

В. М. Черкасский

**Насосы, вентиляторы,
компрессоры**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621
ББК 34.4
В11

В11 **В. М. Черкасский**
Насосы, вентиляторы, компрессоры / В. М. Черкасский – М.: Книга по Требо-
ванию, 2021. – 416 с.

ISBN 978-5-458-33914-8

ISBN 978-5-458-33914-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

Принятые обозначения и единицы физических величин

Геометрические величины

- r, R , м, мм — радиусы сечений, рабочих колес, отводов; расстояния точек в потоках от условного центра;
- d, D , м, мм — диаметры сечений, рабочих колес;
- b , м, мм — ширина лопасти, длина хорды профиля;
- B , м, мм — ширина решетки лопастей;
- l , м, мм — длина лопасти;
- l , м, мм — шаг лопастей решетки;
- z ; H , м — высота; напор;
- δ , мм — размер зазора (ширина щели);
- S , м, мм — ход поршня;
- ω Ω , м² — площадь сечения, площадь поршня;
- V , м³ — объем жидкости, газа;
- β_y , град — угол установки лопасти в решетке (угол между хордой профиля лопасти и фронтальной линией решетки);
- $\beta_{л}$, град — угол между осью решетки и касательной к средней линии профиля; угол между направлением окружной скорости, обратным вращению, и касательной к средней линии профиля (для центробежных машин);
- θ , град — угол изогнутости профиля; угол расхождения диффузора или схождения конфузора;
- $\Delta\beta$, град — изменение углов; разность двух соседних значений углов;
- z, i — количество лопастей, ступеней, цилиндров.

Кинематические величины

- ω , рад/с, 1/с — угловая скорость;
- g , м/с² — ускорение свободного падения;
- $c, u, w, m/c$ — соответственно абсолютная, окружная, относительная скорости;
- $\Delta c, \Delta u, \Delta w$, м/с — изменения скоростей или их проекций;
- α , град — угол между окружной и абсолютной скоростями в параллелограммах или треугольниках скоростей;
- β , град — угол между направлением окружной скорости, обратным вращению, и вектором относительной скорости (для центробежных машин); угол между отрицательным направлением относительной скорости и осью решетки (в осевых машинах);
- i , град — угол атаки при натекании жидкости (газа) на лопасть;
- Γ , м²/с — циркуляция скорости;
- ν , м²/с, см²/с — кинематический коэффициент вязкости жидкости, газа;
- n , об/мин — частота вращения вала (ротора) машин;
- a , м/с — скорость звука.

Механические величины

P, H — сила;
 $M, H \cdot m$ — момент силы;
 $N, Дж/с, Вт, кВт$ — мощность;
 $E, Дж$ — энергия.

Аэродинамические и термодинамические величины

$\rho, кг/м^3$ — плотность (масса одной кубической единицы объема) жидкости, газа;
 $\gamma, Н/м^3$ — удельный (объемный) вес жидкости, газа;
 $v, м^3/кг$ — удельный объем (объем одной единицы массы или веса) жидкости, газа;
 $p, Па$ — давление жидкости, газа;
 $Q, м^3/с, м^3/мин, м^3/ч$ — объемная подача (расход);
 $M, m, кг/с, кг/мин$ — массовая подача (расход);
 $L, Дж/кг$ — энергия единицы массы жидкости, газа; удельная работа;
 $h, м$ — потери напора жидкости, газа;
 T — абсолютная температура, К;
 $Q, Дж$ — количество теплоты;
 $q, Дж/кг$ — удельное количество теплоты жидкости, газа;
 $c, Лж/(кг \cdot K)$ — удельная теплоемкость;
 $L, Дж/кг$ — удельная работа термодинамического процесса;
 $S, Дж/(кг \cdot K)$ — энтропия;
 k — показатель изэнтропного процесса;
 n — показатель политропного процесса;
 $i, Лж/(кг \cdot K)$ — энтальпия.

