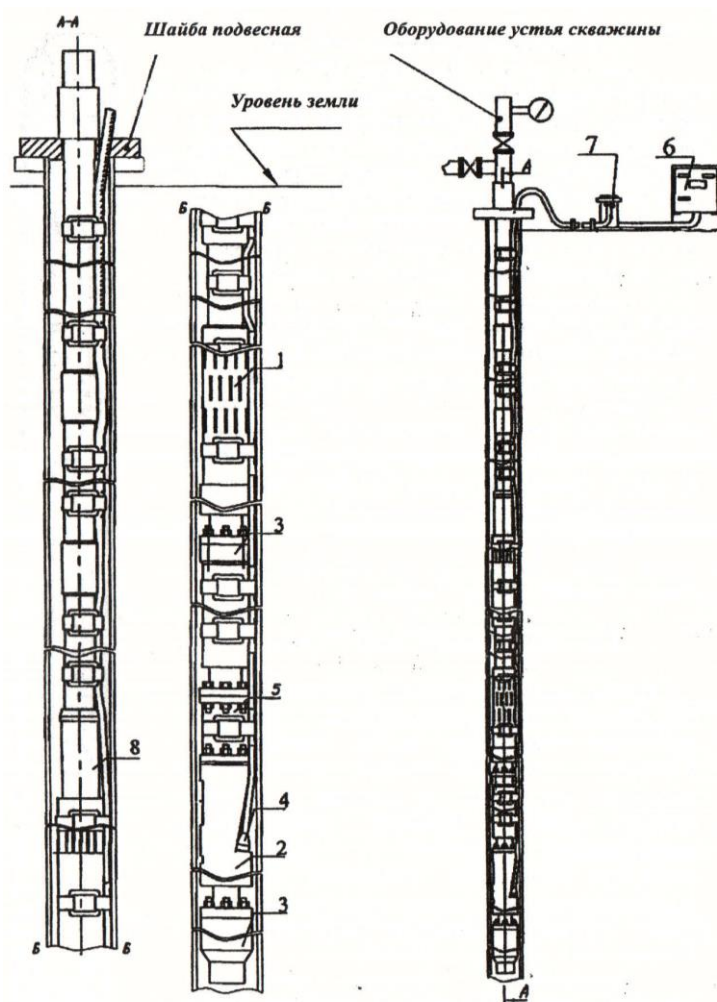


Рисунок 1.13. Установка скважинного электровинтового насоса с редуктором:

- 1 - насос; 2 - электродвигатель; 3 - гидрозащита (протектор и компенсатор);
4 - линия токоподвода; 5 - понижающий редуктор; 6 - станция управления;
7 - трансформатор; 8 - клапан обратный**

Насос работает следующим образом.

После включения погружного электродвигателя вращение через вал протектора 1 (рисунок 1.14) передается ведущей кулачковой полумуфте пусковой муфты 9. Под действием центробежной силы кулачки расходятся, преодолевая усилие стягивающей пружины, и при определенной частоте вращения электродвигателя входят в окна ведомой полумуфты на приводном валу 8. Вал начинает вращаться, а вместе с ним через эксцентриковые муфты 5 и 7 вращается и вся гибкая система рабочих винтов 4 и 6 в обоймах. Жидкость через сетчатые фильтры 3 поступает одновременно к рабочим органам снизу и сверху и при выходе из них, соединяясь в камере между винтами, направляется по кольцевому пространству между корпусом и верхней обоймой и далее через предохранительный клапан 2 поступает в напорную линию (НКТ).

Осевые усилия от двух винтов растягивают муфту, расположенную между ними, и взаимно компенсируются.

1.3.2 Винтовые штанговые насосы

В отличие от скважинных винтовых насосов с погружными электродвигателями винтовые штанговые скважинные насосы приводятся в действие колонной штанг, соединяющей выходной вал наземного привода с рабочим винтом насоса. Наземное расположение электрического двигателя с применением различных ступенчатых трансмиссий позволяет использовать один и тот же типоразмер винтового насоса в скважинах с различными дебитами, так же в скважинах с меняющимися дебитами.

