

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РФ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Томский политехнический университет»

Кафедра теоретической и прикладной механики

ПОРШНЕВЫЕ НАСОСЫ

Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине
«Гидромашины и компрессоры» для студентов, обучающихся по направлению
151000 «Технологические машины и оборудование»

Томск 2012

ВВЕДЕНИЕ

Все основные технологические процессы в нефтяной, газовой и нефтехимической отраслях промышленности связаны с перекачкой по трубопроводам различных жидких сред. Для этой цели используют самые разнообразные типы и конструкции насосов. Среди них благодаря простоте и надежности большое распространение получили объемные насосы возвратно-поступательного действия или, как принято называть, "поршневые" насосы.

Исключительное применение поршневые насосы нашли в бурении нефтяных и газовых скважин, где они используются для создания циркуляции промывочного раствора в скважине с целью очистки забоя от выбуренной породы и выноса ее на поверхность, приведения в действие турбины турбобура, закачки в скважину цементного раствора и др.

Конструкции поршневых насосов весьма разнообразны. В зависимости от условий эксплуатации и предъявляемых к насосам требований используются те или иные варианты конструкторских разработок, отличающихся как их общей принципиальной схемой, так и исполнением отдельных узлов и деталей.

Создание новых совершенных гидромашин и эффективная их эксплуатация невозможна без знаний уже существующих разработок в этой области. Предлагаемые лабораторные работы предназначены для изучения основных разновидностей и устройства возвратно-поступательных насосов.

Для этой цели в методических указаниях предусмотрено три лабораторные работы. Перед выполнением каждой лабораторной работы требуется ознакомиться с ее целью и содержанием, затем прочитать в соответствующих разделах указаний необходимый материал. Результаты лабораторных работ должны быть оформлены на листах формата А4 в соответствии с правилами оформления технической документации. В отчете обязательно указывается ее название и цель.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Изучение конструкций возвратно-поступательных насосов

Цель работы. Знание устройства и разновидностей возвратно-поступательных насосов.

Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип действия возвратно-поступательных насосов, их классификацию и варианты конструктивных схем по данным методическим указаниям.

2. Найти в лаборатории "Гидромашины и компрессоры" возвратно-поступательные насосы, и определить к какой классификационной подгруппе они относятся.

3. Проанализировать достоинства и недостатки изученных вариантов конструктивных схем насосов.

4. Проверить усвоение материала лабораторной работы по контрольным вопросам.

Требования к содержанию отчета

В отчете привести:

1. Выводы о достоинствах и недостатках рассмотренных в работе конструктивных схем, области их наиболее рационального применения. Выводы кратко аргументировать.

2. Написать конструктивную характеристику лабораторных образцов возвратно-поступательных насосов

1.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1.1 Принцип действия поршневого насоса

Поршневые (возвратно-поступательные) насосы относятся к классу объемных гидравлических машин, принцип действия которых основан на заполнении жидкостью некоторых ограниченных объемов и вытеснении ее из данных объемов тем или иным рабочим органом. Ограниченные объемы образуются элементами корпуса насосов и составляют их рабочие камеры.

Отличительная особенность поршневых насосов состоит в том, что их рабочие камеры являются неподвижными, вытеснение жидкости из них

осуществляется рабочим органом, совершающим возвратно-поступательное движение относительно камер.

Конструктивные схемы всех поршневых насосов принципиально аналогичны. В общем случае насосы данного типа состоят из двух частей *гидравлической* и *приводной*. Гидравлическая часть предназначена непосредственно для перекачки жидкости, а приводная служит для привода в действие гидравлической части, т.е. для передачи ей энергии от двигателя.

На рисунке 1.1 представлена конструктивная схема гидравлической части простейшего поршневого насоса.

