



**Уральский
федеральный
университет**

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

**Институт Строительства
и Архитектуры**

**Ю. В. АНИКИН
Н. С. ЦАРЕВ
Л. И. УШАКОВА**

НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

Учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б. Н. ЕЛЬЦИНА

Ю. В. Аникин, Н. С. Царев, Л. И. Ушакова

НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

Учебное пособие

Рекомендовано методическим советом
Уральского федерального университета
в качестве учебного пособия для студентов вуза,
обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 «Строительство»

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2018

УДК 621.65(075.8)
ББК 31.56я73
А67

Рецензенты:

И. Э. Иохвидов, директор филиала концерна
ООО «КСБ» (KSB AG) в г. Екатеринбурге;
А. Д. Панкратов, главный инженер ООО «Акви ТЭК»

Научный редактор
кандидат технических наук, доцент В. И. Аксенов

Аникин, Ю. В.

А67 Насосы и насосные станции : учеб. пособие / Ю. В. Аникин, Н. С. Царев, Л. И. Ушакова ; [науч. ред. В. И. Аксенов] ; М-во образования и науки Рос. Федерации; Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 138 с.

ISBN 978-5-7996-2378-4

Приведены общие сведения о насосах, насосных агрегатах, насосных установках и насосных станциях, рассмотрены особенности применения центробежных насосных агрегатов и их насосных установок для подачи воды и сточных вод, описаны принципы технологического проектирования насосных станций систем водоснабжения и водоотведения. Представлены методические указания по курсовому проектированию по дисциплине «Насосы и насосные станции». В приложениях дана информация справочного характера.

Для студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения по профилю «Водоснабжение и водоотведение» направления подготовки 08.03.01 «Строительство»; для слушателей программ повышения квалификации и профессиональной переподготовки; для инженеров-проектировщиков насосных станций систем водоснабжения и водоотведения.

УДК 621.65(075.8)
ББК 31.56я73

На обложке:

насосная станция системы водоснабжения Екатеринбурга

Оглавление

Предисловие.....	6
Введение.....	7
Глава 1. Классификация насосов.....	13
1.1. Общие положения.....	13
1.2. Объемные насосы.....	13
1.3. Динамические насосы.....	19
Глава 2. Особенности центробежных насосов, насосных агрегатов и насосных установок.....	28
2.1. Параметры центробежных насосов, насосных агрегатов и насосных установок.....	28
2.2. Устройство и принцип действия центробежных насосов.....	36
2.3. Основные конструктивные элементы центробежных насосов.....	37
2.3.1. Подводы.....	37
2.3.2. Рабочие колеса.....	38
2.3.3. Отводы.....	39
2.3.4. Уплотнения.....	40
2.3.5. Подшипники.....	47
2.4. Регулирование работы центробежных насосных агрегатов и насосных установок.....	48
2.5. Кавитация в центробежных насосах и насосных установках.....	54
2.5.1. Общие сведения о кавитации и причинах ее возникновения.....	54
2.5.2. Последствия кавитационных воздействий и их минимизация.....	56
2.5.3. Показатели для оценки кавитационных воздействий.....	58
Глава 3. Технологическое проектирование насосных станций систем водоснабжения.....	64
3.1. Системы водоснабжения городов и промышленных предприятий.....	64
3.1.1. Типы систем водоснабжения.....	64
3.1.2. Назначение насосных станций в системах водоснабжения.....	65
3.1.3. Категории надежности насосных станций в системах водоснабжения.....	66

3.2. Определение технологических параметров насосных станций систем водоснабжения.....	70
3.2.1. Определение подачи и полного напора насосных станций I подъема.....	70
3.2.2. Определение подачи и полного напора насосных станций II подъема.....	73
3.3. Выбор количества рабочих и резервных насосных агрегатов для насосных станций систем водоснабжения.....	79
3.4. Выбор способа установки насосных агрегатов для насосных станций систем водоснабжения.....	81
3.5. Расчет и конструирование всасывающих и напорных водоводов и трубопроводов для насосных станций систем водоснабжения.....	86
3.6. Компоновка зданий, сооружений и оборудования насосных станций водоснабжения.....	90
3.6.1. Объемно-планировочные решения для насосных станций систем водоснабжения.....	90
3.6.2. Размещение насосных агрегатов и вспомогательного оборудования на насосных станциях систем водоснабжения.....	92
3.6.3. Выбор подъемно-транспортного оборудования.....	94
3.6.4. Размещение запорной арматуры.....	96
3.6.5. Выбор запорной арматуры.....	96
3.6.6. Размещение обратных клапанов.....	98
3.6.7. Размещение монтажных вставок.....	100
3.6.8. Размещение расходомеров-счетчиков.....	101
3.6.9. Организация мест для обслуживания оборудования и арматуры.....	103
3.6.10. Монтаж трубопроводов.....	103
3.6.11. Устройство сборных (дренажных) приемков.....	104

Глава 4. Технологическое проектирование насосных станций

систем водоотведения.....	105
4.1. Назначение насосных станций в системах водоотведения городов и промышленных предприятий.....	105
4.2. Категории надежности насосных станций в системах водоотведения.....	105
4.3. Выбор количества рабочих и резервных насосных агрегатов для насосных станций систем водоотведения.....	106
4.4. Выбор способа установки насосных агрегатов для насосных станций систем водоотведения.....	108
4.5. Расчет и конструирование всасывающих и напорных трубопроводов и водоводов для насосных станций систем водоотведения.....	108
4.6. Компоновка зданий, сооружений и оборудования насосных станций систем водоотведения.....	114
4.6.1. Объемно-планировочные решения для насосных станций систем водоотведения.....	114

4.6.2. Размещение насосных агрегатов, вспомогательного оборудования, арматуры и трубопроводов на насосных станциях систем водоотведения.....	114
4.6.3. Устройство и оснащение технологическим оборудованием приемных резервуаров для сточных вод.....	115
4.7. Технологическое проектирование насосных станций бытовых сточных вод.....	121
4.7.1. Определение подачи и полного напора насосных станций бытовых сточных вод.....	121
4.7.2. Компоновка зданий насосных станций бытовых сточных вод.....	124
4.7.3. Размещение вспомогательного оборудования на насосных станциях бытовых сточных вод.....	127
4.8. Особенности устройства насосных станций для перекачки малых объемов сточных вод.....	128
<i>Приложение 1. Единицы величин, применяемые в технологическом проектировании систем водоснабжения и водоотведения.....</i>	<i>130</i>
<i>Приложение 2. Множители и приставки для обозначения десятичных кратных и дольных единиц и их наименования.....</i>	<i>133</i>
<i>Приложение 3. Соотношение различных физических единиц.....</i>	<i>134</i>

Предисловие

Вступивший в силу новый федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования 08.03.01 «Строительство»* требует от образовательных учреждений разработки и внедрения образовательных программ, в результате освоения которых у выпускников будут сформированы профессиональные компетенции, основанные на положениях профессиональных стандартов. Одно из обязательных условий успешного достижения этой цели — наличие необходимой учебной литературы.

Сегодня при освоении образовательных программ по направлению подготовки «Строительство» по профилю «Водоснабжение и водоотведение» студенты испытывают недостаток в соответствующей литературе, в частности в литературе, посвященной насосам и насосным станциям. Большинство общеизвестных учебников и учебных пособий по этой тематике издано 20–30 лет назад, и они все еще актуальны, особенно при изучении фундаментальных вопросов транспортирования воды и сточных вод. Однако основы технологического проектирования насосных станций в этой учебной литературе изложены на базе теперь уже устаревших строительных нормативов.

Между тем за последние десятилетия в России введены в действие новые государственные стандарты, нормативно-правовые и нормативно-технические документы, касающиеся насосов и насосных станций. Кроме того, значительно расширилась номенклатура производимого насосного оборудования, стали широко применяться новые средства автоматизации для регулирования параметров работы насосов, изменились архитектурно-строительные решения для насосных станций. За эти годы также было создано разнообразное вспомогательное оборудование, сопутствующее насосам и насосным станциям.

В предлагаемом учебном пособии авторы постарались уделить внимание всем перечисленным вопросам, с тем чтобы восполнить имеющиеся пробелы в учебной литературе по насосам и насосным станциям.

* Бакалавриат по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» [Электронный ресурс] : федер. гос. образовательный стандарт высш. образования : утв. приказом М-ва образования и науки Рос. Федерации от 31.05.2017 г. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

ВВЕДЕНИЕ

Человек давно начал создавать специальные устройства для подъема воды на высоту. Одним из первых механизмов для забора и последующей подачи воды была нория — деревянное колесо с черпаками, частично погруженное в реку и приводимое в движение потоком воды (рис. 1).

При вращении колеса нории вода зачерпывалась из реки, поднималась наверх и переливалась в деревянную емкость, откуда по желобам поступала в акведуки¹ и далее по ним отводилась для орошения полей.

По одной из версий², нории были изобретены около V–IV вв. до н.э. в Индии. К началу I в. до н.э. такие устройства появились в западных странах, во II в. до н.э. получили широкое распространение в Китае, в V в. н.э. — в странах



Рис. 1. Нории³

¹ Акведук (фр. *aqueduc*, от лат. *aqueductus*) — водовод для подачи воды самотеком к местам ее использования из расположенных выше природных источников. Акведуки представляют собой открытые надземные или подземные перекрытые каналы, желоба и т. п.

² *Needham J. Science and civilization in China. L. : The syndics of the Cambr. univ. press, 1965. Vol. 4 : Physics and physical technology, pt. II : Mechanical engineering. P. 356–362.*

³ *Ibid. Fig. 593.*

Восточного Средиземноморья и затем, в XI в. н. э., в странах Северной Африки и Пиренейского полуострова.

В эпоху Античности нории строили диаметром до 12 м. В эпоху Средневековья диаметр норий и соответственно высоту подъема воды удалось значительно увеличить⁴. Так, одна из норий, сохранившихся с X в. н. э. до настоящего времени на реке Оронт в г. Хама (Сирия), имеет диаметр 20 м.

В современном понимании нории не являются насосами⁵. Однако они имеют к насосам прямое отношение, поскольку так же, как и насосы, обеспечивают создание потока воды. Кроме того, с развитием науки и техники водяные колеса, схожие по конструкции с нориями, стали применять в качестве приводов⁶ поршневых насосов, которыми откачивали шахтные (грунтовые) воды при разработке месторождений полезных ископаемых (рис. 2).

Одна из первых конструкций поршневого насоса была разработана более чем две тысячи лет назад александрийским инженером Ктесибием (рис. 3).

Древнеримский архитектор, инженер и теоретик архитектуры Витрувий описывает насос Ктесибия следующим образом:

«1. Теперь следует сказать о водоподъемной машине Ктесибия. Ее делают из меди. В ее основании, на небольшом расстоянии друг от друга, ставят парные цилиндры с трубками, соединяющимися наподобие вилки и сходящимися в сосуд, помещенный посередине. В этом сосуде в верхних соплах трубок делают точно пригнанные клапаны; они, закрывая отверстия сопел, не дают вернуться тому, что было выжато в сосуд вдуванием.

2. Сверху сосуда пригнан колпачок в виде опрокинутой воронки, соединенный с сосудом штырем с пропущенным в нее [воронку] шплинтом, чтобы сила вдуваемой воды не заставила колпачок подняться. Над этим колпачком приложена торчащая кверху трубка, называемая тубой. У цилиндров же, ниже нижних сопел трубок, имеются клапаны, вложенные сверху отверстий, находящихся в их дне.

3. Таким образом, когда гладко выточенные на токарном станке поршни, смазанные маслом и вставленные в цилиндры, приводятся сверху в движение стержнями и рычагами, то они, при закрывании клапанами отверстий, сдавливают находящийся в цилиндрах воздух с водой и толкают воду, вдувая ее давлением через сопла трубок в сосуд, откуда приемный колпачок выдувает ее вверх по

⁴ Noria : Water wheel [Electronic resource] // Encyclopedia Britannica : [website]. URL: <https://global.britannica.com/technology/noria> (date of access: 10.01.2018).

⁵ Насос — машина (механическое устройство), включающая в себя всасывающий и нагнетательный присоединительные патрубки и выступающие части своих валов, предназначенная для создания потока жидкой среды.

⁶ Привод насоса — машина, снабжающая насос механической энергией. Приводом может быть электродвигатель, турбина, гидравлический привод, пневматический привод, двигатель внутреннего сгорания и пр.

трубке, и таким образом вода подается из водоема, стоящего на более низком уровне, в водометы»⁷.

Примерно в тот же период, когда Ктесибием был создан поршневой насос, появился архимедов винт, или кохлея (улитка) (рис. 4).

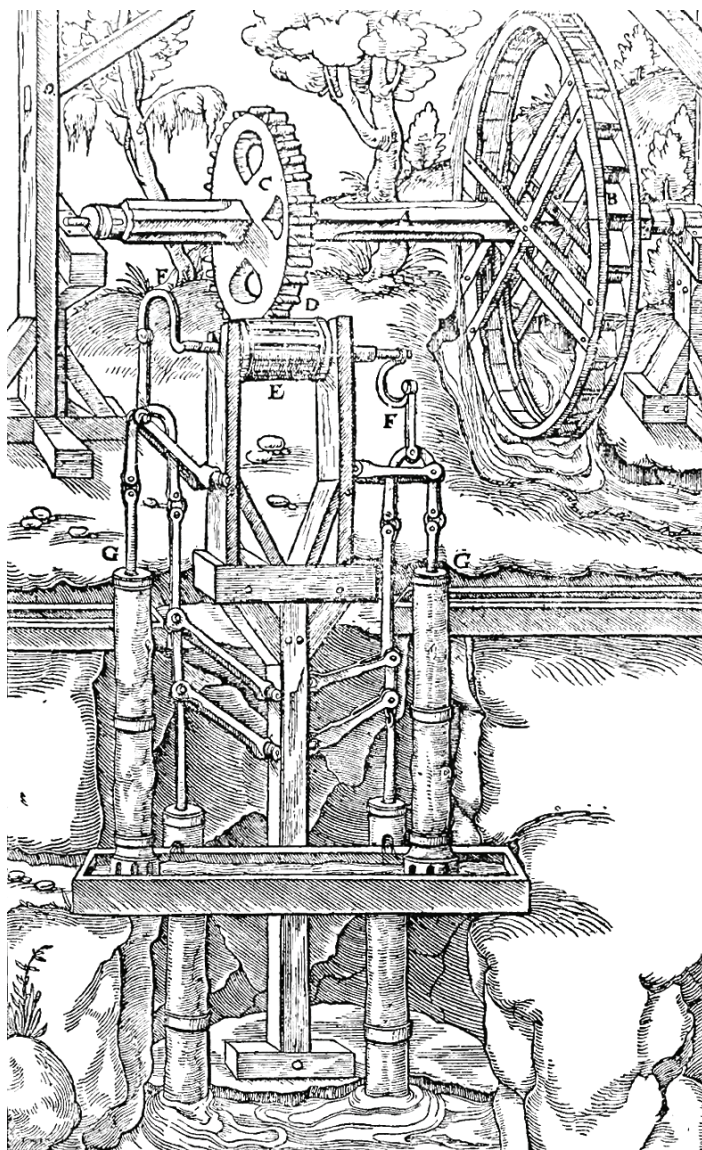


Рис. 2. Устройство поршневого насоса с приводом от водяного колеса⁸

⁷ Витрувий. Десять книг об архитектуре / пер. Ф. А. Петровского. Репринт. изд. М. : Архитектура-С, 2006. С. 196–197.

⁸ Agricola G. De re metallica / transl. by H. C. Hoover and L. H. Hoover. N. Y. : Dover Publications, 1950. P. 189.