Рациональной областью применения винтовых штанговых насосов являются вертикальные скважины или скважины с малыми темпами набора кривизны.

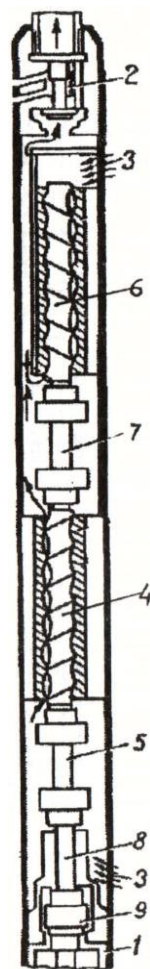


Рисунок 1.14. Схема ЭВН

Установка винтового штангового винтового. Схема ЭВН насоса показана на рисунке 1.15.

Приводная головка 1 предназначена для передачи крутящего момента колонне штанг, восприятия осевых нагрузок от веса штанг и гидравлической силы в рабочих органах насоса, уплотнения устья скважины. Конструктивно приводная головка выполнена на базе корпуса, устанавливаемого на тройник-отвод 2 посредством фланцевого или резьбового соединения. Внутри корпуса, заполненного маслом, на подшипниках качения располагается приводной вал, связанный с ведомым шкивом силовой передачи. В качестве упорного подшипника, воспринимающего осевую нагрузку, используются конический или сферический роликовые подшипники. Для уплотнения вращающегося приводного вала или полированного штока 5 служит одинарное или двойное сальниковое устройство с использованием уплотнительных колец или мягкой набивки.

Для предотвращения обратного вращения колонны штанг после остановки приводного двигателя приводная головка оснащается тормозным устройством механического или гидравлического типа. Это устройство необходимо для восприятия момента кручения от колонны насосных штанг и не допускает отворота штанг и обратного вращения, как самой колонны штанг, так и элементов приводной головки и трансмиссии.

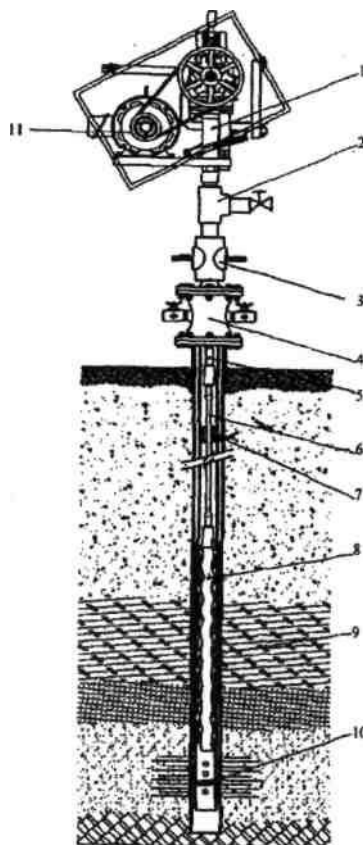


Рисунок 1.15. Установка винтового штангового насоса:

1 - приводная головка; 2 - тройник-отвод; 3 - превентор; 4 - трубная головка; 5 – полированный шток; 6 - штанга; 7 - центратор; 8 - ротор; 9 - статор; 10 - палец; 11- электродвигатель

В отдельных компоновках для удобства обслуживания установки под приводной головкой ставится дополнительный сальник или плащечный превентор 3. Первый служит для замены основного сальника без остановки насоса, что особенно актуально в зимних условиях эксплуатации, второй - для герметизации устья скважины при ремонте поверхностного оборудования.

Рама под приводной двигатель при использовании клиноременной силовой передачи оснащается устройством натяжения ремней. Зажим

полированного штока, как правило, осуществляется двумя полухомутами, внутренняя цилиндрическая поверхность которых закрепляется со штоком с помощью четырех или шести болтов, а наружная профилированная поверхность (например, прямоугольная) вставляется в ступицу приводного вала.

Скважинное оборудование установки ВШН состоит из колонны насосно-компрессорных труб (НКТ), в нижней части которой устанавливается статор 9 насоса, а ротор 8 соединен с нижним концом вращающейся в центраторах 7 колонной штанг.