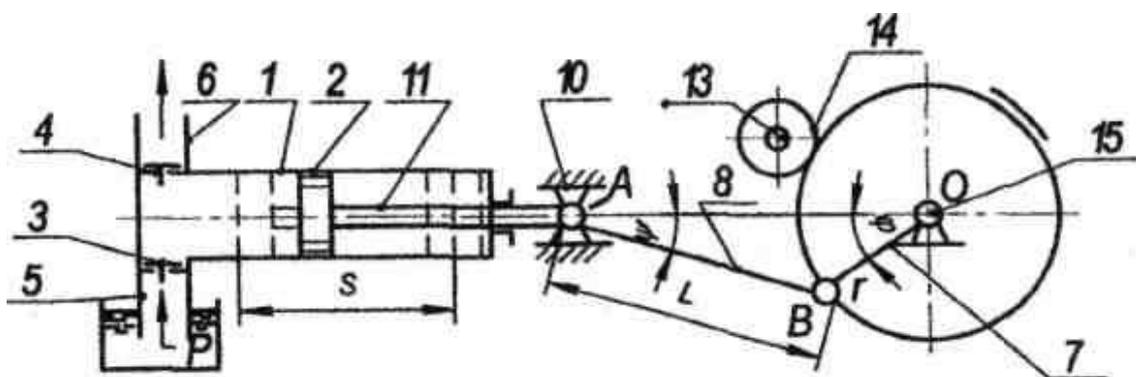


Рис. 1. Схема приводного поршневого насоса одностороннего действия

Основными составляющими гидравлической части данного насоса являются рабочая камера (цилиндр) 1, рабочий орган (поршень) 2 и клапаны - всасывающий 3 и нагнетательный 4. Клапаны находятся в специальных клапанных коробках, смонтированных в рабочую камеру или цилиндр.

Всасывающий клапан отделяет внутреннюю полость рабочей камеры насоса от всасывающего трубопровода 5, а нагнетательный клапан от напорного трубопровода 6. Пространство, заключенное между поршнем и клапанами насоса называется рабочим объемом цилиндра насоса или его рабочей камерой. При возвратно-поступательном перемещении поршня в рабочей камере во время работы насоса рабочий объем камеры изменяется.

Допустим, в исходном состоянии поршень находится в крайнем левом положении. При его движении (на рисунке 1.1) слева - направо объем камеры увеличивается, что приводит к снижению в ней давления. В результате всасывающий клапан оказывается под перепадом давления, который

возникает между всасывающим трубопроводом и рабочим объемом камеры. Под воздействием данного перепада всасывающий клапан открывается. Нагнетательный же клапан остается в закрытом состоянии - наблюдается *такт всасывания* в рабочем процессе насоса.

При обратном ходе поршня (из крайнего правого положения - влево) На всасывающий клапан действует давление, возникающее в камере из-за того, что жидкость не успевает покинуть камеру через открытый всасывающий клапан - данный клапан закрывается; рабочая камера или цилиндр насоса оказываются полностью закрытым. Поэтому дальнейшее движение поршня справа - налево приводит к резкому повышению давления в цилиндре - оно становится выше давления в нагнетательном трубопроводе, что приводит к открытию нагнетательного клапана и началу следующего такта - *такта нагнетания*, который длится до достижения поршнем крайнего левого положения. Таким образом, рабочий процесс простейшего поршневого насоса состоит из двух тактов - такта всасывания и такта нагнетания, они образуют рабочий цикл поршневого насоса. Рабочий цикл поршневого насоса изображается графически в P - V координатах (рисунок 1.2), где 1-2 соответствует такту всасывания, а 3-4 - такту нагнетания. Замкнутая фигура 1-2-3-4-1 называется *индикаторной диаграммой* поршневого насоса. Данная диаграмма является идеальной. Действительная диаграмма отличается от идеальной диаграммы, прежде всего колебаниями давления в начале процесса всасывания и в начале процесса нагнетания в результате изменения гидравлического сопротивления клапанов при их подъеме с седла и последующего колебания. На форму линий всасывания и нагнетания диаграммы влияют также силы инерции жидкости, находящейся в трубопроводе между гасителями пульсаций и цилиндром.

Линии подъема 1-2 и спада давления 3-4 не строго вертикальные из-за некоторой сжимаемости реальной жидкости, попадания пузырьков газа, а при высоких давлениях также вследствие упругой деформации цилиндра.

