СТРОИТЕЛЬСТВО

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Издательство МИСИ – МГСУ

А.Г. Рымаров, Д.Г. Титков

ОБОРУДОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Учебно-методическое пособие



ISBN 978-5-7264-2056-1

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2019



Москва
2019

УДК 628.8
ББК 38.762
Р95

Рецензенты:
доктор технических наук, член-корреспондент РААСН, профессор *В.Г. Гагарин*,
главный научный сотрудник НИИСФ РААСН;
кандидат технических наук, доцент *С.В. Саргсян*,
доцент кафедры ТГВ НИУ МГСУ

Рымаров, А.Г.

Р95 Оборудование вентиляционных систем [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А.Г. Рымаров, Д.Г. Титков ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра теплогазоснабжения и вентиляции. — Электрон. дан. и прогр. (3,8 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2019. — Режим доступа: http://lib.mgsu.ru/Scripts/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?C21COM= F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-2056-1 (сетевое)
ISBN 978-5-7264-2055-4 (локальное)

Представлены основные сведения о работе вентиляционного оборудования, представлены теоретические основы гидроаэромеханики жидкости и газов, работа вентиляционного оборудования в сети. Рассмотрен вопрос работы и применения компрессоров в системах ТГВ. Представлены виды и работа электродвигателей применяемых для работы вентиляционных систем. Даны рекомендации для подготовки к практическим занятиям и самостоятельной работы обучающихся.

Для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение зданий, сооружений и населенных пунктов».

Учебное электронное издание

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2019

Оглавление

1. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ 5
1.1. Введение 5
1.2. Классификация гидравлических машин по принципу действия 5
1.3. Области применения гидравлических машин 12
Вопросы к практическим занятиям 14
Вопросы для самостоятельного изучения 14
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ ЛОПАСТНЫХ НАГНЕТАТЕЛЕЙ И КОМПРЕССОРОВ 14
2.1. Общие понятия и определения гидроаэродинамики. Основные законы гидроаэродинамики. Уравнение расхода, уравнение неразрывности, уравнение Бернулли 14
2.2. Уравнение количества движения. Уравнение движения Навье — Стокса. Математическая модель движения потока Лагранжа и Эйлера. Траектории частиц, линии тока и линии отмеченных частиц. Виды простейших потоков. Уравнение количества движения 21
2.3. Теория Н.Е. Жуковского о подъемной силе профиля 29
Примеры решения задач 31
Задачи для самостоятельного изучения 36
3. РАБОТА ЛОПАСТНЫХ НАГНЕТАТЕЛЕЙ В СЕТИ. РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСХОДА ПЕРЕМЕЩАЕМОЙ ЖИДКОСТИ 37
3.1. Основные параметры работы гидравлической машины 37
3.2. Характеристики лопастных нагнетателей 38
3.3. Совместная работа нагнетателей в сети 38
3.4. Изменение нагнетательных характеристик 39
3.5. Регулирование подачи нагнетателей 41
Примеры решения задач 42
Задачи для самостоятельного решения 46
4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ ОБЪЕМНЫХ НАГНЕТАТЕЛЕЙ. КОМПРЕССОРЫ В ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА (СКВ) 47
4.1. Устройство и принцип действия поршневого компрессора 48
4.2. Характеристики поршневого компрессора 49
4.3. Регулирование подачи центробежных компрессоров 52
5. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ, КОМПЛЕКТУЕМЫЕ С НАГНЕТАТЕЛЯМИ И КОМПРЕССОРАМИ 56
6. МЕРОПРИЯТИЯ ПО БОРЬБЕ С ШУМОМ И ВИБРАЦИЕЙ 57
Библиографический список 59

1. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

1.1. Введение

В последнее время в Российской Федерации стало появляться новое оборудование систем вентиляции, отопления и центрального кондиционирования воздуха, которое требует современных подходов расчета. Бакалавр должен уметь использовать и подбирать необходимое оборудование при разработке проектов систем вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха в зданиях различного назначения. В соответствии с программой дисциплины «Оборудование вентиляционных систем» обучающийся должен владеть навыками не только компьютерного, но и ручного подбора оборудования и иметь представление о физических основах движения жидкости и газов [1].

