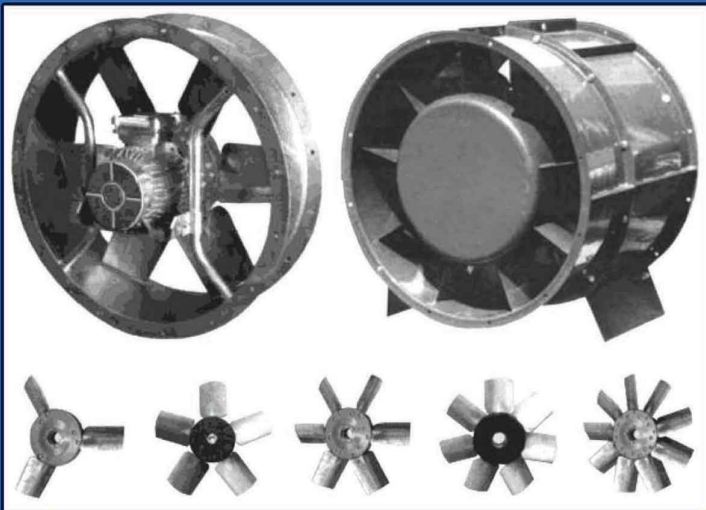


П.И. Дячек



**НАСОСЫ
ВЕНТИЛЯТОРЫ
КОМПРЕССОРЫ**



П.И. Дячек

НАСОСЫ, ВЕНТИЛЯТОРЫ, КОМПРЕССОРЫ

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области строительства в качестве
учебного пособия для студентов, обучающихся
по направлению 270100 «Строительство»



Издательство АСВ
Москва
2013

Рецензенты:

академик Национальной академии наук Республики Беларусь, заслуженный работник образования РБ, доктор технических наук, профессор, почетный профессор Белорусского аграрного технического университета *Леонид Степанович Герасимович*; заведующий кафедрой «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» Нижегородского архитектурно-строительного университета, член УМО по специальности 270109 Минобразования Российской Федерации, заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор *Валерий Иосифович Бодров*.

Дячек П.И.

Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2013. – 432 с.

ISBN 978-5-93093-784-8

Учебное пособие содержит сведения об основных типах нагнетателей, применяемых в области теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Рассмотрены основы теории нагнетателей, дана информация об их конструктивных элементах и технологических параметрах. Представлены варианты исполнения и области применения, а также примеры анализа режимов работы и выбора в зависимости от условий использования и требований нормативных документов.

Для студентов высших учебных заведений университетского профиля, изучающих вопросы теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Издание полезно для проектировщиков и работников служб эксплуатации систем теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха.

ISBN 978-5-93093-784-8

© Издательство АСВ, 2013

© Дячек П.И., 2013

Пётр Иванович Дячек

НАСОСЫ, ВЕНТИЛЯТОРЫ, КОМПРЕССОРЫ

Редактор: *В.М. Мерзлякова*

Дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Компьютерная верстка: *Е.М. Лютова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. 27 п.л. Тираж 500 экз. Заказ №

ООО «Издательство АСВ»

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511
тел., факс: (499)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>

ПРЕДИСЛОВИЕ

Объем потребляемой приводом насосов, вентиляторов и компрессоров энергии в энергетическом балансе государств столь значим (примерно 10%), что в условиях дефицита энергоносителей и угрозы потепления климата вопросы их применения становятся актуальными и значимыми для экономики с любой степенью развития промышленного производства. Значимо потребление энергии и приводом нагнетателей, применяемых в бытовых приборах.

Насосы, вентиляторы, компрессоры относятся к основным элементам систем теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Без нагнетателей невозможно осуществить управляемое перемещение газов и жидкостей по рассматриваемым системам.

Развитие на современном этапе промышленного производства, применение оборудования и станков в некоторых случаях вообще невозможно без стабильного функционирования нагнетателей. Например, функционирование системы аспирации современных деревообрабатывающих комплексов со скоростью подачи заготовок в несколько сотен метров в минуту невозможно без применения высокопроизводительной системы аспирации и пневмотранспорта отходов с помощью пылевых вентиляторов. Без компрессоров, вентиляторов и насосов вообще невозможно представить работу любой холодильной машины. Мощность привода нагнетателей, применяемых в бытовых и промышленных системах, изменяется в интервале от нескольких Вт до тысяч кВт.