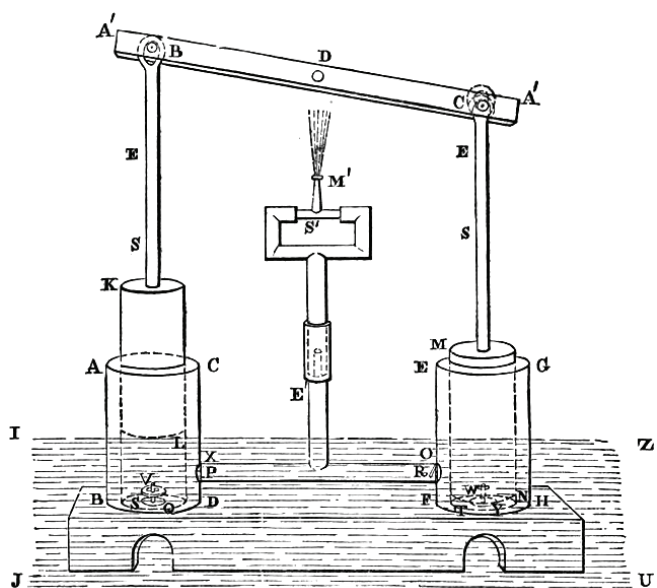


Рис. 3. Устройство поршневого насоса для тушения пожаров⁹

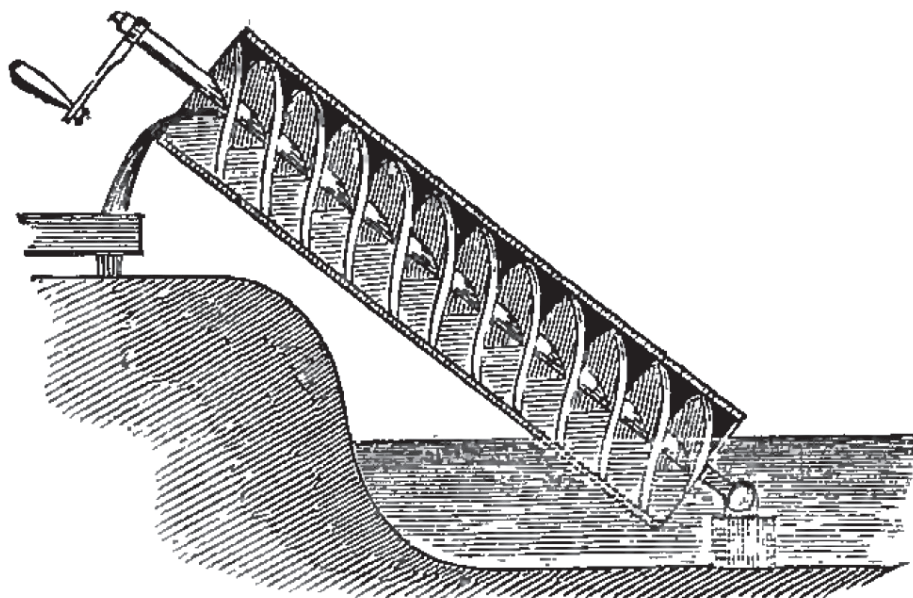


Рис. 4. Устройство архимедова винта¹⁰

⁹ The pneumatics of Hero of Alexandria / transl. for and ed. by B. Woodcroft. L. : Taylor, Walton and Maberly, 1851. P. 44.

¹⁰ Chambers's encyclopedia : A dictionary of universal knowledge. Philadelphia : J. B. Lippincott, 1901. Vol. 1. P. 391.

Архимедовы винты приводились в действие мускульной силой человека или животного. Жители долины Нила с помощью таких винтов подавали воду для орошения полей и осушения земель. К IV в. н.э. сфера применения этого механизма расширилась: архимедовы винты были задействованы в римской системе водоснабжения — одном из главных инженерных достижений Рима. Древнегреческий историк и географ Страбон так описывает водное хозяйство Рима: «... римляне как раз заботились о том, на что греки не обращали внимания: о постройке дорог, водопроводов, клоак, по которым городские нечистоты можно спускать в Тибр. <...> Водопроводы подают такое огромное количество воды, что через город и по клоакам текут настоящие реки. Почти в каждом доме есть цистерны, водопроводные трубы и обильные водой фонтаны»¹¹. Кроме того, римляне использовали архимедовы винты для откачки шахтных (грунтовых) вод при разработке серебряно-свинцовых рудников, находящихся на территории нынешней Испании¹².

Архимедов винт является элементарным прототипом всех современных винтовых и шнековых насосов (см., например, рис. 7, 8 и 18).

Со времени создания первых насосов, обеспечивавших водой мелкие ремесленные производства, прошло много веков, и к настоящему времени насосы используют практически во всех сферах жизнедеятельности человека.

Основное назначение насосов:

- в системах водоснабжения городов — подача воды из источника на сооружения водоподготовки; подача воды из резервуаров для чистой воды сооружений водоподготовки для хозяйственно-питьевых и противопожарных целей; подача воды для производственных нужд промышленных предприятий, расположенных в городах;
- в системах водоотведения городов — перекачка бытовых и поверхностных (дождевых, талых, поливочных) сточных вод, подача их на очистные сооружения;
- в системах теплоснабжения городов и промышленных предприятий — обеспечение циркуляции теплоносителя;
- в дренажных системах городов и промышленных предприятий — откачка грунтовых вод;
- в системах орошения — подача воды для полива земель;
- в строительстве — подача воды для затворения строительных растворов и бетонов и обеспечение транспортирования полученных смесей к месту использования; подача воды для увлажнения бетона, полива территории, мойки строительной техники; откачка грунтовых вод при разработке котлованов и траншей;

¹¹ Страбон. География. Л. : Наука, 1964. С. 220.

¹² Agricola G. De re metallica. P. 149.

- в системах водного хозяйства предприятий энергетики — подача воды из источника в системы производственного, хозяйственно-питьевого и противопожарного водоснабжения; обеспечение циркуляции воды в системах водяного охлаждения конденсаторов турбин; транспортирование воды на различных стадиях ее подготовки к использованию в качестве питательной воды паровых котлов; подача питательной воды в паровые котлы и для других целей;
- в системах водного хозяйства химических и нефтехимических предприятий — подача воды из источника в системы производственного, хозяйственно-питьевого и противопожарного водоснабжения; обеспечение циркуляции воды в оборотных системах водяного охлаждения технологических агрегатов, сырья и промпродуктов; подача воды для очистки технологических газов; подача воды для приготовления химических реагентов и обеспечение транспортирования самих реагентов к месту использования, а также для других нужд;
- в системах водного хозяйства горнорудных предприятий — подача воды из источника в системы производственного, хозяйственно-питьевого и противопожарного водоснабжения; подача оборотной воды для обеспечения процессов обогащения руд; подача воды для приготовления растворов реагентов; подача воды для охлаждения и смазки сальников насосов; обеспечение транспортирования хвостов обогащения в накопители отходов; откачка шахтных, карьерных и подотвальных вод и для других нужд;
- в системах водного хозяйства металлургических комбинатов и заводов — подача воды из источника в системы производственного, хозяйственно-питьевого и противопожарного водоснабжения; обеспечение циркуляции воды в оборотных системах водяного охлаждения технологического оборудования и проката¹³; обеспечение циркуляции воды в оборотных системах водной очистки и охлаждения технологических газов доменных печей, кислородных конвертеров, электросталеплавильных печей и других металлургических агрегатов; подача воды для приготовления растворов, в которых обрабатывается металлическая поверхность проката, и для последующей промывки этого проката, а также для других целей.

¹³ Прокат — полуфабрикаты (слитки, слябы) или изделия (двутавровые балки, швеллеры, листы, трубы и др.) из черных и цветных металлов.

Глава 1

КЛАССИФИКАЦИЯ НАСОСОВ

1.1. Общие положения

В соответствии с ГОСТ ISO 17769–1–2014¹ все насосы делятся на две большие группы:

- объемные насосы;
- динамические насосы.

Объемный насос — насос, в котором жидкая среда перемещается за счет периодического изменения объема занимаемой ею камеры, попеременно сообщаемой с входом и выходом насоса.

Динамический насос — насос, в котором жидкая среда перемещается под силовым воздействием на нее в камере, постоянно сообщаемой с входом и выходом насоса.

1.2. Объемные насосы

Объемные насосы работают по принципу механического вытеснения жидкости твердым телом. Основные типы объемных насосов:

- поступательно-поворотные насосы (зубчатые, винтовые);
- роторно-поступательные насосы (поршневые, плунжерные, диафрагменные);
- роторно-вращательные насосы (шиберные, роторно-поршневые).

Объемные насосы применяют для создания большого напора жидкой среды, который может достигать нескольких сотен метров при сравнительно малом объеме подачи жидкой среды. Эти насосы обладают высоким коэффициентом полезного действия и в большинстве случаев могут работать как самовсасывающие².

¹ ГОСТ ISO 17769–1–2014. Насосы жидкостные и установки : Основные термины, определения, количественные величины, буквенные обозначения и единицы измерения. Ч. 1 : Жидкостные насосы. М. : Стандартиформ, 2015. С. 47.

² Самовсасывание — способность насоса в период пуска откачивать воздух из всасывающего трубопровода, создавая вакуум, необходимый для заполнения трубопровода жидкой средой и включения насоса в нормальную работу.

Поступательно-поворотные насосы

Поступательно-поворотный насос — возвратно-поступательный насос с возвратно-поворотным движением ведущего звена. К насосам этого типа относят зубчатые и винтовые насосы.

Зубчатый насос — роторно-вращательный насос, в котором жидкая среда перемещается в плоскости, перпендикулярной оси вращения рабочих органов. Одной из разновидностей такого насоса является шестеренный насос.

Шестеренный насос — зубчатый насос с рабочими органами в виде шестерен.

Существует два типа шестеренных насосов:

- шестеренные насосы с внешним зацеплением (рис. 5);
- шестеренные насосы с внутренним зацеплением (рис. 6).

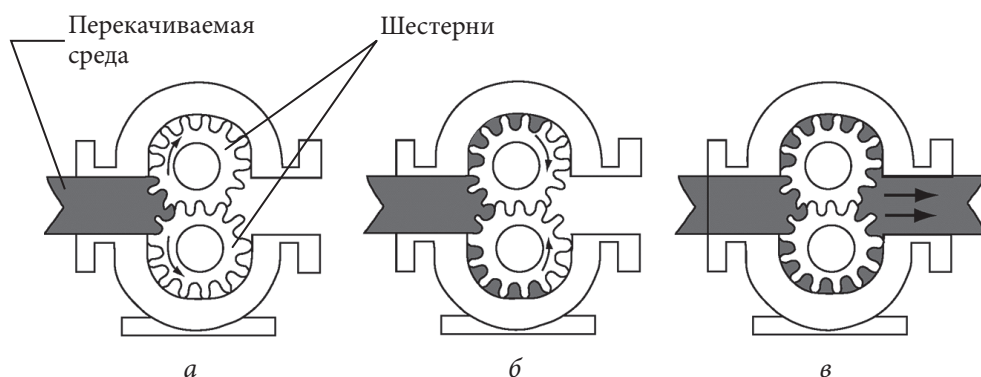


Рис. 5. Устройство и схема работы шестеренного насоса с внешним зацеплением: а — начало процесса всасывания жидкой среды; б — заполнение рабочей камеры насоса жидкой средой; в — начало процесса нагнетания жидкой среды

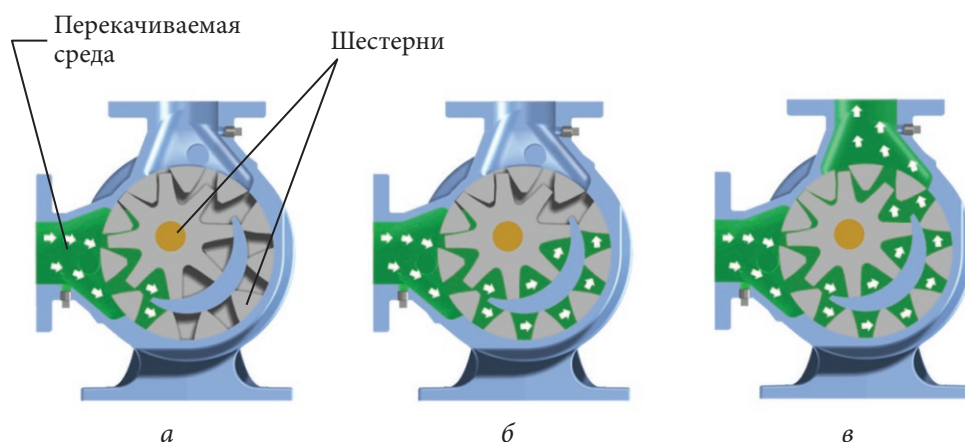


Рис. 6. Устройство и схема работы шестеренного насоса с внутренним зацеплением: а — начало процесса всасывания жидкой среды; б — заполнение рабочей камеры насоса жидкой средой; в — начало процесса нагнетания жидкой среды

Винтовой насос — роторно-вращательный насос с перемещением жидкой среды вдоль оси вращения рабочих органов.

Существуют следующие типы винтовых насосов:

- одновинтовые насосы;
- двухвинтовые насосы;
- трехвинтовые насосы;
- многвинтовые насосы.

Одновинтовой насос — винтовой насос, в котором замкнутая рабочая камера образована винтом (ротором) и неподвижной обоймой (статором) (рис. 7).

Двухвинтовой насос — винтовой насос, в котором замкнутая рабочая камера образована двумя винтами (роторами), находящимися в зацеплении, и неподвижной обоймой (статором).

Трехвинтовой насос — винтовой насос, в котором замкнутая рабочая камера образована тремя винтами (роторами), находящимися в зацеплении, и неподвижной обоймой (статором) (рис. 8).

Многвинтовой насос — винтовой насос, в котором замкнутая рабочая камера образована более чем тремя винтами (роторами), находящимися в зацеплении, и неподвижной обоймой (статором).

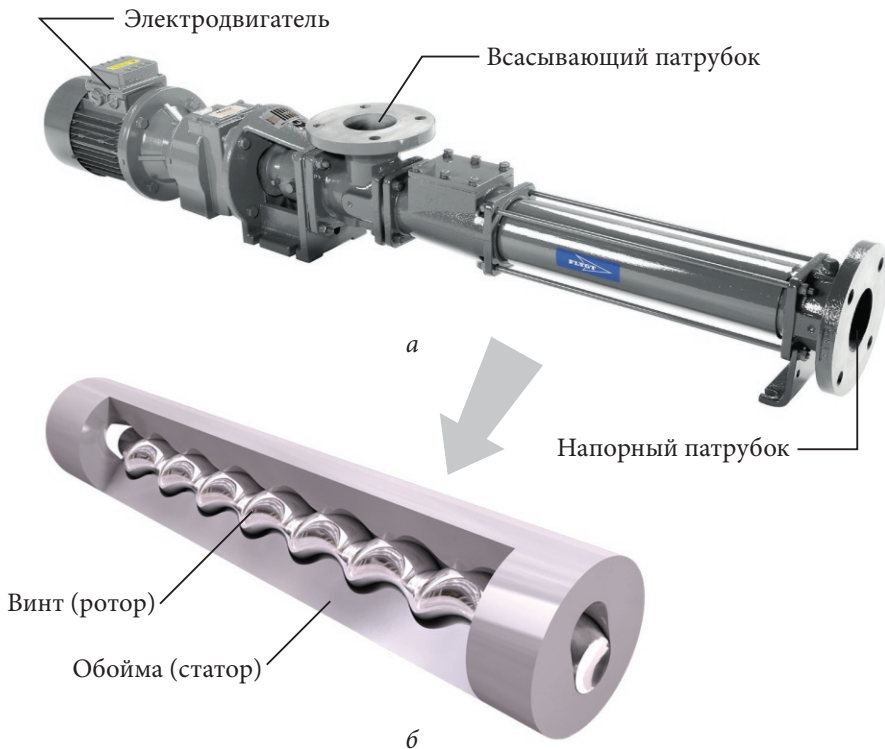


Рис. 7. Одновинтовой насосный агрегат:
а — общий вид; б — рабочие органы



Рис. 8. Устройство трехвинтового насоса

Роторно-поступательные насосы

Роторно-поступательный насос — роторный насос с вращательным и возвратно-поступательным движением рабочих органов. К насосам этого типа относят:

- поршневые насосы, включая плунжерные;
- диафрагменные насосы.

Поршневой насос — возвратно-поступательный насос, у которого рабочий орган выполнен в виде поршня (рис. 9).

При движении поршня из крайнего левого положения вправо за счет разрежения открывается всасывающий клапан, и жидкая среда поступает в цилиндр. Нагнетательный клапан в это время закрыт (прижат к седлу избыточным давлением в напорном трубопроводе). Обратное давление поршня вызывает возрастание давления, вследствие чего всасывающий клапан закрывается, а нагнетательный клапан открывается, и жидкая среда из цилиндра поступает в напорный трубопровод.

Разновидностью поршневых насосов являются плунжерные насосы.

Плунжерный насос — возвратно-поступательный насос, у которого рабочий орган выполнен в виде плунжера (рис. 10).

Диафрагменный насос — возвратно-поступательный насос, у которого рабочий орган выполнен в виде упругой перегородки — диафрагмы (рис. 11).

В таких насосах используется упругость диафрагмы, выполненной из специального материала. При всасывающем ходе плунжера вследствие разрежения, создаваемого в цилиндре, диафрагма выгибается в сторону цилиндра; в рабочей камере также создается разрежение, и жидкая среда всасывается. При обратном ходе плунжера происходит выталкивание жидкой среды в напорный трубопровод.

