

Б. В. КАРАСЕВ

НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

Допущено Министерством высшего
и среднего специального образования БССР
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений по специаль-
ностям 1209 "Водоснабжение и канализация",
1217 "Рациональное использование водных
ресурсов и обезвреживание промстоков"



МИНСК "ВЫШЭЙШАЯ ШКОЛА" 1979

ББК 31.56я73

К21

УДК 621.65+628.29 (075.8)

Р е ц е н з е н т ы

кафедра "Водоснабжение и вентиляция" Каунасского политехнического института; *В.Я.Карелин*, профессор Московского инженерно-строительного института

К $\frac{31306-183}{304(05)}$ --- 61-79 2305020000
М 304 (05) - 79

© Издательство "Высшая школа", 1979.

От автора

Бурное развитие промышленности, дальнейший подъем сельского хозяйства, освоение восточных и северных районов нашей страны создают условия для расширения существующих и строительства новых городов и поселков. Все это непосредственно связано со значительным увеличением водопотребления и созданием эффективных систем водоотведения.

В "Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы", утвержденных XXV съездом КПСС, отмечено: "Осуществлять с использованием новейших научно-технических средств исследование природных ресурсов, а также контроль за состоянием окружающей среды и источниками ее загрязнения. Активнее вести разработку и внедрение технологических процессов, обеспечивающих уменьшение отходов и их максимальную утилизацию, а также систем использования воды по замкнутому циклу.

Развивать специализированные производства по выпуску оборудования, изделий и материалов, необходимых для создания и эксплуатации на предприятиях и в городах высокоэффективных очистных сооружений".

Принятое 29 декабря 1972 г. постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР "Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов", а также ряд других основополагающих постановлений, принятых за последнее десятилетие, в большой степени определили направление и характер дальнейшего развития систем водоснабжения и водоотведения в нашей стране. Все это ставит перед инженерами-строителями систем водоснабжения и канализации и инженерами-технологами по очистке природных и сточных вод ответственную задачу по проектированию и строительству сложных современных систем по водоснабжению и водоотведению.

Насосные станции являются одним из главных элементов таких систем. В связи с тем, что современные насосные станции представляют собой сложные комплексы взаимосвязанных сооружений и различного оборудования, управляемого на базе автоматизации и телемеханики, изучение курса "Насосы и насосные станции" студентами по специальностям "Водоснабжение и канализация" и "Рациональное использование водных ресурсов и обезвреживание промстоков" является необходимым.

Основоположниками отечественной учебной и научной литературы в области проектирования насосных станций являются такие известные ученые, как Н.Н.Абрамов, Н.И.Малишевский, М.М.Флоринский, В.И.Турк и

др. Ими разработаны основы проектирования и эксплуатации насосных станций. Ведущая роль в вопросах совершенствования проектирования насосных станций в нашей стране принадлежит специализированным научно-исследовательским и проектным институтам: "Союзводоканалпроект", "Гидрокоммунводоканал", "Теплоэлектропроект", "Гидропроект", "Гидророзводхоз" и др.

Целью настоящего учебного пособия является сжатое и последовательное изложение наиболее важных разделов курса "Насосы и насосные станции" в соответствии с утвержденными программами. Учебное пособие состоит из двух частей: "Насосы" и "Насосные станции".

В первой части рассмотрены все насосы, которые используются в системах водоснабжения и водоотведения. Основное внимание уделено центробежным насосам как наиболее распространенному в указанных системах типу.

Во второй части представлены различные насосные станции систем водоснабжения и водоотведения. Рассмотрены методики проектирования и конструирования современных насосных станций с учетом технических и экономических факторов.

Основные уравнения в книге имеют размерности, рекомендуемые ГОСТ 9867-61, введенные в СССР с 1 января 1973 г. и принятые в качестве Международной системы единиц измерения (СИ). Термины и определения соответствуют ГОСТ 17398-72 "Насосы. Термины и определения", введенному с 1 января 1973 г., а также маркировка всех насосов указана с учетом новых государственных стандартов.