В бытовых условиях применяется несколько сотен миллионов холодильников и кондиционеров, абсолютное большинство которых имеет компрессор. Без систем вентиляции, кондиционирования воздуха и холодоснабжения невозможна организация длительного хранения сезонно производимых продуктов питания. Каждая из этих систем имеет нагнетатель (вентилятор, насос, компрессор). В этом случае без вывода их на требуемый эксплуатационный режим невозможно бесперебойное снабжения населения продуктами питания и безопасное существование государств. Можно привести множество примеров невозможности организации требуемого режима функционирования объектов без применения насосов, вентиляторов, компрессоров.

Насосо-, вентиляторо- и компрессоростроение – одна из отраслей машиностроительного производства. Лучшие современные продукты производства этой отрасли созданы с участием известных научных и конструкторских организаций (например, ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского,

МВТУ им. Н.Э. Баумана и др.) и имеют редко встречаемый в технике коэффициент полезного действия ($\eta_{\max} = 0,93$).

В учебном пособии содержит краткие сведения об основных типах нагнетателей, применяемых в области теплогасоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Рассмотрены основы теории нагнетателей, дана информация об их конструктивных элементах и технологических параметрах, вариантах исполнения и области использования, представлены примеры анализа режимов работы и выбора в зависимости от условий применения и требований нормативных документов. Автор при написании учебника ставил своей задачей дать расширенный, характерный для университетского уровня, объем знаний, возможность восполнения их в процессе практической деятельности и формирования условий для дальнейшего более глубокого самостоятельного изучения вопросов применения насосов, вентиляторов, компрессоров.

Содержание учебника определили 35-летний опыт автора преподавания данной дисциплины, обобщение практического опыта и рекомендаций большого числа специалистов в области теплогасоснабжения и вентиляции, а также требования:

1. Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования. Направление подготовки дипломированного специалиста 653500 – «Строительство». Квалификация – инженер. Министерство образования РФ, Москва, 2000 г.

2. Программа дисциплины «Насосы и вентиляторы». – М.: МИСИ, 1989. – 5 с.

3. Базовой программы курса «Насосы, вентиляторы, компрессоры» подготовки инженеров по специальности 1–70 04 02 «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» (РБ).

Целью предлагаемого читателям материала является приобретение необходимых теоретических знаний, освоение принципов и правил применения нагнетателей в системах теплогасоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, методики их испытания и выбора. Базовыми дисциплинами при изучении данного курса являются: физика, механика жидкости и газа, техническая термодинамика, электротехника, теоретическая механика, охрана труда и техника безопасности и др. По рекомендации практических работников и ввиду особенностей плана подготовки специалистов в области теплогасоснабжения и вентиляции учебное пособие содержит краткую дополнительную информацию из смежных отраслей науки и техники.

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование технологических комплексов и жизнедеятельность человека в современном мире немыслимы без систем тепло- и холодоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Одна из основных ролей в этих системах принадлежит нагнетателям. Известно, что на обеспечение теплотой промышленных и бытовых потребителей расходуется около трети топливно-энергетических ресурсов, а на привод насосов и вентиляторов расходуется до 10% вырабатываемой электроэнергии. В этой связи важно подчеркнуть роль дисциплины «Насосы, вентиляторы, компрессоры» в подготовке инженеров и ее влияние на экономические показатели и качество функционирования систем теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Учебное пособие предназначено для изучения дисциплины «Насосы, вентиляторы, компрессоры» студентами специальности «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна». Расширенное изложение некоторых тем позволяет надеяться, что материалы книги будут полезны проектировщикам, а также работникам промышленности и эксплуатационных служб, занимающимся вопросами практического применения нагнетателей. По рекомендации специалистов в издание включены некоторые краткие сведения из курсов «Детали машин», «Электротехника» и т.д.

В книге кратко излагаются вопросы теории нагнетателей, приводятся сведения об их конструктивных и эксплуатационных особенностях. В необходимых случаях приводятся также сведения об экономических последствиях применения того или иного нагнетателя или режима его эксплуатации. В соответствии с интенсивным расширением применения кондиционеров в книге, по сравнению с предыдущими изданиями других авторов, расширен объем информации по компрессорам. Это объясняется и тем, что они широко применяются в системах автоматизации и при производстве работ.

Содержание книги и последовательность изложения материала базируются на опыте свыше 35-летнего преподавания автором этой дисциплины на кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция» сначала в Белорусском политехническом институте (БПИ), а после переименования и в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ). Большое влияние на формирование содержания книги оказали учебники и монографии, написанные Б.С. Бабакиным, А.В. Быковым, Г.Г. Вахваховым, М.П. Калинушкиным, Б.В. Карасе-

вым, В.В. Поляковым, Л.С. Скворцовым, Т.С. Соломаховой, Л.С. Тимофеевским, В.М. Черкасским, А.Н. Шерстюком и др., а также собственный опыт участия в разработке и освоении производства вентиляторов в РБ, разработке и обследовании различных систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Некоторые графические материалы учебного пособия полностью или частично позаимствованы у изданий вышеперечисленных авторов, за что приношу им искреннюю благодарность.