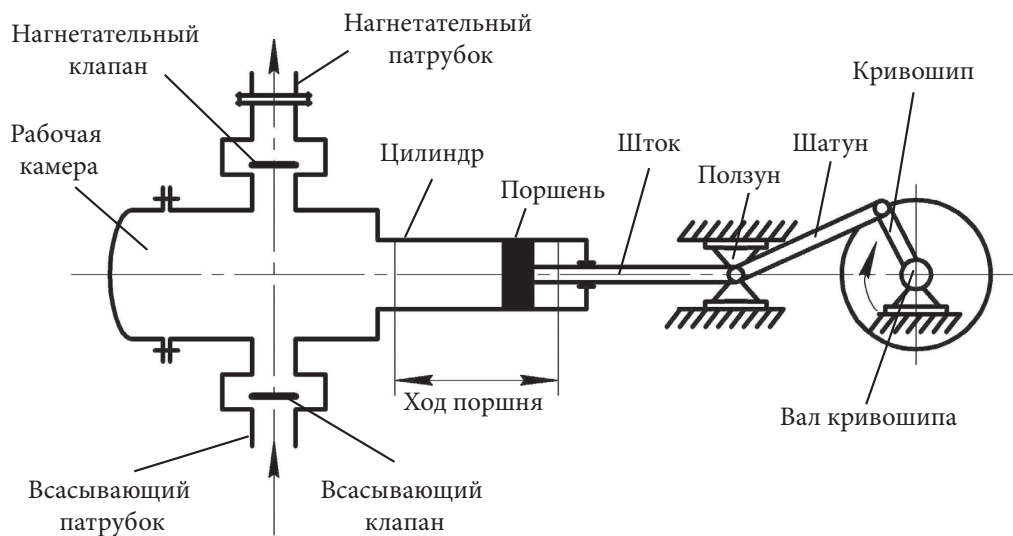


Рис. 9. Устройство поршневого насоса

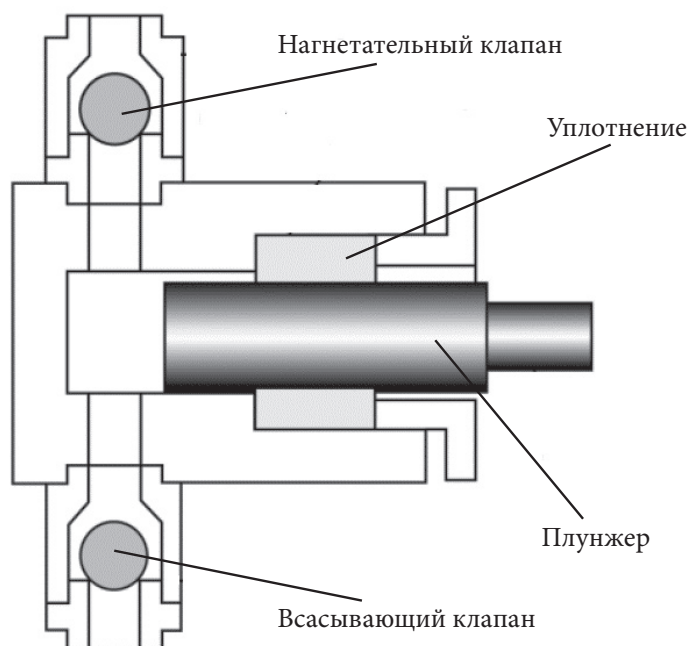
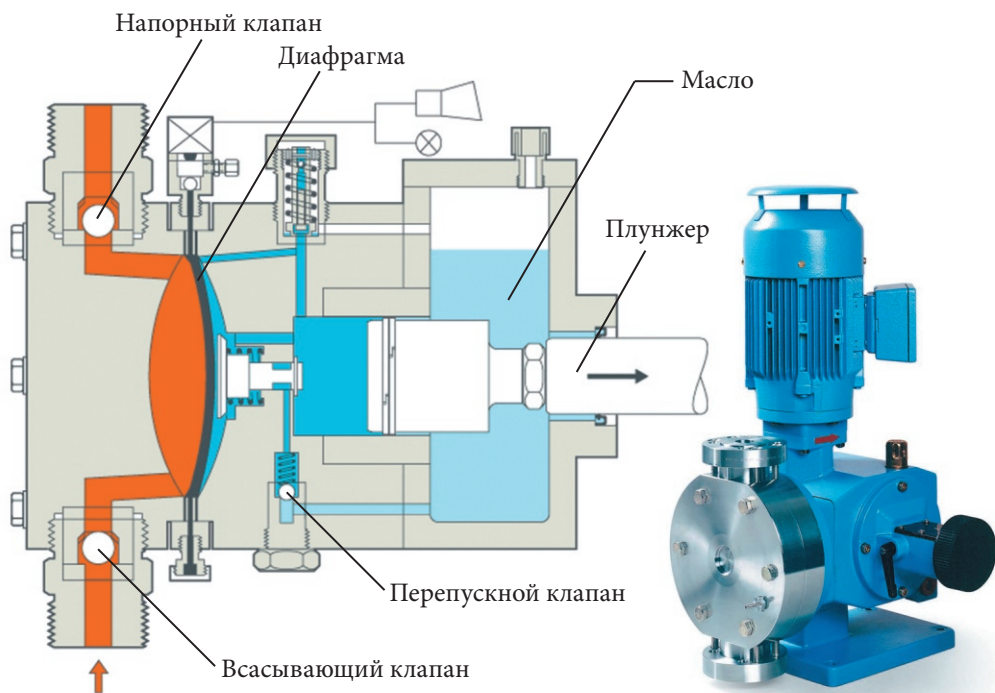
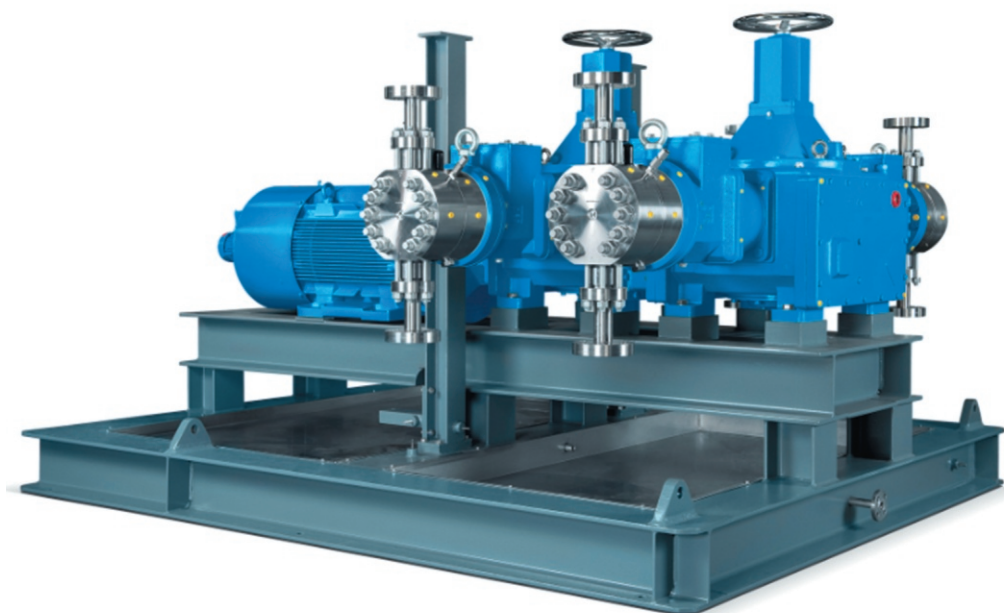


Рис. 10. Устройство плунжерного насоса



а

б



в

Рис. 11. Диафрагменный насос:

а — устройство рабочей камеры; *б* — общий вид насосного агрегата с одной рабочей камерой; *в* — общий вид насосного агрегата с двумя рабочими камерами

Роторно-вращательные насосы

Роторно-вращательный насос — роторный насос с вращательным движением рабочих органов. К насосам этого типа относят шиберные насосы.

Шиберный насос — роторно-вращательный насос с рабочими органами в виде шиберов. Существует два типа таких насосов:

- фигурно-шиберные насосы;
- пластинчатые насосы (рис. 12).

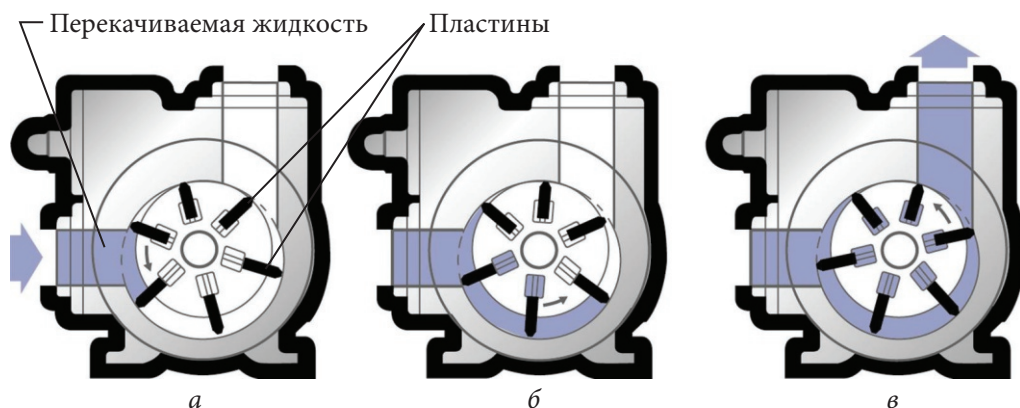


Рис. 12. Устройство и схема работы пластинчатого насоса:

а — начало процесса всасывания жидкой среды; *б* — заполнение рабочей камеры насоса жидкой средой; *в* — начало процесса нагнетания жидкой среды

1.3. Динамические насосы

Динамические насосы по виду сил, действующих на перекачиваемые жидкие среды, делят на следующие группы:

- лопастные насосы;
- насосы трения;
- электромагнитные насосы.

Лопастные насосы

Лопастный насос — машина для передачи механической энергии через вращающееся лопастное колесо к перекачиваемой жидкой среде с целью придания ей вектора скорости и давления.

К лопастным насосам относят:

- центробежные насосы;
- осевые насосы;
- диагональные насосы.

Центробежный насос — лопастный насос, в котором жидкая среда перемещается через рабочее колесо от его центра к периферии.

Современные центробежные насосы и насосные агрегаты³ можно разделить на группы по следующим признакам:

- по расположению оси вращения ротора⁴ насоса — горизонтальные насосные агрегаты (см., например, рис. 13, *а–в*; рис. 15, *а*), вертикальные насосные агрегаты (см. например, рис. 14, *а, б*; рис. 15, *в, д*) и насосные агрегаты, у которых в зависимости от способа их установки на насосной станции ось вращения ротора может быть расположена либо горизонтально, либо вертикально (см., например, рис. 13, *г*; рис. 14, *в*; рис. 15, *б, з*);
- по способу соединения насоса с электродвигателем — консольные насосные агрегаты⁵ (см., например, рис. 13, *а*; рис. 14, *а*) и моноблочные насосные агрегаты⁶ (см., например, рис. 13, *в*; рис. 14, *в*);
- по количеству комплектов рабочих органов — одноступенчатые насосные агрегаты (см., например, рис. 13, 14) и многоступенчатые насосные агрегаты (см., например, рис. 15);
- по количеству подводов жидкой среды к рабочим органам насоса — насосы одностороннего входа (см., например, рис. 13, *а, в, з*) и насосы двустороннего входа (см., например, рис. 13, *б*; рис. 14, *б*; рис. 15, *д*);
- по возможности погружения насосного агрегата в перекачиваемую жидкую среду — насосные агрегаты, которые не допускается погружать в перекачиваемую жидкую среду (см., например, рис. 13, *а–в*); полупогружные насосные агрегаты⁷ (см., например, рис. 14, *а*); погружные насосные агрегаты⁸ (см., например, рис. 13, *г*; рис. 15, *б*); насосные агрегаты, которые в зависимости от способа их установки на насосной станции могут быть размещены либо без погружения, либо с погружением в перекачиваемую жидкую среду (см., например, рис. 13, *г*; рис. 15, *б*).

³ Насосный агрегат — устройство, состоящее из насоса и привода совместно с элементами трансмиссии, опорной плитой и другим вспомогательным оборудованием.

⁴ Ротор — узел насоса, представляющий собой вал с установленными на нем рабочим колесом (колесами), защитными втулками и другими закрепленными на валу деталями.

⁵ Консольный насосный агрегат — насосный агрегат, у которого рабочее колесо закреплено на консольном участке вала насоса. При этом соединение вала насоса с валом электродвигателя осуществляется специальной муфтой.

⁶ Моноблочный насосный агрегат — насосный агрегат, у которого рабочее колесо насоса закреплено непосредственно на валу электродвигателя. При этом корпус насоса крепится к электродвигателю с помощью фланцевого соединения.

⁷ Полупогружной насосный агрегат — насосный агрегат, который устанавливают с погружением корпуса насоса под уровень перекачиваемой жидкой среды и с размещением электродвигателя над поверхностью этой жидкой среды.

⁸ Погружной насосный агрегат — насосный агрегат, погружаемый под уровень перекачиваемой жидкой среды.

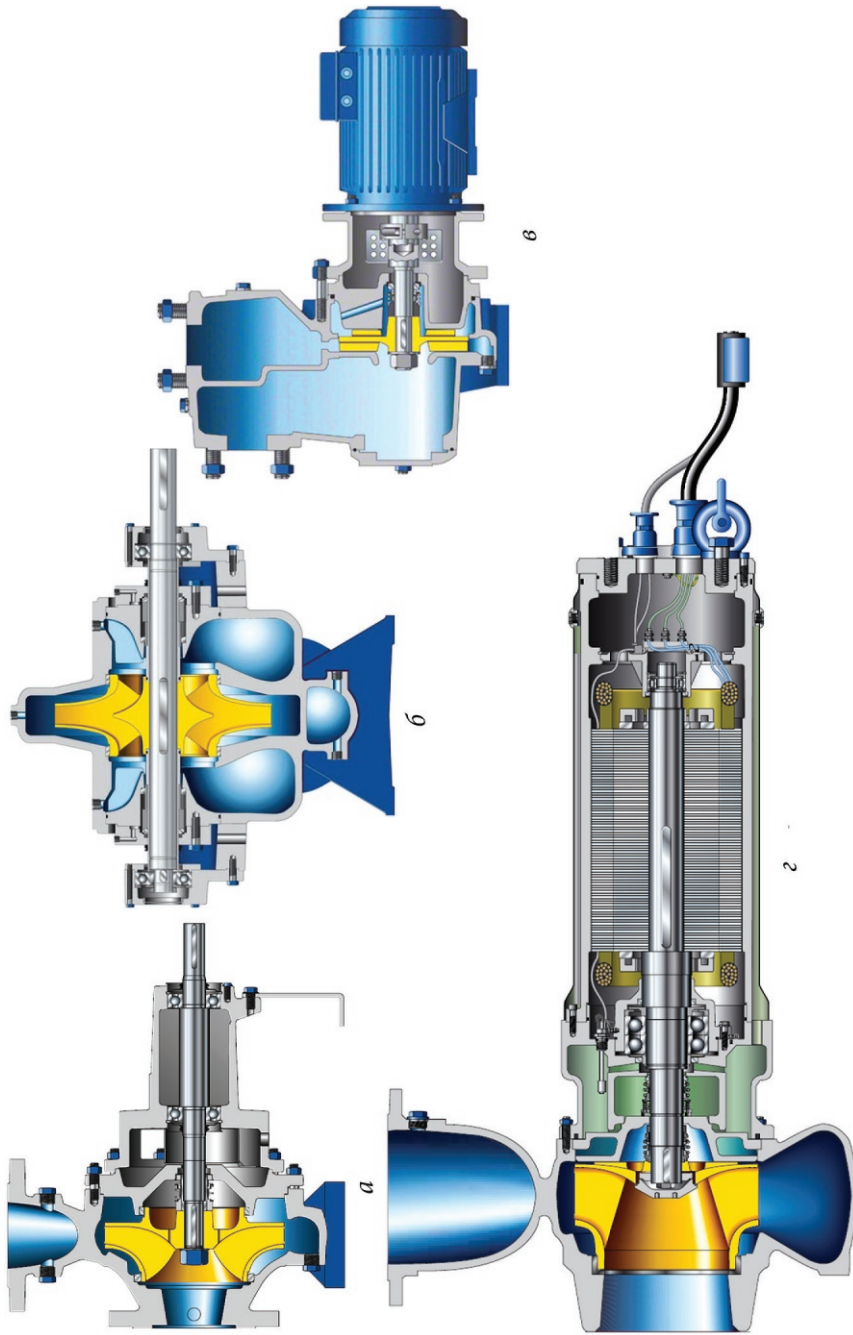


Рис. 13. Устройство некоторых одноступенчатых горизонтальных центробежных насосов и насосных агрегатов:
а — консольный насос одностороннего входа; *б* — насос двустороннего входа; *в* — самовсасывающий моноблочный насосный агрегат;
г — погружной моноблочный насосный агрегат, установленный горизонтально без погружения в перекачиваемую жидкую среду

⁹ Centrifugal pump lexicon [Electronic resource] // KSB : [website]. URL: <https://www.ksb.com/centrifugal-pump-lexicon> (date of access: 10.01.2018).

