

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева

## **НАСОСЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Москва

2013

Составители: Е. А. Дмитриев, Е. П. Моргунова, Р. Б. Комляшёв  
УДК 66.026.4  
ББК 34.7:35:31.56  
НЗ1

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор Института общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова Российской Академии Наук  
*Н. Н. Кулов*

Доктор технических наук, профессор Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева  
*А. В. Беспалов*

**Насосы химических производств:** учебно-методическое пособие/  
НЗ1 сост. Е. А. Дмитриев, Е. П. Моргунова, Р. Б. Комляшёв. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2013. – 48 с.

В пособии рассматриваются принципы работы и конструкции основных типов насосов, применяемых в химической промышленности. Приведена классификация насосов по принципу действия, определены преимущественные области применения насосов в зависимости от производительности и напора. Представлены принципиальные схемы и иллюстрации внешнего вида насосов. Указаны принцип работы, достоинства и недостатки насосов.

УДК 66.026.4  
ББК 34.7:35:31.56

Учебное издание

## **НАСОСЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Составители: ДМИТРИЕВ Евгений Александрович  
МОРГУНОВА Елена Павловна  
КОМЛЯШЁВ Роман Борисович

Редактор Е. В. Копасова

Подписано в печать 15.04.2013 г. Формат 60x84 1/16

Усл. печ. л. 2,8. Уч.-изд. л. 2,5. Тираж 500 экз. Заказ

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева  
Издательский центр

Адрес университета и Издательского центра  
125047 г. Москва, Миусская пл., 9.

© Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, 2013

## Введение

Применяемые в химической технологии жидкости и газы часто необходимо транспортировать по трубопроводам как внутри предприятия (для подачи в аппараты и установки, из цеха в цех и т.п.), так и вне его (для подачи исходного сырья или готовой продукции и т.п.). Эту задачу можно решить довольно просто, если жидкость перемещается с более высокого уровня на более низкий самотеком. Но чаще в технике приходится решать обратную задачу – транспортирования жидкости с более низкого уровня на более высокий. Для этой цели используют гидравлические машины – насосы, в которых механическая энергия двигателя преобразуется в энергию транспортируемой жидкости вследствие повышения её давления.

**Насос** – гидравлическая машина, преобразующая механическую энергию приводного двигателя в энергию потока жидкости, служащая для создания напора и перемещения жидкостей.

## Основные характеристики насосов

**Напор насоса** – энергия, сообщаемая насосом потоку жидкости, отнесённая к единице веса жидкости. Обозначается латинской буквой «Н». Измеряется в  $\text{Дж/Н} = \text{м}$ .

В насосах объёмного действия в качестве одного из параметров, характеризующих работу насоса, вместо напора часто используют давление, создаваемое насосом в нагнетательном трубопроводе, выражая его в  $\text{кгс/см}^2$  или МПа.

**Производительность насоса (подача насоса)** – это объёмный расход перекачиваемой насосом жидкости. Обозначается латинской буквой «Q», либо как расход « $\dot{V}$ ». Измеряется в  $\text{м}^3/\text{ч}$  или л/с.

Напорная характеристика насоса, представляющая собой графическую зависимость напора от производительности, отражает основные потребительские свойства насоса. Выбор насоса начинается с подбора производительности и напора (давления).

**Мощность насоса** – количество энергии, потребляемое насосом в единицу времени. Обозначается латинской буквой «N». Измеряется в Вт = Дж/с.

Следует различать мощность, передаваемую насосом в гидравлическую сеть, и мощность на валу насоса. Первая может быть рассчитана через напор (давление) и производительность:  $N_{\dot{A}\dot{N}} = Q \cdot \Delta p = Q \cdot \rho g H$  (здесь  $\Delta p$  – перепад давления в насосе,  $\rho$  – плотность жидкости,  $g$  – ускорение свободного падения).

Для нахождения мощности на валу насоса, следует полученную мощность разделить на коэффициент полезного действия насоса:  $N_{\dot{A}\dot{I}} = \frac{N_{\dot{A}\dot{N}}}{\eta} = \frac{Q \cdot \rho g H}{\eta}$ .

**Коэффициент полезного действия (КПД) насоса** – отношение мощности, передаваемой насосом в гидравлическую сеть, к мощности на валу насоса. Обозначается греческой буквой « $\eta$ » – «эта».

**Допустимая вакуумметрическая высота всасывания** – максимально возможная высота установки насоса над уровнем жидкости в ёмкости, из которой производится транспортировка жидкости. Обозначается « $H_{\max}$ », измеряется в метрах. Если высота и длина нагнетательной линии ограничена только напором самого насоса, то высота всасывающей линии зависит от параметров всасывающей линии и, в первую очередь, от давления в ёмкости, из которой всасывается жидкость. Этого давления должно быть достаточно для подъёма жидкости на уровень насоса, с учётом того, что во всасывающей патрубке насоса не может быть достигнут абсолютный вакуум, и минимальное давление равно давлению насыщенных паров перекачиваемой жидкости. Также необходимо учесть потери напора на трение и местные сопротивления во всасывающей линии, инерционные потери и запас на предотвращение кавитации. С учётом вышперечисленного формула для расчёта максимальной высоты всасывающей

линии:  $H_{\max} = \frac{p_1 - p^*}{\rho g} - h_{i \dot{a}\dot{n}} - \frac{w_{\dot{a}\dot{n}}^2}{2g} - h_{\dot{e}\dot{d}\dot{d}}$ . Таким образом, максимальная высота

всасывания тем больше, чем больше давление на входе во всасывающую линию (давление в нижней ёмкости)  $p_1$ , ниже температура и ниже зависящее от темпе-

ратуры давление насыщенных паров перекачиваемой жидкости  $p^*$ , ниже скорость  $w_{вс}$  и потери напора на трение и местные сопротивления во всасывающей трубе  $h_{н\ в\ с}$  и меньше запас на кавитацию  $h_{кав}$ .

**Кавитация** – процесс образования и последующего исчезновения (схлопывания) пузырьков пара и растворённых газов в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами. Кавитация возникает в результате локального понижения давления в жидкости, которое может происходить при увеличении её скорости. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением, кавитационный пузырёк схлопывается, излучая при этом ударную волну. Если схлопывание кавитационного пузырька происходит на твёрдой поверхности (например, на лопастях рабочего колеса центробежного насоса), то возникающая ударная волна приводит к повреждению поверхности.

Чтобы оценить воздействие кавитации на твёрдую поверхность, рассмотрим процесс схлопывания кавитационного пузырька с точки зрения его энергии. Образовавшийся в области разрежения пузырёк пара имеет объём около  $1\text{ мм}^3$ . Давление в пузырьке пара при этом равно давлению насыщенных паров, которое при  $20\text{ °C}$  для воды составляет  $2337\text{ Па}$ . Энергию такого пузырька можно оценить как произведение давления на объём  $E = p \cdot V = 2337\text{ Па} \cdot 10^{-9}\text{ м}^3 = 2,337 \cdot 10^{-6}\text{ Дж}$ . При конденсации пузырька его объём уменьшается пропорционально соотношению плотностей воды и водяного пара  $\rho_a / \rho_i = 998\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} / 0,0173\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 57\,730$ , и составит  $1,73 \cdot 10^{-14}\text{ м}^3$ . Давление, с учётом сохранения энергии пузырька, достигнет  $p = E/V = 2,34 \cdot 10^{-6}\text{ Дж} / 1,73 \cdot 10^{-14}\text{ м}^3 = 135\text{ МПа}$ . Это значение по своему порядку соответствует пределу прочности металлов, и, следовательно, возникающий микроудар может разрушить твёрдую поверхность. Также следует отметить, что часть энергии пузырька переходит в тепловую, локальное повышение температуры при этом, по некоторым расчётам, может достигать  $1500\text{ °C}$ . Локальное повышение температуры вызы-

вает также усиление коррозионного действия жидкости и растворённых в ней газов на металл.

**Запас на кавитацию** – высота, на которую необходимо уменьшить всасывающую линию, чтобы предотвратить возникновение кавитации. Для центробежных насосов приводится в паспорте насоса. При отсутствии данных может быть вычислена по упрощённой формуле Руднева:

$$h_{\text{кав}} = A \cdot (\dot{V} \cdot n^2)^{2/3},$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от конструкции рабочего колеса насоса;  $\dot{V}$  – производительность насоса в м<sup>3</sup>/с;  $n$  – частота вращения рабочего колеса насоса. Если частота вращения рабочего колеса насоса выражена в с<sup>-1</sup>, то коэффициент  $A \approx 0,3$ ; если частота выражена в мин<sup>-1</sup>, коэффициент  $A \approx 0,00125$ .

**Запас на инерцию** – высота, на которую необходимо уменьшить высоту всасывающей линии, чтобы предотвратить отрыв поршня или плунжера от жидкости вследствие сил инерции в поршневых и плунжерных насосах. Для поршневых и плунжерных насосов, снабжённых гидроаккумулятором (воздушным колпаком) на всасывающей линии, вычисляется по формуле:

$$h_{\text{ин}} = 1,2 \cdot (L/g) \cdot (S_1/S_2) \cdot (u/r),$$

где  $L$  – высота столба жидкости во всасывающем трубопроводе, отсчитываемая от свободной поверхности жидкости в гидроаккумуляторе;  $g$  – ускорение свободного падения;  $S_1$  и  $S_2$  – площади сечения соответственно поршня (плунжера) и трубопровода;  $u$  – окружная скорость вращения,  $r$  – радиус кривошипа.

## Основные конструкции насосов

Исходя из принципа действия, различают объёмные и динамические насосы. **Объёмные насосы** работают по принципу вытеснения жидкости из замкнутого объёма телами специальной формы. В **динамических насосах** энергия передаётся незамкнутому объёму жидкости, непрерывно сообщаемому с входом и выходом насоса. Объёмные насосы в свою очередь подразделяют на возвратно-поступательные и вращательные.

Объёмные насосы, работающие по принципу вытеснения перекачиваемой жидкости из замкнутого объёма (например, поршневые и плунжерные насосы), обеспечивают высокие давления в нагнетательной линии. При этом расход жидкости от давления практически не зависит (рис. 1,а). Однако ввиду низкой частоты работы объёмных насосов возвратно-поступательного действия, связанной с инерционностью движения, такие насосы малопроизводительны. Другие их недостатки: неравномерность подачи, проблема герметизации и наличие клапанов, которые могут легко забиваться осадками при работе с загрязненными жидкостями, либо корродировать при работе с агрессивными жидкостями.

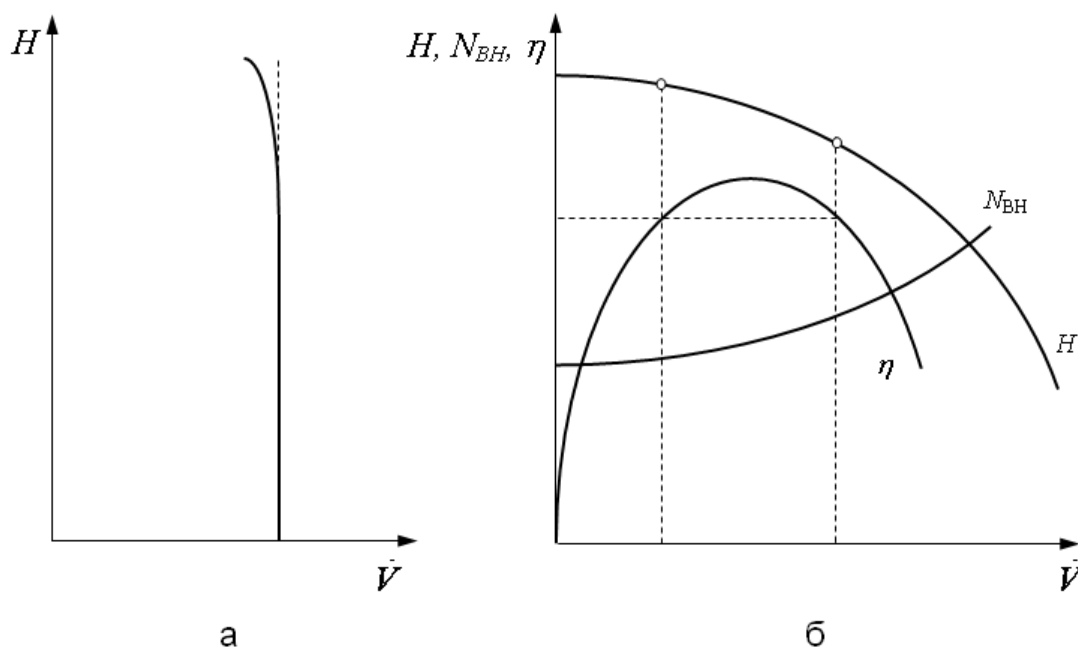


Рис. 1. Рабочие характеристики поршневого (а) и центробежного (б) насосов

Объёмные насосы вращательного действия (например, винтовые насосы) лишены вышеперечисленных недостатков. Вращательное движение вытесняющих тел этих насосов не сковано инерцией, как возвратно-поступательное, вследствие чего они могут работать при высоких частотах вращения, что позволяет достичь высокой производительности, сравнимой с производительностью динамических насосов. Такие насосы зачастую не требуют установки клапанов, что позволяет им работать с вязкими и загрязнёнными жидкостями, а также наделяет их реверсивностью – возможностью менять направление пере-

качивания при изменении направления вращения привода. Однако такие насосы требуют очень качественной обработки поверхностей вытесняющих тел, обладающих сложной формой, призванной обеспечить замкнутость вытесняемых объёмов. Это существенно повышает стоимость и не позволяет на равных конкурировать с более дешёвыми динамическими насосами.

Из динамических насосов наибольшее распространение получили лопастные насосы (например, центробежные и осевые). Эти насосы не обладают такими высокими напорами, как объёмные, но обеспечивают высокую производительность при равномерной подаче. Главным недостатком лопастных динамических насосов является опасность возникновения кавитации. Также к недостаткам таких насосов следует отнести невозможность самовсасывания, для их работы требуется предварительная заливка жидкостью перед пуском, иначе при вращении рабочего колеса насоса не создаётся необходимого для всасывания жидкости разрежения. Производительность динамических лопастных насосов резко падает с возрастанием напора (рис. 1,б), что также может быть отнесено к недостаткам.

Подробная классификация представленных в пособии насосов приведена далее (см. с. 9). Выбор конструкции насоса для того или иного процесса обусловлен свойствами перекачиваемой среды (плотностью, вязкостью, наличием загрязнений, химической агрессивностью), но в первую очередь требуемыми производительностью и напором. Каждый вид насоса имеет свою область применения, в общем виде эти области представлены на рис. 2. Следует отметить, что области применения различных насосов зачастую перекрываются, и одни и те же значения напора и производительности могут обеспечить насосы различных типов. Так винтовые насосы в некоторых областях конкурируют с центробежными. В этом случае выбор насоса определяют другие факторы, в первую очередь, цена насоса и стоимость его эксплуатации, в последнюю входят потребляемая мощность и стоимость обслуживания и ремонта.



## Классификация насосов

### Насосы объёмного действия:

возвратно-поступательные насосы:

- *поршневой* (рис. 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11),
- *плунжерный* (рис. 12, 13),
- *диафрагмовый (мембранный)* (рис. 14);

вращательные (роторные) насосы:

- *шестерёнчатый* (рис. 16, 17),
- *кулачковый* (18, 19),
- *винтовой* (рис. 20, 21, 22),
- *шнековый* (рис. 23, 24, 25),
- *пластинчатый (шиберный) ротационный* (рис. 26, 27),
- *водокольцевой* (рис. 28, 29).

### Насосы динамического действия:

лопастные насосы:

- *центробежный* (рис. 30, 34, 35),
- *погружной центробежный* (рис. 36, 37, 38, 39),
- *вихревой* (рис. 40, 41, 42),
- *осевой (пропеллерный)* (рис. 43, 44).

насосы трения:

- *струйно-эжекторный* (рис. 45, 46).