При работе над текстом автор руководствовался твердым убеждением, что инженерная деятельность должна базироваться на глубоком и системном знании физических процессов, формирующих режимы работы нагнетателей и последствия их применения. Материал излагается с умеренным применением математического аппарата. Последнее объясняется тем, что каждый, даже, казалось бы, простой, физический процесс при углублении познания его сущности требует для математического описания сложных и многофакторных зависимостей. Эти вопросы освещаются в специальной технической литературе и при наличии необходимых знаний могут быть освоены специалистами самостоятельно. Излишняя математизация учебного материала, по мнению автора, мешает первичному усвоению технической информации.

Материалы, излагаемые в книге, базируются на знаниях, полученных ранее при изучении дисциплин: механика жидкости и газа, теоретическая механика, механика материалов и теория упругости, высшая математика, физика, термодинамика, тепломассообмен и др. Материалы книги поддерживают изучение курсов: отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха и холодоснабжение, инженерное оборудование зданий, теплоснабжение.

Автор признателен инженеру-программисту Ю.А. Савченко, оказавшей неоценимую помощь в подготовке рукописи.

Объем и содержание учебного пособия определены на основании программ данного курса в РФ и РБ, пожеланий практических работников и наличием информации по рассматриваемым вопросам.

1. КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ НАГНЕТАТЕЛЕЙ

Развитие человеческого общества неизбежно привело к созданию устройств для перемещения прежде всего воды – одного из веществ, определяющих жизнедеятельность людей, животных и растений. Первые исторические сведения о водоподъемных устройствах, приводимых в действие людьми и животными, относятся к истории Египта и датируются несколькими тысячелетиями до новой эры. Позже в Каире применяли насосы для подъема воды с глубины свыше 90 м, а в Александрии построили пожарный насос, отлитый из бронзы (V–IV вв. до н.э.). Упоминания о применении насосов, примитивных с точки зрения современного уровня развития данной области техники, относятся ко времени жизни Аристотеля (IV в. до н.э.), периоду царствования римского царя Августа (I в. до н.э.). Сведения о первом насосе с относительно удачной по современным воззрениям конструкцией относятся к 140 гг. до н. э.. Он был построен греческим механиком Ктезибием.

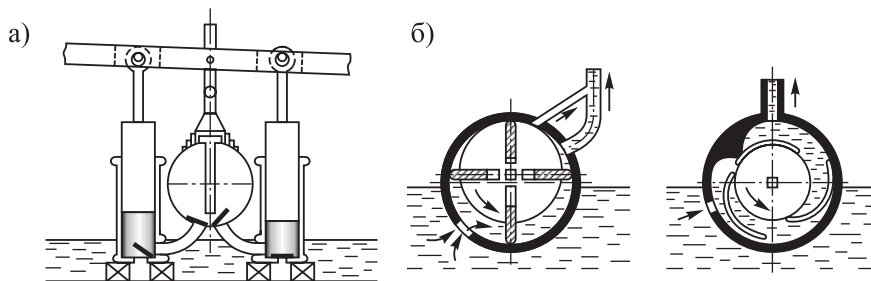


Рис. 1.1. Двухцилиндровый насос Ктезибия (а),
вращательные насосы Рамелли (б)

По мере развития производственных отношений, организации мануфактур, специализации производства и расширения его масштабов совершенствовались орудия труда, в том числе и машины для перемещения жидкостей. Кроме поршневых насосов в XVI вв. стали создавать насосы вращательного действия (Рамелли, 1530–1590 гг.), напоминающие по конструкции современные роторные насосы.

Идея использования центробежной силы для подачи воды принадлежит Леонардо да Винчи (XV вв.). Автором идея не была

реализована. Первый рисунок центробежного насоса принадлежит итальянцу Жордано, по этой причине иногда изобретение этого типа нагнетателей ему и приписывается. Первый насос, использующий центробежную силу, был построен французом Бланкано (1566–1624 гг.).

Прообраз современного центробежного насоса создан в 1689 г. французским физиком Д. Папеном (1647–1714 гг.), *рис. 1.2, а*. Видно, что конструктивно он схож с современными центробежными насосами, однако рабочее колесо его по условиям течения жидкости существенно уступает современным рабочим колесам (*рис. 2.2*).