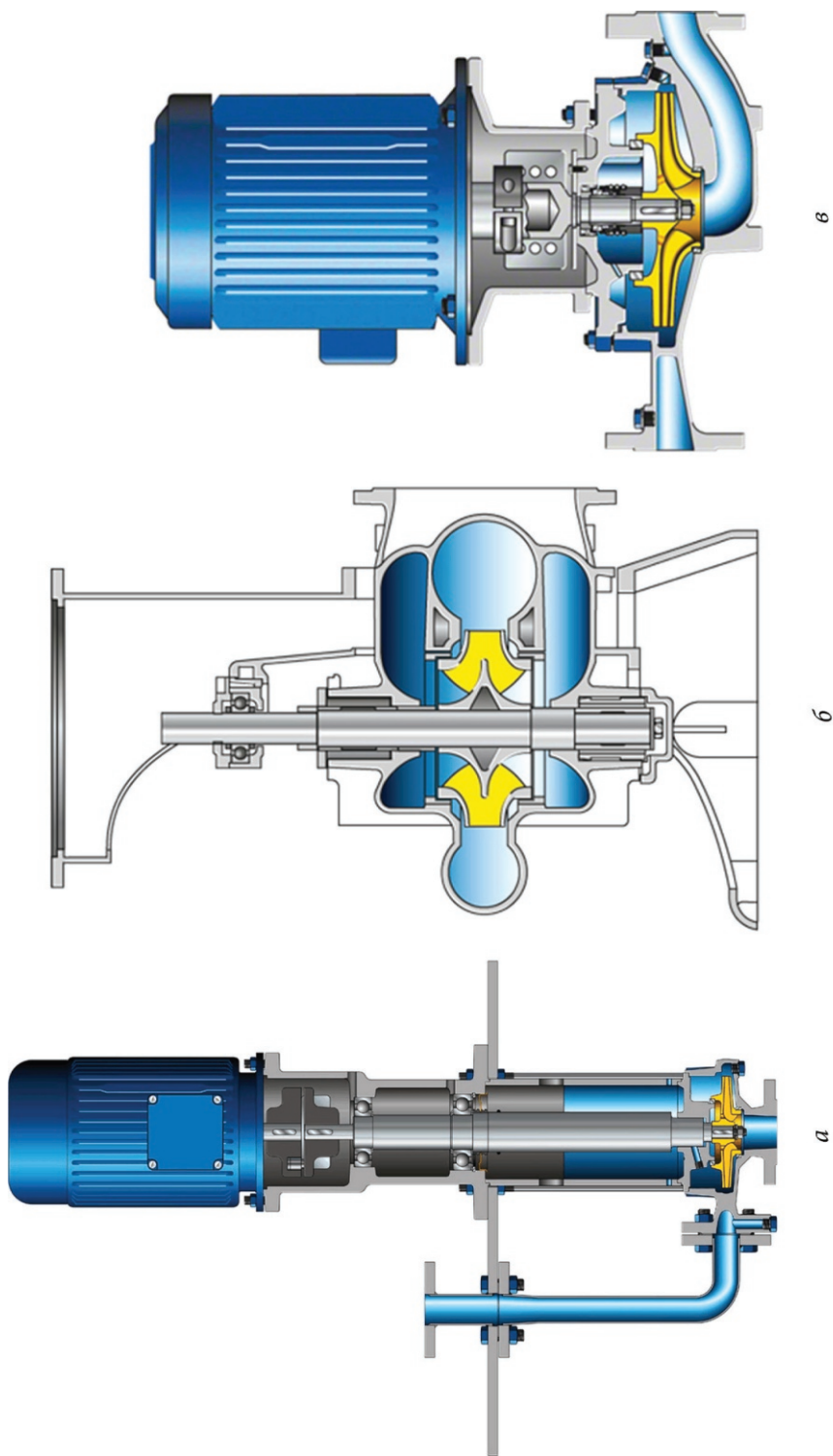


Рис. 14. Устройство некоторых одноступенчатых вертикальных центробежных насосов и насосных агрегатов¹⁰:
 а — консольный погружной насосный агрегат; б — насос двустороннего входа; в — линейный (бесфундаментный)
 моноблочный насосный агрегат, установленный вертикально

¹⁰ Centrifugal pump lexicon.

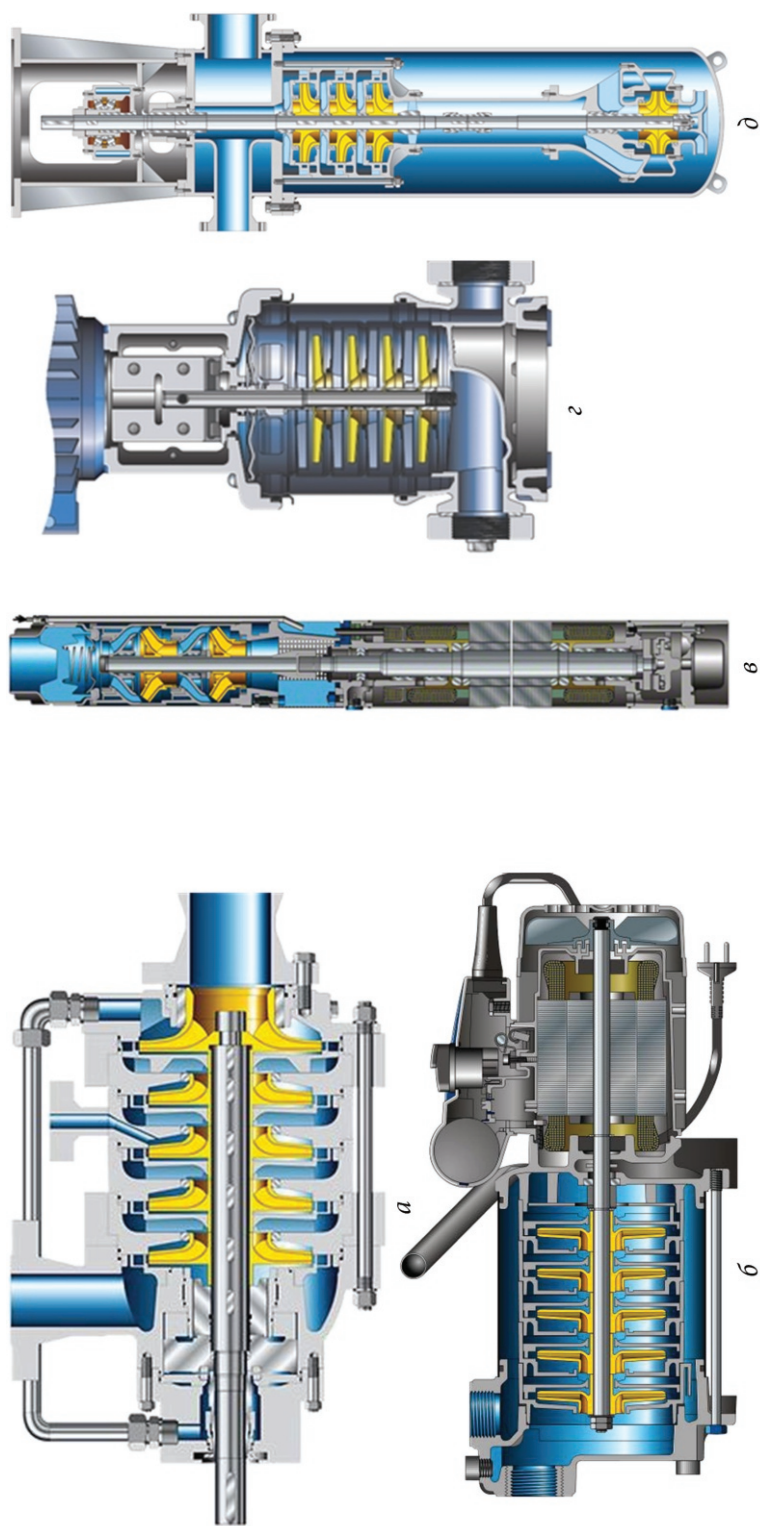


Рис. 15. Устройство некоторых многоступенчатых центробежных насосов и насосных агрегатов¹¹:

а — горизонтальный секционный насос; *б* — погружной моноблочный насосный агрегат, установленный горизонтально без погружения в перекачиваемую жидкую среду; *в* — скважинный вертикальный секционный насосный агрегат погружного типа; *г* — линейный моноблочный насосный агрегат, установленный вертикально;

д — вертикальный конденсационный насос двустороннего входа

¹¹ Centrifugal pump lexicon.

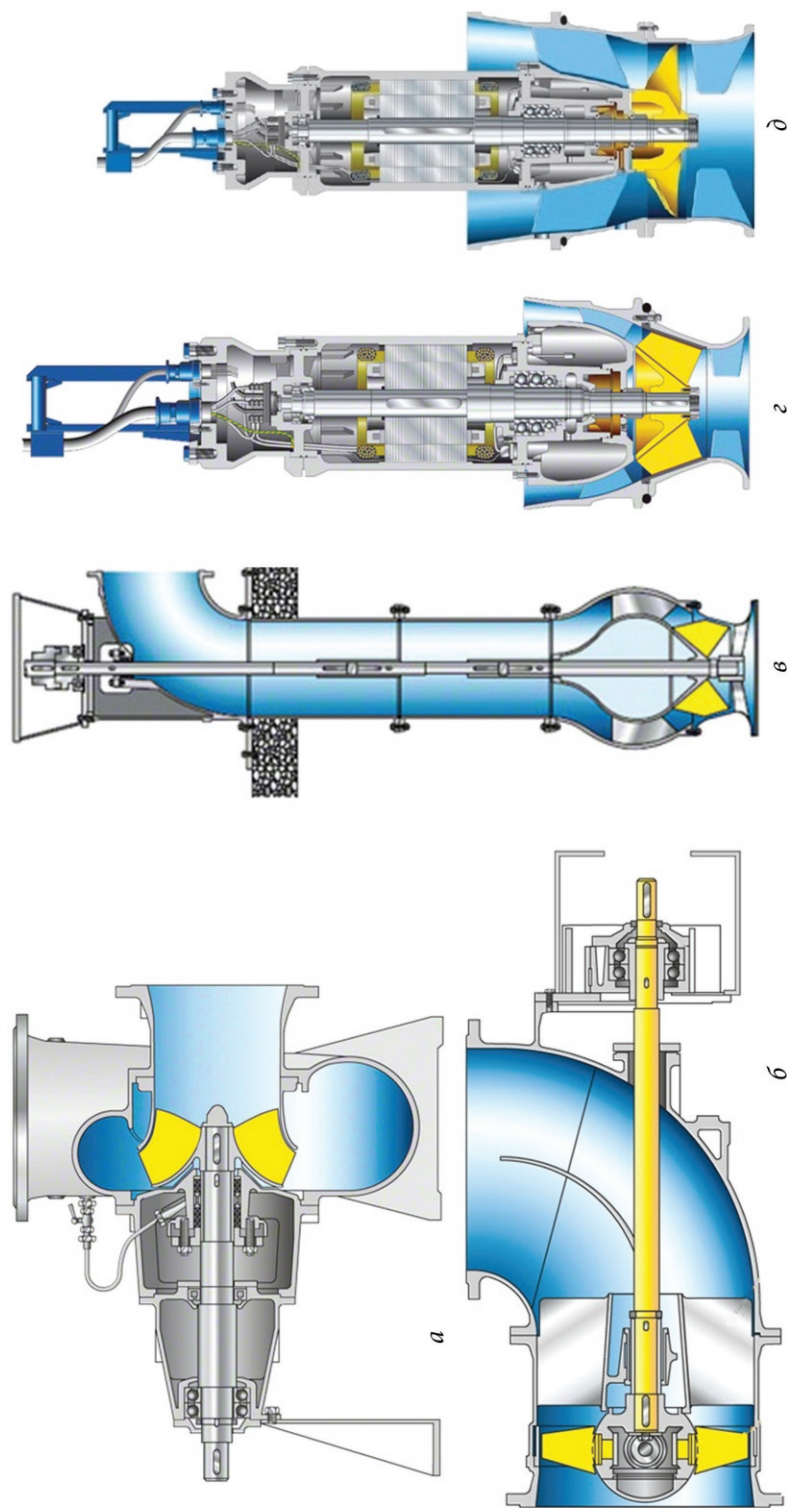


Рис. 17. Устройство некоторых осевых и диагональных насосов и насосных агрегатов¹²:

a — горизонтальный диагональный насос; *б* — горизонтальный осевой насос; *в* — вертикальный полупогружной диагональный насос; *г* — погружной диагональный насосный агрегат; *д* — погружной осевой насосный агрегат

¹² Centrifugal pump lexicon.

Насосы трения

Насос трения — динамический насос, в котором жидкая среда перемещается под воздействием сил трения. К насосам этого типа относят шнековые насосы и вихревые насосы.

Шнековый насос — насос трения, в котором жидкая среда перемещается через винтовой шнек в направлении его оси (рис. 18).

Вихревой насос — насос трения, в котором жидкая среда перемещается по периферии рабочего колеса в тангенциальном направлении (рис. 19).

Электромагнитные насосы

Электромагнитный насос — динамический насос, в котором жидкая среда перемещается под воздействием электромагнитных сил (рис. 20).

Из всех рассмотренных в главе типов насосов самыми распространенными в мире являются центробежные насосы: их продажи занимают около 90 % мирового рынка насосов.

В жилищно-коммунальном хозяйстве и системах водного хозяйства промышленных предприятий центробежные насосы применяют для подачи воды, сточных вод и осадков¹³.

Кроме центробежных насосов, в системах водоснабжения и водоотведения используют и другие насосы:

- винтовые, поршневые, плунжерные, диафрагменные, зубчатые насосы — для подачи осадков на различных стадиях их переработки; для подачи (дозирования) в воду, очищаемую на сооружениях водоподготовки и очистки сточных вод, коагулянтов, флокулянтов и других реагентов;
- осевые насосы — для обеспечения циркуляции воды в оборотных системах водяного охлаждения технологических агрегатов в различных отраслях промышленности (преимущественно за рубежом);
- шнековые насосы — для подачи больших объемов бытовых и поверхностных сточных вод на очистные сооружения (только за рубежом).

¹³ Осадок — многокомпонентная смесь органического, минерального или смешанного состава, образующаяся при очистке сточных вод и водоподготовке в песколовках, отстойниках или других сооружениях.