Коэффициенты и относительные величины

η — КПД машины, ступени, проточной части;
 ρ — степень реактивности;
 ξ — коэффициент местной потери энергии (напора);
 μ — коэффициент заполнения сечения активным потоком; коэффициент закрутки потока;
 v — втулочное отношение;
 $\bar{f}$ — относительный шаг профилей в решетке;
 $\bar{b}$ — густота решетки профилей;
 C_x, C_y — аэродинамические коэффициенты лобовой и подъемной сил;
 φ — коэффициент расхода;
 ψ — коэффициент напора;
 Re, Fr, Eu, M, Sh — соответственно числа Рейнольдса, Фруда, Эйлера, Маха, Струхала;

λ — объемный коэффициент; коэффициент потери энергии, распределенной по длине;
 ϵ — степень повышения давления;
 a — относительный объем мертвого пространства поршневого компрессора;
 δ — коэффициент (масштаб) подобия.

Индексы

r — радиальный (спроектированный на радиус);
 a — осевой (спроектированный на ось машины);
 u — тангенциальный (спроектированный на линию окружной скорости);
 $л$ — лопастный (относящийся к лопасти машины);
 $п$ — ползный;
 $т$ — теоретический;
 $ск$ — скоростной;
 $ст$ — статический; относящийся к ступени;
 $г$ — геометрический; гидравлический;
 $1, 2, 3, \dots$ — относящийся к сечениям — первому, второму третьему...
 ∞ — эквивалентный; бесконечный; приблизительный;
 $опт$ — оптимальный (относящийся к режиму с максимальным КПД), экономически невыгоднейший;
 $вп$ — внутренний; относящийся к внутреннему процессу машины;
 $к$ — относящийся к корпусу; конечный;
 $м$ — модельный (относящийся к модели машины); механический;
 $н$ — натурный (относящийся к натурной конструкции); относящийся к началу процесса;
 $о$ — объемный;
 $вс$ — относящийся к всасыванию;
 $доп$ — допустимый;
 $кр$ — критический;
 $макс$ — максимальный;
 $мин$ — минимальный;
 $рег$ — относящийся к режиму регулирования машины;
 $*$ — относящийся к заторможенному потоку;
 a — адиабатный;
 $п$ — политропный, ползный;
 $пол$ — полный;
 i_s — изэнтропный;
 i — внутренний (индикаторный);
 e — эффективный;
 y — относящийся к подъемной силе;
 x — относящийся к лобовой силе;
 $в$ — относящийся к валу машины; к воде.

ВВЕДЕНИЕ

В современной технике машины для подачи жидкостей называют насосами.

Машины для подачи газов принято подразделять в зависимости от развиваемого ими давления на *компрессоры, нагнетатели и вентиляторы*.

Насосы примитивных конструкций применялись еще во времена Аристотеля (IV в. до н. э.). Водоподъемные машины, приводимые в действие силой людей и животных, использовались в Египте за несколько тысячелетий до н. э. Из сочинений итальянского зодчего Витрувия следует, что поршневые насосы применялись в Римской империи еще в царствование цезаря Августа (I в. до н. э.). Насосы с бесконечной цепью действовали в Каире для подъема воды с глубины 91,5 м в V—VI вв. до н. э. В Александрии в V—VI вв. до н. э. был построен поршневой пожарный насос, отлитый из бронзы.

Примерно в 1805 г. Ньюкомен (Англия) создал поршневой насос для подъема воды в руднике, применив для привода его паровой цилиндр с конденсацией пара, использующий для создания необходимой силы на штоке атмосферное давление.

В 1840—1850 гг. американец Вортингтон предложил конструкцию парового насоса, в котором поршни насоса и парового двигателя располагались на общем штоке; движением поршней управляла специальная парораспределительная система.

Широкое использование насосов в России началось с горнорудной промышленности. В XVIII в. горный мастер К. Д. Фролов построил на Змеиногорском руднике Алтая несколько установок с поршневыми насосами для водоотлива из шахт и промывания россылей. Привод насосов осуществлялся от водяных колес мельничного типа.

К. Д. Фролов был выдающимся изобретателем. Он дал оригинальные образцы конструкций насосов и гидродвигателей, широко применявшихся им и его учениками в горной промышленности Алтая и Урала.