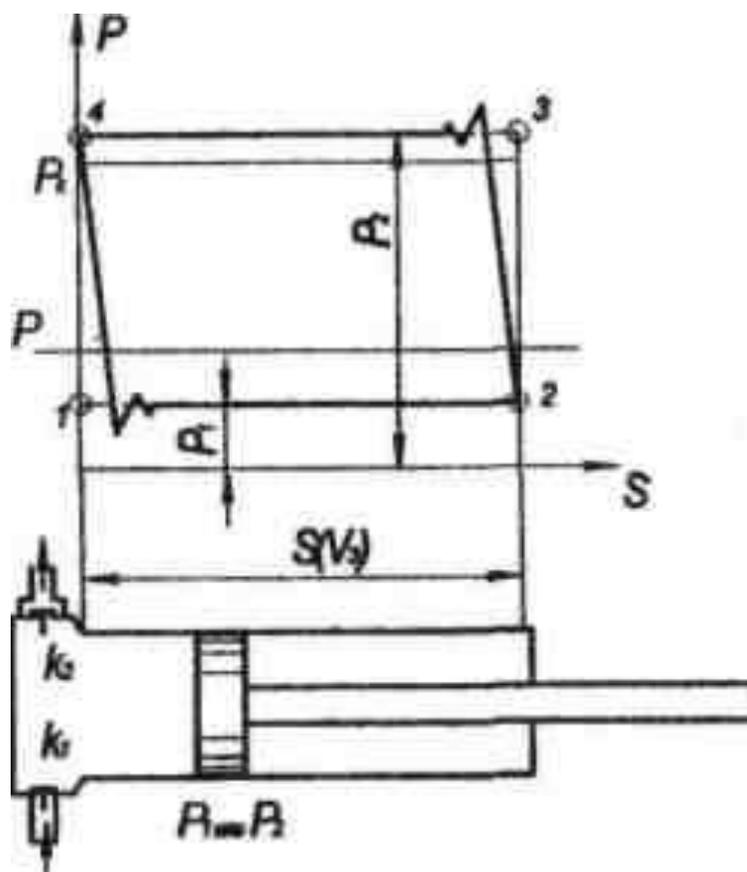


Рисунок 1.2 - Индикаторная диаграмма поршневого насоса

Рассмотренный принцип действия поршневого насоса реализуется в различных видах поршневых насосов, отличающихся схемой рабочих камер и рабочих органов, а также конструктивным исполнением и клапанов.

Одним из важных элементов гидравлической части насоса является предохранительный клапан, который открывается при создании в цилиндре насоса чрезмерного давления и сбрасывает часть жидкости с выхода насоса на его вход, что приводит к снижению давления.

Привод рабочего органа (поршня) может осуществляться различным образом. В зависимости от этого поршневые насосы подразделяются на приводные и прямодействующие.

Поршневые насосы могут быть весьма разнообразными как по конструктивным схемам, так и по конструктивному исполнению. Для внесения упорядоченности в данное разнообразие все поршневые насосы соответствующим образом классифицируются.

1.1.2 Общая классификация возвратно-поступательных насосов

Существующая классификация поршневых насосов носит достаточно условный характер, согласно которой поршневые насосы различаются по следующим признакам:

- по способу действия;
 - по типу органа, вытесняющего жидкость;
 - по количеству цилиндров;
 - по расположению цилиндра и поршня насоса в пространстве;
 - по числу плоскостей, в которых расположены оси рабочих органов;
 - по способу приведения в действие.
 - по величине быстроходности рабочего органа (тихоходные насосы, с числом двойных ходов поршня в минуту 40...80; средней быстроходности, с числом двойных ходов 80... 150 в минуту; быстроходные, с числом двойных ходов 150.. .350);
 - по величине подачи (насосы с малой подачей до $15 \text{ м}^3 / \text{ч}$; средней подачей $15...60 \text{ м}^3 / \text{ч}$; большой подачей свыше $60 \text{ м}^3 / \text{ч}$);
 - по величине развиваемого давления (насосы малого, среднего и высокого давления);
 - по назначению и роду перекачиваемой жидкости и т.д.
- Принадлежность насоса к какой-либо классификационной подгруппе определяет вид его конструктивной схемы. Рассмотрим некоторые из них.

По способу действия поршневые насосы подразделяются на насосы одинарного (простого действия), насосы двойного действия и насосы дифференциального действия.

Насосом *простого действия* называется такой насос, в котором за один двойной ход поршня происходит одно всасывание и одно нагнетание. Схема насоса простого действия изображена на рисунке 1.3, а.

В течение одного оборота кривошипа поршень совершает два хода или один двойной ход.

В насосах *двойного действия* за один двойной ход поршня насос всасывает и нагнетает два раза. Такой насос (рисунок 1.3, б) имеет два всасывающих и два нагнетательных клапана. Левая и правая стороны поршня и левая и правая камеры цилиндра являются рабочими.