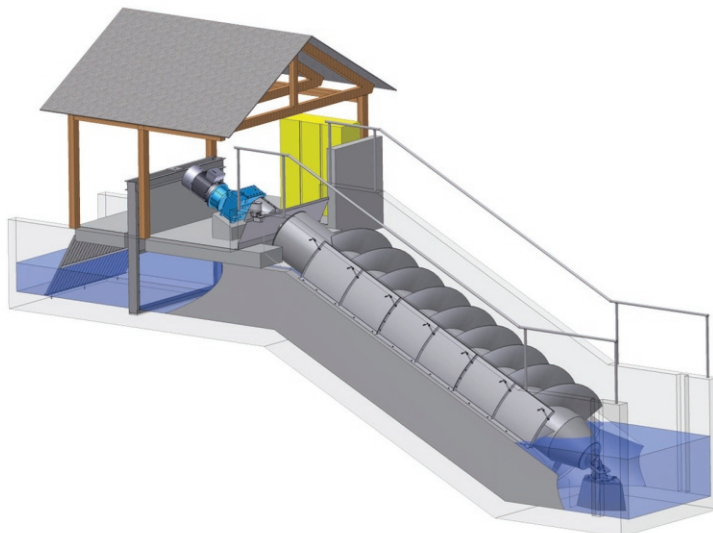


Рис. 18. Устройство шнекового насоса

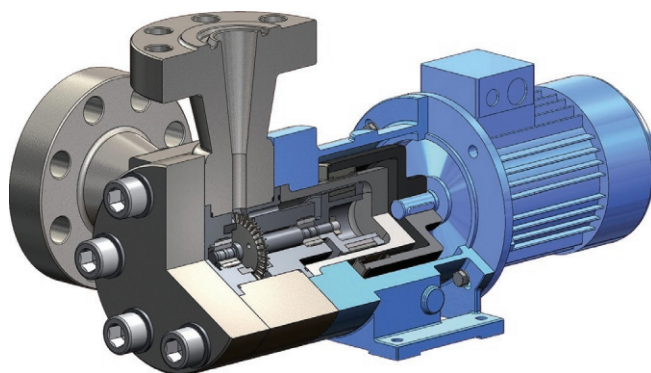


Рис. 19. Устройство вихревого насоса

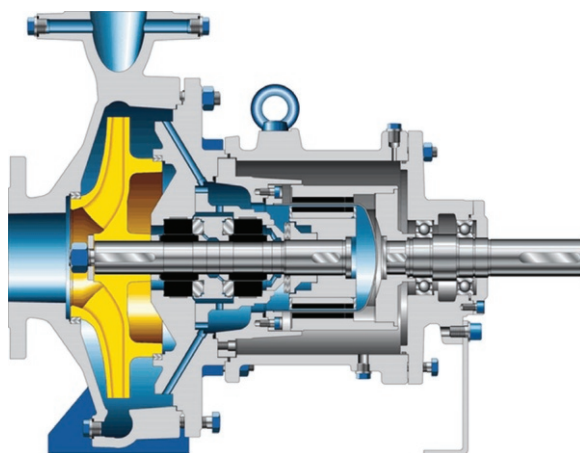


Рис. 20. Устройство электромагнитного насоса

Глава 2

ОСОБЕННОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ, НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ И НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

2.1. Параметры центробежных насосов, насосных агрегатов и насосных установок

В этом параграфе представлены соответствующие основным положениям ГОСТ ISO 17769–1–2014¹ термины и определения; буквенные обозначения и элементы, относящиеся к потокам жидкой среды в динамических насосах и во взаимодействующем с ними оборудовании; единицы измерения физических величин, нашедшие применение в практике использования насосов различной конструкции. Единицы, применяемые в технологическом проектировании систем водоснабжения и водоотведения в целом, и сопутствующая их применению информация приведены в прил. 1–3.

Массовая подача q — масса жидкой среды, проходящая через контрольное сечение, расположенное на выходе из насоса, в единицу времени. Единицы измерения, характеризующие массовую подачу: килограмм в секунду (кг/с), килограмм в час (кг/ч), тонна в час (т/ч) (тонна не является рекомендуемой единицей измерения).

Объемная подача насоса (расход) Q — объем жидкой среды, истекающей из выходной зоны насоса в единицу времени. Единицы измерения, характеризующие объемную подачу насоса: кубический метр в час (м³/ч), кубический метр в секунду (м³/с), литр в час (л/ч), литр в минуту (л/мин). Объемную подачу насоса рассчитывают по формуле

$$Q = \frac{q}{\rho},$$

где ρ — плотность жидкой среды, выраженная в соответствующих единицах измерения как отношение массы к единице объема.

¹ ГОСТ ISO 17769–1–2014. Насосы жидкостные и установки : Основные термины, определения, количественные величины, буквенные обозначения и единицы измерения. Ч. 1 : Жидкостные насосы. М. : Стандартинформ, 2015. V, 64 с.

Полный напор насоса H — разница между полным напором на выходе из насоса и полным напором на входе в насос. Единица измерения, характеризующая напор, — метр (м).

Мощность насоса подразделяется на выходную мощность насоса и потребляемую мощность насоса.

Выходная мощность насоса P_u — полезная механическая энергия, передаваемая жидкой среде во время ее прохождения через насос. Единицы измерения, характеризующие потребляемую мощность насоса, — ватт (Вт) или киловатт (кВт). Выходную мощность насоса рассчитывают по формуле

$$P_u = \rho QgH.$$

Потребляемая мощность насоса P — мощность, передаваемая насосу его приводным механизмом. Единицы измерения, характеризующие потребляемую мощность насоса, — ватт (Вт) или киловатт (кВт).

Коэффициент полезного действия (КПД) насоса η — доля полученной выходной мощности в потребляемой мощности насоса при данных эксплуатационных условиях. Единица измерения, характеризующая КПД насоса, — проценты (%). КПД насоса рассчитывают по формуле

$$\eta = 100 \frac{P_u}{P}.$$

Механический КПД η_m — доля потребляемой мощности насоса P , имеющаяся в наличии после исключения механических потерь мощности при данных эксплуатационных условиях $P_{j,ab}$. Единица измерения, характеризующая механический КПД насоса, — проценты (%). Механический КПД рассчитывают по формуле

$$\eta_m = 100 \frac{P - P_{j,ab}}{P} = 100 \frac{P_a}{P}.$$

Гидравлический КПД η_h — доля потребляемой полезной мощности насоса P_a , составляющая величину выходной мощности насоса P_u , за вычетом потерь на жидкостное трение и потерь, обусловленных утечками перекачиваемой жидкой среды через зазоры между подвижными поверхностями. Единица измерения, характеризующая гидравлический КПД насоса, — проценты (%).

КПД привода η_{mot} — доля входной мощности $P_{mot,u}$ в мощности, потребляемой приводом P_{mot} . Единица измерения, характеризующая КПД привода, — проценты (%). КПД привода рассчитывают по формуле

$$\eta_{mot} = 100 \frac{P_{mot,u}}{P_{mot}}.$$

Общий КПД насосного агрегата η_{gr} — доля выходной мощности P_u в мощности, потребляемой приводом P_{mot} . Единица измерения, характеризующая общий КПД насосного агрегата, — проценты (%). Общий КПД насосного агрегата рассчитывают по формуле

$$\eta_{gr} = 100 \frac{P_u}{P_{mot}}.$$

Характеристики насоса (рис. 21) — графические зависимости от подачи насоса (Q) полного напора насоса (H), потребляемой мощности насоса (P), КПД (η) насоса и надкавитационного напора на входе в насос (NPSH3), при котором из-за кавитации происходит снижение полного напора насоса на 3 % (подробнее о NPSH3 см. п. 2.5.3). При этом графическая зависимость $H = f(Q)$ получила название *рабочая характеристика насоса*.

Графические зависимости $H = f(Q)$, $P = f(Q)$ и $NPSH3 = f(Q)$ определяют экспериментально в условиях завода-изготовителя на специальном испытательном стенде при постоянной частоте вращения рабочего колеса насоса и свойствах перекачиваемой жидкой среды, соответствующих эксплуатационным условиям насоса. Графическую зависимость $\eta = f(Q)$ получают расчетным путем.

Режимы работы насоса, обеспечивающие его экономичную и надежную работу, располагаются в *рабочем интервале* (см. рис. 21).

В реальном производственном процессе на насосных станциях водоснабжения и водоотведения насосные агрегаты работают в составе насосных установок². Подача насосной установки Q_A и полный напор насосной установки $H_{t,A2-1}$ зависят как от рабочей характеристики самого используемого насоса, так и от характеристики той трубопроводной сети, в которую насосный агрегат подает воду.

Подача (объемная подача) насосной установки Q_A — объем жидкой среды, истекающей из напорного трубопровода (трубопроводов) насосной установки в единицу времени. Единицы измерения, характеризующие подачу насосной установки: кубический метр в час ($m^3/ч$), кубический метр в секунду ($m^3/с$), литр в час (л/ч), литр в минуту (л/мин).

Полный напор насосной установки $H_{t,A2-1}$ — разница между полным напором на выходной стороне насосной установки и полным напором на входной стороне насосной установки. Единица измерения, характеризующая полный напор насосной установки, — метр (м).

² Насосная установка — конструкция, включающая один или несколько насосных агрегатов, опорные части, фундаменты, трубопроводы, запорно-регулирующую арматуру, контрольно-измерительную аппаратуру, оборудование управления и защиты.

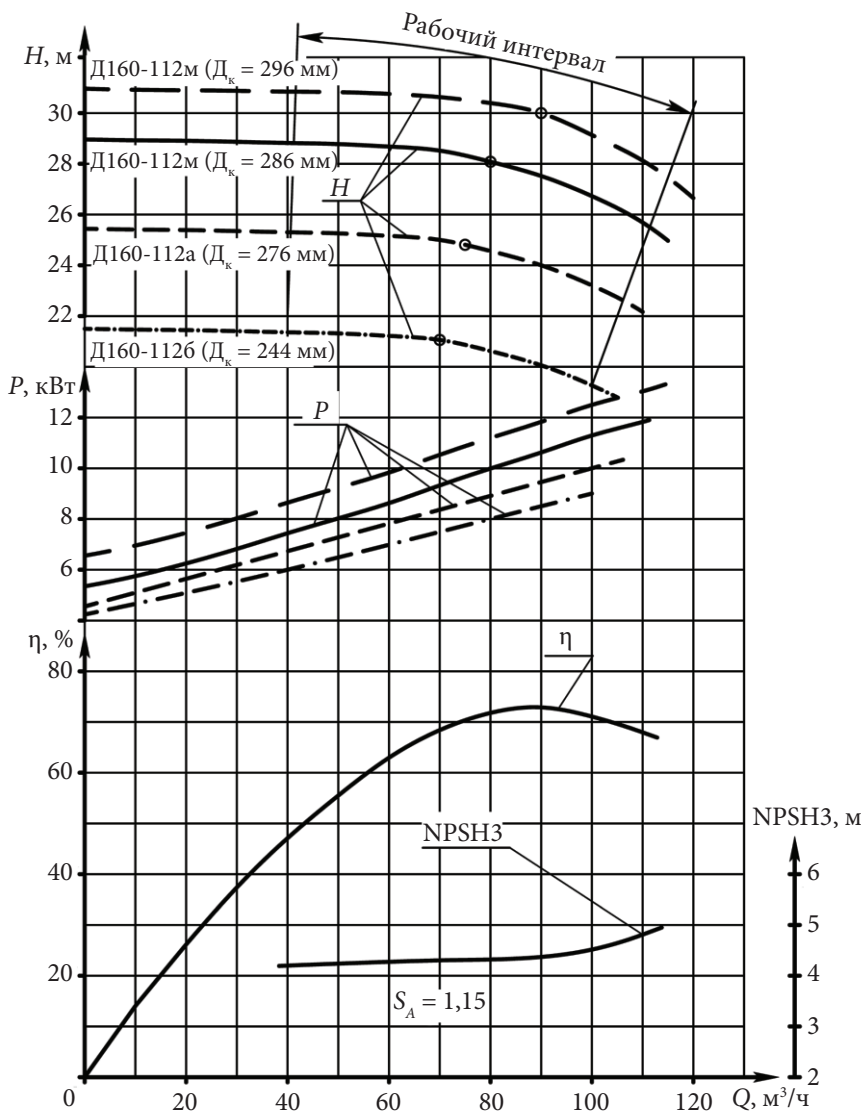


Рис. 21 Характеристики центробежного насоса Д 160–112³:

D_k — диаметр рабочего колеса насоса; H — рабочая характеристика насоса;
 P — характеристика потребляемой мощности насоса; η — характеристика КПД насоса; NPSH_3 — кавитационная характеристика насоса; S_A — коэффициент кавитационного запаса

³ Составлено по: ГОСТ ISO 17769–1–2014. Насосы жидкостные и установки; Насосы центробежные двустороннего входа типа Д и агрегаты электронасосные на их основе [Электронный ресурс]: рук. по эксплуатации / АО «ГМС ЛИВГИДРОМАШ». [Б. м., б. г.]. С. 44. URL: http://www.hms-livgidromash.ru/upload/iblock/1b9/pasport_rukovodstvo_nasos_d_n03.3.302.00.00.000.pdf (дата обращения: 10.01.2018).

Значения Q_A и $H_{t,A_{2-1}}$ определяются *рабочей точкой* — точкой пересечения характеристики насоса и характеристики трубопроводной сети (рис. 22). Эта точка выражает сохранение энергетического (по полному напору) и материального (по подаче) балансов и определяет единственно возможный режим работы насоса в составе данной насосной установки при определенном значении потерь гидравлического напора в трубопроводной сети.

- Рабочую точку и значения Q_A и $H_{t,A_{2-1}}$ определяют в следующем порядке:
- строят характеристику центробежного насоса (нескольких насосов)
 $H = f(Q)$;
 - строят характеристику трубопроводной сети, для чего задаются несколькими произвольными значениями подачи насосной установки и рассчитывают соответствующие им значения полного напора;
 - через полученные промежуточные точки строят график и на пересечении построенного графика и характеристики центробежного насоса находят рабочую точку и значения Q_A и $H_{t,A_{2-1}}$.

В общем случае полный напор насосной установки определяют по формуле

$$H_{t,A_{2-1}} = z_{A_2} - z_{A_1} + \frac{p_{A_2} - p_{A_1}}{\rho g} + \frac{U_{A_2} - U_{A_1}}{2g} + H_{J_{1-A_1}} + H_{J_{2-A_2}},$$

где z_{A_1} и z_{A_2} — высота точки замера давления на входе и на выходе насосной установки над плоскостью сравнения⁴ соответственно, м; p_{A_1} и p_{A_2} — давление в точке замера на входе и на выходе насосной установки соответственно, Па; ρ — плотность жидкой среды, кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с²; U_{A_1} и U_{A_2} — средняя скорость на входе и на выходе насосной установки соответственно, м/с; $H_{J_{1-A_1}}$ и $H_{J_{2-A_2}}$ — сумма гидравлических потерь напора по длине и на преодоление местных сопротивлений во всасывающем и в напорном трубопроводах соответственно, м.

В практике значениями скоростного напора ($U_{A_1}/2g$; $U_{A_2}/2g$) обычно пренебрегают. При этом если $p_{A_1} \neq p_{A_2}$ (см. на рис. 23 и 24 резервуары Б, В, Д), то полный напор насосной установки может быть определен по формуле

$$H_{t,A_{2-1}} = z_{A_2} - z_{A_1} + \frac{p_{A_2} - p_{A_1}}{\rho g} + H_{J_{1-A_1}} + H_{J_{2-A_2}}.$$

Если $p_{A_1} = p_{A_2}$ (см. на рис. 23 и 24 резервуары А и Г при атмосферном давлении p_{amb}), то полный напор насосной установки может быть определен по формуле

$$H_{t,A_{2-1}} = z_{A_2} - z_{A_1} + H_{J_{1-A_1}} + H_{J_{2-A_2}}.$$

⁴ Плоскость сравнения — горизонтальная плоскость для определения вертикальных отметок (высот) z отдельных точек в жидкости, используемая при решении задач практической гидравлики с применением уравнения Бернулли. Плоскость сравнения проводят произвольно, в зависимости от того, что требуется найти в задаче.

При решении ряда задач иногда бывает необходимо рассматривать полный напор насосной установки $H_{t,A_{2-1}}$ как сумму статического напора насосной установки $H_{stat,A_{2-1}}$ и потерь гидравлического напора в насосной установке H_{J_t} :

$$H_{t,A_{2-1}} = H_{stat,A_{2-1}} + H_{J_t}.$$

Статический напор насосной установки $H_{stat,A_{2-1}}$ рассчитывают по формуле

$$H_{stat,A_{2-1}} = z_{A_2} - z_{A_1} + \frac{p_{A_2} - p_{A_1}}{\rho g}$$

или, если $p_{A_1} = p_{A_2}$ (см. на рис. 23 и 24 резервуары А и Г при атмосферном давлении p_{amb}), по формуле

$$H_{stat,A_{2-1}} = z_{A_2} - z_{A_1}.$$

Величина $H_{stat,A_{2-1}}$ не зависит от подачи насосной установки.

Потери гидравлического напора в насосной установке H_{J_t} рассчитывают по формуле

$$H_{J_t} = H_{J_{1-A_1}} + H_{J_{2-A_2}}.$$

Величина H_{J_t} висит от подачи насосной установки.