По схеме закрепления статора различают трубный (статор закрепляется на резьбе на конце колонны НКТ) и вставной (статор спускается на штангах в сборе с ротором и крепится в НКТ с помощью специального замка) винтовые насосы.

Применение схемы вставного насоса, позволяет производить замену рабочих органов насоса (при их износе или в случае перехода на новых режим откачки) без подъема колонны НКТ

Компоновка низа колонны НКТ в зависимости от условий эксплуатации скважины может включать следующие элементы: фильтр; газовый и песочный сепараторы; динамический якорь (анкер); центратор или фонарь статора; обратный и циркуляционный клапаны; упорный палец 10 насоса.

Динамический якорь, устанавливаемый ниже статора, фиксирует НКТ относительно эксплуатационной колонны в радиальном направлении, допуская при этом их вертикальное перемещение. Включение в скважинное оборудование якоря обусловлено тем, что при правом (по часовой стрелке) вращении штанговой колонны реактивный момент, возникающий на корпусе статора насоса, работает на отворот резьбы статора и НКТ. Якорь выполняется на базе фрикционного механизма, приводящего в действие плашки' при возникновении крутящего момента. Якорь целесообразно использовать при больших крутящих моментах, обусловленных диаметром

винта или давлением насоса. При отсутствии якоря при монтаже насосной установки необходимо обеспечить требуемые моменты крепления резьбовых соединений НКТ.

Упорный палец в насосе служит для правильной подгонки длины колонны штанг при монтаже винтового насоса.

Штанговые невращающиеся центраторы, выполняющие функцию промежуточных радиальных опор, могут быть представлены в двух конструктивных исполнениях:

- неразборные, размещенные непосредственно на полноразмерной или укороченной штанге по специальной технологии в заводских условиях;

- разборные, устанавливаемые между муфтами стандартных штанг.

Наиболее рационально применять штанговые центраторы, обеспечивающие их неподвижность относительно колонны НКТ, что приводит к снижению расхода электроэнергии и износа НКТ. Центраторы выполняются из пластмасс или композитных материалов, работоспособных в различных средах и температурных условиях.

Несколько нижних штанг, расположенных в непосредственной близости к эксцентрично вращающемуся ротору, центраторами не оснащаются.

В качестве рабочих органов отечественных и зарубежных штанговых винтовых насосов преимущественно используют винтовые пары Муано с кинематическим отношением (отношение числа зубьев винта и обоймы) 1:2. Преимущества насосов с однозаходным ротором:

- относительно простая технология изготовления ротора;
- пониженная вибрация вследствие минимальной переносной угловой скорости ротора;
- повышенная допустимая частота вращения (не очень ограниченная инерционной силой), что в определенных условиях упрощает схему привода насоса;
- минимальная скорость жидкости в каналах рабочих органов, уменьшает их гидроабразивный износ;

- оптимальная кривизна винтовых поверхностей рабочих органов, что обеспечивает минимальные контактные напряжения.

Основной недостаток насосов с однозаходным ротором - необходимость существенного удлинения рабочих органов при пониженной частоте вращения (500 об/мин и ниже), что значительно усложняет технологию изготовления таких узлов и повышает их стоимость.

В последние годы находят применение многозаходные винтовые насосы.

Многозаходные винтовые насосы (МВН), имеют существенные конструктивные и эксплуатационные преимущества по сравнению с традиционной схемой, обусловленные кратностью действия и повышенным числом контактных линий, отделяющих вход и выход многозаходного насоса:

-увеличенную подачу (в 2-3 раза) при одинаковой частоте вращения и наружном диаметре насоса;

-уменьшенный осевой габарит при одинаковых давлениях;

-уменьшенный диаметр при одинаковых подачах и частоте вращения, что позволяет сконструировать вставной насос для НКТ большего диаметра;

- пониженная скорость скольжения рабочих органов, что уменьшает фрикционный износ.

Отечественными разработчиками создано несколько параметрических рядов МВН ($Q = 1...100 \text{ м}^3/\text{сут}$), в основу которых положено варьирование диаметральными размерами рабочих органов и их кинематическим отношением при сохранении оптимальной (нормализованной) плоской и пространственной геометрии.