Со второй половины XIX в. началось развитие центробежных насосов. Установить достоверно изобретателя центробежного насоса невозможно. Известны рисунки Леонардо да Винчи, относящиеся к XV в., в которых великий ученый разъяснял возможность использования центробежной силы воды, вращающейся в криволинейном канале, для подачи ее на некоторую высоту. Возможно, что центробежный насос был изобретен итальянцем Жорданом, выполнившим в конце XVII в. рисунок такого насоса. В начале XVIII в. французский физик Папен изготовил центробежный насос примитивной конструкции.

Первой примененной в практике машиной для подачи жидкости действием центробежной силы был насос Ледемура (Франция, 1732 г.). В этой конструкции вода, находящаяся в наклонной трубе, вращающейся вокруг вертикальной оси, перемещалась с нижнего уровня на верхний действием центробежной силы самой воды. Таким образом достигалась подача воды на некоторую высоту.

Классическая схема и конструкция одноколесного центробежного насоса, применяющегося в различных модификациях и поныне, была осуществлена Андревсом (США) в 1818 г. и существенно улучшена им в 1846 г. Исследования Андревса привели к созданию многоступенчатого центробежного насоса, однако весьма несовершенной конструкции, запатентованной в 1851 г.

Знаменитый ученый Рейнольдс (Англия), исследуя конструкцию многоступенчатого насоса, ввел в нее прямой и обратный направляющие лопаточные аппараты и в 1875 г. запатентовал насос, в общих чертах аналогичный современным многоступенчатым насосам.

Широкое распространение центробежных насосов стало возможным только на основе применения электрической энергии и, в частности, при использовании электродвигателя трехфазного переменного тока, разработанного инженером В. О. Доливо-Добровольским (Россия, 1888—1889 гг.). К этому времени относится изобретение русским инженером В. А. Пушечниковым специального малогабаритного насоса для подъема подземных вод с больших глубин.

Изобретение поршневого воздушного насоса, прототипа современных компрессоров с одной ступенью сжатия, связано с именем физика Герике (Германия, 1640 г.). Совер-

шенствованию компрессоров в XVIII и XIX вв. способствовало развитие горно-рудной промышленности и металлургии. Во второй половине XVIII в. в Англии Вилькинсон запатентовал двухцилиндровый поршневой компрессор и в то же время Уатт изготовил воздушную машину с паровым приводом.

Компрессоры со ступенями сжатия, но без промежуточных охладителей появились во Франции в 30-х годах прошлого столетия. Многоступенчатый компрессор с межступенными охладителями был предложен в 1849 г. Ратеном (Германия).

Производство центробежных компрессоров было начато фирмами Рато (Франция) и Парсонс (Англия) в начале XX в.

В России в 1832 г. инженер А. А. Саблуков предложил конструкцию центробежного вентилятора для проветривания шахт и заводских помещений и указал простой способ его расчета.

Широкому распространению центробежных машин в промышленности сопутствовало и развитие их теории. Основное уравнение центробежного насоса непосредственно следует из теоретической работы акад. Л. Эйлера, члена Российской академии наук, «Более полная теория машин, приводимых в действие силою воды», опубликованной им во второй половине XVIII в.

Теоретические работы О. Рейнольдса (Англия), Л. Прадтля (Германия) и выдающиеся научные труды Н. Е. Жуковского (Россия), относящиеся к концу XIX и началу XX вв., привели к созданию современной научной основы насосостроения. Особое значение имели работы Н. Е. Жуковского «Видоизменение метода Кирхгофа» и «Теория воздушных винтов». В первой из них дано теоретическое обоснование метода расчета подъемной силы крыла, распространяемого ныне на лопасти насосов, вентиляторов и компрессоров. Вторая работа содержит теорию и метод расчета пропеллеров. Эта работа легла в основу теории осевых вентиляторов, разработанной учениками Н. Е. Жуковского — К. А. Ушаковым, В. П. Ветчинкиным и др. Значение научной и организационной деятельности Н. Е. Жуковского очень велико. Им были определены и разработаны важнейшие направления развития современной гидроаэромеханики.