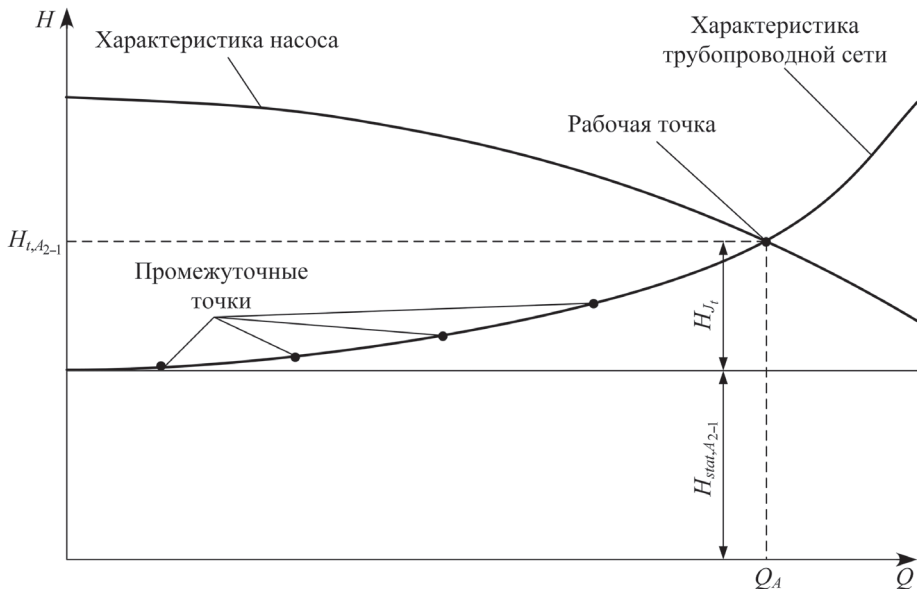


Рис. 22. Расчетная схема для определения подачи и полного напора насосной установки:

Q_A — подача насосной установки; $H_{t,A_{2-1}}$ — полный напор насосной установки;

$H_{stat,A_{2-1}}$ — статический напор насосной установки;

H_{J_t} — потери гидравлического напора в насосной установке

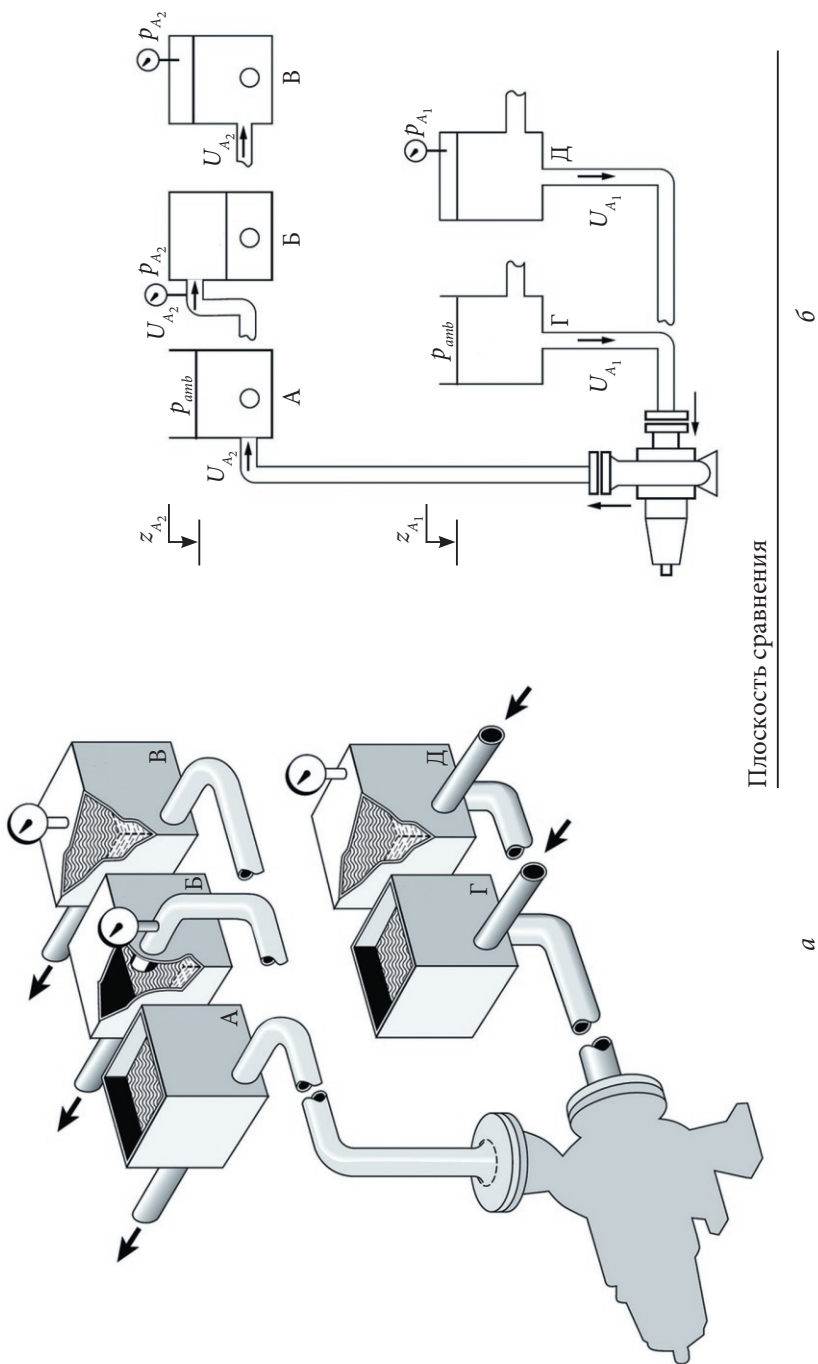


Рис. 23. Схемы насосных установок с центробежным насосом при его расположении выше уровня жидкой среды в резервуаре-источнике: *a* — аксонометрическая схема; *б* — расчетная схема для определения полного напора насосной установки

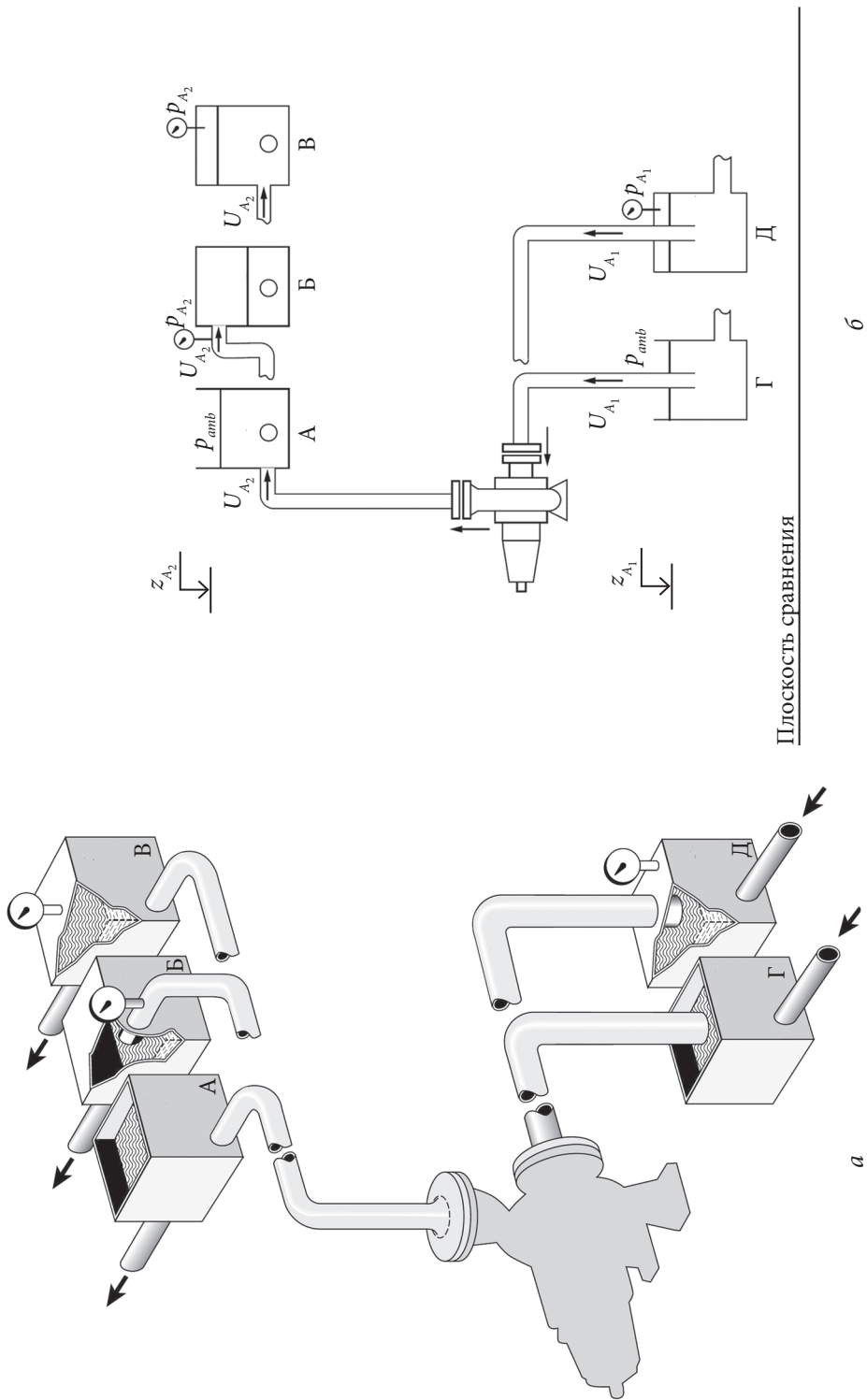


Рис. 24. Схемы насосных установок с центробежным насосом при его расположении ниже уровня жидкой среды в резервуаре-источнике: *a* — аксонометрическая схема; *б* — расчетная схема к определению полного напора насосной установки

2.2. Устройство и принцип действия центробежных насосов

Конструкции центробежных насосов весьма разнообразны, однако все они включают следующие основные элементы: подвод, одно или несколько рабочих колес, отвод, уплотнения и подшипники (рис. 25).

Принцип действия центробежного насоса заключается в следующем. Жидкая среда через подвод попадает в спиралевидный корпус насоса с вращающимся в нем рабочим колесом. В процессе вращения рабочего колеса жидкая среда, находящаяся между его лопатками, благодаря центробежной силе поступает в отвод, а затем выбрасывается из насоса через напорный патрубок. Уходящая жидкость освобождает занимаемое ею пространство, поэтому у входа в рабочее колесо образуется разрежение, а на периферии — избыточное давление. Под действием разности атмосферного давления в резервуаре-приемнике и пониженного давления на входе в насос жидкость постоянно подсасывается в межлопастные каналы рабочего колеса. Таким образом осуществляется непрерывная подача воды, сточных вод или осадка.

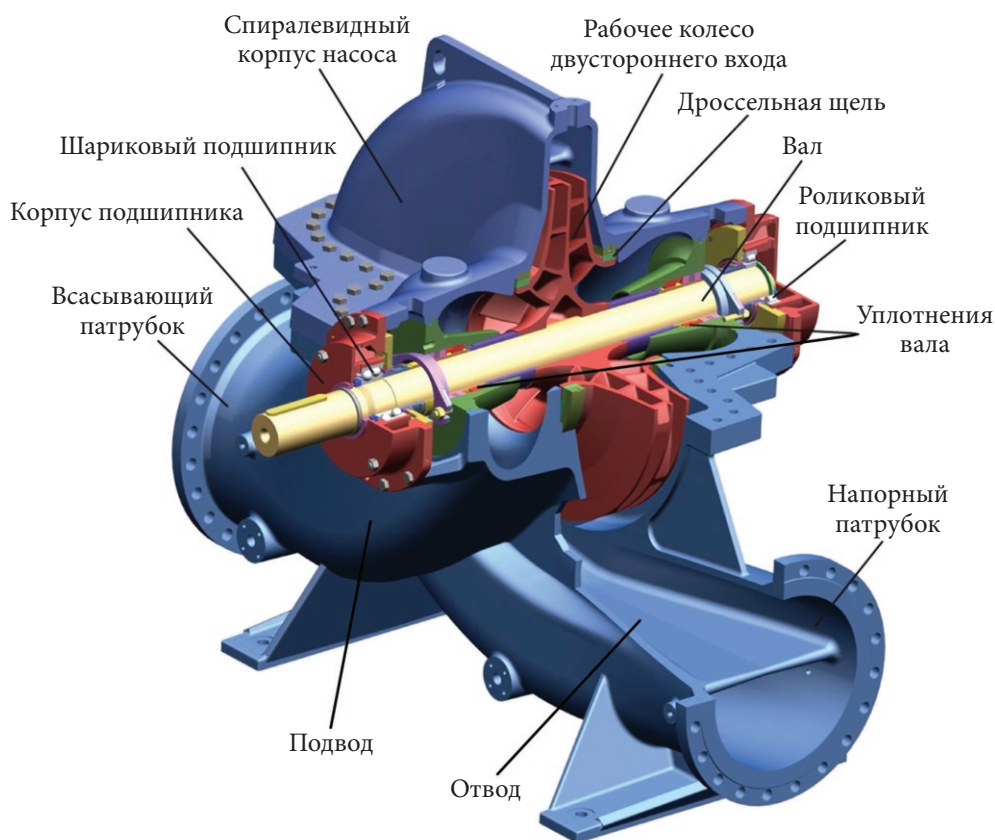


Рис. 25. Устройство центробежного насоса

2.3. Основные конструктивные элементы центробежных насосов

2.3.1. Подводы

Подвод — часть корпуса центробежного насоса, которая служит для уменьшения потерь при входе перекачиваемой жидкой среды в рабочее колесо и улучшения кавитационных качеств насоса, позволяет создать равномерное и осесимметричное поле скоростей, сделать движение жидкости перед рабочим колесом установившимся. Подводы бывают либо осевыми, либо боковыми.

Осевые подводы наиболее распространены в консольных и вертикальных насосах одностороннего входа. При этом наибольшее предпочтение отдают подводу в виде конфузорного патрубка как наиболее простому по конструкции (рис. 26, а).

Боковые подводы применяют в насосах двустороннего входа, а также в большинстве многоступенчатых насосов. Боковые подводы могут быть нескольких типов: спиральные подводы (рис. 26, б), позволяющие получить определенный момент скорости на входе в рабочее колесо насоса; кольцевые подводы (рис. 26, в), не создающие момента скорости, и подводы в виде сужающихся колен (рис. 26, г).

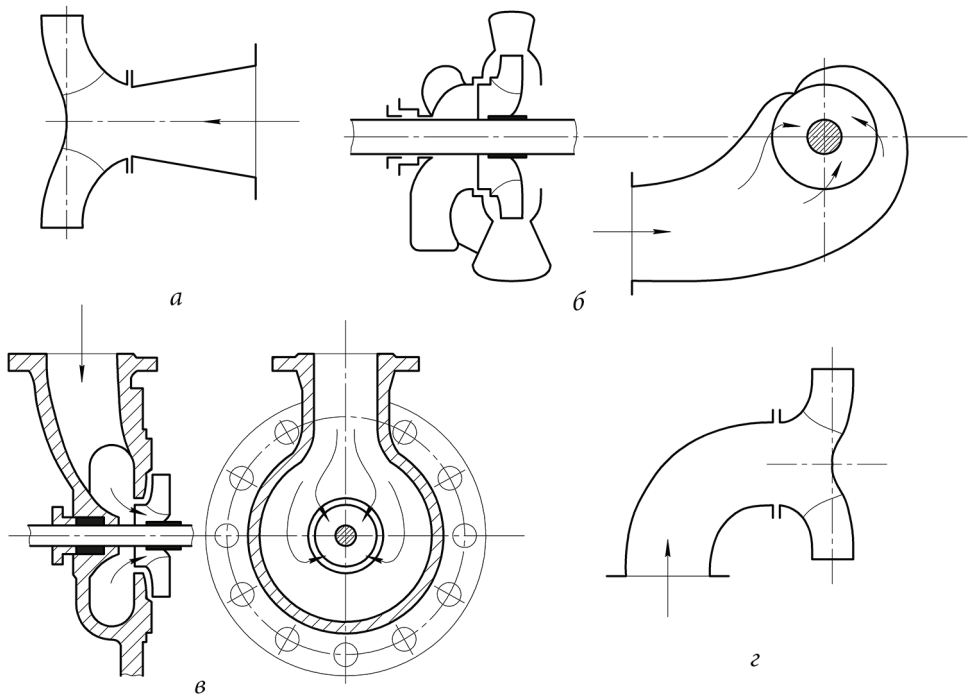


Рис. 26. Схемы подводов центробежных насосов:
а — подвод в виде конфузорного патрубка; б — спиральный подвод;
в — кольцевой подвод; г — подвод в виде сужающихся колен

Спиральный подвод стабилизирует поток, улучшает условия входа его на лопасти рабочего колеса, позволяет снизить относительную скорость перекачиваемой жидкой среды, а следовательно, и потери в каналах рабочего колеса, связанные с диффузорностью. Кольцевой подвод не обеспечивает создание равномерного поля скоростей по обе стороны вала насоса и заметно снижает КПД насоса, зато такой подвод прост по конструкции. Подвод в виде сужающихся колен обеспечивает хорошие гидравлические условия для входа перекачиваемой жидкости в рабочее колесо насоса, но габаритные размеры у насосов с таким типом подвода больше, чем у насосов с кольцевым подводом.