Рабочие органы МВН производятся ПФ ВНИИБТ НПО «Буровая техника» и Павловским машиностроительным заводом.

Надежность работы ВШН во многом зависит от точности осевой подгонки ротора в статор, определяемой по разгрузке веса колонны штанг при помощи индикатора веса на подъемном агрегате или по вращению колонны

штанг при перемещении ротора в статоре. Для осевой подгонки ротора в компоновку колонны штанг включаются укороченные штанги длиной от 1 до 3 м. Точная подгонка обеспечивается за счет захвата полированного штока (в ВШН имеющего название полированного или приводного вала) специальными полухомутами в любом месте поверхности.

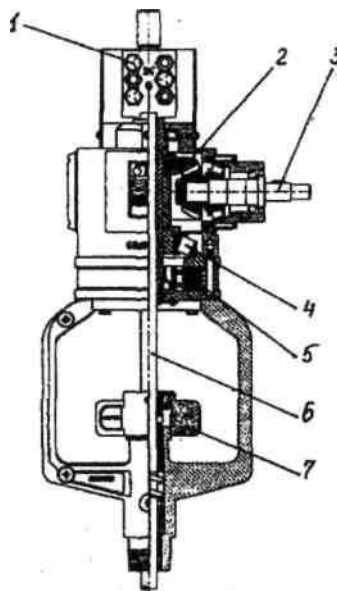


Рисунок 1.16. Схема привода винтового штангового насоса с двухступенчатой трансмиссией:

1 - захват полированного штока; 2 - коническая зубчатая передача; 3 - вал ведомого шкива клиноременной передачи; 4 - основной подшипник; 5 - тормозное устройство; 6 - полированный шток; 7 - уплотнение полированного штока

При работе установки ВШН поднимаемая пластовая жидкость движется в кольцевом зазоре между колонной НКТ и штангами и далее через боковой отвод тройника поступает в промысловый коллектор. Наиболее распространенные НКТ и насосные штанги в установках ВШН имеют диаметры соответственно 73 и 22 мм, а полированные штоки 31 и 36 мм.

На рисунке 1.16 приведена конструктивная схема привода с двухступенчатой трансмиссией (клиноременная передача + коническая зубчатая передача) и горизонтальным расположением электродвигателя (см. рисунок 1.15). Данная схема привода обеспечивает большое передаточное отношение, что позволяет использовать быстроходные электродвигатели с малой массой или обеспечивать малые скорости вращения ротора насоса.

Кроме привода, представленного на рисунках 1.15 и 1.16, применяются приводы с вертикальным расположением вала электродвигателя и планетарной, зубчатой и ременной трансмиссиями (рисунок 1.17).

Двухступенчатая схема (первая ступень - ременная, вторая ступень - зубчатая передача) обеспечивает возможность использования быстроходных приводных двигателей с пониженными массогабаритными показателями, а также снижение передаточного отношения первой ступени, что позволяет осуществлять широкое регулирование частоты вращения штанг путем смены шкивов ременной передачи.

Вертикальная компоновка двигателя характерна для одноступенчатых ременных трансмиссий, горизонтальная (когда ось приводного двигателя располагается перпендикулярно оси скважины) - для приводов с зубчатой конической передачей.