В 1750 г. член Петербургской академии наук Леонард Эйлер разработал теорию рабочего процесса центробежного насоса и в 1754 г. предложил его конструкцию, которая не нашла практического применения. Теория Л. Эйлера до сих пор актуальна и рассматривается в профильных учебных изданиях.

Широкое распространение насосов в России началось с горно-рудной промышленности. Горный мастер К.Д. Фролов на Змеиногорском руднике Алтая в XVIII в. построил несколько установок с поршневыми насосами для откачки воды из шахт и промывки россыпей. Изделия талантливого изобретателя К.Д. Фролова широко применялись в горной промышленности Урала и Алтая.

В XIX в. Ньюкомен (1805 г., Англия) и американец Вортингтон (1840–1850 гг.) применили поршневые насосы уже с паровыми двигателями различной конструкции.

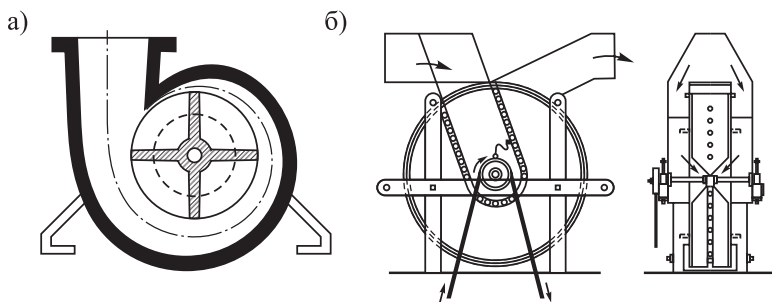


Рис. 1.2. Центробежный насос Папена (*а*) и центробежная воздуходувная машина А.А. Саблукова (*б*)

Классическая схема и конструкция одноколесного центробежного насоса, применяющегося в различных модификациях и ныне, была выполнена американцем Андревсом в 1818 г. и существенно улучшена им же в 1846 г. Исследования Андревса привели к созда-

нию весьма несовершенной конструкции многоступенчатого насоса (патент 1861 г.).

Многоступенчатый насос, в общих чертах аналогичный современным многоступенчатым насосам, запатентовал в 1875 г. знаменитый О. Рейнольдс, который ввел в конструкцию прямой и обратный направляющие аппараты.

Использование воздуходувных машин началось значительно позже, чем насосов. Их появление следует отнести к Средним векам нашей эры, к периоду развития мануфактурной организации производства. Применение первой воздуходувки относят к 1766 г., когда на Барнаульском металлургическом заводе для привода мехов печи была использована паровая машина И.И. Ползунова. В 1832 г. генерал-лейтенант корпуса горных инженеров А. А. Саблуков испытал изобретенную им центробежную воздуходувную машину двухстороннего всасывания, которая далее нашла применение на морских судах и для проветривания рудников (*рис. 1.2, б*). Эта машина в соответствии с современными представлениями имеет несовершенные аэродинамические характеристики проточных частей корпуса и рабочего колеса.

История использования воздуходувных машин непосредственно связана с развитием горной и металлургической промышленности.

Значительное расширение области применения нагнетателей следует отнести к периоду использования в качестве привода электродвигателей и, в частности, с разработкой русским инженером В.О. Доливо-Добровольским в 1888–1889 гг. электродвигателя трехфазного тока.

Изобретение прототипа современных поршневых компрессоров связывают с именем немецкого физика Герике (1640 г.). Во второй половине XVIII в. англичанин Вилькинсон запатентовал двухцилиндровый поршневой компрессор, и в то же время Уатт изготовил воздуходувную машину с паровым приводом. Производство центробежных компрессоров начато в начале XX в. в Англии и Франции. В конце XIX в. предложены к применению новые типы компрессоров: спиральные и винтовые. Производство их и широкое применение стали возможны после достижения технологией металлообработки требуемого уровня обеспечения точности профилей рабочих органов. В настоящее время рабочие органы этих нагнетателей изготавливаются с допусками $\pm 1-2$ мкм.

В 1892 г. француз П. Мортье изобрел диаметральный вентилятор, который непродолжительное время использовался в качестве

шахтного вентилятора. Вновь интерес к диаметральным вентиляторам появился в середине XX столетия.

Появившиеся после этого новые изобретения и патенты в области насосо- и вентиляторостроения не привели к созданию новых типов машин, а были лишь направлены на усовершенствование существующих.