Исключительно большое значение для развития рассматриваемой области машиностроения в СССР имела деятельность Центрального аэрогидродинамического инсти-

тута (ЦАГИ), организованного Н. Е. Жуковским в 1918 г. В этом институте в течение многих лет проводились исследования воздушных и гидравлических машин.

В настоящее время научно-исследовательская работа по насосам, вентиляторам и компрессорам в СССР ведется многими организациями, такими как ВНИИгидромаш, ВНИИхиммаш, ЦАГИ им. Н. Е. Жуковского, ВНИИАЭН, ВНИИкомпрессормаш.

Большие работы ведутся на специальных кафедрах вузов — Ленинградского и Харьковского политехнических, МВТУ им. Н. Э. Баумана, Сумского филиала ХПИ и др.

Пользуются широкой известностью исследования и конструкторские разработки в области насосо- и компрессоростроения, выполненные на специальных кафедрах и в лабораториях политехнических институтов на континентах Европы, Америки и в Японии. Среди деятелей этой области техники, известных своими фундаментальными исследованиями, могут быть названы: И. И. Куколевский, Г. Ф. Проскура, А. А. Ломакин, С. С. Руднев (насосостроение), В. И. Поликовский, М. И. Невельсон, К. А. Ушаков (вентиляторостроение), В. Ф. Рис, М. Н. Френкель, К. П. Селезнев (компрессоростроение).

Из зарубежных ученых следует отметить О. Рейпольдса (Англия), проф. А. Стодола (Чехословакия), Л. Прандтля, А. И. Степанова (США).

Развитию теории насосо- и компрессоростроения и практическому применению ее в Европе и на континенте Америки в высокой степени способствовали классические труды К. Пфлейдерера «Лопаточные машины для жидкостей и газов», А. А. Ломакина «Центробежные и пропеллерные насосы», А. И. Степанова «Центробежные и осевые насосы» и «Центробежные и осевые компрессоры, воздушники и вентиляторы», опубликованные в основном в первой половине текущего столетия.

Из печатных изданий последнего времени особый интерес представляет труд инженера-консультанта американской корпорации «Вортингтон» Карассика и инженера Картера «Центробежные насосы», переведенный на несколько языков.

Количество насосов, компрессоров и вентиляторов различного назначения, выпускаемых промышленностью технически развитых стран, исчисляется миллионами штук в год; электрическая энергия, используемая для привода их, составляет существенную часть в энергетическом балансе стран. Поэтому теоретические и экспериментальные иссле-

дования, направленные на усовершенствование рабочих процессов и повышение КПД машин этого вида, имеют очень большое значение.

Для современной промышленности характерно соединение заводов в крупные специализированные комплексы — производственные объединения. В составе таких объединений, располагающих мощной финансовой базой, возможна организация специальных конструкторских бюро, крупномасштабных испытательных стендов, исследовательских лабораторий для разработки важнейших проблем отрасли. Это относится непосредственно и к области насосного и компрессорного машиностроения.

В Советском Союзе действуют крупнейшие производственные объединения: «Невский завод», «Ленинградский металлический завод», сумские «Насосэнергомаш» и Тяжелого компрессоростроения, «Южгидромаш», «Уралгидромаш» и др., выпускающие насосы и компрессоры для промышленности СССР и экспорта.

Крупнейшим объединением США является «Вортингтон» — старейшая насосостроительная фирма мира, имеющая филиалы в 14 странах, выпускающая около 300 типов насосов различных назначений и размеров. Насосы в США изготавливают и многие другие фирмы; наиболее значительные из них, выпускающие насосы для энергетики, «Пасифик пампс» и «Ингерсолл Рэнд».

В Федеративной Республике Германии действуют известные фирмы «КСБ», «Рютчи Пумпэн и др., выпускающие насосы высокого класса, в основном на экспорт.

Особо должны быть отмечены фирмы «Зульцер» (Швейцария) и «Рато» (Франция), выпускающие различные насосы и компрессоры, в совершенстве конструкций которых отражается многолетний опыт фирм (более 100 лет).

В странах СЭВ известны комбинаты «Сигма» и «Шкода» (ЧССР) и «Пумпен унд Фердихтер» (ГДР).