Цель дисциплины — подготовка специалистов, способных проектировать, рассчитывать и подбирать соответствующее оборудование по расчетным условиям эксплуатации, исследовать и прогнозировать работу гидравлических машин в условиях эксплуатации.

Задачи дисциплины:

1) изучение:

– конструкционных особенностей и строения гидравлических машин и их классификации по принципу действия, назначению, виду перемещаемой среды и развиваемому давлению;

– методик расчета, проектирования и эксплуатации гидравлических машин;

– теоретических основ работы основных элементов гидравлических машин и способов их регулирования;

– работы нагнетателей в сети;

– совместно работающих гидравлических машин, анализа работы последовательно и параллельно включенных насосов и вентиляторов и построения их характеристик при совместной работе;

– технико-экономических основ выбора нагнетателя для работы в сети;

– возможности регулирования подачи и напора гидравлической машины;

2) приобретение знаний и навыков:

– ставить и решать задачи, связанные с системами теплогазоснабжения и вентиляции;

– давать оценку проектных решений; проектировать и подбирать насосы, вентиляторы и компрессоры для систем теплогазоснабжения и вентиляции;

– самостоятельно принимать инженерные решения в области использования и эксплуатации различных гидравлических машин.

1.2. Классификация гидравлических машин по принципу действия

Гидравлическая машина — устройство, способное преобразовывать механическую работу в энергию потока жидкости и наоборот. Гидравлическая машина, которая способна преобразовывать механическую энергию жидкости при ее движении в механическую работу вращения вала или возвратно-поступательное движение поршня, называется *турбиной*, или *гидравлическим двигателем*. Гидравлическая машина, способная преобразовать механическую работу в энергию движения жидкости, называется *нагнетателем*. Нагнетатели подразделяются на *насосы* и *воздуходувные машины*. В зависимости от степени сжатия воздуходувные машины делятся на *вентиляторы* и *компрессоры*.

Нагнетатель — гидравлическая машина, которая преобразовывает механическую работу вращения рабочего колеса в механическую энергию жидкости.

Вентилятор — воздуходувная гидравлическая машина, способная подавать воздух или иной газ под давлением до 15 кПа.

Компрессор — воздуходувная гидравлическая машина, способная сжимать воздух или любой другой газ под давлением свыше 0,2 МПа.

Насос — гидравлическая машина для напорного перемещения несжимаемых жидкостей в результате сообщения ей механической энергии от рабочего колеса.

Турбина — гидравлическая машина, которая способна преобразовывать механическую энергию жидкости при ее движении в механическую работу вращения вала или возвратно-поступательное движение поршня.

Основное назначение любого нагнетателя — повышение полного давления среды, перемещаемой по сети, подключенной к гидравлической машине. Гидравлические машины классифицируют по принципу действия и по конструкции, а также их классифицируют на объемные и динамические [1].

Объемные нагнетатели работают по принципу создания давления с помощью сжатия объема жидкости или газа. К таким нагнетателям относятся возвратно-поступательные (поршневые) и роторные насосы.

Динамические нагнетатели работают по принципу преобразования механической энергии рабочего колеса гидравлической машины и сообщения энергии потоку жидкости для повышения полного давления и транспортировки жидкости или газа по сети. К ним относятся лопастные (радиальные, центробежные и осевые) нагнетатели и нагнетатели трения (вихревые, дисковые и струйные).