Теоретические работы О. Рейнольдса (Англия), Л. Прандтля (Германия) и выдающиеся труды Н.Е. Жуковского (Россия), относящиеся к концу XIX – началу XX в. привели к созданию научной основы современного насосо- и вентиляторостроения. Работы Н.Е. Жуковского «Видоизменение метода Кирхгофа» и «Теория воздушных винтов» легли в основу теории осевых нагнетателей, которая разработана его учениками К.А. Ушаковым, В.П. Ветчинкиным и др.

Исключительно большое значение в развитии насосо- и вентиляторостроения в СССР принадлежало деятельности созданного в 1918 г. Н.Е. Жуковским Центрального аэрогидродинамического института (ЦАГИ). Приоритет в разработке теории радиальных (центробежных) и осевых нагнетателей принадлежит ученым данного института. Лучшие мировые образцы центробежных и осевых машин созданы в лабораториях этого института. Максимальный КПД их достигает значения в 93%.

Большой вклад в разработку высокоэффективных вентиляторов внесла советская школа вентиляторостроения, представляемая И.В. Брусиловским, А.Г. Бычковым, Г.Г. Вахваховым, М.Я. Гембаржевским, М.П. Калинушкиным, И.О. Керстеном, А.М. Комаровым, А.Г. Коровкиным, М.И. Невельсоном, Т.С. Соломаховой, К.А. Ушаковым и др.

В настоящее время на привод насосов, вентиляторов и компрессоров направляется значительная доля энергетических ресурсов государств. Только число компрессоров бытовых холодильников оценивается в сотни миллионов штук. Выпуск насосов только одной транснациональной корпорацией Grundfos достигает около 45 тыс. штук в день.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАГНЕТАТЕЛЯХ

2.1. Применение нагнетателей в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха

Функционирование в расчетном режиме систем теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха независимо от области их применения и назначения в абсолютном большинстве случаев невозможно без побудителя движения перемещаемых сред – нагнетателя. Назначение его – повышение энергии перемещаемой жидкости, которая далее используется для преодоления сопротивления трубопроводной сети и на технологические нужды. Важность этого элемента гидравлической или газодинамической системы определяет и высокие требования к его функциональным возможностям. К нагнетателям, применяемым в данной области техники, предъявляются следующие требования:

- соответствие их рабочих параметров характеристике перемещаемой среды, обслуживаемой сети и условиям места расположения;
- экономичность и низкое энергопотребление;
- возможность простого изменения рабочих параметров, управляемость;
- устойчивость рабочих режимов и надежность в эксплуатации;
- простота монтажа;
- ремонтпригодность, простота эксплуатации и обслуживания;
- санитарно-гигиеническая и экологическая безопасность;
- эксплуатационная безопасность.

Суть требований к нагнетателям рассматривается в последующих материалах. Отметим, что применение тех или иных технических устройств и агрегатов в современных условиях должно исходить из системного подхода при решении поставленных задач.

В настоящее время трудно представить производственную деятельность без применения нагнетателей. Спектр применения их очень широк. В системах дальнего газоснабжения газ перемещается на большие расстояния по трубопроводам с давлением до 85 атмосфер ($\approx 8,5$ МПа). В этом случае снабжение газовым топливом потребителей, удаленных от месторождений на тысячи километров невозможно без высокопроизводительных газовых компрессоров. С помощью насосов со сходными рабочими параметрами перемещается на дальние расстояния по трубопроводам и нефть. Пожалуй, самую многочисленную группу нагнетателей представляют ком-

прессоры бытовых холодильников, число их составляет несколько сотен миллионов штук. В системах теплоснабжения сетевые, подпиточные и циркуляционные насосы обеспечивают теплотой и горячей водой бытовых и промышленных потребителей. Функционирование теплоэнергетических установок невозможно без дымососов, дутьевых вентиляторов; подпиточных, циркуляционных, конденсатных и т.д. насосов. Все системы вентиляции и кондиционирования воздуха промышленных, гражданских, общественных и других зданий не могут функционировать без их активного элемента – вентилятора. В системах аспирации, например, деревообрабатывающих предприятий без вентиляторов невозможно удаление с рабочего поля отходов производства. Неудовлетворительная работа вентилятора в этом и многих других случаях приводит к снижению качества изделий, а в отдельных случаях и к остановке производства.

Удаление с мест выделения газовых агрессивных, взрыво- и пожароопасных веществ в некоторых случаях наиболее безопасно осуществлять с помощью эжекторов. Очень широкое применение в тепловых узлах жилых домов нашли элеваторы. Эжекторы и элеваторы относятся к классу струйных нагнетателей. Применение струйных нагнетателей не ограничивается приведенными здесь двумя достаточно обширными областями их применения.