Последняя международная выставка «Насосы и компрессоры-75» отчетливо продемонстрировала громадные успехи человечества в создании машин для подачи жидкостей и газов.

Часть I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО МАШИНАМ ДЛЯ ПОДАЧИ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

КЛАССИФИКАЦИЯ. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1. Определения и классификация

Государственный стандарт определяет насос как машину для создания потока жидкой среды. Развитие этого определения приводит к пониманию насоса как машины, предназначенной для перемещения жидкости и увеличения ее энергии. При работе насоса энергия, получаемая им от двигателя, превращается в потенциальную, кинетическую и в незначительной мере в тепловую энергию потока жидкости.

Машины для подачи газовых сред в зависимости от развиваемого ими давления называют *вентиляторами, газодувками, компрессорами*.

Вентилятор — машина, перемещающая газовую среду при степени повышения давления до 1,15*.

Газодувка — машина, работающая при $\epsilon > 1,15$, но искусственно не охлаждаемая.

Компрессор сжимает газ при $\epsilon > 1,15$ и имеет искусственное (обычно водяное) охлаждение полостей, в которых происходит сжатие газа.

В современной промышленности распространены *гидродвигатели* — машины, превращающие энергию потока жидкости в механическую энергию (гидротурбины, гидромоторы).

В последнее время в различных технических устройствах употребляются *гидропередачи* — конструктивные комбинации, служащие для передачи механической энергии с вала двигателя на вал приводимой машины гидравлическим способом. Гидропередача состоит из насоса, гидродвигателя и системы трубопроводов с устройствами для распределения и регулирования потоков рабочей жидкости (энергоносителя). Во многих случаях все указанные эле-

* Степень повышения давления ϵ — отношение давления газа на выходе из машины к давлению его на входе.

менты гидропередачи совмещаются в едином конструктивном блоке. Гидравлические двигатели, насосы и гидропередачи составляют класс *гидравлических машин*. Классификация гидравлических машин по энергетическому и конструктивному признакам представлена на рис. 1.1.

ГОСТ 17398-72 подразделяет насосы на два основных класса: *динамические* и *объемные*.

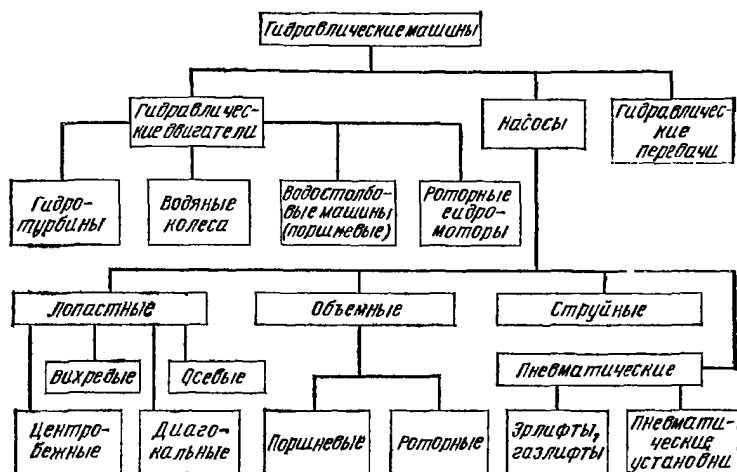


Рис. 1.1. Классификация гидравлических машин по энергетическому и конструктивному признакам

В динамических насосах передача энергии потоку происходит под влиянием сил, действующих на жидкость в рабочих полостях, постоянно соединенных с входом и выходом насоса. Характерным представителем этого класса является центробежный насос (см. рис. 1.3).

В объемных насосах энергия передается жидкой среде в рабочих камерах, периодически изменяющих объем и попеременно сообщающихся с входом и выходом насоса. Для этого класса типичным является поршневой насос (см. рис. 1.6).

Виды насосов по принципу действия и конструкциям весьма многообразны; исчерпывающее представление об этом дает ГОСТ 17398-72 и прилагаемая к нему схема.

Простейшая краткая классификация машин для подачи жидкостей и газов на основе конструктивных признаков и свойств перемещаемой среды приведена на рис. 1.2.