Гидравлические машины, предназначенные для систем теплогазоснабжения и вентиляции, должны удовлетворять следующим требованиям:

1) соответствие фактических параметров работы (напор, подача и мощность) заданным расчетным условиям;

2) возможность регулирования подачи и напора в заданном диапазоне;

3) устойчивость и надежность работы;

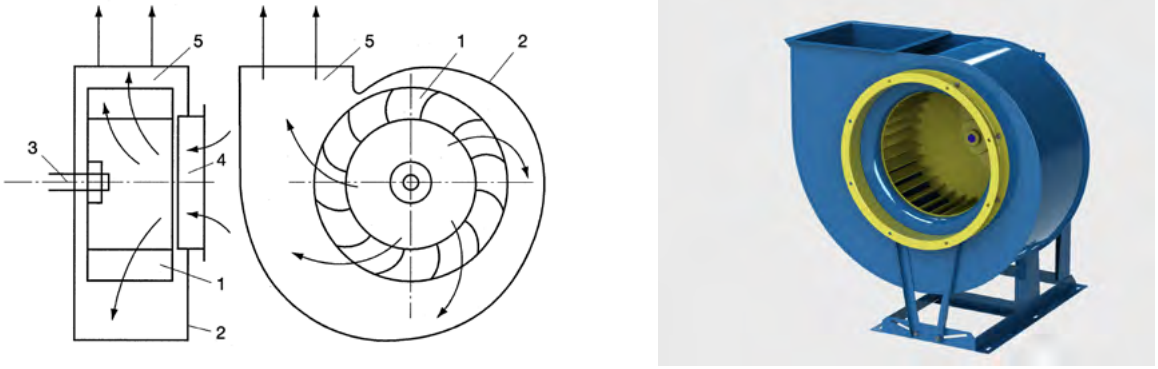
4) простота монтажа;

5) малошумность при работе нагнетателя;

6) долговечность в эксплуатационных условиях.

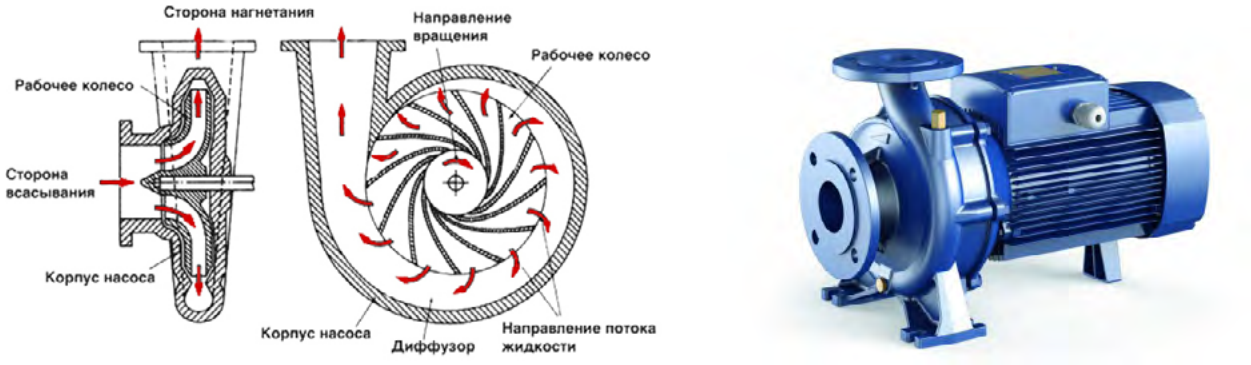
В *радиальном вентиляторе* со спиральным кожухом (рис. 1.1) воздух перемещается, двигаясь в осевом направлении через всасываемый коллектор, затем попадает на рабочее колесо с лопатками, изменяет направление своего движения к периферии рабочего колеса, закручивается в направлении движения, поступает в спиральный кожух и далее через нагнетательный патрубок выходит из вентилятора. Рабочее колесо закреплено на валу электродвигателя и приводится в движение приводом. Это снижает КПД вентилятора, но предотвращает возникновение искр при его работе. Для повышения КПД вентилятора рабочее колесо присоединяют непосредственно к валу электродвигателя, что способствует меньшим механическим потерям при работе нагнетателя [1].

Аналогичную конструкцию и принцип действия имеет *центробежный насос*, представленный на рис. 1.2.