## Области применения насосов

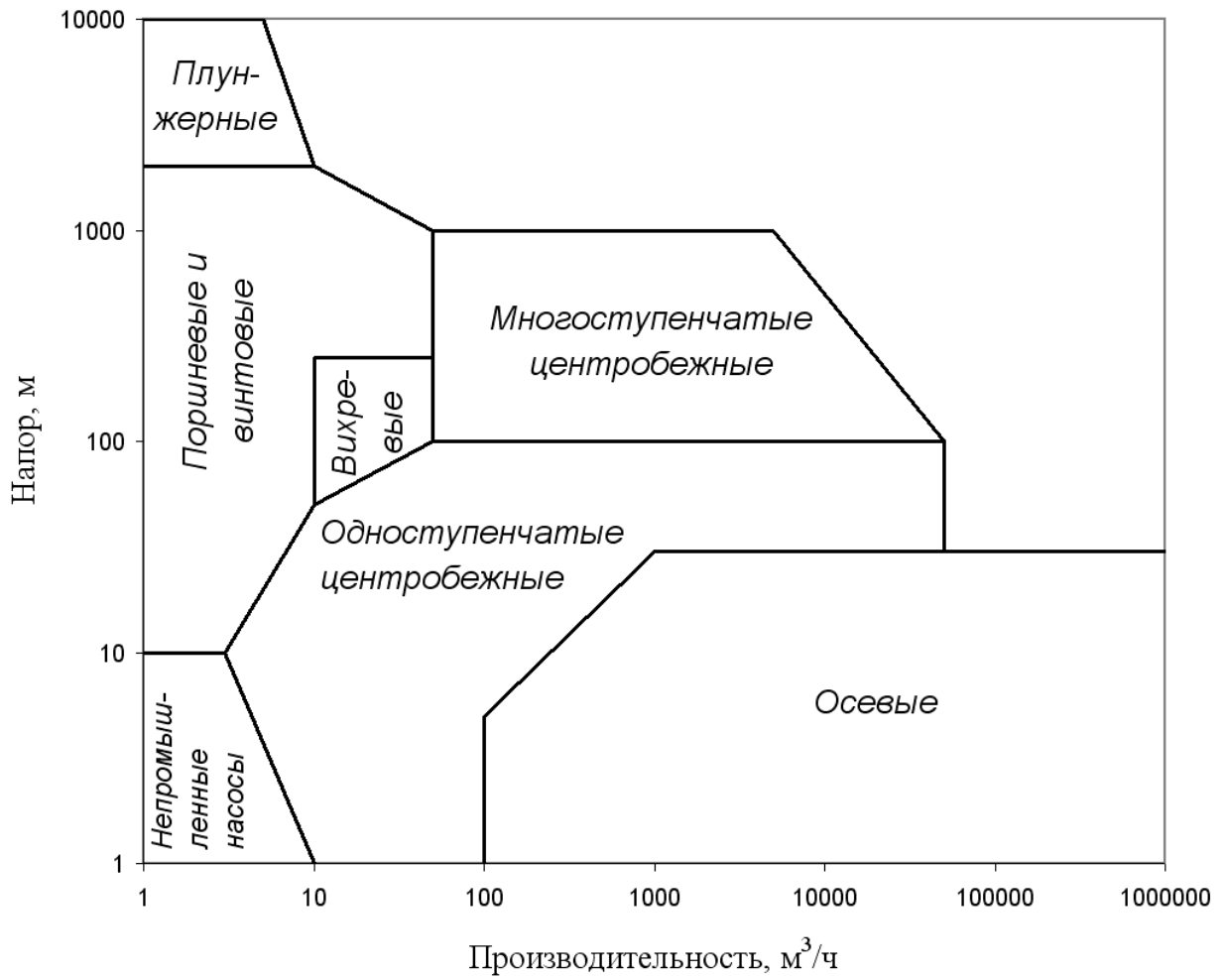


Рис. 2. Области применения насосов различных типов

## Поршневой насос простого действия

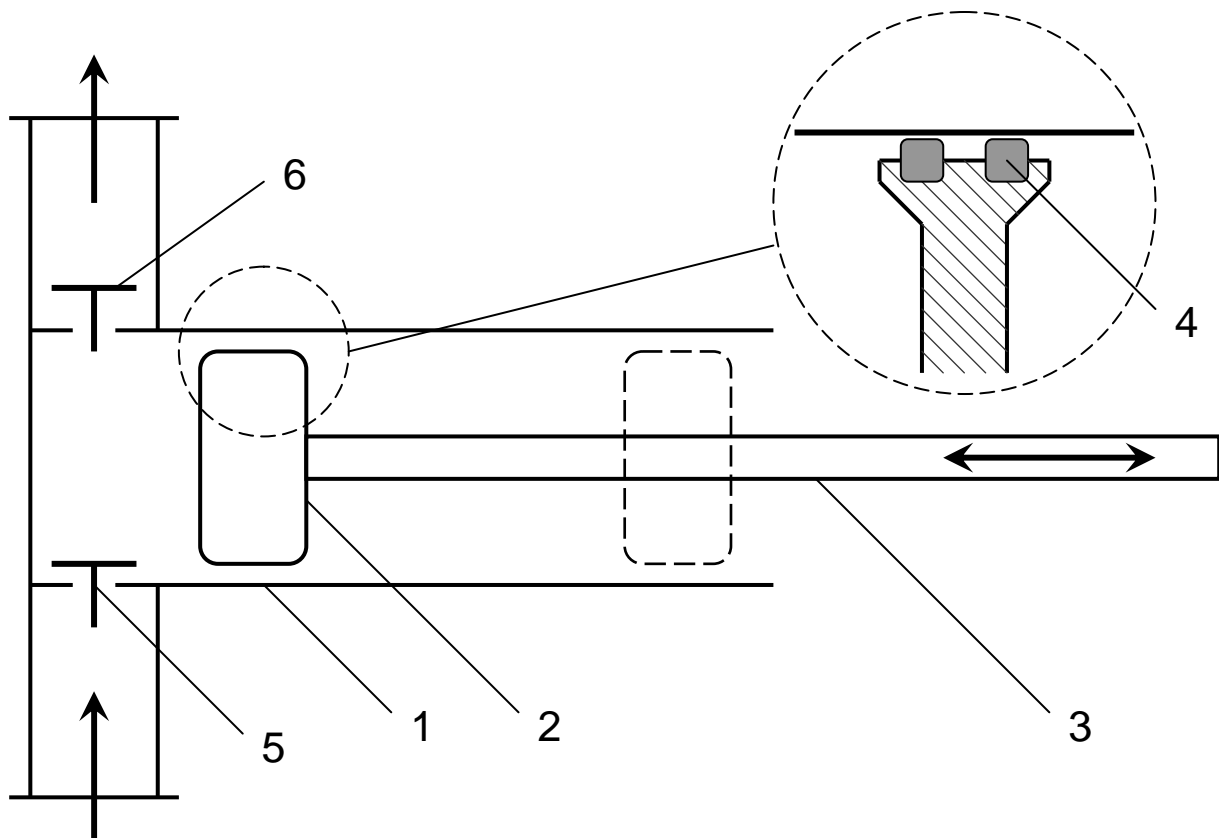


Рис. 3. Схема горизонтального поршневого насоса простого действия:  
1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – шток; 4 – сменные уплотняющие кольца;  
5 – всасывающий клапан; 6 – нагнетательный клапан

### Принцип работы

При движении поршня 1 вправо в рабочей камере насоса создаётся разрежение, нижний клапан 4 открыт, а верхний клапан 5 закрыт – происходит всасывание жидкости. При движении в обратном направлении в рабочей камере создаётся избыточное давление, и уже открыт верхний клапан, а нижний закрыт – происходит нагнетание жидкости. Герметичность обеспечена установленными на поршне сменными уплотняющими кольцами 4.

### Достоинства:

- высокий (по сравнению с динамическими насосами) напор (используемые при добыче нефти поршневые насосы 9Т создают напор до 3 000 м);
- простота конструкции.

## **Недостатки:**

- низкая (по сравнению с динамическими насосами) производительность;
- неравномерность подачи (пульсации напора);
- проблема герметизации поршня;
- низкий КПД вследствие инерции поршня и трения.

## **Области применения**

Поршневые насосы используются с глубокой древности. Известно их применение для целей водоснабжения со II века до нашей эры. В Европе поршневые насосы начинают активно использоваться с XVII века. В настоящее время поршневые насосы используются в системах водоснабжения, в пищевой и химической промышленности, в быту. Область применения насоса определяется значениями его номинальной производительности и напора, с этой точки зрения поршневой насос может быть использован там, где не так важна высокая производительность, но требуется значительный напор.

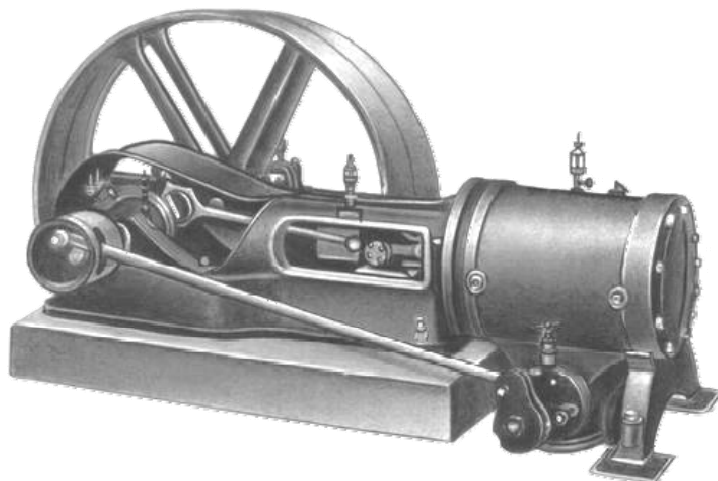


Рис. 4. Общий вид поршневого насоса

## **Способы снижения неравномерности подачи:**

- установка на нагнетательной трубе гидроаккумулятора (воздушного колпака);
- использование дифференциального поршневого насоса или насоса многократного действия.

## Дифференциальный поршневой насос и поршневой насос двойного действия

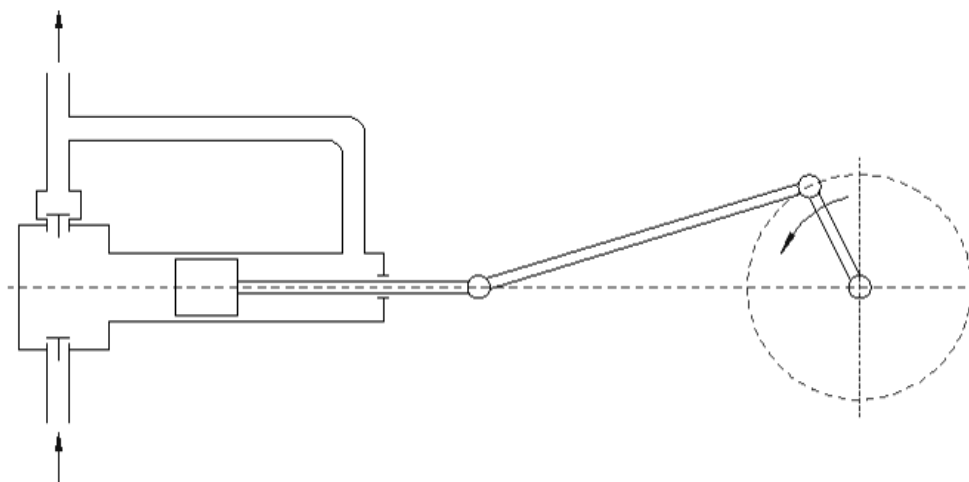


Рис. 5. Дифференциальная схема включения поршневого насоса

### Принцип работы дифференциального поршневого насоса

Во время движения поршня влево часть жидкости отводится в штоковую полость, объём которой меньше объёма вытесняемой жидкости за счёт того, что часть объёма штоковой полости занимает шток. Тем самым сглаживается пик напора. Во время движения поршня вправо падение напора компенсируется за счёт вытесняемой из правой части цилиндра жидкости.

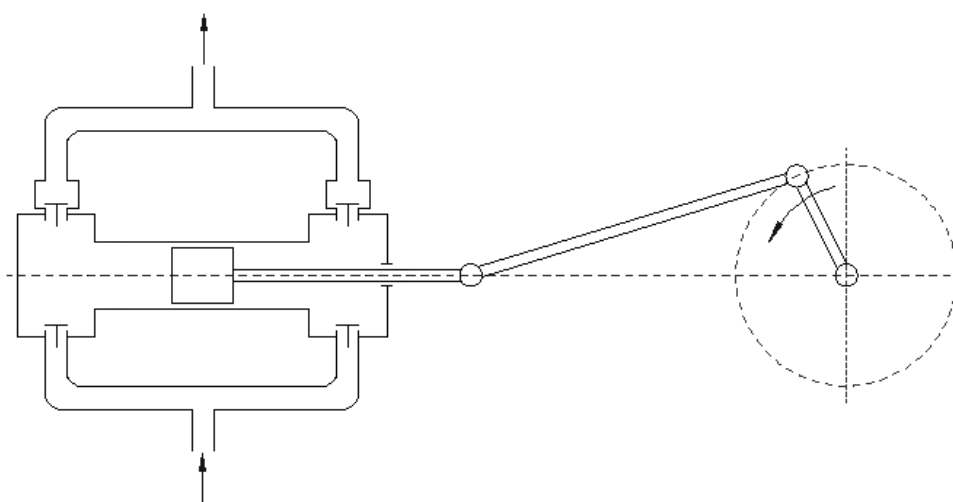


Рис. 6. Поршневой насос двойного действия

## Принцип работы поршневого насоса двойного действия

При работе поршневого насоса двойного действия нагнетание происходит не только при движении поршня справа налево, как в поршневом насосе простого действия, но и при движении поршня слева направо. Вследствие этого производительность насоса возрастает, а неравномерность подачи снижается.

Производительность поршневого насоса:

- простого действия (рис. 7)  $\dot{V} = S \cdot L \cdot n \cdot \eta_V$ ,
- двойного действия (рис. 8)  $\dot{V} = (2 \cdot S - s) \cdot L \cdot n \cdot \eta_V$ ,

где  $S$  – площадь внутреннего сечения цилиндра;  $s$  – площадь сечения штока;  $L$  – ход поршня;  $n$  – частота вращения вала;  $\eta_V$  – объёмный КПД.

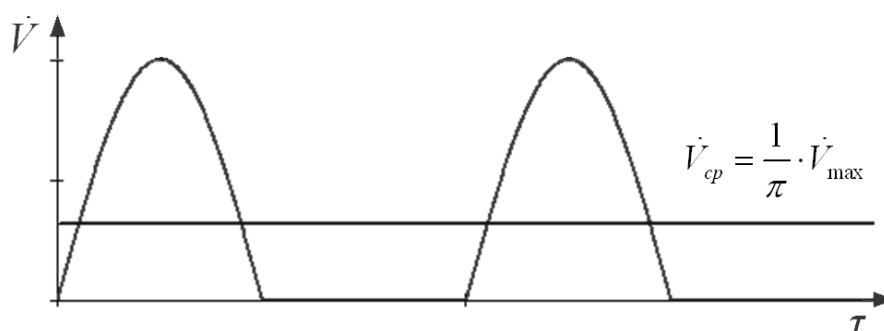


Рис. 7. Диаграмма подачи жидкости поршневым насосом простого действия

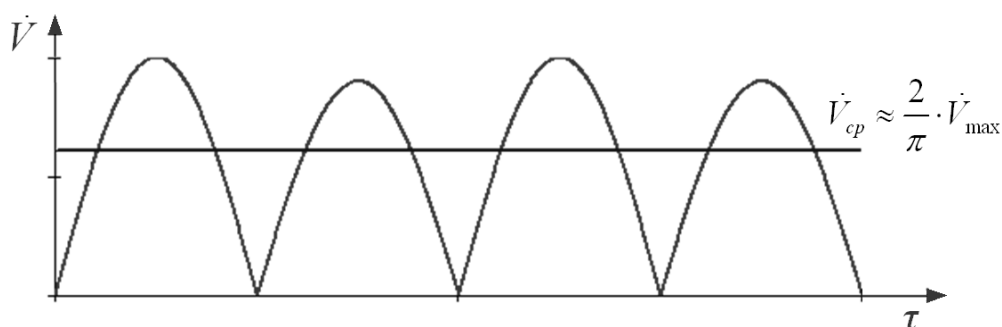


Рис. 8. Диаграмма подачи жидкости поршневым насосом двойного действия

## Достоинства и недостатки поршневого насоса двойного действия

Поршневому насосу двойного действия присущи те же достоинства и недостатки, что и поршневому насосу простого действия. Однако переход от простого к двойному действию не только повышает производительность и улучшает равномерность подачи, но и усугубляет проблему герметизации.