Введение

Н а с о с — машина для создания потока жидкой среды. Насосы являются одним из основных средств механизации при напорном транспортировании различных жидких сред. Многообразие требований к насосам в различных отраслях техники и строительства привело к тому, что в настоящее время существует значительное количество насосов, различающихся между собой принципом действия, конструкций и т.д. В связи с этим во ВНИИгидромаш разработана классификация насосов, включенная в ГОСТ 17398—72 "Насосы. Термины и определения". Частичная таблица классификации насосов приведена на рис. В.1.

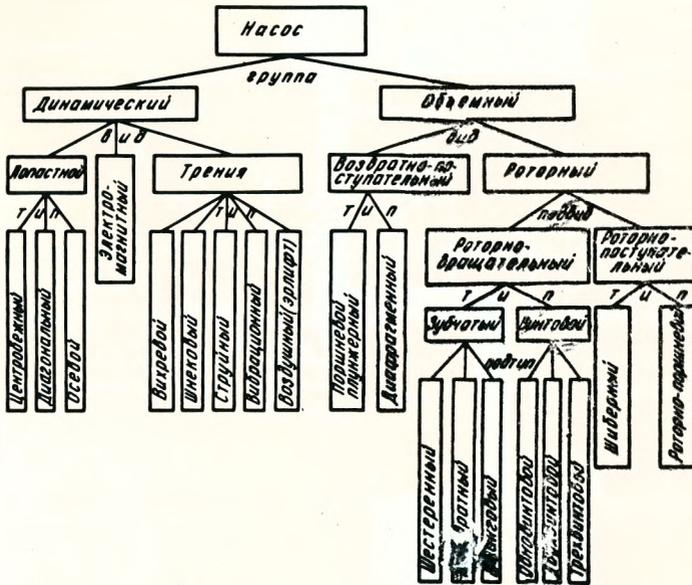


Рис. В.1. Классификация насосов

Работу каждого насоса принято характеризовать техническими параметрами, к числу которых относятся: подача, напор, частота вращения рабочего колеса, потребляемая мощность, КПД и высота всасывания (см. параграф 1.7).

Подачей насоса (Q) называется объем (или масса) жидкой среды, подаваемой насосом в единицу времени. Он выражается в л/с, м³/с или м³/ч. При соответствующих условиях каждый насос может подавать различное количество жидкой среды в единицу времени.

Напором (Н) называется приращение удельной энергии потока среды (энергии, отнесенной к массе в 1 кг) при прохождении ее через рабочие органы насоса. Напор насоса выражается в метрах водяного столба. Принято различать напор **манометрический**, который определяется по показаниям приборов у всасывающего и напорного патрубков, и **напор трубы**, подсчитанный по схеме насосной установки. Для пояснения этого рассмотрим схему насосной установки на рис. В.2.

Обозначим: p_m — давление, показываемое манометром, Па; p_v — давление, показываемое вакуумметром, Па; $H_{г.вс}$ — геометрическая (геодезическая) высота всасывания, м; H_n — геометрическая (геодезическая) высота подъема, м; $H_r = H_{г.вс} + H_n$ — полная геометрическая высота подъема жидкой среды, м; z_v — превышение вакуумметра над точкой его подключения, м; z_m — превышение манометра над точкой его подключения, м; z —