а *б*

Рис. 1.1. Схема (*а*) и вид (*б*) радиального вентилятора: *1* — рабочее колесо с лопатками; *2* — спиральный кожух; *3* — вал; *4* — воздухоприемный коллектор; *5* — выходной коллектор

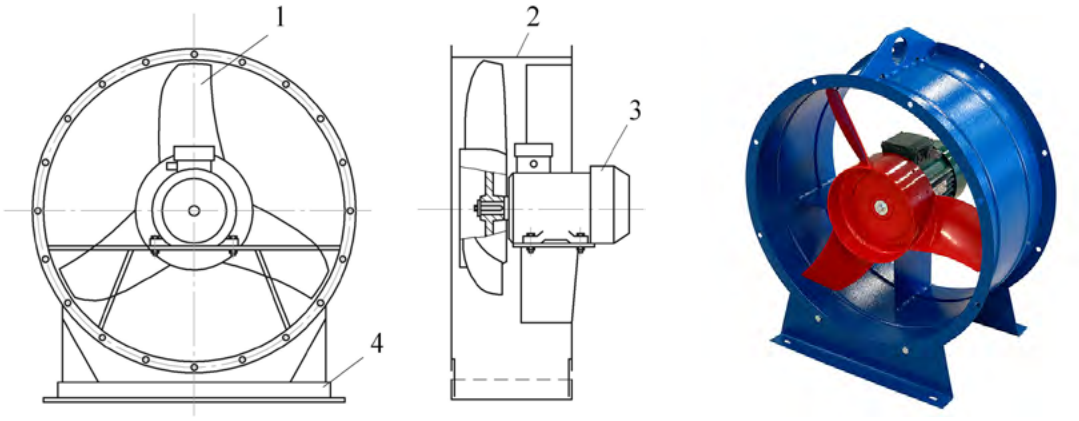


а *б*

Рис. 1.2. Схема (*а*) и вид (*б*) центробежного насоса

К достоинствам таких нагнетателей можно отнести их использование для привода высокоскоростных электродвигателей с высоким КПД (более 80 %), равномерность подачи, простоту изготовления и регулирования. Недостатком является то, что подача нагнетателя зависит от сопротивления сети, в которой он работает.

В *осевом вентиляторе* (рис. 1.3) поток движется в направлении оси вращения и закручивание приобретает только при выходе из колеса. Воздух через всасывающий патрубок поступает во входной направляющий аппарат, затем на рабочее колесо и в выходной направляющий аппарат. Рабочее колесо крепится к валу электродвигателя, вращающегося в подшипниках, укрепленных на стойках. Рабочее колесо и направляющие аппарата заключены в кожух. Втулка рабочего колеса имеет обтекатель. Как в осевом, так и в радиальном вентиляторе передача энергии от электродвигателя воздуху происходит во вращающемся рабочем колесе. Осевые нагнетатели просты в изготовлении и компактны. По сравнению с радиальными осевые нагнетатели имеют более высокие КПД и подачу при относительно низком рабочем давлении [1].



а *б*

Рис. 1.3. Схема (*а*) и вид (*б*) осевого вентилятора: *1* — лопатки и рабочее колесо вентилятора; *2* — кожух вентилятора; *3* — электродвигатель; *4* — крепления с виброопорами

В *прямоточном радиальном вентиляторе* (рис. 1.4) перемещаемая среда движется в осевом направлении и поступает на рабочее колесо, где под действием центробежной силы проходит в радиальном направлении в межлопаточном пространстве и выходит в осевом направлении по кольцу через радиальный лопастной диффузор, стенки которого имеют криволинейную форму, а лопатки установлены на осесимметричном коленообразном участке диффузора. В диффузоре часть динамического давления переходит в статическое давление. КПД такого вентилятора достигает 70 %. Одним из преимуществ вентиляторов такого типа является возможность размещения электродвигателя внутри кожуха, что приводит к снижению шума от вентилятора [1].

Смерчевой вентилятор (рис. 1.5) имеет рабочее колесо с относительно малым числом лопаток, прикрепленных к заднему диску. Колесо размещено в специальной нише в задней стенке спирального кожуха.