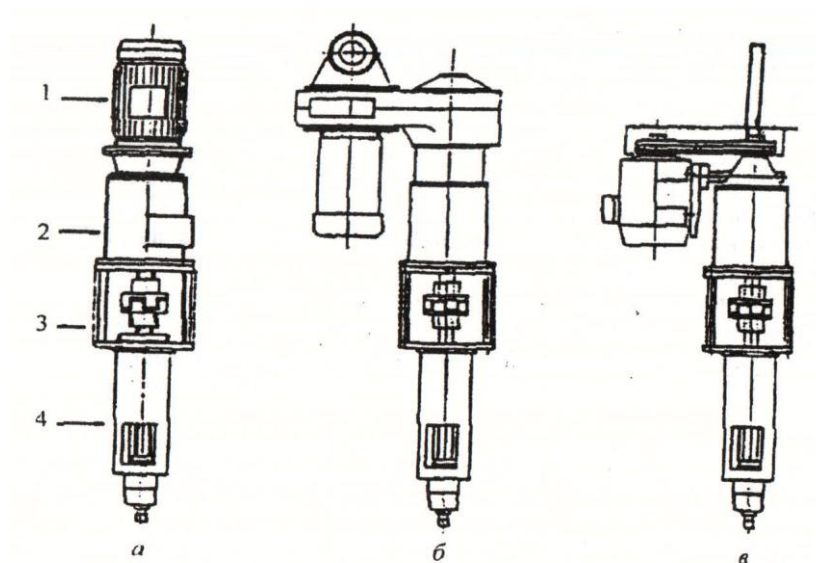


Рисунок 1.17. Схемы приводов винтовых штанговых насосов:

***а* - с планетарной трансмиссией; *б* - с зубчатой трансмиссией;**

***в* - с ременной передачей: 1 - электродвигатель, 2 - планетарный редуктор, 3 - муфтовое соединение вала привода и полированного штока, 4 - корпус уплотнения полированного штока**

2 ДВУХВИНТОВЫЕ НАСОСЫ

Двухвинтовые насосы, как правило, имеют прямоугольный или трапециевидный профиль винтов. Такая конструкция винтов не позволяет, чтобы при вращении поверхность одного винта контактировала с поверхностью другого винта, поэтому между ними имеется зазор, не позволяющий добиться достаточно надежного разобщения области всасывания от области нагнетания. Из-за наличия зазора между камерами высокого и низкого давления эти насосы условно называют негерметичными. Однако даже при наличии узкой щели между двумя полостями с разными давлениями за счёт её длины можно создать настолько большие гидравлические сопротивления, что практически исключит перетекания жидкости между этими полостями. Именно поэтому для уменьшения перетекания жидкости через зазоры длину винтов увеличивают, одновременно уменьшая шаг нарезки. Этим самым создается лабиринтное уплотнение, от величины гидравлического сопротивления которого зависят и давление на выходе насоса, и его объёмный коэффициент полезного действия. Зазор между поверхностями винтов изменяется в зависимости от температуры, но даже при максимальной температуре он не должен исчезать, ибо произойдет заклинивание винтов. Во избежание плавления винтов они надежно фиксируются в осевом направлении.

Для обеспечения синхронизации вращении двух винтов, при отсутствии между ними зацепления, в насосах применяется зубчатая передача, состоящая из двух одинаковых шестерен, посаженных на валы винтов. Как правило, шестерни находятся вне корпуса насоса и имеют автономную смазку.

Вынесенные за пределы корпуса насоса синхронизирующие шестерни и подшипники, а также имеющийся зазор между винтами позволяют использовать двухвинтовые насосы для перекачки жидкостей, загрязненных механическими примесями, без быстрого абразивного износа винтов.

Разгрузка роторов от осевых сил гидростатического давления в двухвинтовых насосах чаще всего осуществляется за счёт подвода жидкости

к винтам, имеющим разное направление нарезки, с противоположных сторон. Также для этих целей применяется подвод по специальным каналам из области высокого давления к торцевым поверхностям валов со стороны всасывания. Каналы выполняются либо в корпусе насоса, либо в валах винтов.

Расчётная подача двухвинтового насоса может быть также определена с достаточной точностью по формуле

$$Q_T = \frac{\pi}{4} (D_H^2 - D_B^2) t n,$$

где D_H и D_B - внешний и внутренний диаметры винта; t - шаг винта; n - частота вращения вала.

На рисунке 2.1 представлен двухвинтовой насос.

Направление вращения ведущего вала 2 и размещение винтов 4,5 с различным направлением нарезки подобраны так, что крайние полости корпуса насоса являются всасывающими, а средняя полость - нагнетательной. Этим самым роторы разгружаются от осевых сил, а сальники 6, находящиеся со стороны полостей всасывания, не испытывают давления нагнетаемой жидкости. Винты имеют фиксированное положение, исключаящее контакт их между собой и обоймой.

В корпусе насоса имеется зарубашечное пространство (ЗП) для парового обогрева при перекачивании высоковязкой нефти.