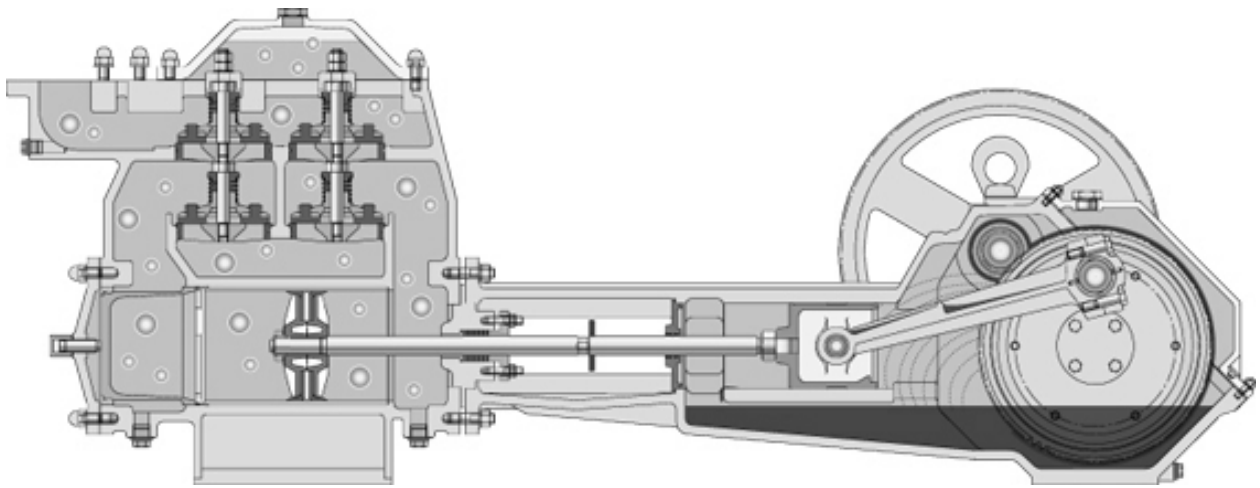


Рис. 9. Поршневой насос двойного действия в разрезе

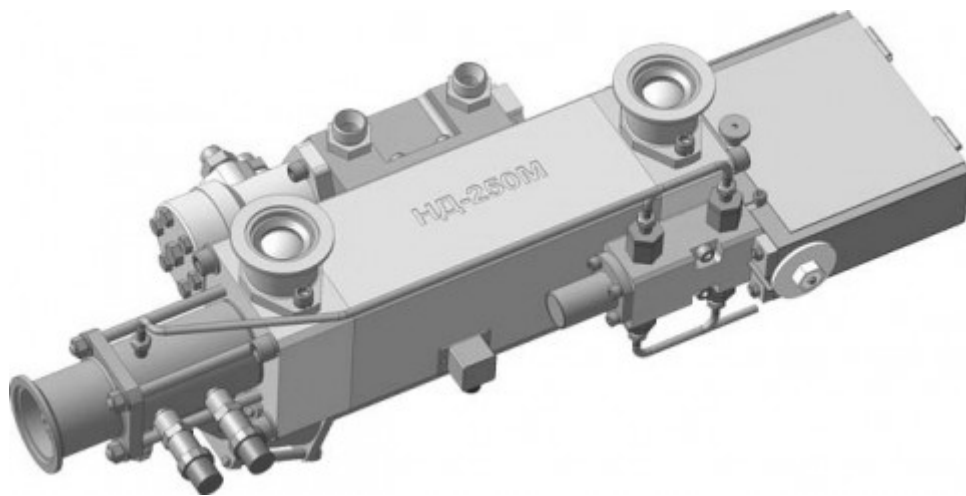


Рис. 10. Внешний вид поршневого насоса двойного действия НД-250М

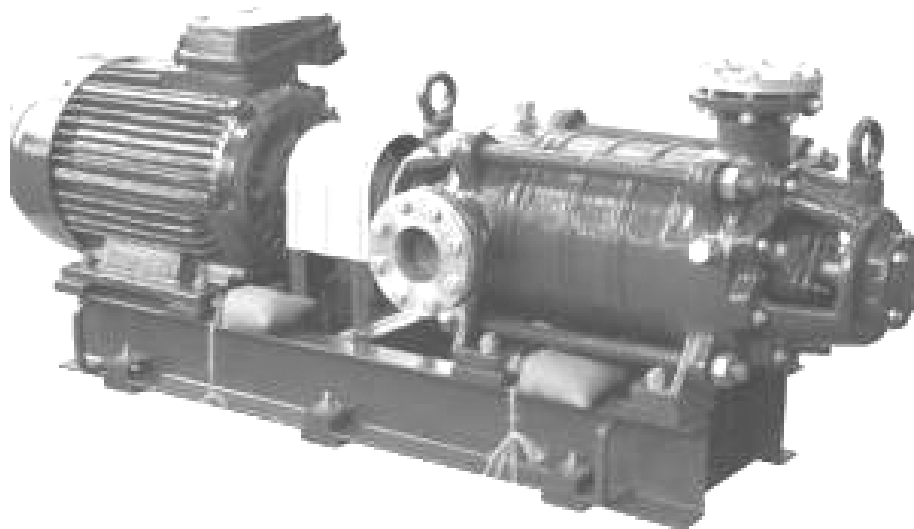


Рис. 11. Внешний вид поршневого насоса двойного действия ПДГ

## Плунжерный насос простого действия

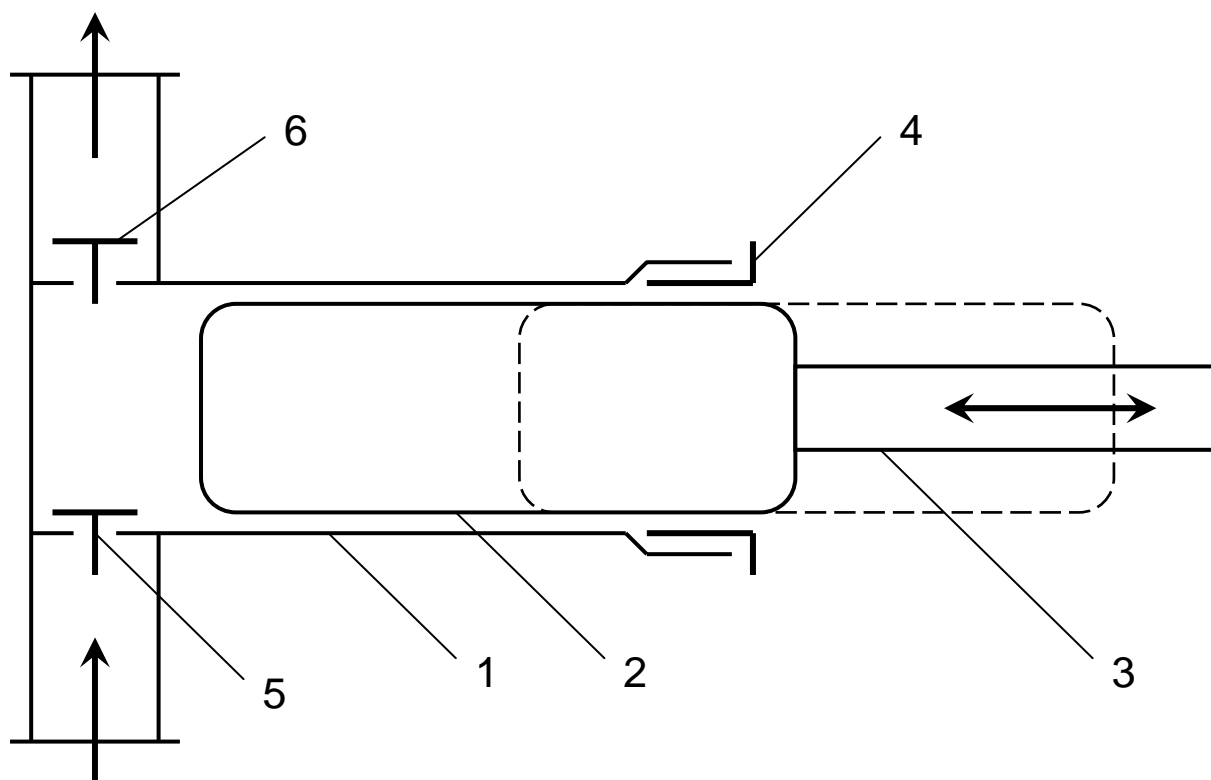


Рис. 12. Схема горизонтального плунжерного насоса простого действия:  
1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – шток; 4 – сальник;  
5 – всасывающий клапан; 6 – нагнетательный клапан

### Принцип работы

При движении плунжера 1 вправо в рабочей камере насоса создается разрежение, нижний клапан 4 открыт, а верхний клапан 5 закрыт – происходит всасывание жидкости. При движении в обратном направлении в рабочей камере создается избыточное давление, и уже открыт верхний клапан, а нижний закрыт – происходит нагнетание жидкости. Герметичность обеспечена установленным на цилиндре сальниковым уплотнением 4.

### Достоинства:

- наибольший из всех рассматриваемых насосов напор (до 10 000 м);
- простота конструкции;
- проблема герметичности стоит не столь остро по сравнению с поршневыми насосами.



## Недостатки:

- низкая (по сравнению с динамическими насосами) производительность;
- неравномерность подачи (пульсации напора);
- низкий КПД вследствие инерции плунжера и высокого трения.

## Области применения

Область применения плунжерных насосов в целом сходна с областью применения поршневых насосов, определяется значениями его номинальной производительности и напора. С этой точки зрения плунжерный насос может быть использован там, где не так важна производительность, но требуется высокий напор. Сальниковое уплотнение, обеспечивая герметичность насоса, позволяет использовать его при больших напорах, чем поршневые насосы. В то же время, большая инерция плунжера и высокое трение в сальниковом уплотнении приводит к ещё большему, чем в поршневых насосах, снижению КПД.

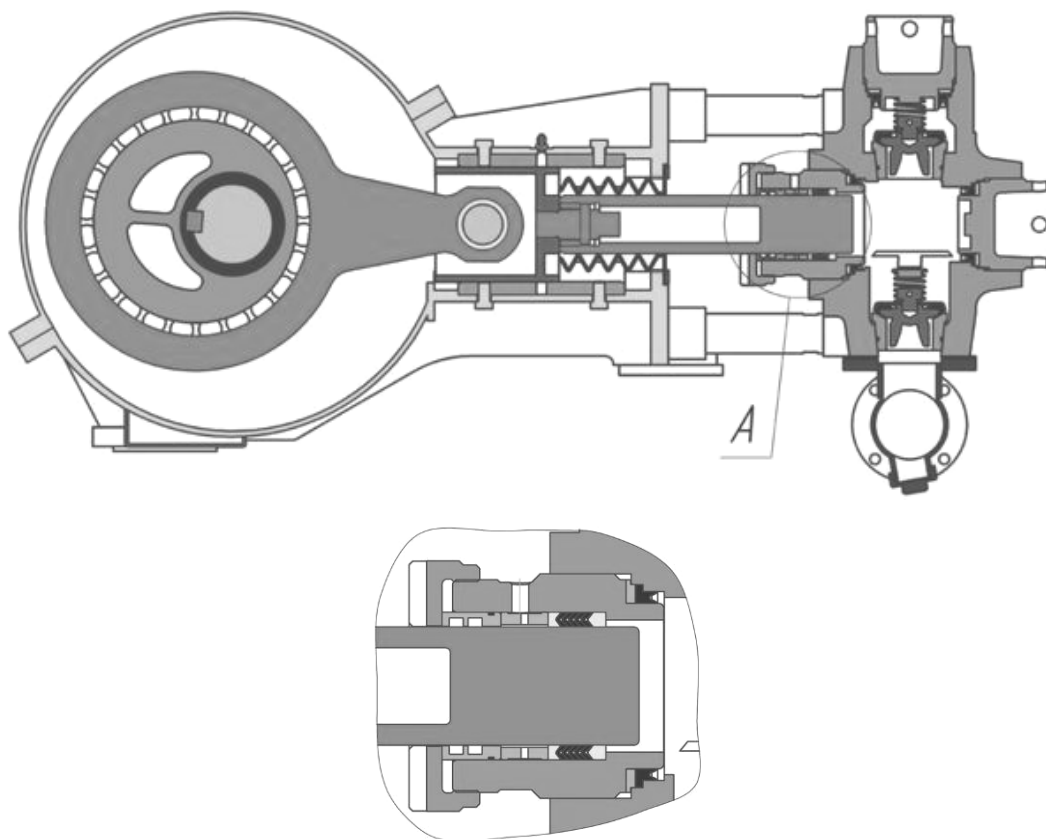


Рис. 13. Горизонтальный плунжерный насос СИН32 в разрезе

## Диафрагмовый (мембранный) насос

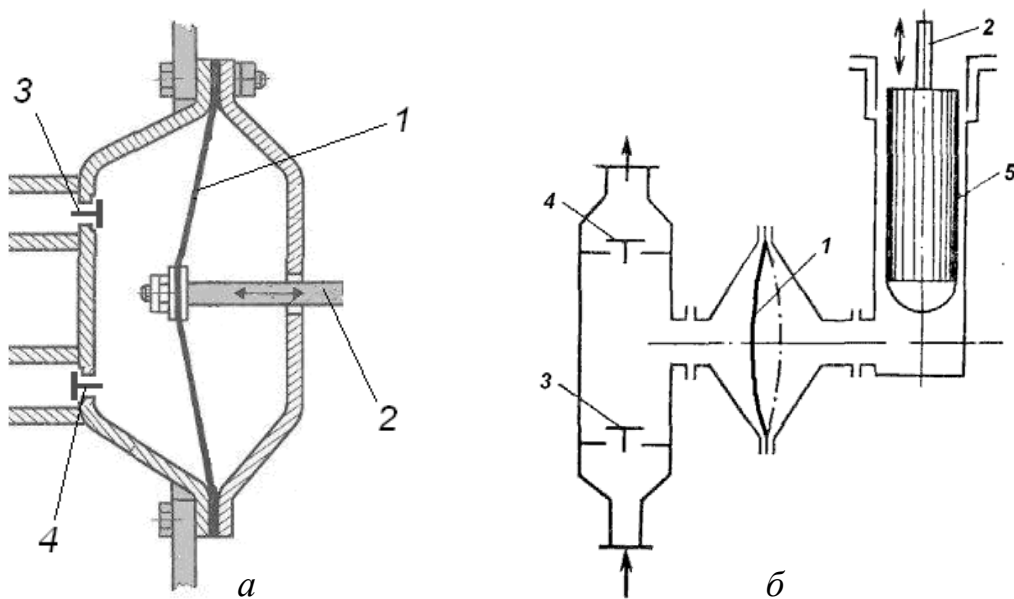


Рис. 14. Схема мембранного (а) и мембранно-плунжерного (б) насосов:  
1 – мембрана; 2 – шток; 3 – всасывающий клапан; 4 – нагнетательный клапан; 5 – плунжер

### Принцип работы

В диафрагмовом (мембранном) насосе роль поршня выполняет гибкая пластина – диафрагма (называемая также мембраной), закреплённая по краям и изгибающаяся под действием рычажного механизма (рис. 14,а) или переменного давления среды. Во втором случае давление среды может создаваться сжатым воздухом, либо другим насосом, например, плунжерным (рис. 14,б). Таким образом, диафрагма может выполнять защитные функции, предохраняя плунжер или поршень насоса от контакта с перекачиваемой средой.

### Достоинства:

Преимущество диафрагмового насоса перед поршневыми и плунжерными заключается в возможности перекачивания **агрессивных и загрязнённых** сред.

### Недостатки:

Помимо присущих поршневым и плунжерным насосам недостатков, к недостаткам диафрагмового насоса следует добавить **износ диафрагмы**.

## Монтежю

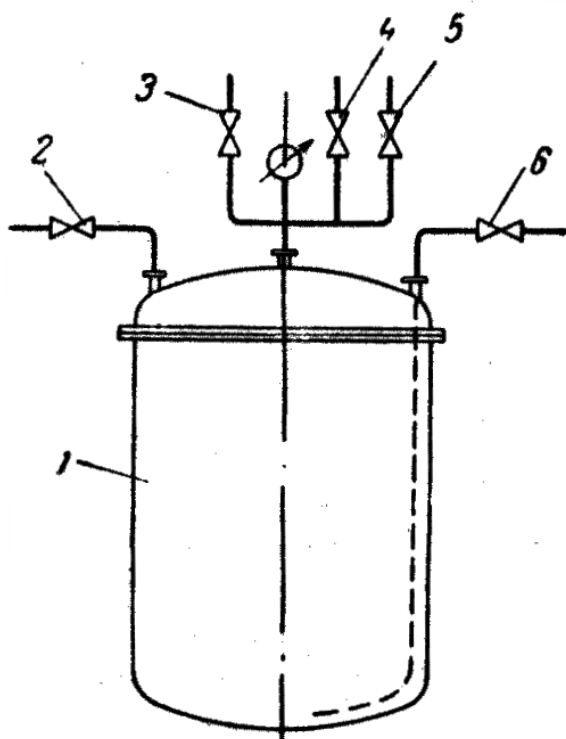


Рис. 15. Схема монтежю:  
1 – корпус; 2 – линия подачи перекачиваемой жидкости; 3 – линия подачи сжатого газа; 4 – воздушник; 5 – линия вакуума; 6 – нагнетательный трубопровод

### Принцип работы

Монтежю представляет собой горизонтальный или вертикальный цилиндрический резервуар с эллиптическими днищем и крышкой (рис. 15), стенки которого рассчитаны на давление до  $5-10 \text{ кгс/см}^2$ . Для перекачивания жидкости, периодически подаваемой по трубе 2, используется энергия инерта (сжатого воздуха или газа, не взаимодействующего с перекачиваемой жидкостью), подаваемого по трубе 3. Под давлением инерта жидкость выходит из монтежю, поднимаясь по нагнетательной трубе 6. На время

заполнения монтежю новой порцией жидкости подачу инерта и нагнетательную трубу перекрывают, а давление сбрасывают.

### Достоинства:

- простота устройства и отсутствие движущихся частей;
- возможность транспортировки загрязнённых жидкостей, суспензий и агрессивных жидкостей.

### Недостатки:

- громоздкость;
- низкий КПД (не выше 15–20 %);
- периодичность работы или неравномерность подачи автоматических монтежю.

## Шестерёнчатый насос

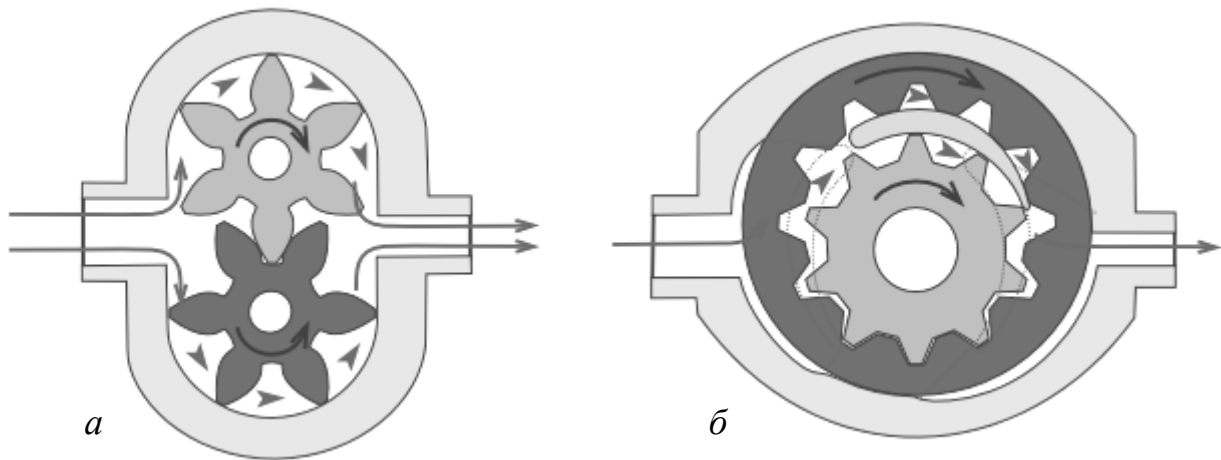


Рис. 16. Схема шестерёнчатого насоса с внешним зацеплением (а) и внутренним зацеплением (б)

### Принцип работы

Шестерёнчатый насос с внешним зацеплением работает следующим образом. Ведущая шестерня находится в постоянном зацеплении с ведомой и приводит её во вращательное движение. При вращении шестерён насоса в противоположные стороны в полости всасывания зубья, выходя из зацепления, образуют разрежение (вакуум). За счёт этого из всасывающей трубы в полость всасывания поступает рабочая жидкость, которая, заполняя впадины между зубьями обеих шестерён, перемещается зубьями вдоль цилиндрических стенок колодцев в корпусе и переносится из полости всасывания в полость нагнетания, где зубья шестерён, входя в зацепление, выталкивают жидкость из впадин в нагнетательный трубопровод. При этом между зубьями образуется плотный контакт, вследствие чего обратный перенос жидкости из полости нагнетания в полость всасывания невозможен.

### Достоинства:

- высокий напор;
- простота конструкции и высокая надёжность;
- возможность перекачивания вязких жидкостей;

- способность работать при высокой частоте вращения;
- лучшая равномерность подачи в сравнении с поршневыми насосами;
- реверсивность – возможность менять направление перекачивания при изменении направления вращения шестерней.