Пожалуй, самой массовой областью применения нагнетателей является бытовая сфера. Это бытовые холодильники и кондиционеры, основным элементом которых является компрессор, различного вида малогабаритные вентиляторы. Широкое применение малогабаритные вентиляторы находят в электронике и радиотехнике для отвода теплоты от тепловыделяющих элементов.

Можно утверждать, что в настоящее время функционируют многие сотни миллионов нагнетателей, которые потребляют значительную часть энергетических ресурсов государств. Одна из транснациональных корпораций выпускает 45 тыс. насосов каждые сутки. Приведенные факты настоятельно требуют внимательного и глубокого подхода при изучении данного типа технических устройств.

В процессе изучения данного курса студенту придется встречаться со специальными и общетехническими **терминами и определениями**. В этой связи полезно привести их в начале освоения материала. Специальные термины и определения приведены в ГОСТ 17398 «Насосы. Термины и определения», а также в ГОСТ 22270 «Оборудование для кондиционирования воздуха, вентиляции и отопления. Термины и определения». Некоторые из специальных терминов и определений приводятся в данном разделе и выделены

жирным шрифтом. По мере изучения материала список их будет пополняться.

Гидравлическая машина – устройство или комплекс устройств, преобразующих работу в энергию жидкости и наоборот. К машинам, преобразующим энергию жидкости в механическую энергию, относятся различные виды *гидродвигателей*; паровые, газовые и гидравлические *турбины*. Газовые турбины, применяемые в холодильной технике, называются *детандерами*. К гидравлическим машинам относятся и *нагнетатели*.

Нагнетатель – гидравлическая машина, предназначенная для преобразования энергии внешнего источника (механической, электрической, химической и т.п.) в энергию потока жидкости (потенциальную и (или) кинетическую).

Вакуумный насос – машина, предназначенная для удаления газов и паров из сосудов с целью получения в них разрежения (вакуума).

Нагнетательная (насосная, вентиляторная, компрессорная) установка – нагнетатель с системой обеспечения собственных условий функционирования и с короткими (присоединительными) участками сети, предназначенными для подвода и отвода рабочей жидкости.

Сеть – система сообщающихся трубопроводов, фасонных частей, запорно-регулирующих устройств и проточных частей обслуживаемых нагнетателем объектов, предназначенных для целенаправленного перемещения рабочей жидкости.

Гидравлическая (газодинамическая, аэродинамическая) система – включает нагнетатель (нагнетатели) и обслуживаемую им (ими) трубопроводную сеть.

Конфигурация системы – комплекс геометрических и технологических величин, дающих сведения о трассировке сети, расположении всех элементов и закономерностях изменения параметров, характеризующих ее состояние.

Рабочая жидкость – газовые или капельные жидкости (чистые и с примесями), перемещаемые нагнетателем.

Внутренние воздействия – случайные или закономерные изменения отдельных параметров системы, влекущие за собой изменение других параметров этой же системы.

Внешние воздействия – воздействия, не относящиеся к комплексу процессов и параметров, характеризующих состояние системы, и приводящие к выводу ее из состояния равновесия.

2.2. Классификация нагнетателей. Общие сведения о нагнетателях

Нагнетатели, как уже было отмечено, относятся к классу гидравлических машин. Гидравлическая машина, в которой энергия жидкости передается другому носителю (в том числе и с преобразованием в другой вид энергии), называется гидравлическим двигателем. Одним из видов гидравлических двигателей является турбина, преобразующая, например, энергию пара в механическую энергию вращающегося вала, которая далее в генераторе преобразуется в электрическую энергию.

Нагнетатели выполняют функцию, обратную назначению гидравлических двигателей. По виду перемещаемых жидкостей нагнетатели делятся на две группы: **насосы** (перемещают капельные жидкости) и **газодувные машины** (перемещают газы).

Газодувные машины, в свою очередь, подразделяются на **вентиляторы, газодувки и компрессоры**.

Вентилятор (лат. ventilator – букв. веяльщик; от ventilo – вею, махаю, дую) – устройство, создающее избыточное (до 15 000 Па) давление воздуха или другого газа, в том числе и при наличии в перемещаемой среде примесей. По развиваемому давлению вентиляторы делятся на вентиляторы низкого (до 1000 Па), среднего (1000–3000 Па) и высокого (3000–15000 Па) давления. Размеры рабочих органов выпускаемых промышленностью вентиляторов изменяются в достаточно широких пределах. От нескольких сантиметров в малогабаритных вентиляторах и до 8 м в вентиляторах специального назначения. Производительность отдельных образцов вентиляторов составляет от нескольких литров до миллионов м³/ч перемещаемого воздуха.