Двухвинтовые насосы нашли широкое применение за рубежом для перекачки нефти, нефтепродуктов, щелочей, кислот, воды, смол, битумов. В нашей стране из-за отсутствия налаженного массового производства они встречаются крайне редко.

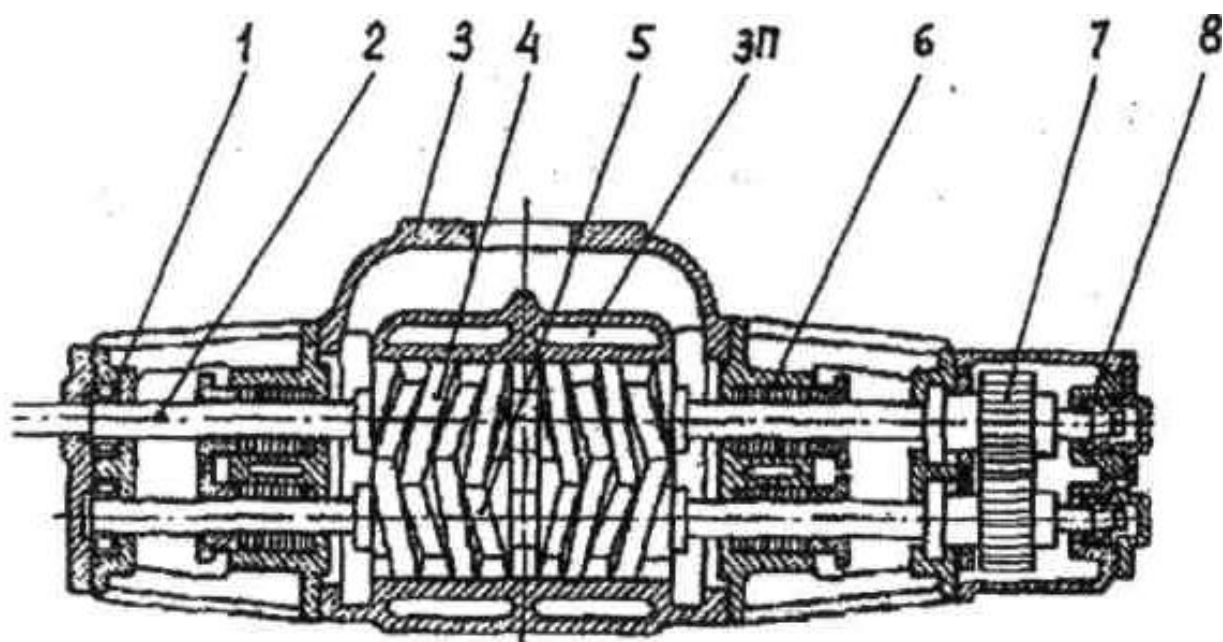


Рисунок 2.1. Двухвинтовой насос: 1,8 - подшипники; 2 - приводной вал, 3 - корпус; 4,5 - винты; 6 - сальниковое уплотнение вала; 7 - синхронизирующие шестерни; ЗП - зарубашечное пространство

3 ТРЁХВИНТОВЫЕ НАСОСЫ

У винтовых насосов с циклоидальным зацеплением профиль нарезки винтов в нормальном к оси сечении образован циклоидальными кривыми. Благодаря такой геометрической форме нарезки в сочетании с достаточной длиной винтов, заключенных в обойму (рубашку) насоса, обеспечивается теоретически герметичное отделение камеры нагнетания от камеры всасывания.

Трехвинтовые насосы имеют один ведущий винт и два симметрично расположенных относительно него ведомых винта. Они выполняются с односторонним и двусторонним подводом жидкости.

На рисунке 3.1 показан трехвинтовой насос с односторонним подводом жидкости. Средний винт 1 является ведущим, а два боковых 4 - ведомыми.