### Недостатки:

- невысокая (по сравнению с динамическими насосами) производительность (не более  $0,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ );
- нерегулируемость рабочего объёма;
- наличие *запертых объёмов*, из которых необходимо предусмотреть отведение жидкости, чтобы избежать возникновения большого момента сопротивления, вызванного малой сжимаемостью жидкости.

### Области применения

Шестерёнчатые насосы широко используются в системах объёмного гидростатического привода и в системах смазки. Шестерёнчатые насосы применяются для получения давлений до 20 МПа (теоретически при очень чистой жидкости и высокой точности изготовления).

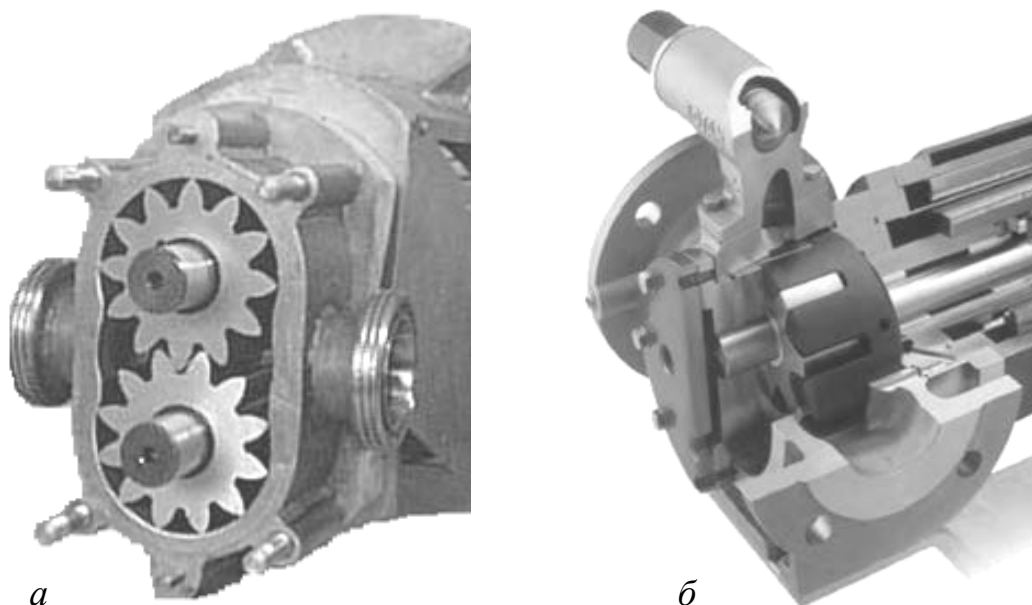


Рис. 17. Шестерёнчатые насосы с внешним (а) и внутренним (б) зацеплениями в разрезе

## Кулачковый и шестерёнчатый героторный насосы

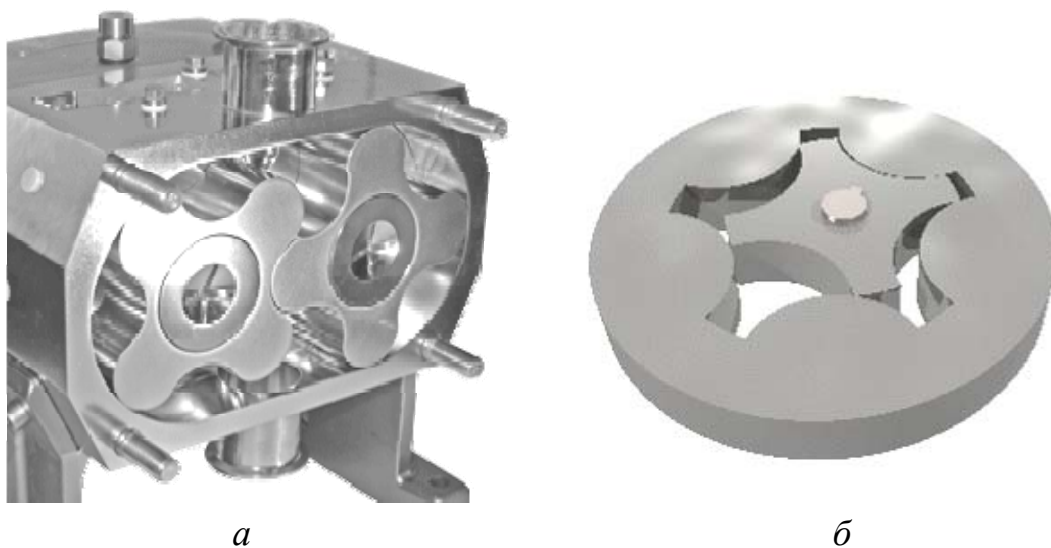


Рис. 18. Кулачковый насос в разрезе (а) и колесо шестерёнчатого героторного насоса (б)

### Принцип работы

При неизменных моменте и частоте вращения, давление и напор, создаваемые шестерёнчатым насосом, тем выше, чем больше число зубьев его шестерней. Однако с ростом числа зубьев шестерней падает производительность насоса. Для повышения производительности при неизменных габаритных размерах шестерёнчатого насоса требуется уменьшить число зубьев, меняя соответствующим образом их геометрию. При минимально возможном числе зубьев шестерёнчатый насос с внешним

зацеплением вырождается в кулачковый насос, а шестерёнчатый насос с внутренним зацеплением – в шестерёнчатый героторный.

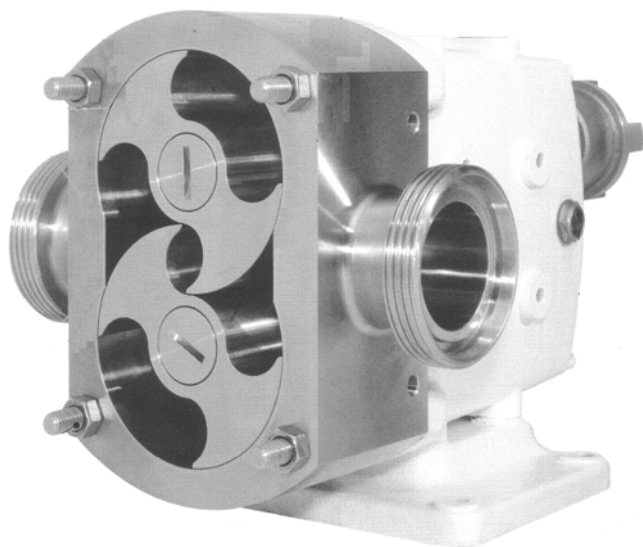


Рис. 19. Кулачковый насос с серповидными кулачками в разрезе

## Винтовой насос

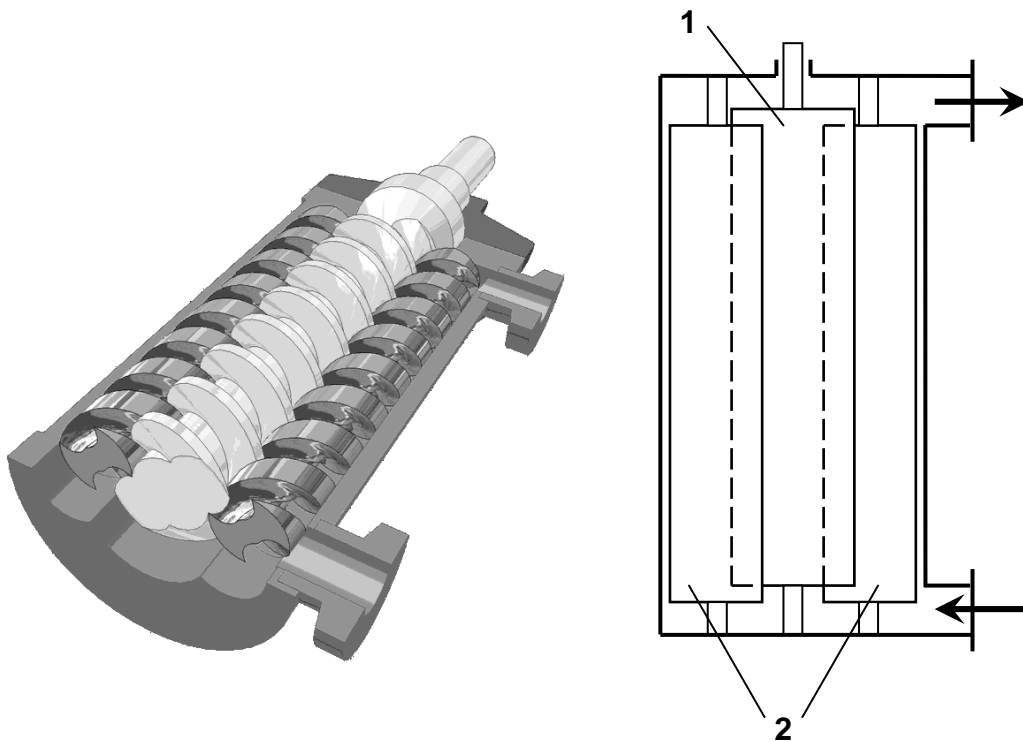


Рис. 20. Схема винтового насоса:  
1 – ведущий винт; 2 – ведомые винты

### Принцип работы

Винтовые насосы имеют ведущий винт 1 и несколько ведомых винтов 2. Винты имеют профиль, обеспечивающий полную герметизацию области нагнетания от области всасывания. При вращении винтов жидкость, заполняющая впадины в нарезках винтов, перемещается вдоль оси насоса и вытесняется в линию нагнетания. Винты, входя винтовыми выступами в канавки смежного винта, создают замкнутое пространство, не позволяя жидкости перемещаться назад. Таким образом, по принципу действия винтовые насосы аналогичны шестерёнчатым и отличаются от последних тем, что жидкость перемещается вдоль оси вращения. Давление, создаваемое винтовыми насосами, зависит от числа шагов винтовой нарезки и увеличивается с возрастанием отношения длины витка к его диаметру. Производительность винтового насоса растёт с увеличением числа оборотов, при этом давление остаётся постоянным.

### Достоинства:

- высокая надёжность;
- возможность перекачивания вязких жидкостей;
- более высокая производительность по сравнению с шестерёнчатыми насосами (до 300 м<sup>3</sup>/ч);
- лучшая равномерность подачи в сравнении с поршневыми насосами;
- возможность получить высокое давление (до 30 МПа) на выходе без множества каскадов нагнетания;
- реверсивность – возможность менять направление перекачивания при изменении направления вращения винтов;
- хорошая сбалансированность механизма и, как следствие, – низкий уровень шума при работе.

### Недостатки:

- сложность и высокая стоимость изготовления насоса.

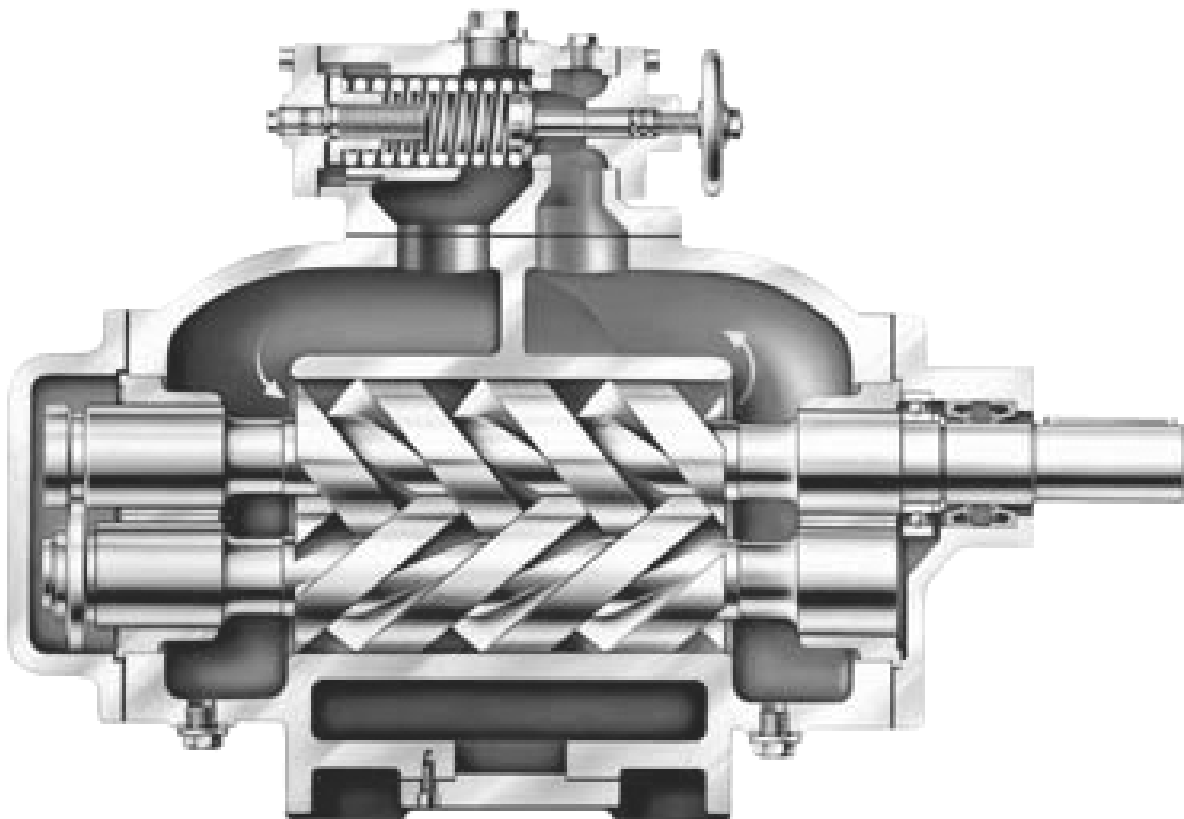


Рис. 21. Двухвинтовой насос Leistritz в разрезе



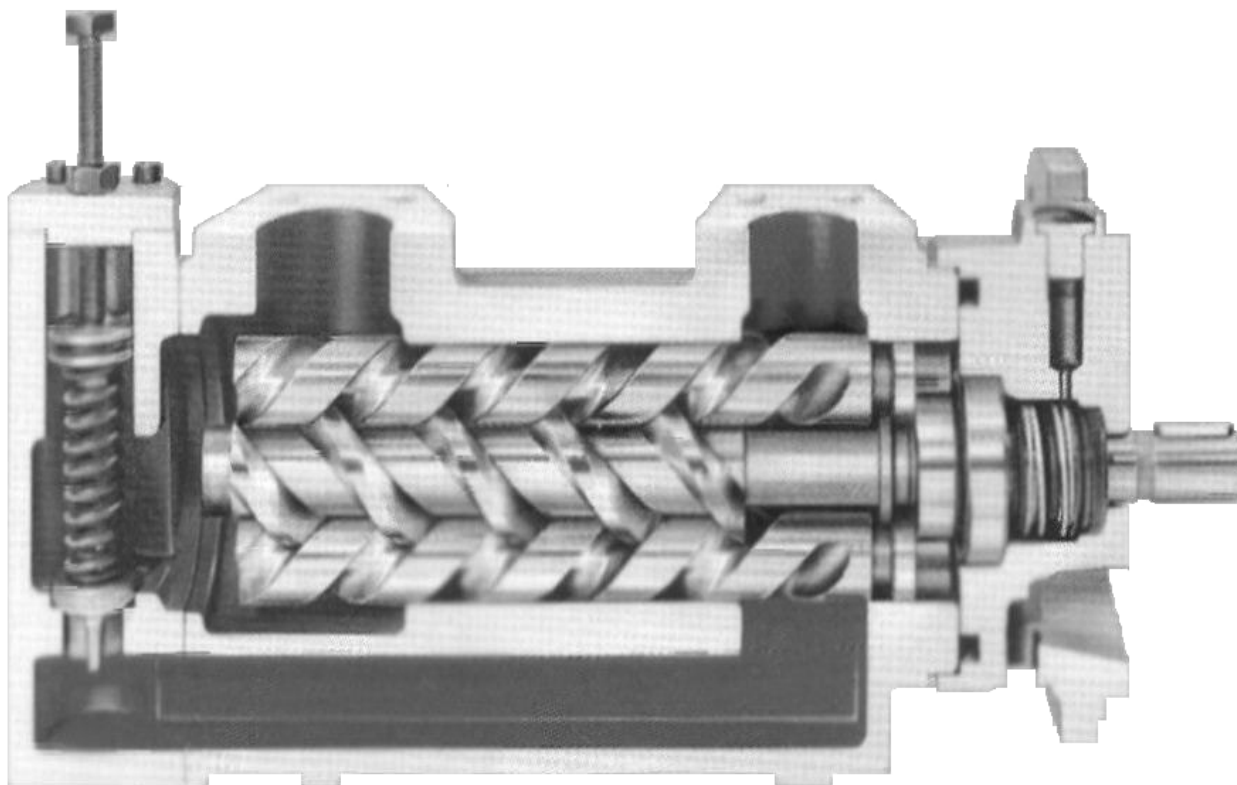


Рис. 22. Трёхвинтовой насос в разрезе

### **Области применения**

Винтовые насосы составляют конкуренцию многоступенчатым центробежным насосам в области средних производительностей и поршневым насосам в области средних напоров. Большое число установок винтовых насосов используется для удаления воды из скважин, добывающих метан из угольных пластов, прежде всего, благодаря их способности перекачивать жидкости с механическими примесями. Однако винтовые насосы пригодны и для других газовых скважин, а также для добычи воды и нефти.