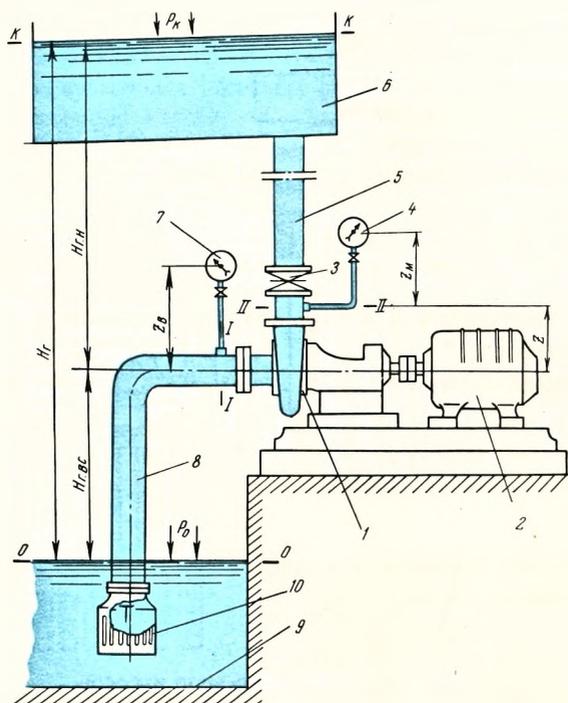


Рис. В.2. Схема насосной установки:

- 1 — насос; 2 — электродвигатель; 3 — задвижка;
- 4 — манометр; 5 — напорный трубопровод; 6 — верхний резервуар; 7 — вакуумметр; 8 — всасывающий трубопровод; 9 — нижний резервуар;
- 10 — приемный клапан

разность уровней сечений (I—I) и (II—II), м; $H_1 = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g}$ — напор жидкой среды на входе в насос по отношению к плоскости отсчета, проходящей через ось насоса, м; $H_2 = \frac{p_2}{\rho g} + z + \frac{v_2^2}{2g}$ — напор жидкой среды на выходе из насоса по отношению к той же плоскости отсчета, м.

Тогда, согласно определению напора,

$$H = H_2 - H_1 = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + z + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}.$$

Так как $p_2 = p_{\text{атм}} + p_{\text{м}} + \rho g z_{\text{м}}$, а $p_1 = p_{\text{атм}} - p_{\text{в}} + \rho g z_{\text{в}}$, то напор насоса будет равен:

$$(1) \quad H = \frac{p_{\text{м}} + p_{\text{в}}}{\rho g} + (z + z_{\text{м}} - z_{\text{в}}) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}.$$

В выражении (1) сумма двух первых членов представляет собой разность избыточных давлений в сечениях I—I и II—II, приведенных к оси насоса, и называется *манометрическим напором*:

$$H_{\text{ман}} = \frac{p_{\text{м}} + p_{\text{в}}}{\rho g} + (z + z_{\text{м}} - z_{\text{в}}).$$

Напор, подсчитанный по схеме насосной установки, называется *требуемым*. Определим его.

Из уравнения Бернулли для сечений 0 — 0 и I — I (приняв за плоскость сравнения нижний уровень) $\frac{p_0}{\rho g} = \frac{p_1}{\rho g} + H_{\text{г.вс}} + \frac{v_1^2}{2g} + h_{\text{п.в}}$, откуда $\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_0}{\rho g} - H_{\text{г.вс}} - h_{\text{п.в}}$.

Из уравнения Бернулли для сечений II — II и К — К (приняв за плоскость сравнения ось насоса)

$$\frac{p_2}{\rho g} + z + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_{\text{к}}}{\rho g} + H_{\text{г.н}} + h_{\text{п.н}}.$$

Найдем значение напора, рассматривая правые части уравнений (левые рассмотрены при определении манометрического напора):

$$H = H_2 - H_1 = \frac{p_{\text{к}} - p_0}{\rho g} + H_{\text{г.н}} + H_{\text{г.вс}} + h_{\text{п.н}} + h_{\text{п.в}}.$$

Сумма потерь во всасывающем и нагнетательном трубопроводах $h_{\text{п.в}} + h_{\text{п.н}} = h_{\text{п}}$, а $H_{\text{г.вс}} + H_{\text{г.н}} = H_{\text{г}}$. Поэтому требуемый напор

$$H = \frac{P_k - P_0}{\rho g} + H_r + h_n.$$

Таким образом, в общем случае напор насоса расходуется на преодоление противодавления в напорном резервуаре, геометрическую высоту подъема жидкой среды и преодоление сопротивлений трубопроводов.