При ходе поршня вправо открываются всасывающий клапан 2 и нагнетательный клапан 4. В левую камеру жидкость всасывается, из правой камеры жидкость нагнетается в трубопровод на выход насоса. Клапаны 1 и 3 в это время закрыты. При ходе поршня влево процесс происходит в обратном порядке.

В отличие от насоса простого действия, насос двойного действия в месте выхода штока из цилиндра имеет уплотнение 5, предотвращающее утечки из соответствующей части рабочей камеры.

Дифференциальные насосы работают на всасывающей стороне - как насосы простого действия, на нагнетательной - как насосы двойного действия. За один двойной ход насос всасывает один раз, а подает двумя порциями. Подача насоса более равномерна, чем у насоса простого действия, а количество клапанов вдвое меньше, чем у насоса двойного действия.

По выполнению рабочего органа, вытесняющего жидкость, насосы бывают поршневые, плунжерные (скальчатые), с проходным поршнем и диафрагмовые.

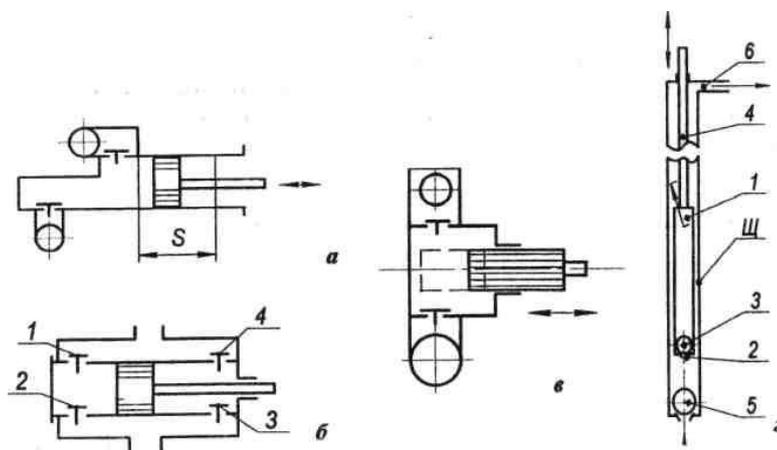


Рисунок 1.3 - Варианты схем гидравлической части насосов

В *поршневых* насосах (рисунок 1.3 а, б) вытеснительным органом является поршень, который выполняется в виде диска с уплотнениями,

плотно прилегающими к гладко обработанной поверхности цилиндра. Уплотнением поршней могут служить поршневые кольца и манжеты, а также малый зазор со стенкой цилиндра. Материалом для уплотнительных колец могут служить чугун, бронза, текстолит (для нефтепродуктов), эбонит (для воды), резина и прорезиненные ткани. Материалом для манжет чаще всего служит резина в комбинации с металлоарматурой.

В *плунжерных* насосах вытеснители жидкости (плунжеры) имеют форму цилиндра диаметром много меньше длины, с гладкой поверхностью без уплотнительных колец. Уплотнительный узел здесь связан с гидравлической коробкой (рисунок 1.3, в) или имеется щелевое уплотнение *Щ* большой протяженности (рисунок 1.3, г).

Плунжеры делаются сплошными и в виде полых стаканов при диаметре более 0,1 м. В насосах двойного действия плунжеры делаются закрытыми с обоих концов. Конструкции уплотнений плунжеров связаны с гидравлической коробкой и подобны уплотнениям штоков поршневых насосов.

В насосах с *проходным поршнем* или *плунжером* нагнетательный клапан расположен непосредственно в теле рабочего органа. Такие насосы удобны для установки в глубоких колодцах и скважинах (в том числе нефтяных), где жидкость находится на значительной глубине. Цилиндр насоса в этом случае приходится опускать ниже, привод в основном находится на поверхности. Для этого насос соединяется с приводом вертикальной штангой. Отсюда название - штанговые насосы. Схема такого насоса приведена на рисунке 1.3, г.