Газодувки и компрессоры развивают давление свыше 15 000 Па. Различие между ними состоит в наличии или отсутствии искусственного охлаждения рабочих органов. У газодувок отсутствуют системы искусственного охлаждения полостей, где происходит сжатие перемещаемого газа.

Насос – устройство для перемещения капельной жидкости в результате передачи ей энергии (потенциальной и (или) кинетической) от внешнего источника. Наиболее крупные образцы современных типов насосов перемещают 100 000 м³/ч жидкости и развивают напор 3500 м и более. По развиваемому напору насосы делятся на низконапорные ($H < 20$ м), средненапорные ($20 \leq H \leq 60$ м) и высоконапорные ($H > 60$ м).

По характеру и параметрам перемещаемой среды нагнетатели делятся на нагнетатели общего применения (общетехнические) и специальные. В нагнетателях специального применения учтены особенности воздействия перемещаемой жидкости на конструктивные элементы нагнетателя. Общетехнические нагнетатели предназначены для перемещения условно чистых воздуха или воды с параметрами, близкими к нормальным. Вентиляторы специального применения бывают крышные, пылевые, искробезопасные, коррозионно-стойкие, дымососы, тропического исполнения и т.д. К специальным насосам относят теплотапкоационные, подпиточные, циркуляционные, конденсатные и т.п.

Классификация или разделение нагнетателей на группы с близкими или совпадающими свойствами (параметрами, характеристиками) достаточно сложная задача, вызванная прежде всего их большим разнообразием. В этой связи достаточно отметить, что по ГОСТ 17398 «Насосы. Термины и определения» имеют собственные названия 130 различных насосов.

В настоящее время наиболее часто применяется классификация по способу повышения энергии перемещаемой жидкости и характеру течения ее в проточных частях нагнетателя. Сокращенная таблица такой классификации, которую можно назвать классификацией по энергетическим (кинематическим) признакам, приведена на *рис. 2.1*.

Большинство нагнетателей по способу повышения энергии перемещаемой жидкости можно отнести к одной из трех групп: **динамические, струйные и объемные**.

Динамические нагнетатели передают энергию жидкости в результате силового взаимодействия их рабочих органов с перемещаемым потоком. В струйных нагнетателях повышение энергии перемещаемой жидкости осуществляется за счет энергии струи другой жидкости. Нагнетатели этих групп повышают и потенциальную и кинетическую энергию перемещаемой среды. В объемных нагнетателях повышается потенциальная энергия жидкости за счет сжатия ее в рабочих полостях этой группы нагнетателей. Далее энергия сжатой среды может преобразовываться в кинетическую, расходоваться на перемещение жидкости по трубопроводной сети, совершать работу в технологических установках и т.д.

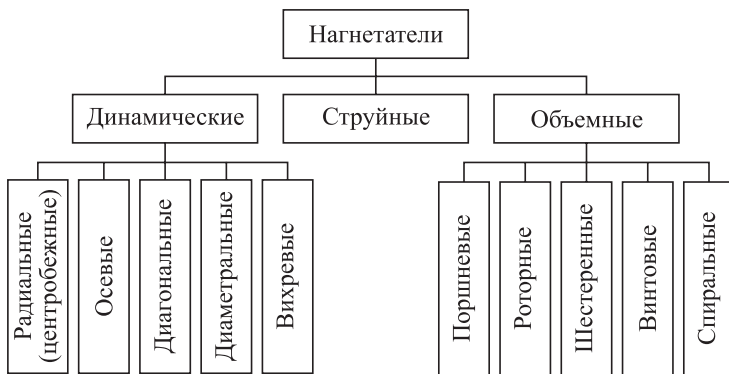


Рис. 2.1. Классификация нагнетателей по способу повышения энергии перемещаемой жидкости и характеру течения ее в проточных частях

Представленные выше сведения о нагнетателях, а также краткая и в некоторой степени условная их классификация дают далеко не полные сведения обо всем многообразии данной группы гидравлических машин. Сбор полной информации о применяемых нагнетателях требует многолетних временных затрат целого трудового коллектива и с точки зрения отдельной узкой сферы их применения не имеет существенной практической пользы.

Радиальные (центробежные) нагнетатели являются самыми массовыми по применению в промышленных установках. Схемы радиального вентилятора и центробежного насоса приведены на *рис. 2.2*.