Если верхний и нижний резервуары сообщены с атмосферой, то $p_k = p_0 = p_{\text{атм}}$ и $H = H_r + h_n$.

Мощность насоса (N), расходуемая для создания определенных Q и H , подсчитывается по формуле

$$N = \frac{\rho g Q H}{\eta}$$

и измеряется в Вт, кВт.

Коэффициент полезного действия насоса η представляет собой отношение полезной мощности $N_0 = \rho g Q H$ к мощности насоса: $\eta = \frac{N_0}{N}$.

Полезная мощность всегда меньше мощности насоса за счет потерь, возникающих в насосе.

Эти потери характеризуются: $\eta_r = \frac{H}{H + h_n}$ — гидравлический КПД (отношение действительного напора к теоретическому). Он учитывает потери напора в насосе; $\eta_0 = \frac{Q}{Q + \Delta Q}$ — объемный КПД (отношение действительной подачи к идеальной). Он учитывает утечки жидкой среды через неплотности сальников и зазоры в насосе, а также протечки из напорной во всасывающую полость; $\eta_m = \frac{N - \Delta N_n}{N}$ — механический КПД, который учитывает потери на трение наружной поверхности колеса о жидкую среду (дисковое трение), а также потери на трение в подшипниках и сальниках.

Так как подводимая мощность за вычетом механических потерь затрачивается на создание напора $H + h_n$ всей жидкой среды $Q + \Delta Q$, где h_n — потери напора, а ΔQ — утечки, то $N - \Delta N_n = \rho g (Q + \Delta Q) (H + h_n)$.

Вводя значения всех КПД, получим

$$N = \frac{\rho g Q H}{\eta_r \eta_0 \eta_m}.$$

Следовательно, $\eta = \eta_r \eta_0 \eta_m$.

В современных насосах КПД достигает сравнительно высоких значений. Например, у центробежных насосов $\eta_r = 0,80 \dots 0,95$, $\eta_0 = 0,95 \dots 0,98$, $\eta_m = 0,90 \dots 0,97$ и $\eta = 0,68 \dots 0,90$, причем более высокие значения КПД соответствуют насосам больших размеров. У поршневых насосов $\eta = 0,60 \dots 0,92$, у осевых $\eta = 0,70 \dots 0,85$.