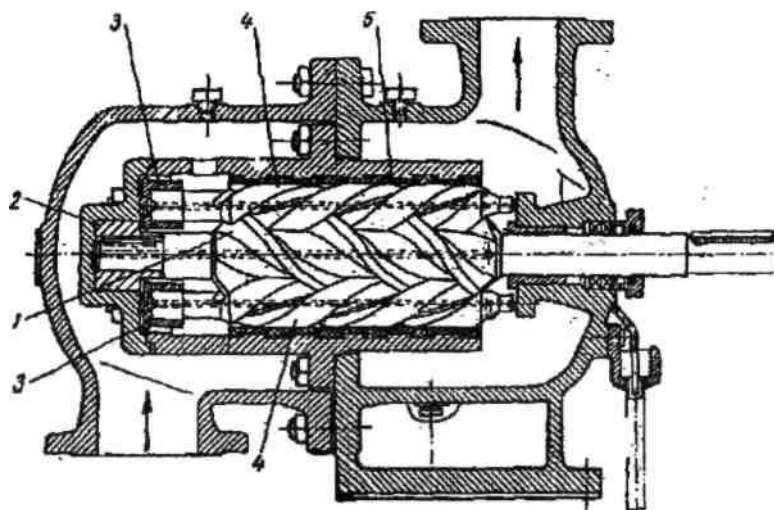


Рисунок 3.1. Трехвинтовой насос

Нарезанные части винтов заключены в обойму 5, в которой они вращаются как в подшипниках с небольшими зазорами.

Для разгрузки винтов от действия осевых сил, возникающих при работе насоса, у торца ведущего винта предусмотрен разгрузочный поршень 2, а у торцов ведомых винтов помещены разгрузочные стаканы 3. Подвод жидкости из области нагнетания насоса под торцы валов винтов осуществляется по радиальным и осевым каналам винтов (на рисунке 3.1 обозначены пунктирными линиями).

Ведущий винт по сравнению с ведомыми винтами более массивен, так как он несет основную нагрузку в рабочем процессе.

Геометрические соотношения нарезок винтов выбраны так, что обеспечивается не только герметичность рабочих органов, но и отсутствие передачи крутящего момента с ведущего винта на ведомые. Ведомые винты не производят полезной работы, а служат только в качестве уплотнений, препятствующих перетеканию жидкости из камеры нагнетания в камеру всасывания, и в процессе нормальной работы вращаются не в результате взаимодействия с ведущим винтом, а благодаря давлению перекачиваемой жидкости. Так как функции ведомых винтов сводятся лишь к герметизации, то они не нагружены крутящим моментом и отличаются большой

долговечностью. Насосы допускают высокие числа оборотов, достигающие до 18000 оборотов в минуту.

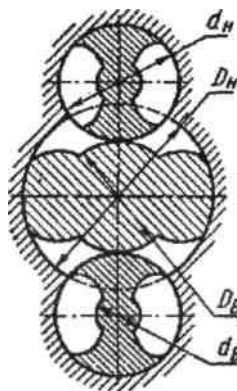


Рисунок 3.2. Сечение винтов в обойме

Для обеспечения герметичности необходимо создать постоянное перекрытие между камерами всасывания и нагнетания, для чего минимальная длина винтов L должна быть $L > 1,25t$, где шаг винта t . Для насосов с развиваемым давлением 15...20 МПа длина винтов равна $L = (6...8)t$.

При вращении винтов жидкость, заполняющая их впадины, перемещается поступательно на величину одного шага за один оборот ведущего винта. В соответствии с этим подача трехвинтового насоса за один оборот ведущего винта равна объему каналов, по которым жидкость движется вдоль винтов в пределах одного шага. Этот объем определяется свободной площадью между обоймой и телом винтов (рисунок 3.2) и шагом винтов t и равен $(F - f) \cdot t \cdot n$. Следовательно, расчетная производительность при числе оборотов n в минуту равна

$$Q_0 = (F - f) \cdot t \cdot n,$$

где F и f - площадь поперечного сечения расточек корпуса под винты и площадь сечения винтов. Для трехвинтовых насосов площадь сечения потока принимают

$$(F - f) = 2,4 d_i^2.$$

В качестве исходной величины при расчетах трехвинтовых насосов принимают диаметр d_H наружной окружности ведомых винтов, через который выражают все прочие размеры. Наиболее рациональными соотношениями между отдельными параметрами винтов можно принять:

$$D_a = d_i; \quad D_i = \frac{5}{3}d_i; \quad d_d = \frac{1}{3}d_i; \quad t = \frac{10}{3}d_y,$$

где D_v и D_H – внутренний и наружный диаметры нарезки ведущего винта.