## Одновинтовой (шнековый) насос

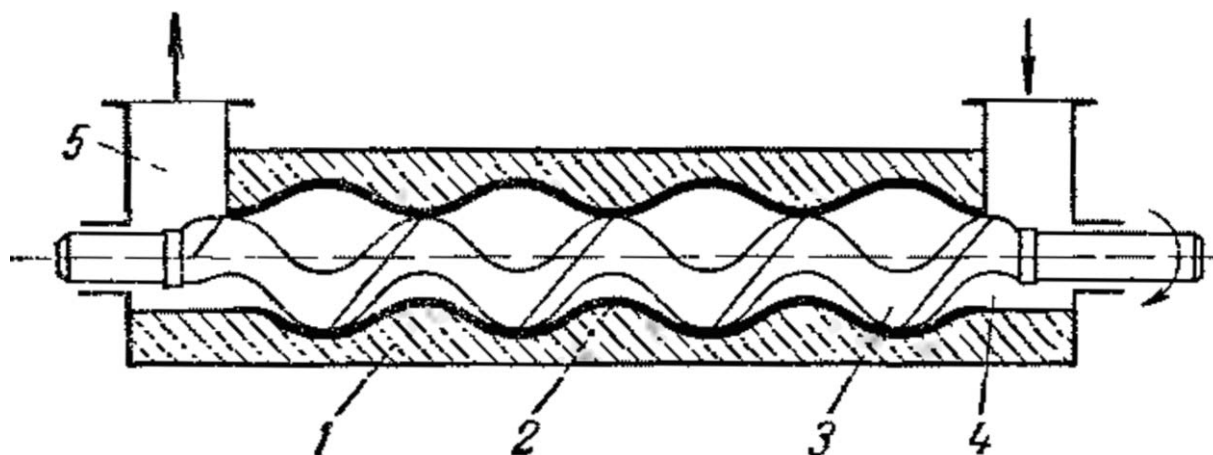


Рис. 23. Схема одновинтового (шнекового) насоса:  
1 – корпус; 2 – цилиндр; 3 – винт (шнек);  
4 – всасывающая полость; 5 – нагнетательная полость

### Принцип работы

Одновинтовой насос, который также называют **шнековым** или **винтовым героторным**, состоит из корпуса 1, в котором заключён цилиндр 2 с внутренней профилированной винтовой поверхностью. В цилиндре установлен однозаходный винт 3. Между винтом и цилиндром образуются замкнутые полости, заполняемые при работе насоса жидкостью. При вращении винта эти полости перемещаются вдоль оси насоса от всасывающей полости 4 к нагнетательной полости 5.

При работе с пастами, не способными самостоятельно перетекать через зазоры между винтом и цилиндром, геометрия цилиндра и винта может быть упрощена.

### Достоинства и недостатки

Достоинства и недостатки одновинтового (шнекового) насоса аналогичны достоинствам и недостаткам винтовых насосов. Однако производительности и напоры одновинтовых насосов меньше, чем у многвинтовых (производительность до  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ , напор до 250 м).

## Области применения

Одновинтовые насосы используют для перекачивания загрязнённых и агрессивных жидкостей, растворов, пластических масс и паст высокой вязкости.

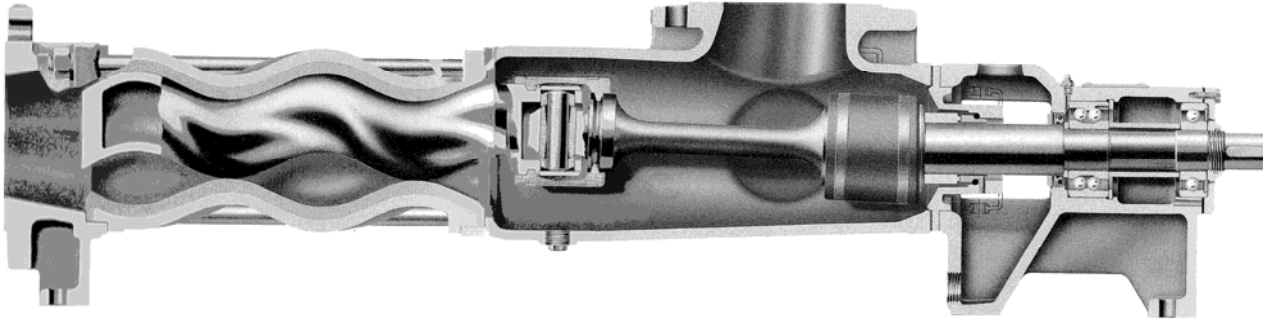


Рис. 24. Одновинтовой эксцентрошнековый насос в разрезе

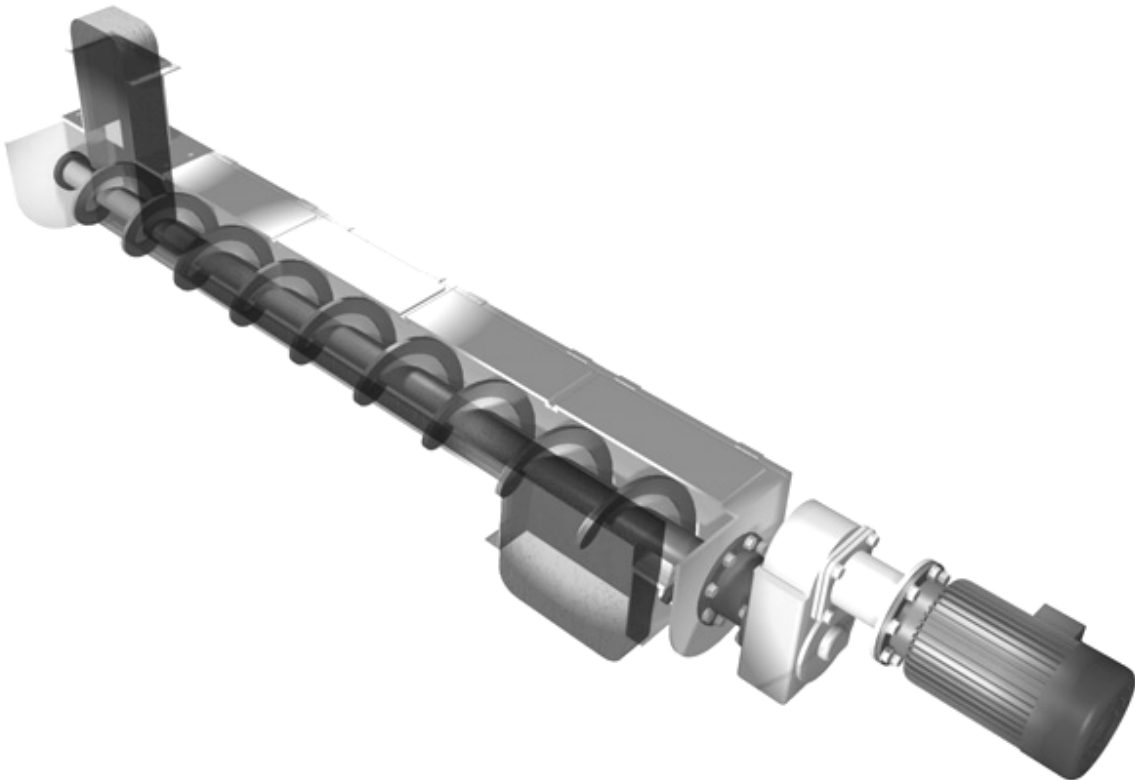


Рис. 25. Шнековый насос

## Пластинчатый (шиберный) ротационный насос

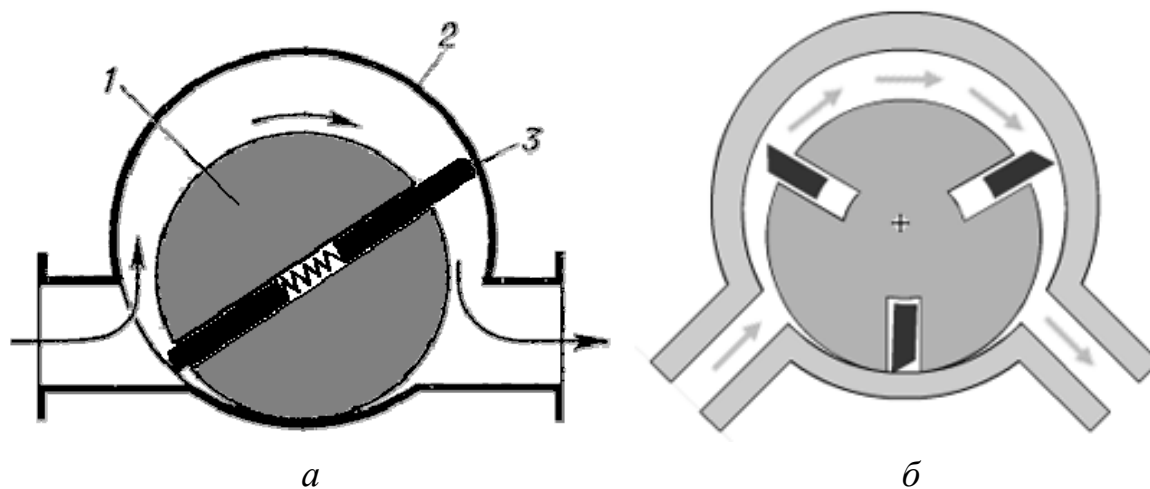


Рис. 26. Схема двухпластинчатого (а) и трёхпластинчатого (б) ротационного насоса:  
1 – ротор, 2 – корпус (статор), 3 – пластины

### Принцип работы

При сообщении вращающего момента валу насоса ротор насоса 1 приходит во вращение. Под действием центробежной силы (или под действием силы упругости пружин, находящихся под пластинами) пластины 3 прижимаются к корпусу статора 2, в результате чего образуются две полости, герметично отделённые друг от друга. Объём одной из полостей постепенно увеличивается (в эту полость происходит всасывание), а одновременно с этим объём другой полости постепенно уменьшается (из этой полости осуществляется нагнетание рабочей жидкости).

### Достоинства:

- сравнительно низкая пульсация подачи (по сравнению с поршневыми и шестерёнчатыми насосами);
- достаточно низкий уровень шума;
- принципиальная возможность реализовать регулируемость рабочего объёма путём изменения эксцентриситета – величины смещения оси ротора относительно оси статора.

### Недостатки:

- сложность конструкции и низкая ремонтпригодность;
- довольно низкие рабочие давления (до 14 МПа).

### Области применения

Пластинчатые насосы широко применяются в системах объёмного гидропривода (например, в приводе металлорежущих станков). Пластинчатый насос также используется в пищевой промышленности для перекачивания паст.

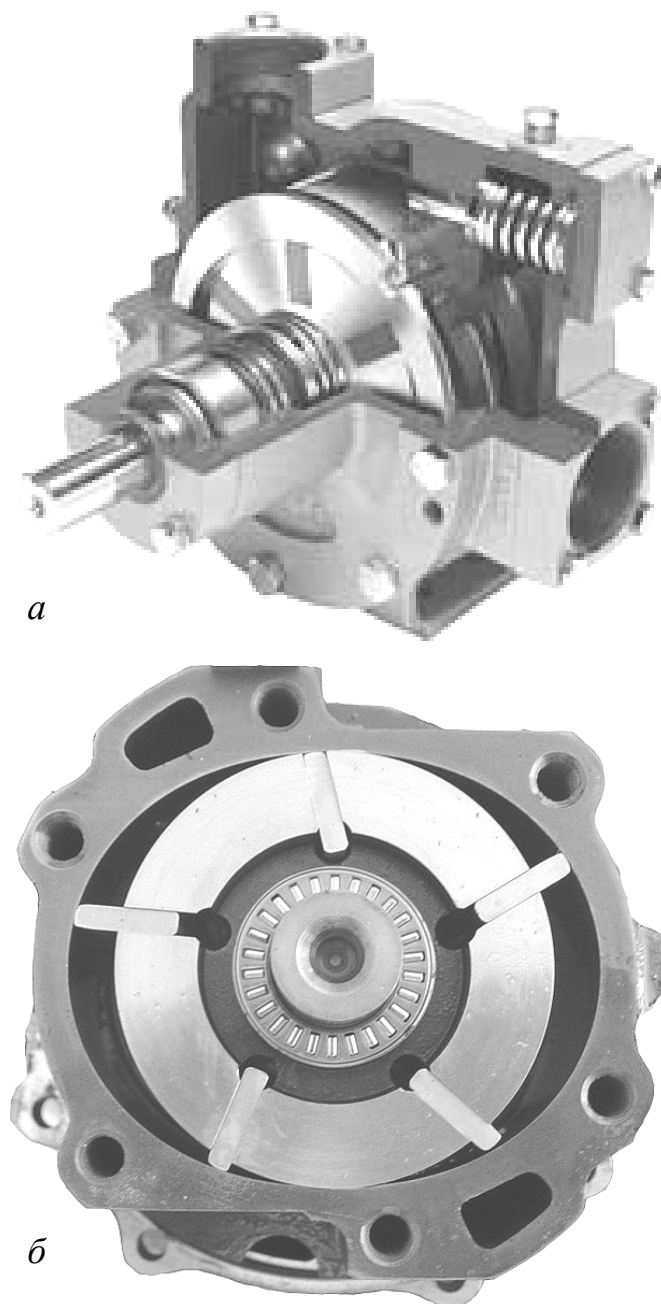


Рис. 27. Пластинчатый насос простого (а) и двойного (б) действия в разрезе

## Водокольцевой вакуум-насос

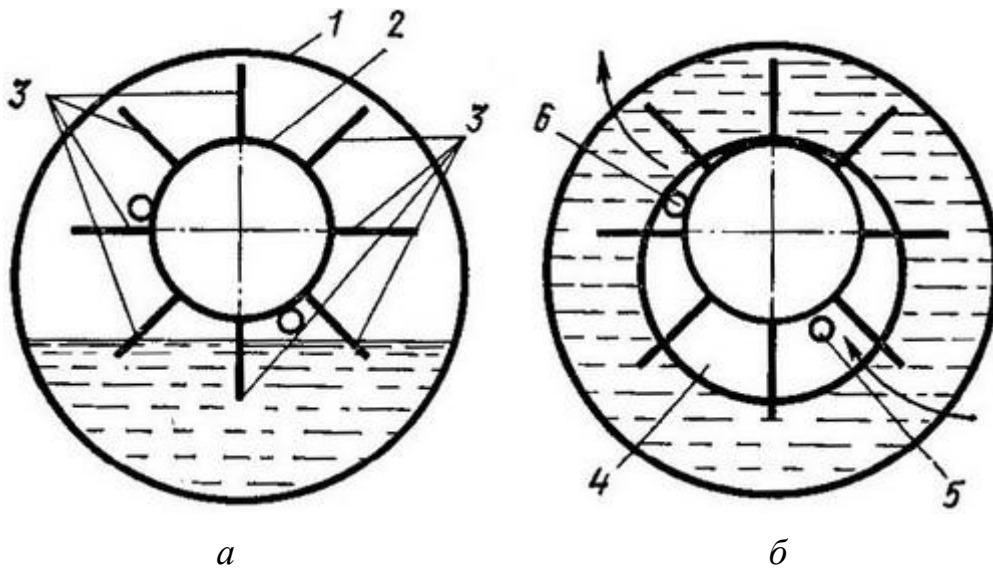


Рис. 28. Схема водокольцевого вакуумного насоса до запуска (а) и во время работы (б):  
1 – корпус насоса; 2 – рабочее колесо; 3 – лопасти рабочего колеса;  
4 – воздушное пространство; 5 – входной патрубок; 6 – нагнетательный патрубок

### Принцип работы

Внутри цилиндрического корпуса 1 эксцентрично помещено рабочее колесо насоса 2, снабжённое выступающими лопастями 3. Перед пуском в корпус заливается вода, которая при вращении рабочего колеса равномерно отжимается центробежной силой к внутренней поверхности корпуса, образуя кольцо. Вода заливается в таком количестве, чтобы между ротором и внутренней поверхностью водяного кольца образовалось серпообразное воздушное пространство 4, перегораживаемое лопастями колеса 3. Воздух засасывается через отверстие 5, находящееся в самой широкой части этого серпообразного пространства, и переносится к другому отверстию 6, расположенному в самой узкой части, в результате чего происходит сжатие.

### Достоинства:

- простота конструкции;
- низкая чувствительность к загрязнениям;
- низкий износ благодаря отсутствию трущихся частей.

### Недостатки:

- низкий КПД ввиду затраты энергии на вращение водяного кольца;
- потери рабочей жидкости с отходящими газами и необходимость её улавливания и утилизации или рециркуляции;
- необходимость охлаждения рабочей жидкости с целью снижения давления её паров.

### Области применения

Водокольцевой вакуум-насос используется для создания низкого вакуума (80–40 мм рт. ст.). При двухступенчатой схеме возможно довести вакуум до 10 мм рт. ст. Однако вода хорошо испаряется, мешая достижению высокого вакуума, поэтому иногда используют машинное масло или другие жидкости.

Водокольцевые вакуум-насосы также используются в комплексе с центробежными насосами для осуществления самовсасывания.