На изображенном насосе цилиндр в нижней части имеет всасывающий клапан 5. Плунжер насоса 1 со сквозным отверстием 2 имеет нагнетательный клапан 3. Плунжер насоса приводится в возвратно-поступательное движение штангой 4. При ходе плунжера вверх открывается всасывающий клапан 5 (клапан 3 - закрыт весом столба жидкости). Происходит заполнение цилиндра, при этом часть жидкости, находящейся над плунжером, поступает в нагнетательный трубопровод 6. При ходе плунжера вниз, открывается

нагнетательный клапан 3 (всасывающий клапан 5 – закрыт) и жидкость вытесняется из цилиндра в полость плунжера.

Диафрагмовые или мембранные насосы получили широкое распространение для перекачивания жидких масс, содержащих до 30-40 % взвешенных в жидкости твердых частиц. Процесс всасывания и нагнетания в таком насосе происходит не внутри цилиндра, а в камере, отделенной от него эластичной диафрагмой из резины, пластмассы или металла, которая, прогибаясь то в одну, то в другую сторону производит попеременное всасывание и нагнетание жидкости.

Упругая диафрагма D приводится в движение механически (рисунок 1.4, а) или гидравлически (рисунок 1.4, б). В последнем случае она служит перегородкой, разделяющей перекачиваемую жидкость с абразивными частицами, от чистой жидкости, омывающей трущиеся детали в насосной камере.

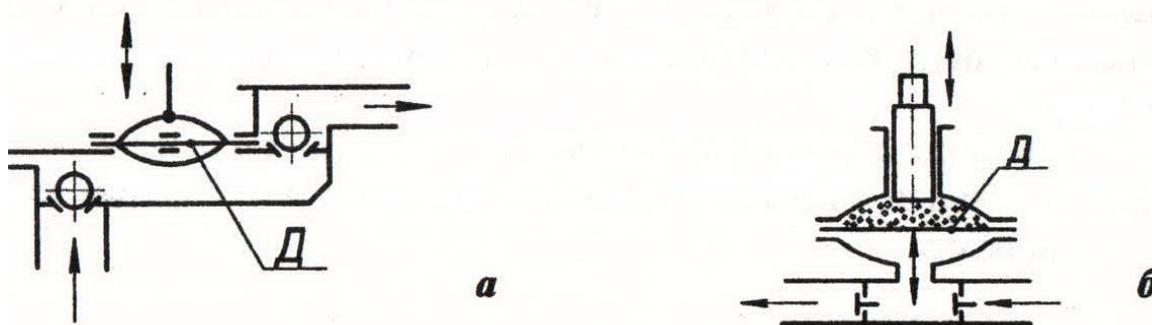


Рисунок 1. 4 Схемы гидравлических частей диафрагмовых насосов

По количеству цилиндров и рабочих органов различают насосы – **одноцилиндровые, двухцилиндровые, трехцилиндровые и многоцилиндровые**, а по числу плоскостей, в которых расположены оси рабочих органов – **одно-, двух- и многорядные**.

Увеличение количества цилиндров, позволяет увеличить подачу насоса и равномерность движения жидкости в трубопроводах. Однако при этом усложняется его схема и увеличивается количество сменных деталей, что необходимо учитывать при эксплуатации насоса в условиях интенсивного износа.

По расположению цилиндра и поршней насоса в пространстве поршневые насосы делятся на **горизонтальные и вертикальные**.

По способу приведения в действие различают насосы с ручным приводом, прямодействующие и приводные.

Насосы *с ручным приводом* в настоящее время на нефтегазовых предприятиях почти не применяются. Такие насосы могут быть использованы в подпитке систем отопления.

В *прямодействующих* поршневых насосах поршень связан одним штоком с поршнем двигателя, составляющего вместе с насосом один агрегат.

В качестве рабочего тела для двигателей этих насосов можно использоваться пар, сжатый воздух или жидкость. В соответствии с этим различают прямодействующие насосы *паровые, пневматические и гидравлические*.

Прямо действующие поршневые насосы выпускаются, как правило, двух типов - одноцилиндровые либо двухцилиндровые. Одноцилиндровые насосы состоят из одного парового и одного рабочего цилиндра, поршни которых соединены общим штоком. Двухцилиндровые имеют два паровых и два рабочих цилиндра. Поршни цилиндров соединены попарно общими штоками.