Использованная литература

- А б р а м о в Н.Н. Водоснабжение. М., Стройиздат, 1974.
- А р у т ю н я н К.Г., С м и р н о в В.П. Применение шнековых насосов для перекачки сточных вод и их осадков. М., Стройиздат, 1977.
- Б р е ж н е в В.И., В о р о б ь е в В.Ф., К е д р о в с к и й В.К. Эксплуатация водопроводных сооружений. М., Стройиздат, 1973.
- Б у р г у ч е в С.А. Электрические станции, подстанции и системы. М., "Колос", 1966.
- Г а н к и н М.З. Автоматизация и телемеханизация производственных процессов. М., "Колос", 1977.
- Г е р м а н А.Л., В а х р а м е е в Б.А. Монтаж и эксплуатация лопастных насосов. М., Машгиз, 1961.
- И л ь и н В.А. Телеуправление и телеизмерение. М., "Энергия", 1974.
- К а н а л и з а ц и я. М., Стройиздат, 1976.
- К а р а с е в Б.В., Д е ч е в В.И. Основы гидравлики, гидравлические машины и сельскохозяйственное водоснабжение. Минск, "Урожай", 1965.
- К а р а с е в Б.В., Д е ч е в В.И. Основы гидравлики, сельскохозяйственного водоснабжения и канализации. Минск, "Вышэйшая школа", 1976.
- К а р е л и н В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах. М., "Машиностроение", 1975.
- К а р е л и н В.Я. Насосы и насосные станции для водоснабжения и орошения. М., Стройиздат, 1966.
- К а р н а у х о в В.А. Монтаж, наладка и эксплуатация насосных установок. Киев, "Будивельник", 1976.
- К у р г а н о в А.М., Ф е д о р о в Н.Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. Л., Стройиздат, 1973.
- Л о б а ч е в П.В., Ш е в е л е в Ф.А. Расходомеры для систем водоснабжения и канализации. М., Стройиздат, 1976.
- Л о м а к и н А.А. Центробежные и осевые насосы. М—Л., "Машиностроение", 1966.
- Н а с о с ы. Каталог-справочник. М., Машгиз, 1953.
- П о п к о в и ч Г.С. Основы автоматизации систем водоснабжения и канализации. М., Стройиздат, 1970.
- Р ы ч а г о в В.В., Ф л о р и н с к и й М.М. Насосы и насосные станции. М., "Колос", 1975.
- С п р а в о ч н и к по специальным работам. М., Стройиздат, 1970.
- Т у р к В.И., М и н а е в А.В., К а р е л и н В.Я. Насосы и насосные станции. М., Стройиздат, 1976.
- Ч и л и к и н М.Г. Общий курс электропривода. М., "Энергия", 1971.
- Э к о н о м и к а водопроводно-канализационного строительства и хозяйства. Л., Стройиздат, 1972.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора	3
Введение.	5
Часть I. НАСОСЫ	
Глава 1. Центробежные насосы	11
1.1. Принцип работы и схемы основных видов центробежных насосов.	11
1.2. Классификация центробежных насосов	13
1.3. Движение жидкой среды в рабочем колесе насоса. Параллелограммы и треугольники скоростей.	14
1.4. Основное уравнение работы центробежного насоса (уравнение Эйлера)	17
1.5. Влияние угла выхода потока на напор насоса. Формы лопаток	21
1.6. Идеальная и действительная подача насоса	22
1.7. Высота всасывания насоса. Кавитация	23
1.8. Элементы теории подобия центробежных насосов	27
1.9. Коэффициент быстроходности	30
1.10. Характеристики центробежных насосов.	32
1.11. Влияние изменения частоты вращения рабочего колеса насоса на его характеристики.	41
1.12. Влияние изменения диаметра рабочего колеса насоса на его характеристики (обточка рабочего колеса)	43
1.13. Работа центробежного насоса в системе трубопроводов .	46
1.14. Регулирование подачи центробежного насоса	48
1.15. Совместная работа нескольких насосов в системе трубопроводов	54
1.16. Основные детали центробежных насосов	64
1.17. Сила осевого давления и способы ее уравновешивания. .	69
1.18. Горизонтальные насосы	71

1.19.Вертикальные центробежные насосы	80
1.20.Сводные графики областей применения насосов (поля Q – H)	87
1.21.Испытания центробежных насосов	87
1.22.Монтаж и эксплуатация центробежных насосов	93
Г л а в а 2. Осевые насосы	99
2.1.Схема и принцип работы осевых насосов	99
2.2.Элементы теории, напор и подача осевых насосов	99
2.3.Характеристики осевых насосов. Регулирование подачи	102
2.4.Конструкция и маркировка осевых насосов	104
Г л а в а 3. Насосы трения	107
3.1.Вихревые насосы.	107
3.2.Шнековые насосы	110
3.3.Струйные насосы.	113
3.4.Вибрационные насосы	115
3.5.Воздушные водоподъемники (эрлифты)	116
Г л а в а 4. Объемные насосы	119
4.1.Общие сведения	119
4.2.Поршневые насосы	119
4.3.Плунжерные насосы.	126
4.4.Диафрагменные насосы	127
4.5.Зубчатые насосы	128
4.6.Винтовые насосы.	131
4.7.Шиберные насосы	133
4.8.Роторно-поршневые насосы	134
Г л а в а 5. Машины для перекачивания газов.	137
5.1.Воздуходувки и компрессоры	137
5.2.Вакуумные насосы	140
Часть II. НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ	
Г л а в а 6. Водопроводные насосные станции.	145
6.1.Классификация водопроводных насосных станций	145