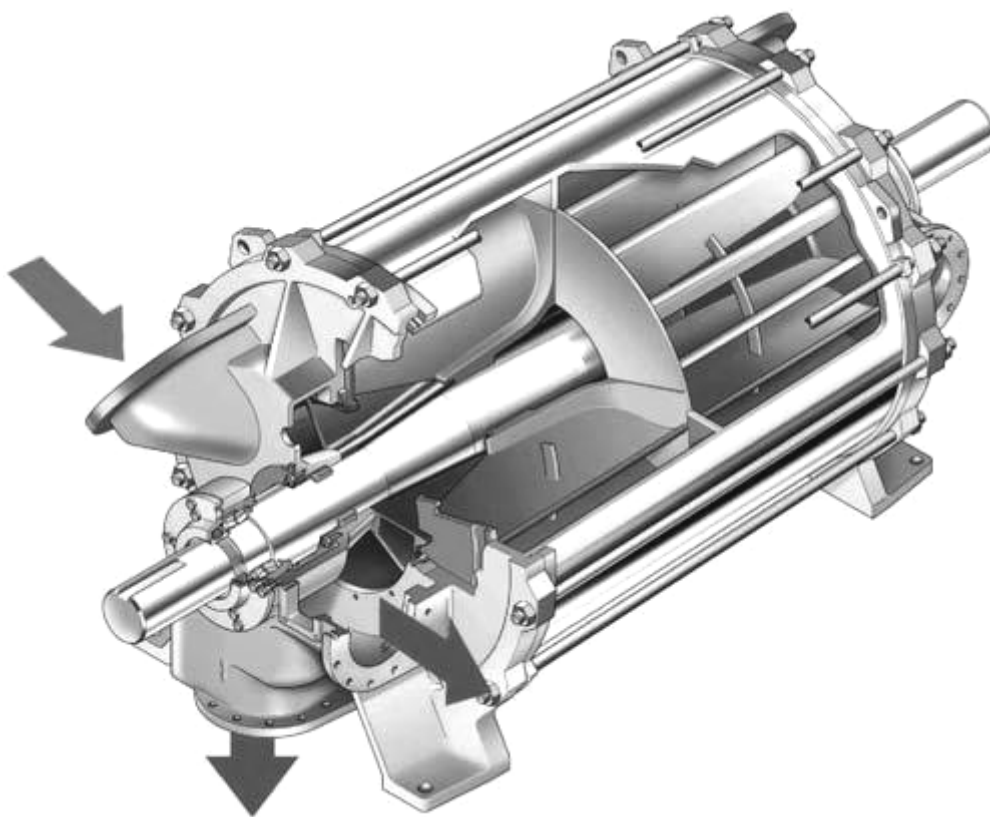


Рис. 29. Водокольцевой вакуумный насос NASH L 900 P 2620 в разрезе

## Центробежный насос

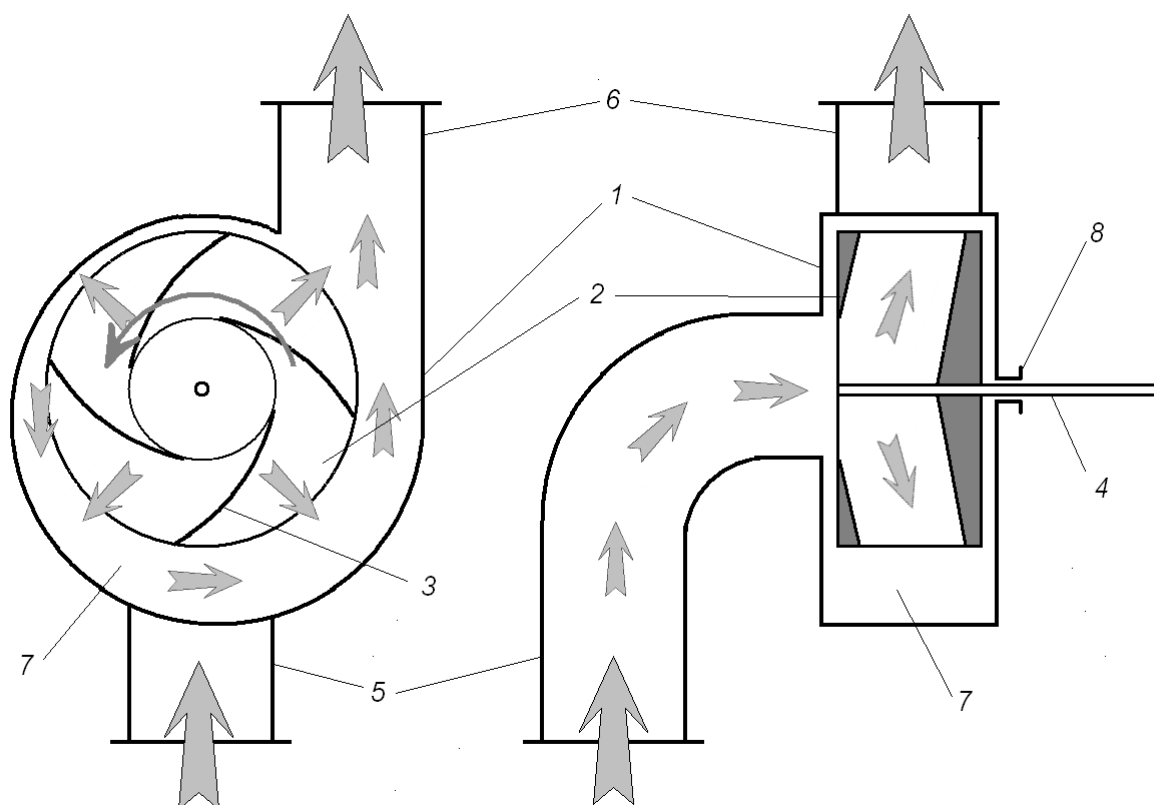


Рис. 30. Схема горизонтального центробежного насоса:  
1 – корпус; 2 – рабочее колесо; 3 – лопасти рабочего колеса; 4 – вал насоса; 5 – всасывающий патрубок; 6 – нагнетательный патрубок; 7 – спиральный улиткообразный канал; 8 – сальник

### Принцип работы

Внутри улиткообразного корпуса 1 эксцентрично помещено рабочее колесо насоса 2, снабженное лопастями 3, которые обычно загнуты назад по отношению к направлению вращения рабочего колеса. Рабочее колесо насажено на вал 4, соединённый с валом электродвигателя или редуктора. Для предотвращения утечки жидкости между валом и корпусом насоса установлен сальник 8. Вращение рабочего колеса, при наличии в насосе жидкости, приводит к возникновению центробежной силы, под действием которой жидкость устремляется из центра к периферии. Возникающее в центре разрежение вызывает поступление в насос жидкости через всасывающий патрубок 5. Под действием центробежной силы, жидкость покидает рабочее колесо, попадая в спиральный улиткообразный канал 7, где возникает повышенное давление. Под действием



давления жидкость движется по спиральному улиткообразному каналу и поступает в нагнетательный патрубок 6.

### Устройство рабочего колеса центробежного насоса

Передача энергии потоку жидкости с вала центробежного насоса осуществляется рабочим колесом (рис. 31) с кривыми (иногда профилированными) лопостями 3. Внутренняя полость рабочего колеса (межлопастные каналы) образуются двумя фасонными дисками 1 и 2 и несколькими лопастями 3. Диск 1, называемый основным или ведущим, составляет одно целое со ступицей, служащей для жёсткой посадки колеса на вал насоса. Диск 2, называемый покрывающим или ведомым, составляет одно целое с лопастями.

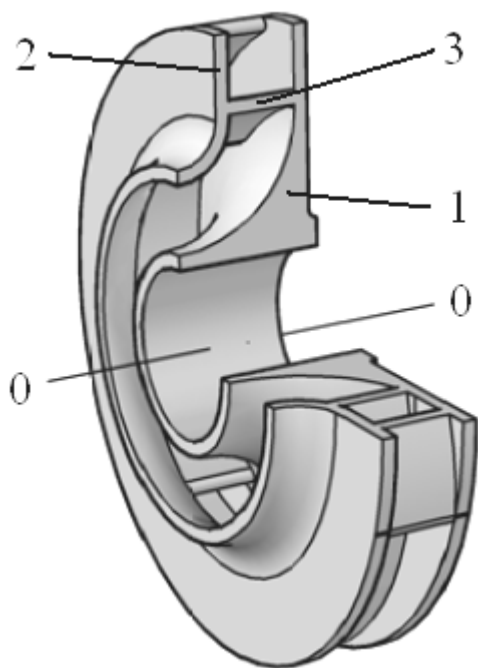


Рис. 31. Устройство рабочего колеса центробежного насоса:  
0 – ось вращения; 1 – ведущий диск;  
2 – ведомый диск; 3 – лопасти

Конструкция колеса в значительной степени определяется его коэффициентом быстроходности:

$$n_s = 3,65 \cdot n \cdot \sqrt{\dot{V}} / H^{3/4},$$

где  $n$  – частота вращения,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\dot{V}$  – производительность насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $H$  – напор насоса, м.

В зависимости от коэффициента быстроходности рабочие колёса лопастных насосов условно разделяют на пять основных типов (рис. 32). При увеличении коэффициента быстроходности наблюдаются возрастание относительной ширины лопасти рабочего колеса и уменьшение относительного наружного диаметра рабочего колеса, т.е. колесо преобразуется из радиального в осевое. С увеличением коэффициента быстроходности возрастает подача насоса, но уменьшается его напор. Колесо типа 5 является уже колесом не центробежного, а осевого пропеллерного насоса.

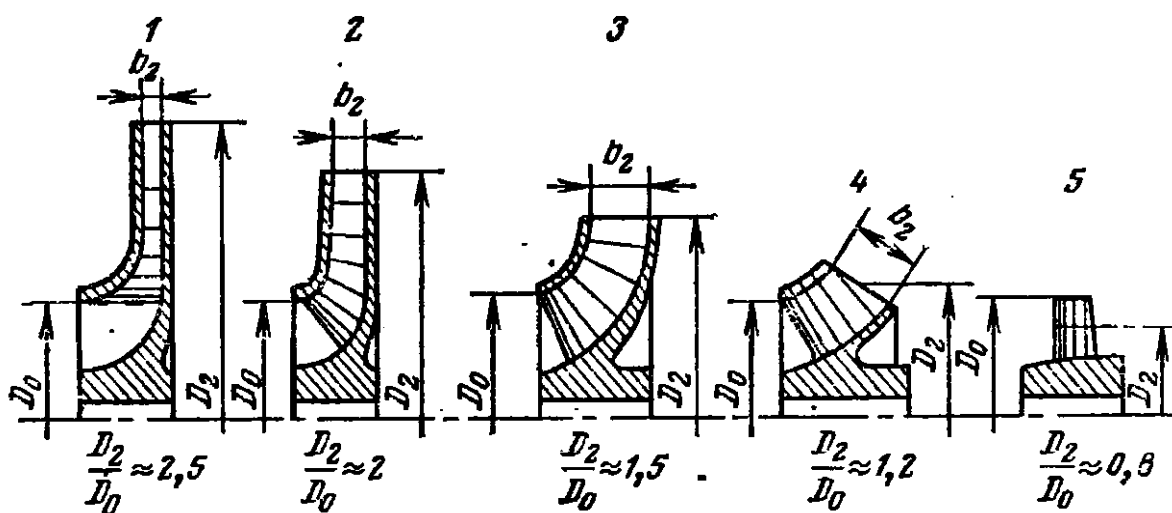


Рис. 32. Конструктивные типы рабочих колёс:

- 1 – тихоходное колесо ( $n_s = 40 \div 80$ ); 2 – нормальное колесо ( $n_s = 80 \div 150$ );  
 3 – быстроходное колесо ( $n_s = 150 \div 300$ ); 4 – диагональное колесо ( $n_s = 300 \div 600$ );  
 5 – осевое пропеллерное колесо ( $n_s = 600 \div 1200$ )

Для внесения большего разнообразия в рабочие характеристики насосов производители широко практикуют обточку рабочих колёс до меньших диаметров, это даёт изменение параметров при сохранении конструкции и габаритов насосов. Уменьшение диаметра колеса, путём его обточки, приводит к уменьшению напора насоса и потребляемой насосом мощности, что позволяет достичь экономии энергии в том случае, когда требуется напор несколько меньший, чем выдаёт насос при необточенном рабочем колесе.

#### Достоинства:

- высокая производительность, по сравнению с объёмными насосами;

- один из самых высоких среди насосов КПД (50–90 %);
- напор, достаточный для транспортировки жидкостей по трубопроводам, составляющий для одноступенчатых насосов 50–100 м;
- равномерность подачи;
- высокая частота вращения рабочего колеса, позволяющая соединять вал насоса с валом электродвигателя без редуктора, понижающего частоту вращения;
- компактность самого насоса и насосной установки в целом.

### **Недостатки:**

- отсутствие самовсасывания и невозможность работы насоса без предварительной заливки;
- высокая опасность возникновения кавитации при транспортировке горячих жидкостей;
- трудность перекачивания вязких жидкостей.

### **Области применения**

Центробежные насосы являются самыми распространенными насосами в химической промышленности и других отраслях производства. Такое широкое распространение центробежные насосы получили благодаря тому, что их напор и производительность достаточные для большинства гидравлических сетей. Высокий КПД самого насоса и возможность обойтись без понижающего обороты редуктора приводят к тому, что центробежный насос, при прочих равных условиях, будет потреблять гораздо меньше энергии, чем насосы других типов. Таким образом, центробежные насосы остаются вне конкуренции везде, за исключением областей высоких напоров (где используются насосы объёмного действия). Однако, многоступенчатые центробежные насосы, напор которых существенно выше и достигает 1000 м, способны конкурировать с насосами объёмного действия там, где требуется не только высокий напор, но и высокая производительность.

Проблема необходимости заливки насоса решается путём установки насоса ниже уровня жидкости, при этом высота всасывающей линии получается отрицательной, что также позволяет избежать кавитации. Также вместе с центробежным насосом можно установить водокольцевой вакуум-насос небольшой мощности, который обеспечит самовсасывание.

### Рабочая и универсальная характеристики центробежного насоса

На рис. 33,а представлена графическая зависимость напора, мощности и КПД центробежного насоса от производительности при постоянном числе оборотов рабочего колеса, получаемая для насоса экспериментально. Данная характеристика называется рабочей характеристикой центробежного насоса и служит для определения интервала оптимальной работы насоса, соответствующего наибольшим значениям его КПД.

Для анализа работы центробежного насоса и выбора оптимального режима его работы при различных значениях частоты вращения рабочего колеса используют универсальную характеристику (рис. 33,б), представляющую собой набор зависимостей напора от производительности при разных значениях частоты вращения с нанесёнными поверх него топологическими линиями, показывающими области оптимальных значений КПД.

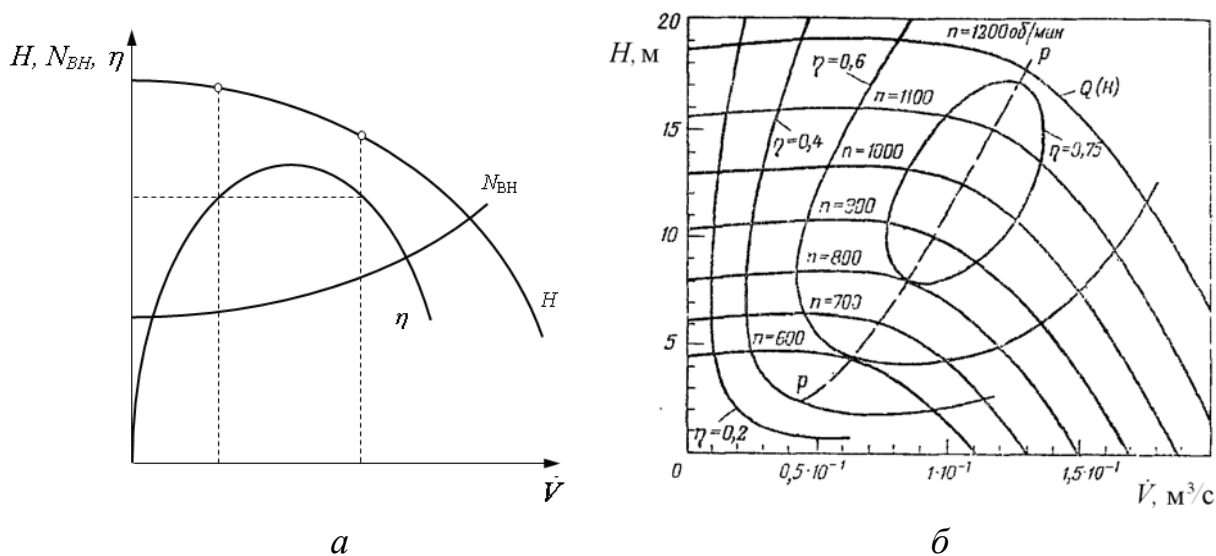


Рис. 33. Рабочая (а) и универсальная (б) характеристики центробежных насосов

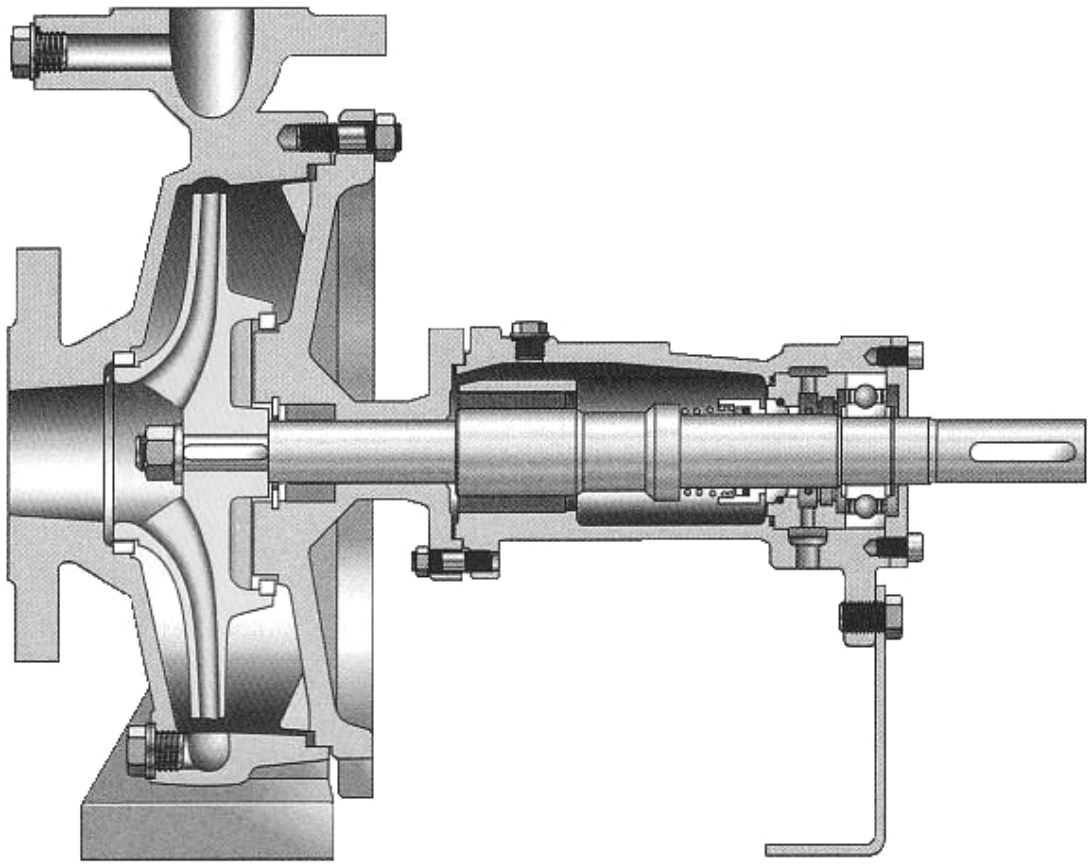


Рис. 34. Горизонтальный консольный центробежный насос с тихоходным рабочим колесом в разрезе