На рисунке 1.5 изображен паровой прямодействующий двухцилиндровый насос, у которого плунжер 10 насоса находится на общем штоке 12 с поршнем 16 приводного двигателя. Цилиндр гидравлической части насоса работает по принципу двойного действия. Паровой цилиндр имеет четыре канала, в том числе два впускных 13 и выпускных 14, По крайним каналам впускается свежий пар. Внутренние каналы служат для выпуска отработанного пара. Впуск и выпуск пара производится золотником, который управляется рычагами 7, связанными со штоком 5.

Прямодействующие насосы просты и надежны в эксплуатации. Они меньше по габаритам и весу, чем насосы с кривошипным механизмом, при одинаковой подаче. Подача жидкости прямодействующих насосов более равномерна.

Недостатком рассматриваемых насосов является неэкономичность, вследствие большого расхода пара или другого рабочего тела на один кубометр жидкости.

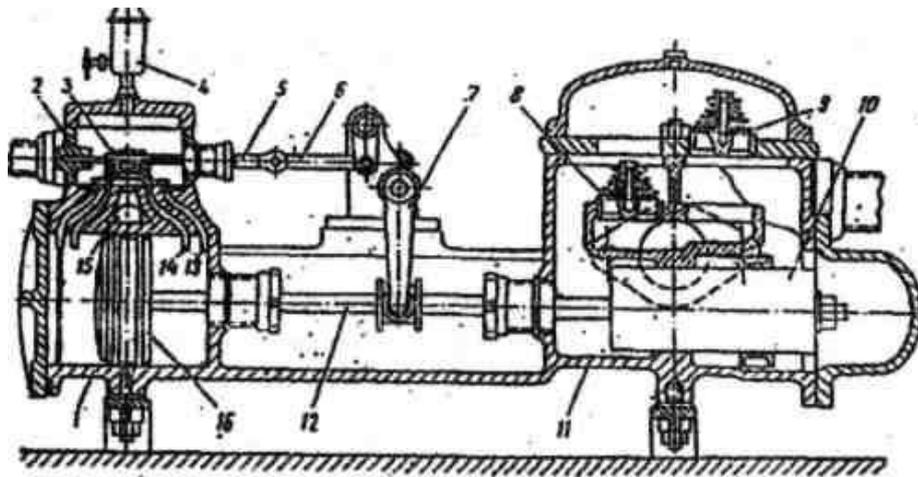


Рисунок 1.5. Прямодействующий паровой насос:

1 - паровой цилиндр; 2 - золотниковая коробка; 3 - плоский коробчатый золотник; 4 -масленка; 5 - золотниковый шток; 6 - шатун золотника; 7 - рычажная система; 8 - всасывающий клапан; 9 - нагнетательный клапан; 10 - плунжер; 11 - гидравлический цилиндр; 12 -шток; 13 - впускное отверстие для пара; 14 - отверстие для выпуска отработавшего пара; 15 -канал, отводящий отработанный пар в выхлопную трубу; 16 - поршень.

Прямодействующие насосы в основном применяются на нефтеперерабатывающих заводах для перекачки высоковязких и горячих жидкостей. Широко их используют для вспомогательных целей, где в технологическом процессе применяется пар, воздух или газ под давлением. Достаточно обоснованным может быть их применение в бурении и цементировании скважин, а также в нефтедобыче.

Приводные насосы, действующие от отдельно расположенного двигателя, принято разделять на **кривошипные** насосы и **кулачковые**. Общим признаком этих насосов является вращательное движение ведущего звена (вала), отчего они имеют еще одно название - вальные насосы. Отличным является механизм преобразования вращательного движения вала двигателя в возвратно-поступательное движение рабочих органов насоса. У первых насосов передача движения осуществляется через кривошипно-шатунный механизм, у вторых - через кулачковый механизм.

В отличие от прямодействующих насосов, имеющих постоянную скорость движения поршня на большей части хода, движение поршня приводных насосов неравномерное. В зависимости от положения кривошипа

или кулачка скорость поршня изменяется от нуля в начале хода (мертвая точка) до максимума у середины хода. Соответственно изменяется расход жидкости в трубопроводах, примыкающих к рабочей камере. Для выравнивания подачи жидкости кривошип (или кулачки) в многорядных многоцилиндровых насосах смещены относительно друг друга на некоторый угол. В двухрядных насосах этот угол равен 90° , в трехрядных - 120° , в т-рядных - $360^\circ/t$.