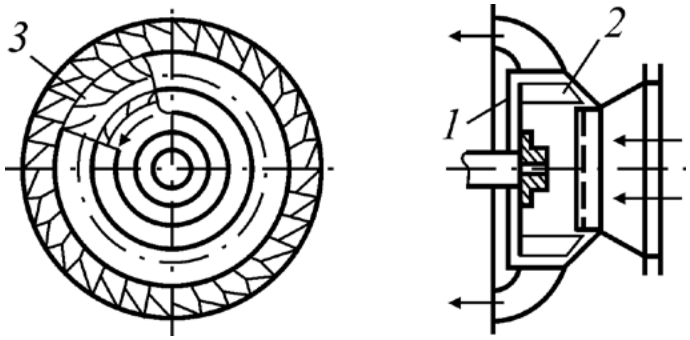


Рис. 1.4. Схема прямоточного вентилятора: *1* — корпус; *2* — рабочее колесо; *3* — диффузор

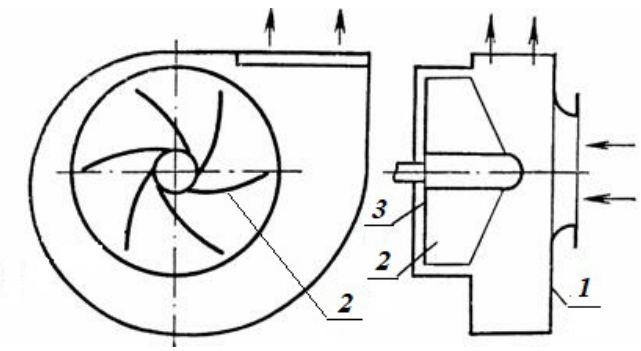


Рис. 1.5. Схема смерчевого вентилятора: *1* — кожух; *2* — лопатка; *3* — задний диск

При движении рабочего колеса возникает вихревое течение, аналогичное природному смерчу. В центральной и периферийной частях вихря образуется перепад давления, являющийся побудительной силой для движения перемещаемой среды. Основная часть потока воздуха с содержащимися в нем мелкодисперсными примесями проходит через нагнетатель в обход рабочего колеса. КПД такого нагнетателя, как правило, не превышает 60 % [1].

Дисковый вентилятор (рис. 1.6) классифицируется как нагнетатель трения. Рабочее колесо нагнетателя имеет множество дисков, расположенных на малом расстоянии друг от друга перпендикулярно оси вращения рабочего колеса. Энергия, сообщаемая от рабочего колеса нагнетателя потоку жидкости, передается в результате действия сил трения в пограничном слое, который возникает на лопатках рабочего колеса нагнетателя. Отсутствие срывных вихревых зон, неизбежных в лопастном рабочем колесе, способствует устойчивой работе дисковых нагнетателей и их малошумности. КПД дисковых нагнетателей, как правило, не превышает 40–45 %.

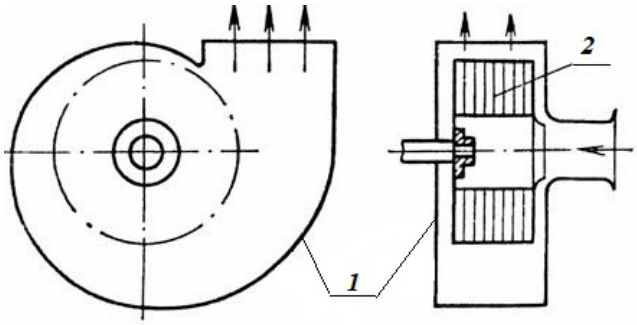


Рис. 1.6. Схема дискового вентилятора:
1 — корпус; *2* — рабочее колесо

Вихревой насос (рис. 1.7) так же, как и дисковый вентилятор, классифицируется как нагнетатель трения. Рабочее колесо вихревого насоса по конструкции аналогично рабочему колесу центробежного насоса — жидкость поступает из внутренней части канала и с помощью передачи механической работы потоку движущейся жидкости нагнетает ее во внешнюю часть канала, в результате чего образуется продольный вихрь. Когда среда проходит через рабочее колесо вихревого насоса, увеличиваются кинетическая энергия жидкости и потенциальная энергия давления среды. Рабочее колесо вихревого насоса вращается в цилиндрическом корпусе с малыми торцовыми зазорами. Среда поступает через всасывающий патрубок в канал, перемещается по нему с помощью рабочего колеса и под высоким давлением выходит через нагнетательный патрубок [1].