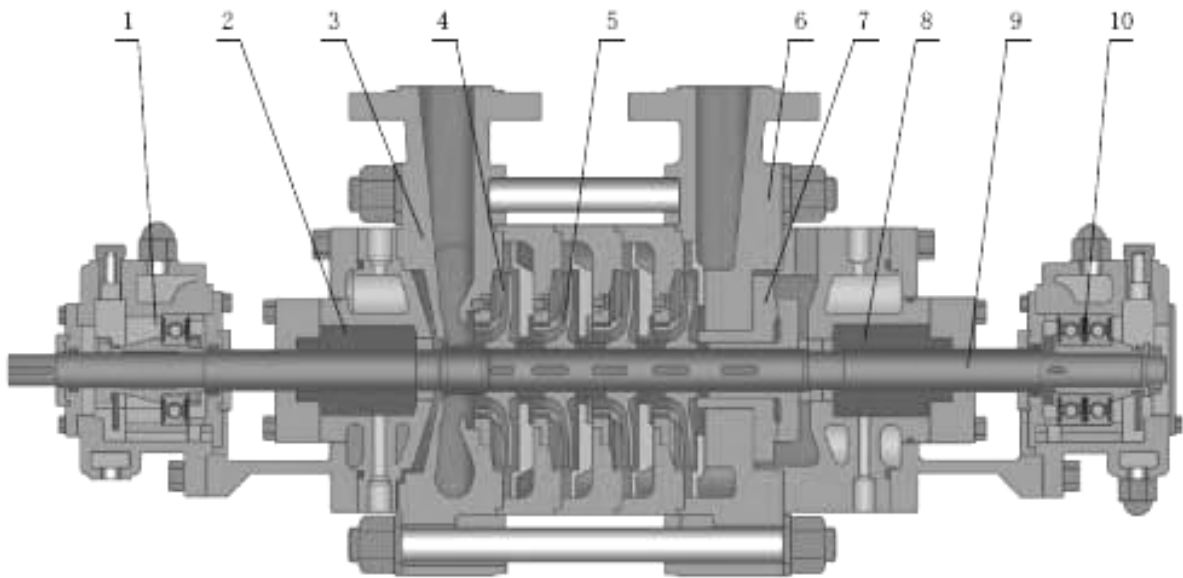


Рис. 35. Многоступенчатый центробежный насос в разрезе:

1 – подшипниковый элемент приводной части; 2 – уплотняющий элемент приводной части; 3 – сторона всасывания; 4 – рабочее колесо первой ступени; 5 – рабочее колесо второй ступени; 6 – напорная сторона; 7 – уравнивающие детали; 8 – уплотняющий элемент ведомой части; 9 – главный вал; 10 – подшипниковый элемент ведомой части

## Погружной центробежный насос

### Классификация погружных насосов:

• **Штанговые** – насосы, в которых привод осуществляется через механическую связь (штангу) от независимого двигателя, находящего выше поверхности жидкости;

• **Бесштанговые** – насосы, выполненные в одном агрегате с электрическим (или гидравлическим) двигателем. Питание электродвигателя осуществляется через погружаемый силовой кабель. В случае применения гидродвигателя, источником энергии служит та же самая перекачиваемая жидкость, подаваемая в насос под высоким давлением. В этом случае независимый двигатель с насосом устанавливается на поверхности.

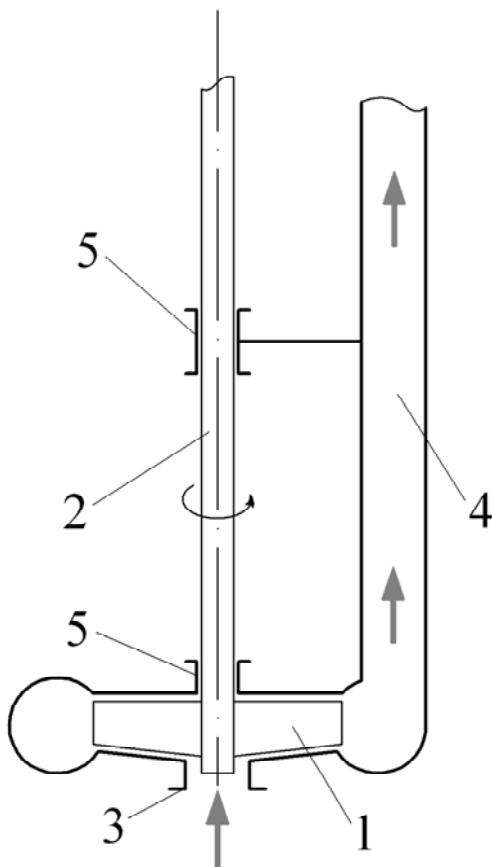


Рис. 36. Схема погружного центробежного штангового насоса:

1 – рабочее колесо; 2 – вал (штанга); 3 – всасывающий патрубок; 4 – напорная труба;  
5 – подшипники

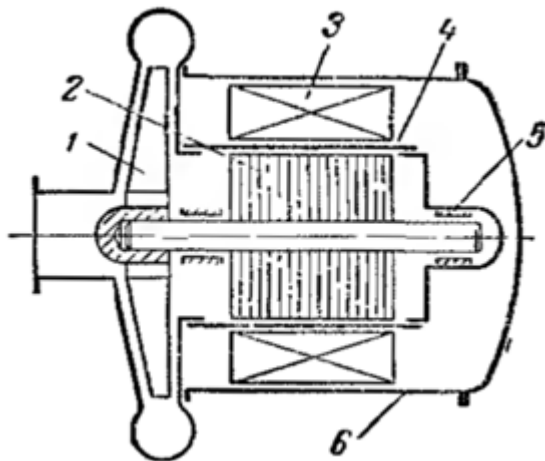


Рис. 37. Схема бесштангового погружного (герметического) центробежного насоса:

1 – рабочее колесо; 2 – ротор электродвигателя;  
3 – статор электродвигателя; 4 – экран;  
5 – подшипники; 6 – корпус

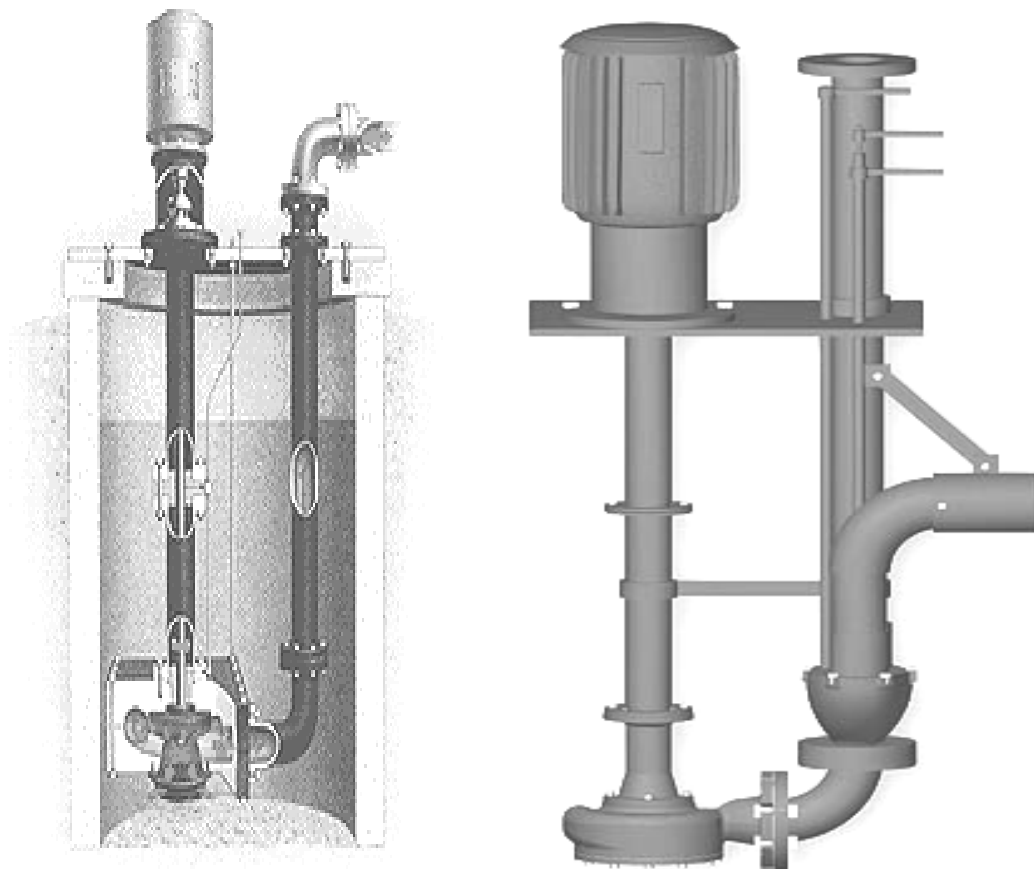


Рис. 38. Внешний вид штангового погружного центробежного насоса

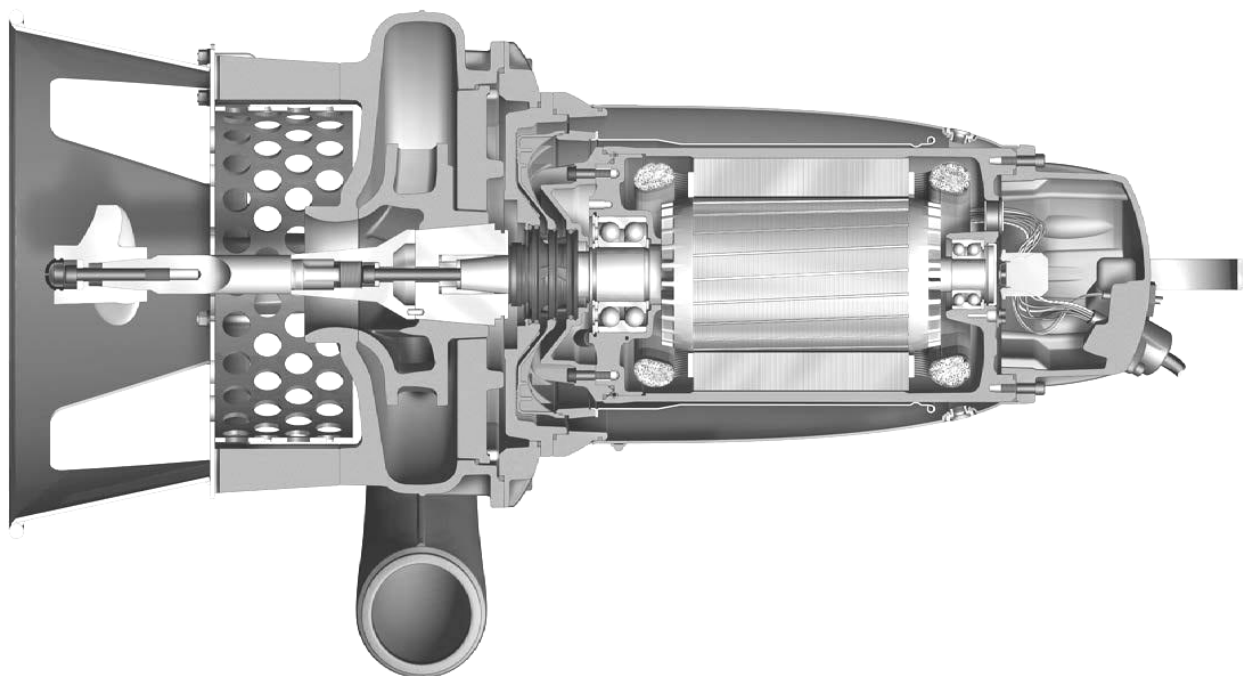


Рис. 39. Бесштанговый погружной (герметический) центробежный насос в разрезе

## Вихревой насос

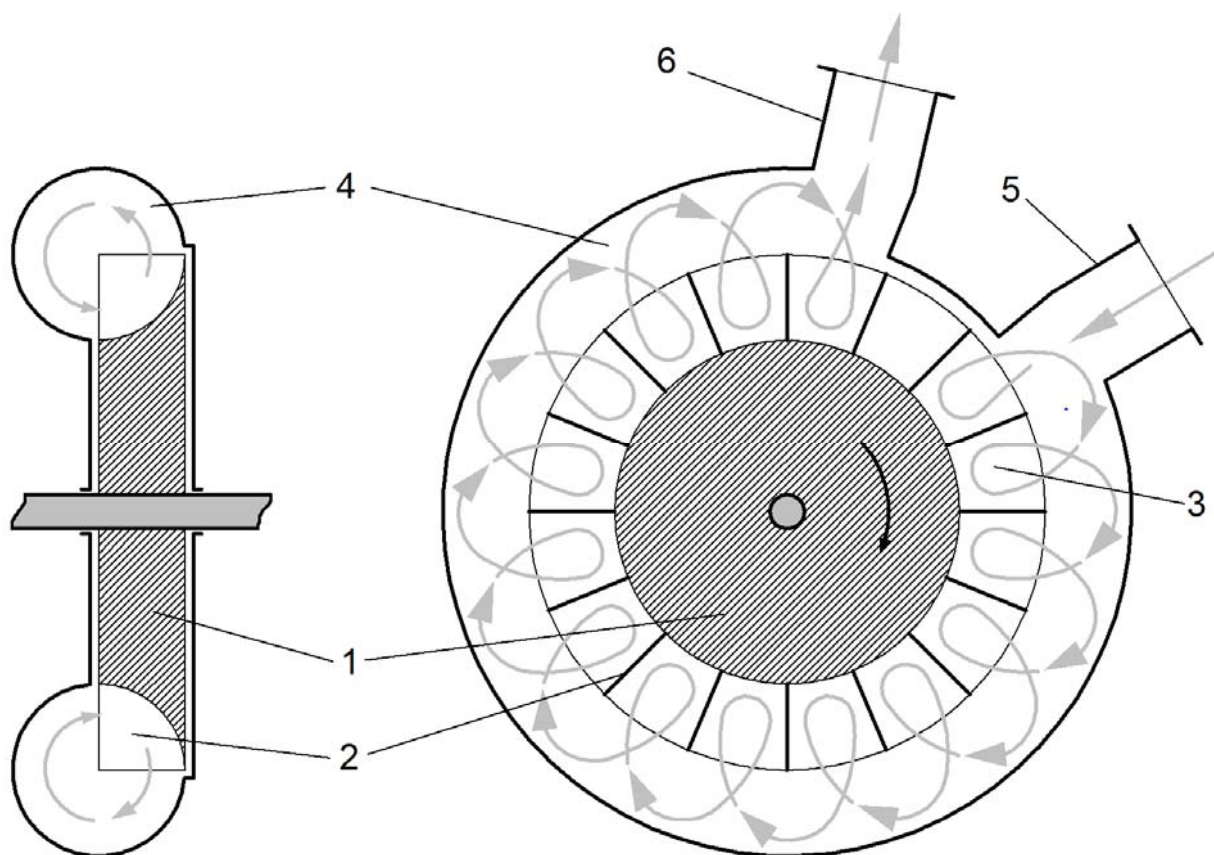


Рис. 40. Схема вихревого насоса:

1 – рабочее колесо; 2 – лопасти рабочего колеса; 3 – межлопастные каналы;  
4 – кольцевой отвод; 5 – всасывающий патрубок; 6 – нагнетательный патрубок

### Принцип работы

Поступающая из всасывающего патрубка 5 жидкость попадает на лопатки рабочего колеса 2, которые отбрасывают её в кольцевой отвод. Жидкость совершает по кольцевому отводу круговое движение и вновь попадает на лопатки, которые придают ей дополнительное ускорение. Вслед за вращением рабочего колеса 1 жидкость движется по кольцевому отводу 4, совершая круговые (вихревые) движения по спиралевидной траектории, пока не достигает нагнетательного патрубка 6. Каждая порция жидкости, заключённая в межлопастном канале 3, формирует вихрь, который по мере движения накапливает кинетическую энергию, получаемую от лопаток, и далее, под действием центробежной силы, выбрасывается в нагнетательный патрубок. Таким образом, вихревой на-



сос относится к классу центробежных насосов, поскольку нагнетание осуществляется благодаря центробежной силе. Но вместе с тем данный насос обладает небольшим объёмным эффектом, вызванным тем, что порции жидкости перемещаются вслед за рабочим колесом в межлопастных каналах. Эта особенность насоса приводит к наличию эффекта самовсасывания.

#### **Достоинства:**

- более высокий напор, чем у центробежных насосов тех же габаритных размеров (до 250 м);
- простота конструкции и небольшие габаритные размеры;
- равномерность подачи;
- высокая частота вращения рабочего колеса, позволяющая соединять вал насоса с валом электродвигателя без редуктора, понижающего частоту вращения;
- благодаря самовсасыванию нет необходимости заполнять насос перед пуском.

#### **Недостатки:**

- невысокий, по сравнению с центробежными насосами, КПД (20–50 %);
- высокая опасность возникновения кавитации при транспортировке горячих жидкостей;
- невозможность перекачивания вязких и загрязнённых жидкостей.

#### **Области применения**

Вихревые насосы применяются для транспортировки чистых маловязких жидкостей (например, сжиженного газа), а также в системах, где требуется непрерывная равномерная подача жидкости под высоким давлением, но при сравнительно небольших производительностях.