6.2.Насосные станции первого подъема на поверхностных источниках	146
6.3.Насосные станции первого подъема на подземных источниках.	165
6.4.Насосные станции второго подъема.	173
6.5.Циркуляционные и повысительные насосные станции . .	190
6.6.Насосно-компрессорные водопроводные станции	191
6.7.Насосные станции с пневматическими установками . . .	192
Г л а в а 7. Канализационные насосные станции	195
7.1.Классификация и схемы канализационных насосных станций.	195
7.2.Выбор места размещения канализационных насосных станций	197
7.3. Режим работы и подача канализационных насосных станций	198
7.4.Определение величины регулирующей емкости приемного резервуара	199
7.5.Определение напора канализационных насосных станций.	203
7.6.Выбор основных и резервных насосов.	203
7.7.Особенности расчета и конструирования всасывающих и напорных труб	205
7.8.Приемные резервуары и их оборудование	206
7.9.Здания канализационных насосных станций.	213
7.10.Особенности насосных станций для перекачивания ила .	213
7.11.Примеры канализационных насосных станций	214
Г л а в а 8. Вспомогательное оборудование насосных станций	221
8.1.Арматура трубопроводов	221
8.2.Оборудование для заливки насосов перед запуском. . .	227
8.3.Насосные установки хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения собственных нужд	229
8.4.Дренажные и маслonaпорные установки	230
8.5.Подъемно-транспортное оборудование насосных станций.	231

Глава 9. Электрооборудование и электроснабжение насосных станций.	233
9.1. Электродвигатели, применяемые для привода насосов	233
9.2. Трансформаторные подстанции.	237
9.3. Силовые трансформаторы и выбор их мощности	239
9.4. Высоковольтные распределительные устройства, их состав и типы	240
9.5. Низковольтное распределительное устройство	243
Глава 10. Автоматизация и телемеханизация насосных станций.	245
10.1. Общие сведения об автоматизации насосных станций .	245
10.2. Основные элементы систем автоматизации	247
10.3. Схемы автоматизации управления насосными станциями	250
10.4. Телемеханическое управление насосными станциями в системе.	252
Глава 11. Технико-экономические расчеты и показатели при проектировании насосных станций.	255
11.1. Структура затрат при технико-экономическом расчете	255
11.2. Вариантный метод проектирования насосных станций.	257
11.3. Основные технико-экономические показатели	257
Приложения	259
Литература	281

Борис Васильевич Карасев

Насосы и насосные станции

Редактор *Г.Я.Трестман*

Мл. редакторы *А.П.Берлина* и *Н.Н. Линькова*

Худож.редактор *В.Н.Валентович*

Техн.редактор *Г.А.Лакишик*

Корректор *Л.А.Шлыкович*

Оператор *А.И.Маль*

ИБ № 800

Подписано в печать 13.12.78. АТ 20128. Формат 60х90 1/16. Бумага офсет. Гарнигура Пресс Роман. Офсетная печать. Усл.печ.л. 18 . Уч.-изд.л. 17,07. Тираж 7000экз. Изд.№78-31. Заказ №6562. Цена в переплете №7 — 90 коп. (1000экз.), в мягкой обложке — 70 коп. (6000 экз.).

Издательство "Вышэйшая школа" Государственного комитета Белорусской ССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 220048, Минск, Парковая магистраль, 11.

Типография "Победа" Государственного комитета Белорусской ССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Молодечно, Привокзальный пер., 11.

Карасев Б.В.

К21 Насосы и насосные станции: [Учеб. пособие для вузов] — Мн.: Выш.школа, 1979. — 288 с., ил.

В пер.: 90 коп.

В пособии рассмотрены все типы насосов, используемых в водопроводных и канализационных системах, а также все виды водопроводных и канализационных станций. Освещен анализ работы насосов, их конструкция и маркировка в соответствии с новыми ГОСТами.

Предназначается студентам вузов для специальностей "Водоснабжение и канализация" и "Рациональное использование водных ресурсов и обезвреживание промстоков".

К 31306 - 183 61-79 2305020000
М 304 (05) - 79

ББК 31.56я73
6П5.7