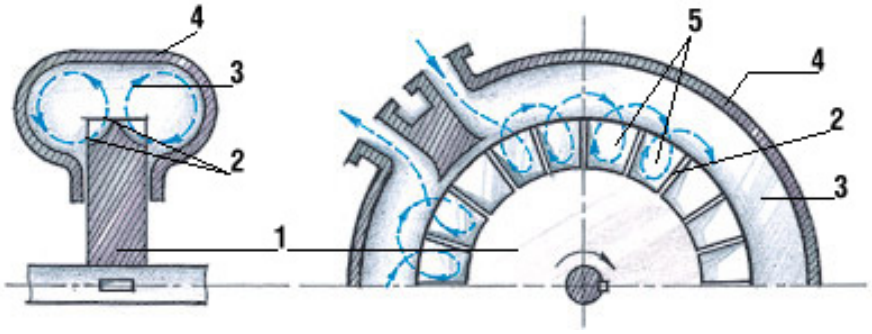


Рис. 1.7. Схема вихревого насоса: *1* — рабочее колесо; *2* — лопатка;
3 — рабочее пространство; *4* — корпус; *5* — нагнетание среды

К достоинствам вихревого насоса можно отнести следующее: рабочее давление в 3–5 раз больше при идентичных размерах и частоте оборотов рабочего колеса; конструкция достаточно проста и недорога в производстве; насос обладает самовсасывающей способностью и может работать одновременно со смесью жидкости и газа; подача насоса практически не зависит от сопротивления сети, в которой он работает. К недостаткам можно отнести достаточно низкий КПД, не превышающий 45 %, и неспособность подачи жидкости, содержащей дисперсные частицы, так как это приводит к быстрому изнашиванию стенок торцовых и радиальных зазоров и, следовательно, к падению давления и КПД нагнетателя [1].

Принцип действия *диаметрального вентилятора* (рис. 1.8) основан на осесимметричном вихре, образующемся вокруг рабочего колеса нагнетателя, смещающемся в сторону возникновения течения среды через рабочее колесо нагнетателя в сторону меньшего сечения. Поперечное течение среды возникает также при установке лопаточного рабочего колеса в несимметричном коленообразном корпусе.

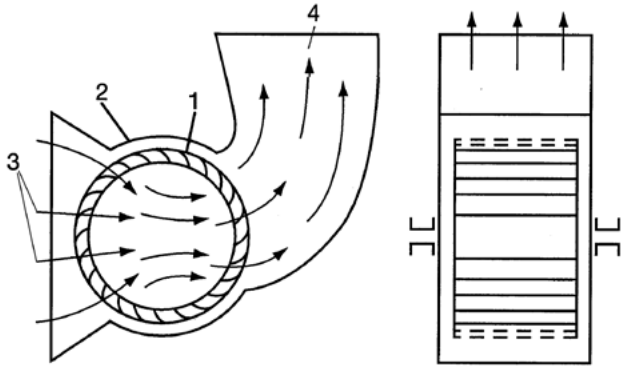


Рис. 1.8. Схема диаметрального вентилятора: *1* — рабочее колесо; *2* — корпус; *3* — неподвижное тело; *4* — нагнетательный патрубок

Преимущества диаметрального нагнетателя по сравнению с радиальным: непосредственное присоединение к воздуховодам системы вентиляции; создание высокого давления при небольших окружных скоростях рабочего колеса, поскольку поток воздуха дважды пересекает рабочее колесо. Недостатки, не позволяющие более широкого применения диаметральных вентиляторов на рынке: малый КПД, не превышающий 60–65 %; достаточно высокий уровень шума; возможность появления неустойчивых режимов работы в области, где с увеличением подачи наблюдается рост давления; значительные перегрузки электродвигателя при уменьшении сопротивления сети [1].