Отметим, что в некоторых литературных источниках элемент конструкции, представленный на *рис. 2.2* и далее на *рис. 2.3* как ступица, обозначается как втулка. Согласно определению, представленному в политехническом словаре, **ступица** – центральная, обычно утолщенная часть колеса с отверстием для посадки его на ось или вал. А **втулка** – цилиндрическая или коническая деталь машины с осевым (продольным) отверстием, в которое входит сопрягаемая деталь. По мнению автора, применительно к рассматриваемому элементу нагнетателей правильной применение термина «ступица». Этот термин в дальнейшем и будет применяться в тексте учебника.

Рассматриваемый тип вентиляторов и насосов имеет одинаковый принцип действия. Вращающееся рабочее колесо лопатками секционировано на отдельные межлопаточные каналы-ячейки. Находящаяся в них жидкость закручивается, и в этом состоянии на нее действует центробежная сила T , направленная вдоль радиуса и от оси вращения:

Содержание

Предисловие	3
Введение	5
1. Краткий исторический обзор развития теории и практики применения нагнетателей	7
2. Классификация и общие сведения о нагнетателях	11
2.1 Применения нагнетателей в системах теплогазоснаб- жени, вентиляции и кондиционировании воздуха	11
2.2 Классификация нагнетателей. Общие сведения о нагнетателях	14
2.3 Эрлифт	34
3. Общие сведения о системе нагнетатель-сеть.....	36
3.1 Параметры работы нагнетателей.....	36
3.2 Характеристика сети.....	46
4. Радиальные (центробежные) нагнетатели.....	52
4.1 Кинематика движения частицы жидкости в колесе ра- диальных (центробежных) нагнетателей.....	52
4.2 Динамика движения идеальной жидкости в колесе ра- диального (центробежного) нагнетателя. Уравнение Эйлера	65
4.3 Анализ уравнения Эйлера	70
4.4 Теоретические характеристики радиальных (центро- бежных) нагнетателей.....	75
4.5 Особенности течения жидкости в каналах рабочего ко- леса радиальных (центробежных) нагнетателей.....	76
4.6 Действительные характеристики радиальных (центро- бежных) нагнетателей.....	81
4.7 Совместная работа нагнетателя и сети	90
4.8 Условия подобия и пересчет характеристик радиаль- ных (центробежных) нагнетателей.....	92
4.9 Коэффициент быстроходности	101
4.10 Осевые и радиальные силы в радиальных (центро- бежных) нагнетателях.....	104
4.11 Радиальные вентиляторы	110
4.12 Центробежные насосы.....	153
4.13 Центробежные компрессоры	175
4.14 Способы управления работой нагнетателей.....	195
5. Осевые нагнетатели.....	210
5.1 Решетка профилей осевого нагнетателя	210

5.2 Кинематика частицы жидкости в колесе осевого нагнетателя.....	213
5.3 Динамика частицы жидкости в колесе осевого нагнетателя.....	217
5.4 Профилирование лопаток осевого нагнетателя.....	221
5.5 Характеристики осевых нагнетателей.....	224
5.6 Осевые вентиляторы.....	227
5.7 Осевые насосы.....	240
5.8 Осевые компрессоры.....	241
6. Объемные нагнетатели.....	250
6.1 Поршневые компрессоры.....	250
6.2 Шестеренные нагнетатели.....	267
6.3 Винтовые компрессоры.....	270
6.4 Спиральные компрессоры.....	279
6.5 Роторные нагнетатели.....	285
6.6 Водокольцевой вакуумный насос.....	290
7. Струйные нагнетатели.....	292
8. Другие типы гидравлических машин.....	300
8.1 Диагональные нагнетатели.....	300
8.2 Вихревые нагнетатели.....	301
8.3 Расширительные машины. Детандеры.....	306
9. Общие вопросы применения нагнетателей.....	312
9.1 Испытание нагнетателей.....	312
9.2 Характеристики нагнетателей в квадрантах.....	316
9.3 Совместная работа нагнетателей.....	318
9.4 Условия совместной работы нагнетателей.....	341
9.5 Особенности работы нагнетателей в составе систем.....	344
9.6 Устойчивость работы нагнетателей.....	358
9.7 Помпаж.....	363
9.8 Привод. Передачи.....	365
9.9 Выбор нагнетателей.....	381
9.10 Пуск нагнетателей.....	403
9.11 Балансировка рабочих колес и шкивов. Вибрация.....	404
9.12 Шум нагнетателей.....	409
9.13 Монтаж и наладка нагнетателей. Охрана труда при монтаже и эксплуатации нагнетателей.....	418
Литература.....	422
Приложения.....	424