2.3.2. Рабочие колеса

Рабочее колесо предназначено для преобразования механической энергии, получаемой насосом от привода, в гидравлическую энергию и передачи ее перекачиваемой жидкой среде (воде, сточным водам, осадку и др.). Для центробежных насосов изготавливают радиальные рабочие колеса. При этом существует несколько конструкций рабочих колес. Рассмотрим основные из них.

Наиболее распространенным рабочим колесом является *рабочее колесо одностороннего входа закрытого типа*, которое состоит из переднего (внешнего) диска и заднего (внутреннего) диска, переходящего к центру рабочего колеса в ступицу, которой рабочее колесо крепится к валу насоса (рис. 27, а). Между дисками размещены лопатки, имеющие либо цилиндрическую, либо пространственную форму. У рабочих колес водопроводных насосов обычно 6–8 лопаток, у рабочих колес канализационных насосов — 1–4 лопатки.

Рабочее колесо двустороннего входа (см. рис. 25) имеет большую подачу, чем рабочее колесо одностороннего входа того же диаметра.

Рабочее колесо открытого типа используется иногда в небольших насосах, не имеет переднего диска и сопрягается с передней крышкой насоса с малым зазором (рис. 27, б). У насосов с таким рабочим колесом пониженный КПД в связи с увеличением гидравлических потерь напора.

В большинстве случаев рабочие колеса производят литыми, заливкой металла в форму, и только в особых случаях, для крупных насосов, диски и лопатки рабочего колеса изготавливают отдельно литьем или другим способом и потом соединяют с помощью сварки.

Для изготовления рабочих колес в основном используется чугун, который обеспечивает достаточную их прочность, позволяет упростить технологию производства и сократить их стоимость. Однако при вращении в рабочих колесах крупных насосов от действия центробежной силы возникают большие напряжения, способные разрушить металл. Поэтому для таких насосов рабочие колеса изготавливают из обычной углеродистой стали, прочность которой по сравнению с чугуном значительно выше.

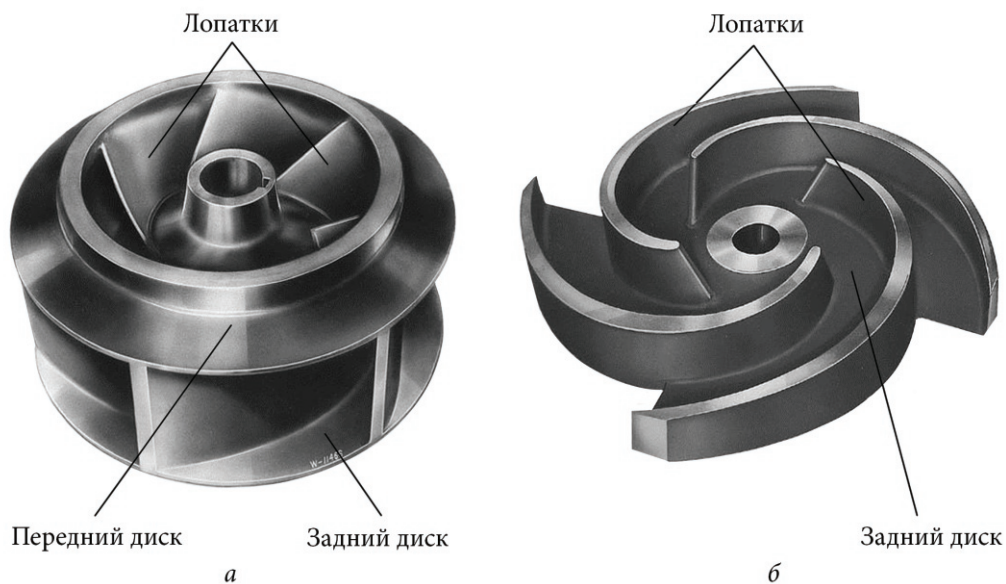


Рис. 27. Некоторые типы рабочих колес для центробежных насосов:
а — рабочее колесо одностороннего входа закрытого типа;
б — рабочее колесо открытого типа

Для специальных насосов, перекачивающих жидкую среду, содержащую абразивные материалы, рабочие колеса выпускаются из марганцовистой и другой легированной стали, обладающей повышенной твердостью. В отдельных случаях, для специальных насосов, поверхность проточной части рабочего колеса футеруется, т.е. облицовывается различными материалами (эластичными, антикоррозийными и др.). Для подачи жидкой среды с повышенными коррозирующими свойствами используются насосы с рабочими колесами из бронзы. В кислотных насосах применяются рабочие колеса из специальных сплавов (железкремниевых, железохромистых, титановых). В последние годы для изготовления рабочих колес широко используются различные пластмассы и полимерные материалы.

2.3.3. Отводы

Отвод — часть корпуса насоса, которая служит в общем случае для сбора жидкой среды, выходящей из каналов рабочего колеса насоса, преобразования кинетической энергии жидкости в потенциальную и подвода жидкости к следующей ступени в многоступенчатом насосе или отвода ее в напорный трубопровод. Отводы бывают кольцевые, спиральные и лопаточные, а также составные.

Кольцевой отвод состоит из кольцевого канала с постоянной или несколько увеличивающейся площадью сечения (рис. 28, *а*). Кольцевые отводы на-

ходят применение преимущественно в насосах, перекачивающих жидкость с взвесями.

Спиральный отвод представляет собой канал со все возрастающими сечениями и заканчивающийся диффузором (рис. 28, б). Такие отводы чаще всего применяют в одноступенчатых насосах, однако не исключается возможность их использования и в многоступенчатых насосах.

Одним из основных недостатков спиральных отводов является то, что в отводах такого типа при нерасчетных режимах работы возникают радиальные силы, приводящие к увеличению прогиба вала насоса в нерасчетном режиме. Так, при уменьшении подачи спиральный отвод работает как диффузор, а при увеличении подачи — как конфузор. В обоих случаях это приводит к тому, что поля скоростей и давлений по выходному сечению рабочего колеса перестают быть осесимметричными.

Для уменьшения радиальной силы спиральные отводы изготавливают с перегородкой. Такой отвод называют *двойной спиральный отвод* (рис. 29).

Лопаточный отвод (отвод в виде направляющего аппарата) можно рассматривать как неподвижную круговую решетку, расположенную вокруг рабочего колеса насоса и состоящую из серии каналов, образованных неподвижными лопатками. Лопаточный отвод состоит из двух участков: начального участка со спиральными каналами и конечного участка либо с диффузорными каналами (в одноступенчатом насосе), либо с переводными каналами (в многоступенчатом насосе).

Лопаточные отводы применяют главным образом в многоступенчатых насосах (см., например, рис. 15, а).

В больших насосах иногда используются *составные отводы*, состоящие из комбинации лопаточного отвода либо со спиральным отводом, либо с кольцевым отводом.

Отвод значительно влияет на КПД насоса. Чем совершеннее в гидравлическом отношении его каналы, тем большую часть динамического напора он преобразует в давление. В этом смысле спиральные отводы имеют преимущество перед лопаточными, их каналы выгодно отличаются от каналов лопаточных отводов.

2.3.4. Уплотнения

Для предотвращения утечек перекачиваемой жидкой среды из насосного агрегата в месте, где вал проходит через корпус насоса, размещают уплотнение.

Все существующие уплотнения делятся на две группы. Первая группа — *контактные уплотнения*. Необходимый эффект они обеспечивают за счет контакта с уплотняемыми поверхностями эластичного уплотняющего элемента: кольца, манжеты, прокладки, диафрагмы и т. п. Вторая группа — *бесконтактные уплот-*

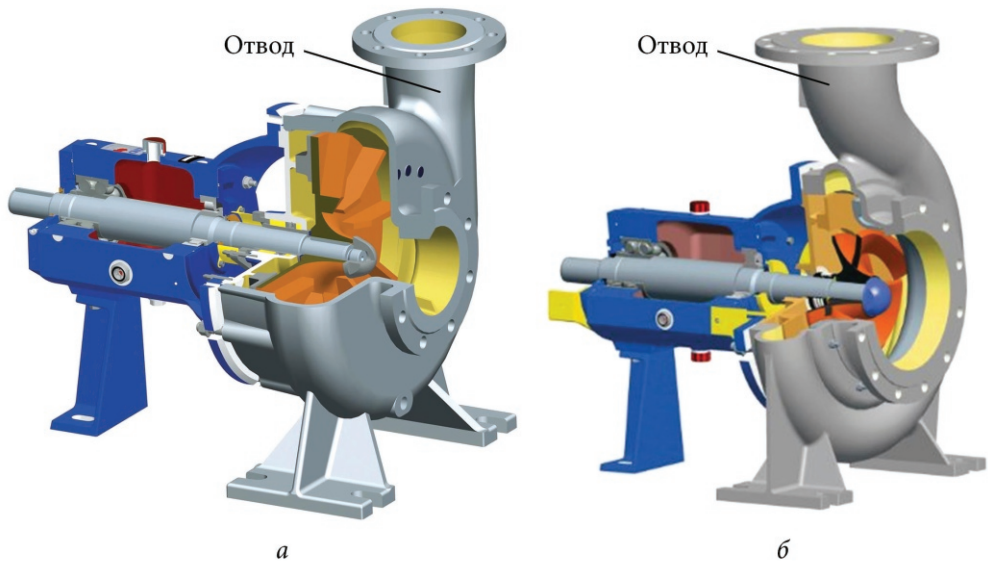


Рис. 28. Устройство отводов центробежных насосов:
а — кольцевой отвод; *б* — спиральный отвод

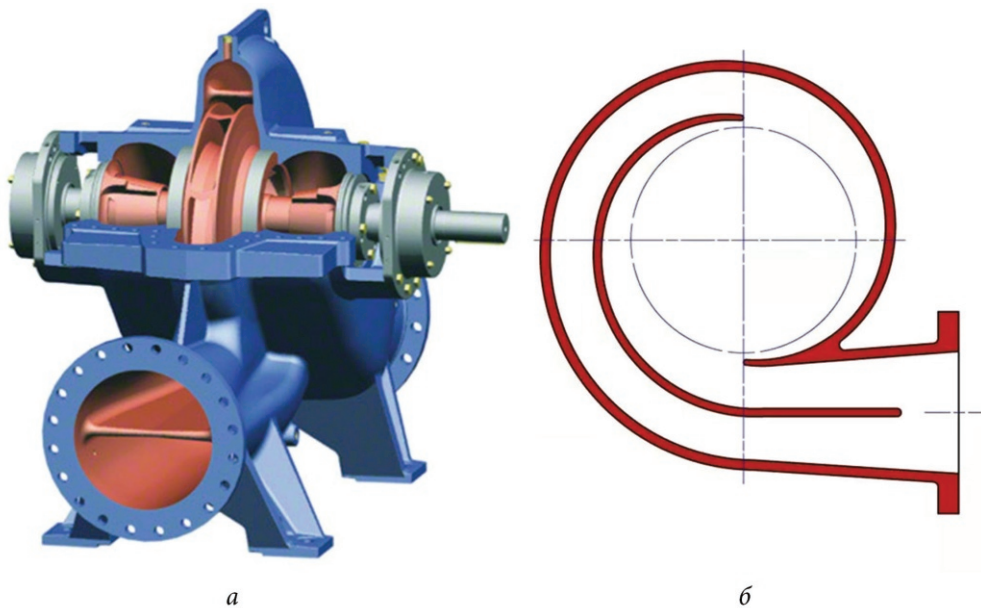


Рис. 29. Двойной спиральный отвод центробежного насоса:
а — устройство насоса с двойным спиральным отводом;
б — схема двойного отвода насоса

нения. Здесь между уплотняемыми поверхностями специально создается малый зазор, через который неизбежна небольшая утечка перекачиваемой жидкой среды. Уплотняющий эффект, ограничивающий величину утечки, у бесконтактных уплотнений достигается за счет возникновения гидравлического сопротивления при течении жидкой среды через малый зазор.

В основном в центробежных насосах используют контактные уплотнения — сальниковое, манжетное, торцовое (механическое), а из бесконтактных уплотнений — лабиринтное. Существуют и другие типы уплотнений, которые наряду с сальниковыми, манжетными, торцовыми (механическими) и лабиринтными уплотнениями применяются в различных устройствах (компрессорах, воздуходушках и др.).

Сальниковое уплотнение (сальник) — это давно известное и простое по конструкции уплотнение с мягкой сальниковой набивкой. Такое уплотнение состоит из уплотнителя — пакета сальниковой набивки; сальниковой камеры, в которой находятся кольца набивки; крышки, предназначенной для периодического поджатия пакета набивки к вращающемуся валу (рис. 30, а).

В результате поджатия сальниковой набивки к валу между ними создается контактное напряжение, обеспечивающее малый зазор и определенную герметичность контакта. Тем самым ограничиваются утечки перекачиваемой жидкости, находящейся под избыточным давлением, через уплотнение в окружающую среду.



Рис. 30. Сальниковое уплотнение центробежного насоса для подачи осадков: а — устройство сальникового уплотнения; б — общий вид сальниковой набивки

Уплотнитель состоит из нескольких отдельных колец, нарезанных из шнура сальниковой набивки (рис. 30, б). Большинство выпускаемых мягких сальниковых набивок представляют собой волокнистую сплетенную основу, пропитанную смазочным материалом с добавлением антифрикционного вещества (графита, талька и др.).

В процессе работы насоса к его сальниковому уплотнению непрерывно подводится вода для смазки и охлаждения. В насосах, подающих неагрессивные жидкие среды (техническую воду, воду питьевого качества и т. п.) в уплотнение подается сама перекачиваемая вода из области повышенного давления в корпусе насоса или из напорного трубопровода. При работе сальникового уплотнения в агрессивных, гидроабразивных и других подобных жидких средах (например, при перекачке осадков) вода в уплотнение подается из системы технического водоснабжения. При этом на трубопроводе, подающем воду в сальниковую камеру, устанавливают манометр и вентиль для регулирования в ней давления жидкой среды.

В зависимости от диаметра валов насосов, типа перекачиваемых (уплотняемых) жидких сред и других факторов потребность в воде для сальникового уплотнения у насосов для подачи чистой воды — 0,1–10 л/ч, у насосов для подачи осадков — от нескольких литров до нескольких кубических метров в час.

Вода после использования для смазки и охлаждения сальникового уплотнения сбрасывается из насоса. Место сброса воды уточняется в каждом конкретном случае. У некоторых типов насосов отработанная вода из сальниковой камеры отводится вместе с перекачиваемой жидкой средой.

С течением времени из сальниковой набивки выделяются жировые и другие вещества, она уплотняется и теряет свою герметичность. По этой причине требуется периодическая подтяжка набивки для обеспечения герметичности уплотнения.

Преимущества сальникового уплотнения — простота конструкции и возможность быстрой замены набивки без разборки насоса. Тем не менее сальниковые уплотнения постепенно вытесняются из конструкций насосов новыми типами уплотнений.

Манжетное уплотнение — армированная однокромочная манжета с пружиной, предназначенная для уплотнения вращающихся валов различных механизмов (рис. 31).

Манжетные уплотнения из-за своей эластичности и упругости не требуют регулярного обслуживания в отличие от сальниковых уплотнений, которые необходимо периодически подтягивать. Однако применение манжетных уплотнений в насосах достаточно жестко ограничивают давление перекачиваемой (уплотняемой) жидкой среды в насосе, частота вращения и диаметр вала насоса. Например, если манжетное уплотнение насоса выдерживает максимальное

давление уплотняемой жидкой среды 0,5 атм, то для вала насоса диаметром 25 мм частота его вращения не может быть более 1300 об/мин, а для вала насоса диаметром 100 мм — более 700 об/мин⁵. Несоблюдение этих условий ведет к выходу из строя манжетного уплотнения. Вследствие названных ограничений манжетные уплотнения в сравнении с другими типами уплотнений не находят широкого применения в насосостроении.



Рис. 31. Устройство манжетного уплотнения центробежного насоса

Торцовое (механическое) уплотнение состоит из трех элементов: двух колец (вращающегося и неподвижного), образующих плоскую пару трения, и упругого элемента, состоящего из пружины и вторичного упругого элемента (сильфона) и обеспечивающего контакт в паре трения. Различие конструкций каждого из перечисленных элементов и особенности их взаимосвязей обуславливают большое разнообразие типов торцовых уплотнений (рис. 32).