Поршневой нагнетатель (рис. 1.9) состоит из цилиндрического корпуса, внутри которого расположены поршень, производящий возвратно-поступательные движения, и кольца всасывающего и нагнетательного клапанов. Преобразование вращательного движения привода в возвратно-поступательное движение поршня осуществляется с помощью кривошипно-шатунного механизма. При движении поршня вправо открывается клапан *3*, и жидкость заполняет внутренний объем нагнетателя. При этом клапан *4* закрыт. При движении поршня влево клапан *3* закрыт, открывается клапан *4*, и жидкость под давлением выходит в нагнетательный трубопровод. К достоинствам поршневых нагетателей можно отнести: достаточно высокий КПД, достигающий 95 %; работу при высоком давлении; подачу поршневого нагнетателя, практически не зависящую от сопротивления сети, в которой он работает.

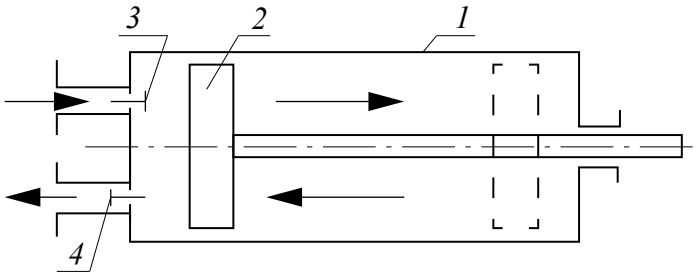


Рис. 1.9. Схема поршневого нагнетателя: *1* — корпус; *2* — поршень; *3* — всасывающий клапан; *4* — нагнетательный клапан

Зубчатый, или *шестеренный*, *насос* (рис. 1.10) состоит из двух шестерен в герметичном корпусе. Первая шестерня приводится в движение расположенным на одной оси электродвигателем, а вторая получает вращательное движение от первой из-за плотного зацепа зубьев. При работе нагнетателя среда поступает на зубья рабочих колес, далее — к стенкам корпуса и перемещается от всасывающего к нагнетательному патрубку. Переток жидкости в обратном направлении практически отсутствует из-за плотного сцепления зубьев. Если в шестерном нагнетателе число зубьев уменьшится до двух, то рабочие колеса будут иметь очертания восьмерки. Данный нагнетатель называется восьмерочным (рис. 1.11). В нем привод рабочих колес происходит от обеих шестерен, так как они не плотно примыкают друг к другу и должны приводиться в движение по отдельности [1].

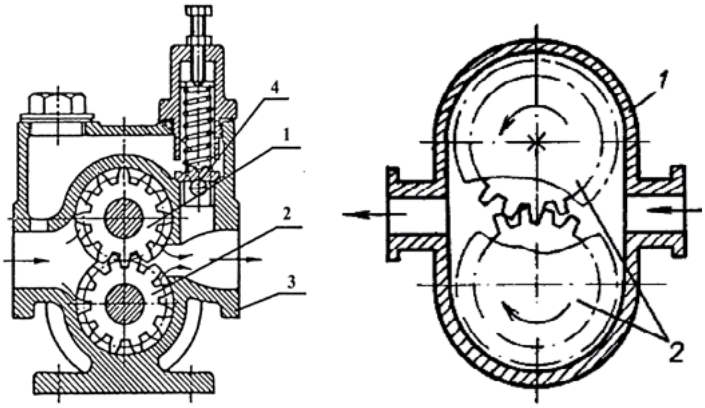


Рис. 1.10. Схема зубчатого насоса: *1* — корпус; *2* — шестерня; *3* — корпус нагнетателя; *4* — предохранительный клапан