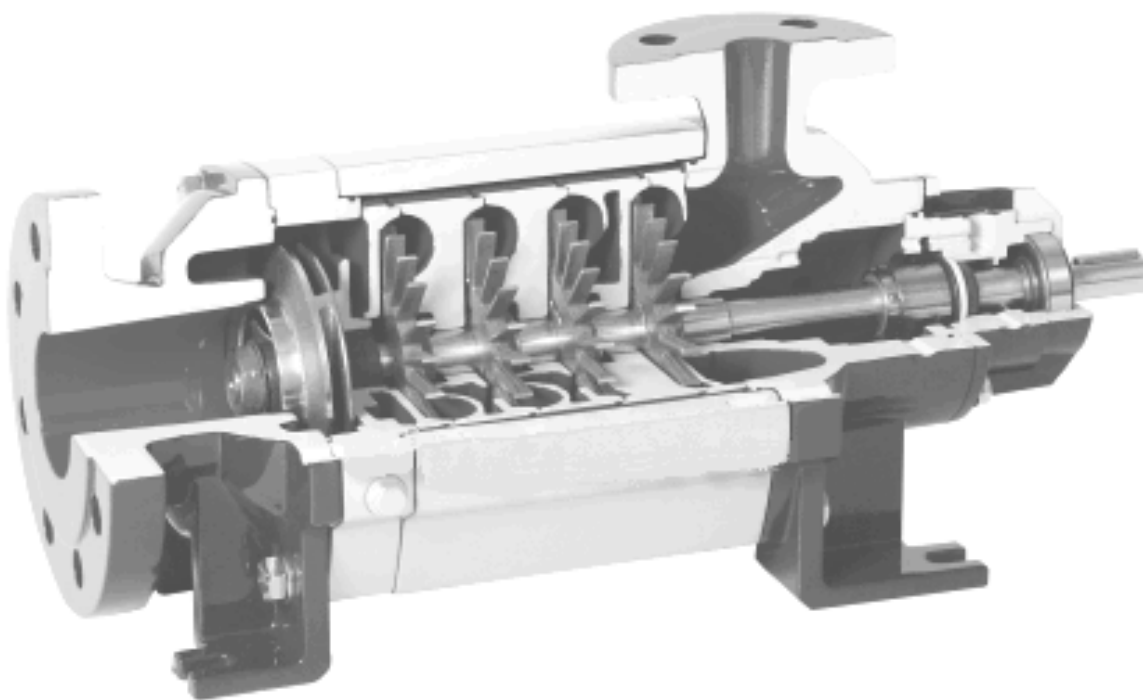


Рис. 41. Многоступенчатый вихревой насос СЕН-Х в разрезе (первая ступень насоса – центробежная, последующие четыре ступени – вихревые)

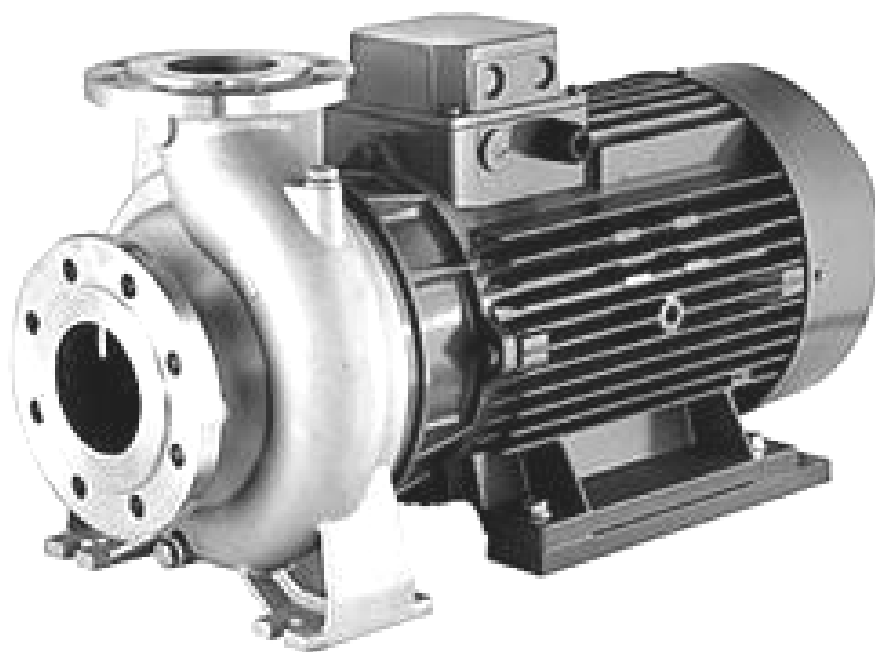


Рис. 42. Внешний вид вихревого насоса ВКС

## Осевой пропеллерный насос

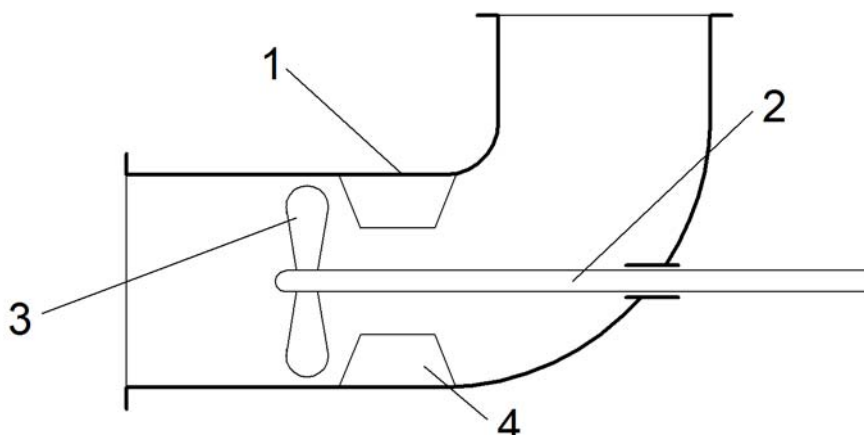


Рис. 43. Схема осевого пропеллерного углового насоса:  
1 – корпус насоса; 2 – вал насоса; 3 – лопасти насоса;  
4 – направляющие перегородки

### Принцип работы

Осевой пропеллерный насос представляет собой рабочее колесо с лопастями винтового профиля 3, при вращении которого жидкость, захватываемая лопастями, и движется вдоль оси трубы. Для снижения вращательного движения жидкости и преобразования его в поступательное иногда устанавливают дополнительные направляющие перегородки 4. Корпус насоса 1 представляет собой прямую или изогнутую трубу, на оси которой располагается вал насоса 2, соединённый с электродвигателем.

### Достоинства:

- высокая производительность, по сравнению со всеми другими классами насосов;
- компактность и простота устройства;
- пригодность для перемещения загрязнённых и кристаллизующихся жидкостей;
- высокий КПД;
- равномерность подачи;

- высокая частота вращения рабочего колеса, позволяющая соединять вал насоса с валом электродвигателя без редуктора, понижающего частоту вращения.

**Недостатки:**

- низкий напор (до 10–15 м);
- трудность перекачивания вязких жидкостей.

**Области применения**

Осевые пропеллерные насосы применяются для создания циркуляции в различных аппаратах химических производств, например, в выпарных установках.

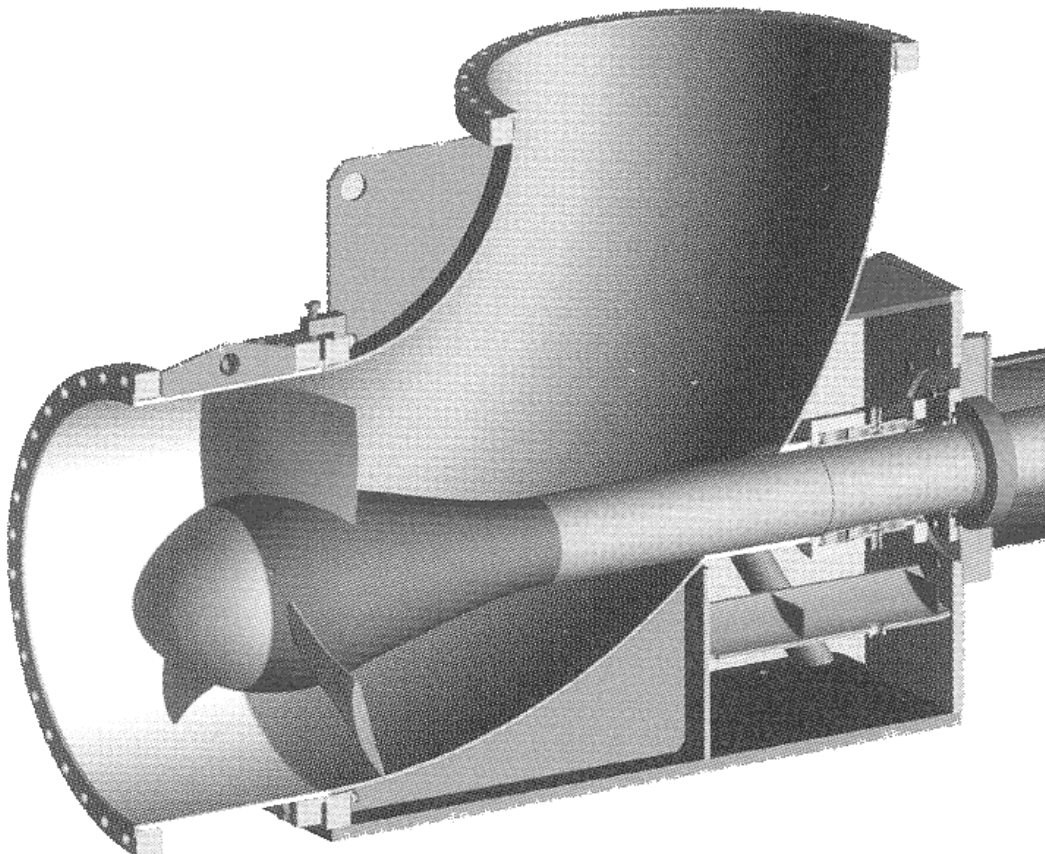


Рис. 44. Осевой пропеллерный насос в разрезе

## Струйно-эжекторный насос

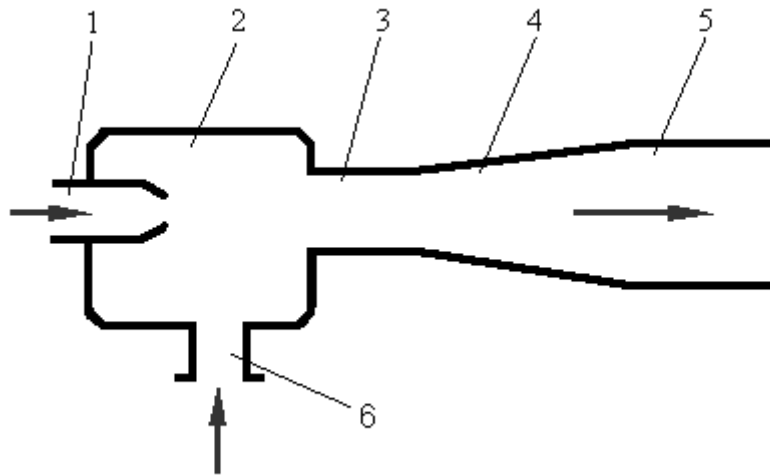


Рис. 45. Схема струйно-эжекторного насоса:  
1 – сопло рабочей среды; 2 – камера смешения; 3 – отвод; 4 – расширяющееся сопло; 5 – патрубок нагнетания; 6 – всасывающий патрубок

### Принцип работы

Рабочая среда поступает с большой скоростью из сопла 1 через камеру смешения 2 в диффузор (состоящий из отвода 3 и расширяющегося сопла 4), увлекая за счёт поверхностного трения перекачиваемую жидкость в патрубок нагнетания. В наиболее узкой части диффузора (отводе), выполненного по типу трубы Вентури, скорость смеси рабочей и перекачиваемой жидкостей достигает наибольшего значения, а статическое давление потока, в соответствии с уравнением Бернулли, становится наименьшим. Перепад давлений в камере смешения и диффузоре обеспечивает подачу перекачиваемой жидкости в камеру смешения из всасывающего патрубка 6. В расширяющейся части диффузора скорость потока уменьшается, но увеличивается потенциальная энергия давления, и жидкость под напором поступает в нагнетательный патрубок 5.

### Достоинства:

- простота конструкции и отсутствие движущихся частей;
- высокая надежность.

### Недостатки:

- низкий КПД;
- высокий шум при использовании пара в качестве рабочей среды;
- смешение рабочей и перекачиваемой среды.

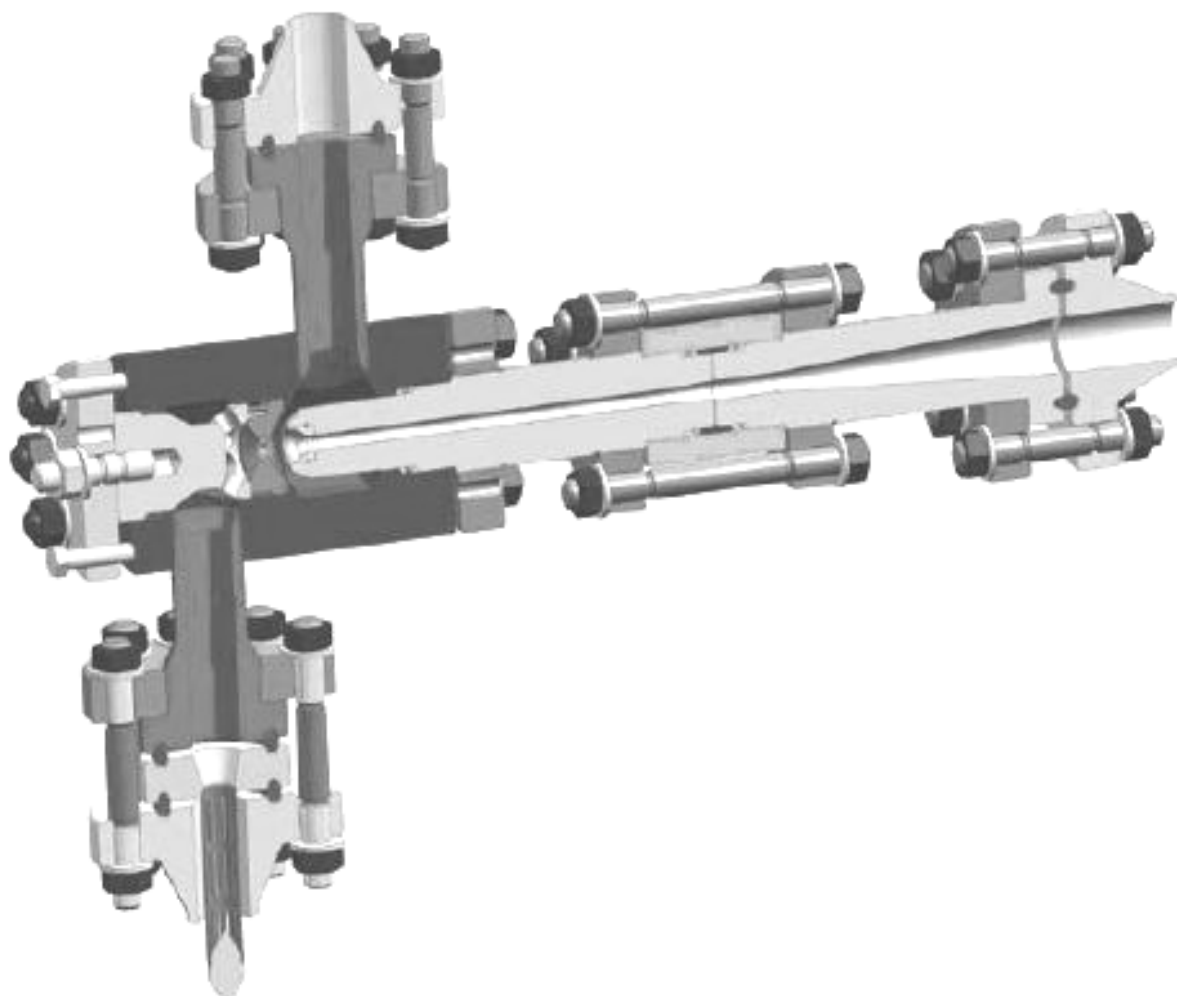


Рис. 46. Струйный насос-эжектор в разрезе

## Список литературы

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. 10-е изд. стереотип., доработ. Перепеч. с изд. 1973 г. М.: ООО ТИД "Альянс", 2004. 753 с.
2. Черкасский В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984. 416 с.
3. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: Часть 1. М.: Химия, 1992. 419 с.
4. Плановский А. Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Госхимиздат, 1962. 844 с.
5. Гельперин Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Книга 1. М.: Химия, 1981. 812 с.
6. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. Книга 1/ В. Г. Айнштейн, М. К. Захаров, Г. А. Носов, В. В. Захаренко, Т. В. Зиновкина, А. Л. Таран, А. Е. Костанян. М.: Химия, 1999. 888 с.
7. Ульянов Б. А., Бадеников В. Я., Ликучёв В. Г. Процессы и аппараты химической технологии в примерах и задачах. Ангарск: Издательство АГТА, 2006. 743 с.
8. Игнатович Э. Химическая техника. Процессы и аппараты. Пер. с нем. М.: Техносфера, 2007. 656 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
Основные характеристики насосов .....	3
Основные конструкции насосов .....	6
Классификация насосов .....	9
Области применения насосов.....	10
Поршневой насос простого действия .....	11
Дифференциальный поршневой насос и поршневой насос двойного действия	13
Плунжерный насос простого действия .....	16
Диафрагмовый (мембранный) насос .....	18
Монтежю .....	19
Шестерёнчатый насос .....	20
Кулачковый и шестёренчатый героторный насосы.....	22
Винтовой насос .....	23
Одновинтовой (шнековый) насос .....	26
Пластинчатый (шиберный) ротационный насос .....	28
Водокольцевой вакуум-насос.....	30
Центробежный насос .....	32
Погружной центробежный насос.....	38
Вихревой насос .....	40
Осевой пропеллерный насос .....	43
Струйно-эжекторный насос.....	45
Список литературы .....	47