Примером кулачкового насоса является насос, представленный на рисунке 1.6. В нем поршень 2 упирается во вращающийся кулачок-эксцентрик 3 через ролик или шарнирную опору скольжения — башмак 5.

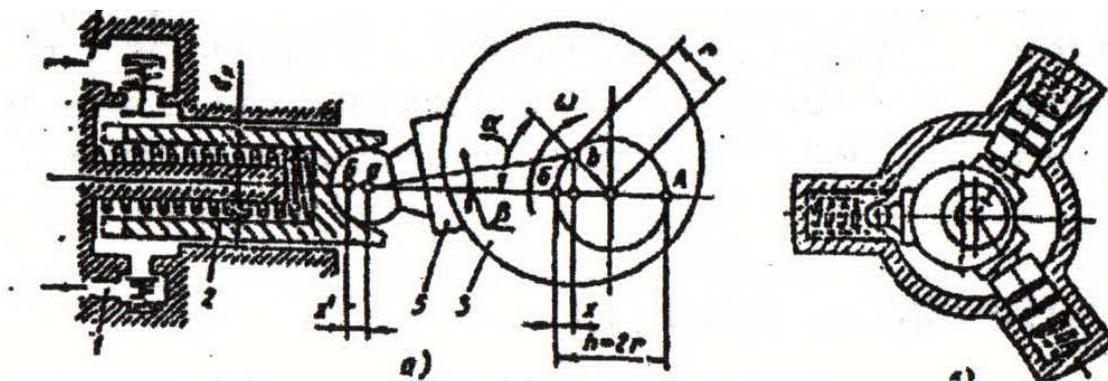


Рисунок 1.6. Схема кулачкового насоса

Насос данной конструкции позволяет удобно располагать около общего приводного вала несколько качающихся узлов, соединенных параллельно с общим подводом и отводом, и получать тем самым непрерывную и выровненную подачу. Однако из-за обилия пар трения (поршень - цилиндр, поршень - шаровой шарнир башмака, башмак - эксцентрик) кулачковые насосы наиболее пригодны к использованию для работы на смазывающих неагрессивных и чистых жидкостях.

Схема приводного насоса с кривошипно-шатунным механизмом приведена на рисунке 1.1.

Основными частями данного механизма являются: трансмиссионный вал 13, понижающая зубчатая передача 14, коренной вал 15, кривошип 7, шатун 8 и ползун 9, скользящий в неподвижных направляющих 10. Ползун соединен

штоком 11 с поршнем насоса. Трансмиссионный вал 13 получает вращающий момент через трансмиссию от двигателя, передает его с помощью понижающей передачи 14 коренному валу 15, а затем через кривошип 7 - шатуну 8, который приводит в возвратно-поступательное движение штоки и поршень насоса.

Основные конструктивные составляющие кривошипного механизма могут выполняться различным образом.

Например, передача вращения от двигателя насоса может осуществляться через клиноременную передачу трансмиссионному валу, а затем через зубчатое сцепление – коренному валу или эта передача может быть выполнена прямой (коренной вал насоса соединен непосредственно с валом двигателя).

Вместо зубчатой передачи между трансмиссионным и коренным валом в некоторых кривошипно-шатунных механизмах может использоваться схема с червячной передачей.

Коренной вал может быть связан с шатунами посредством собственно кривошипов, колен, эксцентриков или пальцев. В зависимости от типа этой связи коренной вал имеет название соответственно кривошипный, коленчатый, эксцентриковый коренной вал или пальцевый.

В целом использование кривошипно-шатунного механизма позволяет удобно отделить приводную часть насоса от качающей и обеспечить приводную часть отдельной системой смазки. При применении в кривошипном механизме выносного ползуна (рисунок 1.1.) устраняется действие на поршень боковых контактных сил. Такой насос способен перекачивать любые, в том числе загрязненные жидкости и взвеси.

1.2 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких основных конструктивных элементов состоит простейший поршневой насос? Принцип действия поршневых насосов?
2. Какие основные признаки положены в основу классификации поршневых насосов?

3. Какие типы привода существуют у поршневых насосов?
4. Как подразделяются поршневые насосы по виду рабочего органа?
5. Какие технические решения позволяют снизить силы трения между поршнем и цилиндром насоса?
6. Что является причиной неравномерности подачи поршневых насосов?
7. Какие конструктивные решения позволяют снижать неравномерность подачи поршневых насосов?