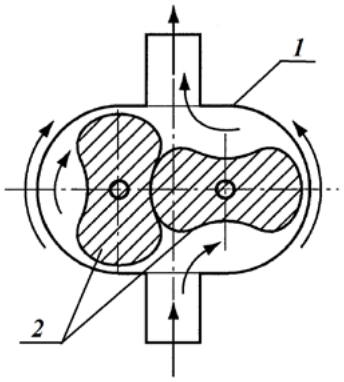


Рис. 1.11. Схема нагнетателя восьмерочного типа: *1* — корпус, *2* — рабочее колесо

Недостатки данных нагнетателей: громоздкость конструкции; отсутствие возможности использовать для привода высокоскоростные электродвигатели в связи со сложностью привода через кривошипно-шатунный механизм; сложность регулирования подачи; быстрый износ рабочих органов; невысокая подача и низкий КПД, не превышающий 70 %. К достоинствам можно отнести: компактность; простоту конструкции; отсутствие клапанов; относительную стабильность подачи независимо от сопротивления сети; реверсивность; работу при высоких давлениях (5 МПа — для шестеренного насоса, 0,5 МПа — для насоса восьмерочного типа) [1].

Пластинчатый нагнетатель (рис. 1.12) классифицируется как роторная гидравлическая машина. Конструкция нагнетателя включает в себя цилиндрический корпус, в котором находится ротор с радиальными продольными пазами, где расположены пластины рабочего колеса. При движении ротора пластины под действием центробежных сил выходят из пазов, прижимаются к внутренней поверхности корпуса, захватывают на всасывающей стороне перемещаемую среду и направляют ее к нагнетательному трубопроводу. К достоинствам пластинчатого нагнетателя следует отнести: высокую равномерность подачи; непосредственное присоединение к валу электродвигателя, что повышает его КПД; отсутствие клапанов; реверсивность; сохранение подачи при изменении сопротивления сети. Недостатки: чувствительность к качеству перемещаемой среды (недопустимость наличия механических примесей); быстрый износ кромок пластин; низкий КПД, не превышающий 50 % из-за перетекания жидкости через зазоры между кромками пластин и стенками корпуса [1].

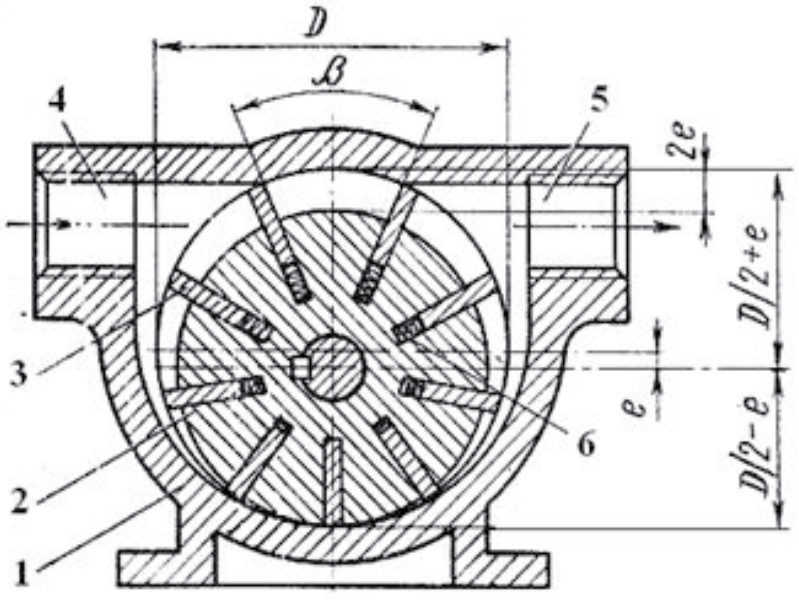


Рис. 1.12. Схема пластинчатого нагнетателя: *1* — корпус; *2* — ротор; *3* — пластины; *4* — всасывающий патрубок; *5* — нагнетательный патрубок; *6* — крепление пластин