На рисунке 3.3 изображена одна из конструкций трехвинтового насоса с двусторонним подводом жидкости. Ведущий и ведомые винты имеют по две нарезки противоположного направления. Всасывание жидкости происходит по концам корпуса, а нагнетание – в середине.

Ведомые винты полностью разгружены от осевых усилий. Незначительное осевое усилие возникает лишь на ведущем винте.

Опорой для винтов насоса служат две взаимозаменяемые обоймы, вставленные в корпус насоса и закрепленные в нем.

Со стороны привода расположен выносной шариковый подшипник, который фиксирует ведущий винт в осевом направлении.

В корпусе насоса предусмотрено зарубашечное пространство для парового обогрева.

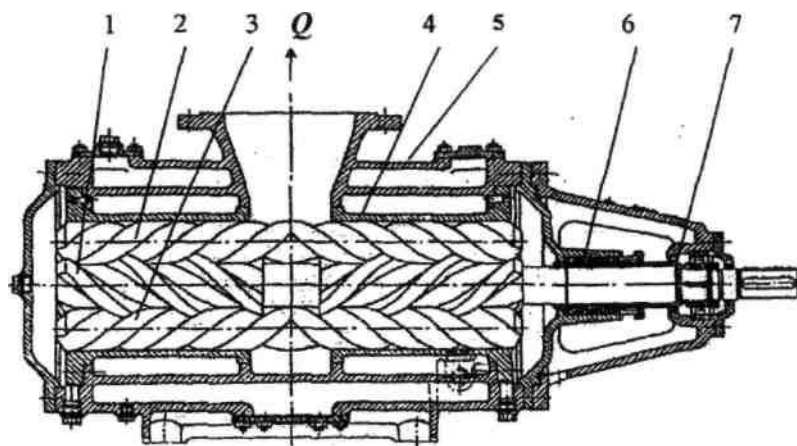


Рисунок 3.3. Насос с двусторонним подводом жидкости:

1 - ведущий винт; 2, 3 - ведомые винты; 4 - обойма; 5 - корпус; 6 – уплотнение вала; 7- подшипник

Контрольные вопросы

1. Какими достоинствами обладают винтовые насосы?
2. Что представляют собой рабочие органы одновинтового герметичного винтового насоса (насос Муано)?
3. Что подразумевается под кинематическим отношением рабочих органов одновинтового герметичного винтового насоса?
4. Как в одновинтовом насосе производится преобразование вращательного движения приводного вала в планетарное движение винта?
5. Как в одновинтовом герметичном насосе перемещаются сечения винта в обойме?
6. По какой траектории перемещаются точки поверхности винта одновинтового герметичного насоса?
7. Как и в каком направлении перемещается ось винта по отношению к направлению вращения винта?
8. Как рассчитывается теоретическая подача одновинтового насоса?
9. Что приводится в обозначении марки погружного винтового электронасоса?
10. Что даёт применение в погружном винтовом электронасосе две пары рабочих органов (винт + обойма)?
11. Для чего применяется пусковая муфта в погружном винтовом электронасосе?
12. Какой принцип работы заложен в пусковой муфте?
13. Где и для чего в погружном винтовом электронасосе применены эксцентриковые муфты?
14. Из чего состоит эксцентриковая муфта?
15. Для чего в эксцентриковой муфте установлена пружина?
16. Что подразумевается под понятием натяг на контактной поверхности рабочих органов?
17. Какие функции выполняет предохранительный клапан скважинного винтового электронасоса?

18. Что представляет собой винтовой штанговый насос?
19. Какие схемы приводов применяются для штанговых скважинных насосов?
20. В чём достоинства двухступенчатых приводов штанговых скважинных насосов?
21. Какие винтовые насосы называют негерметичными?
22. Чем обеспечивается синхронизация вращения винтов в негерметичных винтовых насосах?
23. Как рассчитывается теоретическая подача 3-х винтового насоса?
24. Какие функции выполняют ведомые винты в 3-х винтовом насосе?
25. Чем вращаются ведомые винты в 3-х винтовом насосе?