Установленные на валу насоса кольца прилегают одно к другому по плоскому торцу. При этом неподвижное кольцо герметично зафиксировано в корпусе насоса или на его валу посредством прокладки, а вращающееся кольцо, вставленное в упругий элемент, имеет свободу угловых и осевых перемещений. Величина зазора между кольцами определяет утечки жидкой среды, находящейся в рабочем пространстве насоса под давлением. Такая конструкция торцового (механического) уплотнения обеспечивает постоянный плотный контакт колец с минимальным зазором во время работы насоса, даже при его вибрации, смещениях его вала, а также при износе самих колец.

⁵ Flitney R. K. Seals and sealing : handbook. 6th ed. Amsterdam [etc.] : Elsevier, 2014. P. 143.

Торцовые уплотнения по сравнению с сальниковыми уплотнениями характеризуются более длительным сроком службы, повышенной надежностью и герметичностью, меньшей энергоемкостью. Такие уплотнения установлены в большинстве современных насосов. За рубежом торцовые уплотнения составляют 90 % всех видов используемых уплотнений.

Лабиринтное уплотнение — уплотнение с щелями, радиальными или осевыми выточками (лабиринтами), резко изменяющими проходные сечения канала для жидкой среды и (или) направления ее потока (рис. 33).

Лабиринтные уплотнения используются не только для ограничения проникновения перекачиваемой жидкой среды через подвижное соединение вала с корпусом насоса, но и для герметизации некоторых деталей внутри самого насоса, например рабочего колеса, чтобы уменьшить переток жидкой среды из выходного патрубка в подводящий. Это актуально для многоступенчатых насосов, в которых отказ от использования уплотнения для рабочего колеса может привести к снижению КПД насоса в несколько раз. Также лабиринтные уплотнения используют для предотвращения утечек смазки из подшипников и механических уплотнений. Этот тип уплотнений применяется и в погружных насосах, так как из-за сложности их монтажа и демонтажа при ремонте важнее даже ценой большей утечки обеспечить меньший износ и продолжительный срок работы насоса.

Поскольку лабиринтные уплотнения бесконтактны, то трение в них намного меньше, чем в других видах уплотнений. Поэтому их можно использовать в качестве дополнительного уплотнителя вала насоса в паре с торцовым или сальниковым уплотнением. Тем самым лабиринтное уплотнение будет снижать нагрузку, приходящуюся на второе, основное уплотнение.

Существуют также два типа насосных агрегатов без уплотнений — герметичные и электромагнитные насосные агрегаты.

Герметичный насосный агрегат — насосный агрегат, у которого полностью исключен контакт подаваемой жидкой среды с окружающей атмосферой. У такого агрегата насос и электродвигатель размещены в одном корпусе. При этом подаваемая жидкая среда охлаждает ротор и статор (рис. 34). Герметичные насосные агрегаты компактны и бесшумны, но имеют низкое значение КПД (не более 50 %). Они нашли свое применение для циркуляции воды в системах теплоснабжения.

Для перекачки химических или токсичных жидких сред применяют *электромагнитные насосные агрегаты с магнитной муфтой* (см. рис. 20). Ведущий магнит муфты соединен с валом электродвигателя, а ведомый — с валом рабочего колеса насоса. Срок службы такой муфты при соответствующей эксплуатации больше срока службы самого насоса, и ее обслуживания не требуется. Стоимость насосных агрегатов с магнитной муфтой на 20–40 % выше стоимости

насосов с уплотнениями. Для таких насосных агрегатов нужны защита от сухого хода и отсутствие твердых частиц в перекачиваемой жидкой среде.



Рис. 32. Некоторые типы торцовых уплотнений центробежных насосов: *а* — торцовое уплотнение с пружиной, находящейся в контакте с рабочей средой (для насосов, подающих воду и сточные воды); *б* — торцовое уплотнение с пружиной, находящейся вне контакта с рабочей средой (для насосов, подающих воду, сточные воды и осадки)

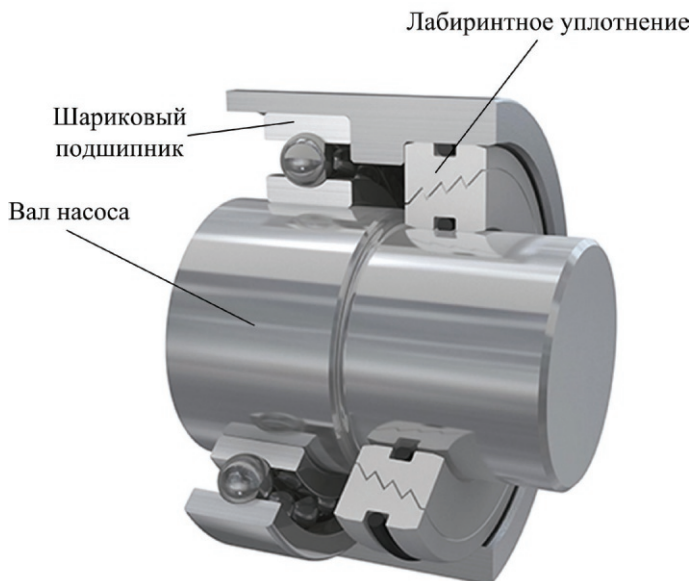


Рис. 33. Устройство лабиринтного уплотнения центробежного насоса

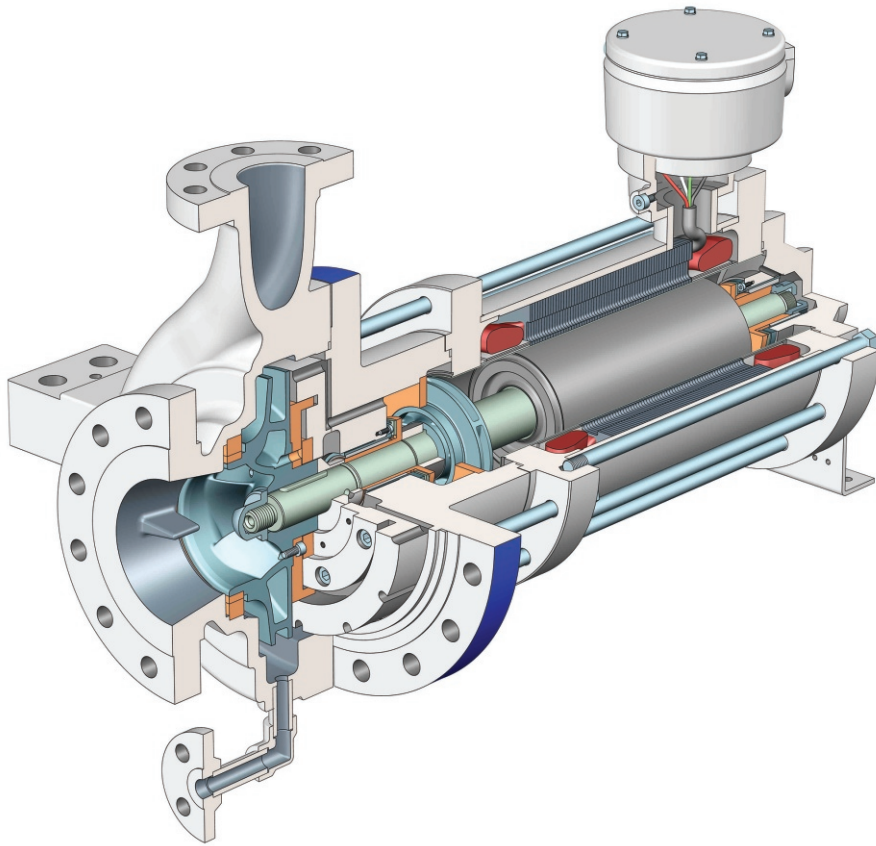


Рис. 34. Устройство герметичного центробежного насосного агрегата

2.3.5. Подшипники

Подшипник — опора или направляющая, которая определяет положение движущихся частей механизма по отношению к другим его частям. В насосных агрегатах подшипники воспринимают радиальные и осевые нагрузки, приложенные к валу насосного агрегата, и передают их на раму, корпус или иные его узлы. При этом они также удерживают вал в пространстве и обеспечивают его вращение с минимальными потерями энергии (места размещения подшипников в насосе и его отдельных узлах см., например, на рис. 25). От качества подшипников в значительной мере зависит КПД, работоспособность и долговечность насосного агрегата.

В зависимости от конструкции насосные агрегаты могут быть оснащены *подшипниками качения* (шариковыми, роликовыми) и *подшипниками скольжения* (рис. 35).

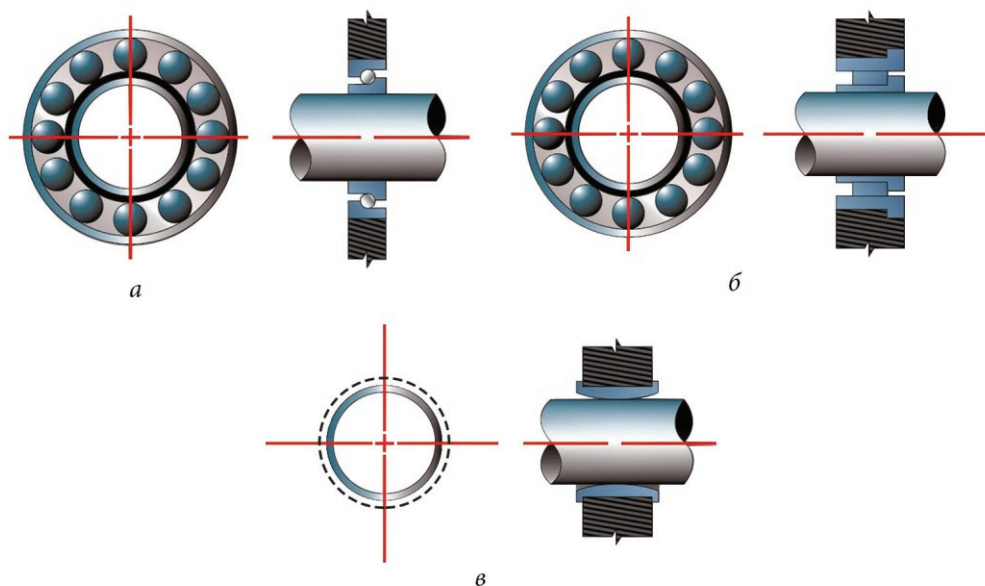


Рис. 35. Типы подшипников:
а — шариковый подшипник; *б* — роликовый подшипник;
в — подшипник скольжения

2.4. Регулирование работы центробежных насосных агрегатов и насосных установок

В городах и на промышленных предприятиях работа центробежных насосных агрегатов в составе насосных станций различного назначения обычно организована следующим образом:

— В системах водоснабжения без регулирующих емкостей насосные агрегаты находятся в работе постоянно, регулирование их подачи и полного напора не производится. В случае если имеет место существенная неравномерность водопотребления, то подача насосных агрегатов так же, как и водопотребление, значительно колеблется в течение суток, достигая периодически минимальных и максимальных значений. Следствием этого является эксплуатация насосных агрегатов далеко не всегда с оптимальными КПД и другими параметрами работы, что приводит к значительным затратам на электроэнергию. Кроме того, из-за скачков свободных напоров⁶ увеличиваются утечки воды из распределительной водопроводной сети, а также возрастает число аварий на трубопроводах.

⁶ Свободный напор — напор у точки водопотребления (санитарно-технического прибора, пожарного гидранта и т. п.).

— В системах водоснабжения с регулирующими емкостями в виде водонапорных башен (напорных резервуаров) один насосный агрегат (группа из нескольких насосных агрегатов) подает воду в распределительную водопроводную сеть⁷ непрерывно с постоянным расходом. Другой насосный агрегат (группа насосных агрегатов) включается в работу периодически согласно установленному графику в часы суток со сравнительно большим водопотреблением, а затем через несколько часов работы, при снижении водопотребления, выключается. Обычно по экономическим соображениям такие графики подачи воды насосной станцией в распределительную водопроводную сеть состоят не более чем из трех ступеней, т. е. допустимо изменять подачу воды включением (выключением) насосных агрегатов до трех раз в сутки. При этом в часы суток со сравнительно малым водопотреблением насосные агрегаты подают воду одновременно и в распределительную водопроводную сеть, и в бак водонапорной башни (напорный резервуар); в часы суток со сравнительно большим водопотреблением вода подается в распределительную водопроводную сеть одновременно из насосной станции и из бака водонапорной башни (напорного резервуара).

— В системах водоснабжения с регулирующими емкостями в виде пневматических водонапорных установок в часы суток со сравнительно малым водопотреблением насосный агрегат подает воду в распределительную водопроводную сеть; одновременно с этим происходит наполнение водой емкости в составе пневматической водонапорной установки. В часы суток со сравнительно большим водопотреблением в распределительную водопроводную сеть воду подает и насосный агрегат, и пневматическая водонапорная установка. Фактически пневматическая водонапорная установка выполняет функцию водонапорной башни (напорного резервуара).

— В системах водоотведения насосные агрегаты включаются в работу при заполнении приемных резервуаров насосных станций сточными водами до определенного уровня, а затем выключаются при снижении уровня сточных вод до минимального значения. Число включений и выключений насосных агрегатов в сутки может достигать 40–50 раз, а в ряде случаев и 100 раз. Такой режим работы для насосных агрегатов с мощностью выше 150–250 кВт недопустим.

Для повышения надежности работы систем водоснабжения и водоотведения необходимо осуществлять регулирование подачи и полного напора насосных агрегатов, установленных на насосных станциях. Это чрезвычайно актуальная задача для всех систем водоснабжения и водоотведения, особенно для тех, в которых отсутствуют регулирующие емкости, а также если на насосных

⁷ Распределительная водопроводная сеть — система трубопроводов с сооружениями (колдцами, камерами и др.) для подачи воды к местам ее потребления.

станциях имеет место значительное число включений и выключений насосных агрегатов в процессе подачи ими воды или сточных вод.

Регулирование подачи и полного рабочего напора насосной установки с центробежными насосными агрегатами можно производить путем изменения параметров работы самой насосной установки, т. е. количественными способами регулирования, либо путем изменения параметров работы входящего в состав этой установки насосного агрегата, т. е. качественными способами регулирования.

Основные *количественные способы регулирования* параметров работы насосной установки:

- установка в сети водоснабжения регулирующих емкостей (водонапорных башен, напорных резервуаров, пневматических водонапорных установок);
- изменение числа одновременно работающих насосных агрегатов;
- применение напорных трубопроводов с перемычками;
- дросселирование (регулирование задвижкой) на напорном трубопроводе или всасывающем трубопроводе насосного агрегата;
- байпасирование (перепуск части расхода воды из напорного трубопровода насоса обратно в резервуар-источник);
- изменение статической составляющей сопротивления трубопроводной сети (H_{stat}) в соответствии с изменением отметок уровня воды в резервуаре-источнике и резервуаре-приемнике.

Основные *качественные способы регулирования* параметров работы насосного агрегата:

- регулирование частоты вращения рабочего колеса насоса;
- изменение диаметра рабочего колеса насоса;
- заточка лопастей на вогнутой стороне рабочего колеса насоса (затыловка).

Возможно и применение *комбинированных способов*:

- дросселирования совместно с байпасированием;
- дросселирования с изменением частоты вращения рабочего колеса насоса.

Рассмотрим подробнее три основных способа регулирования параметров работы насосной установки — дросселирование, регулирование частоты вращения рабочего колеса насоса и изменение диаметра рабочего колеса насоса.

На рис. 36 представлены характеристики насоса и трубопроводной сети *при регулировании параметров работы насосной установки дросселированием* (регулирование задвижкой) на напорном трубопроводе.

При работе насосного агрегата на полностью открытый трубопровод параметры работы насосной установки определяются рабочей точкой А: полному напору соответствует значение $H_{t,A}^A$, подаче — значение Q_A^A . При этом полный напор насосной установки равен сумме статического напора ($H_{stat,A}$) и потерь гидравлического напора (H_f^A).

С уменьшением степени открытия задвижки увеличивается крутизна характеристики трубопроводной сети и рабочей точкой становится точка Б. В этом случае подача насосной установки уменьшается до значения Q_A^B , а полный напор насосной установки возрастает до значения $H_{t,A}^B$. При этом напор в трубопроводе после задвижки снижается на величину ΔH_J .

С увеличением степени открытия задвижки уменьшается крутизна характеристики трубопроводной сети. Вследствие этого подача насосной установки увеличивается, полный напор уменьшается, а напор в трубопроводе после задвижки возрастает.

Таким образом, метод регулирования рабочих параметров насосной установки задвижкой на напорном трубопроводе относительно прост, но неэкономичен, поскольку на преодоление гидравлического сопротивления в прикрытой задвижке требуются дополнительные затраты энергии.

Существует также способ регулирования параметров работы насосной установки дросселированием на всасывающем трубопроводе. Однако этот способ применяют редко, поскольку дополнительное гидравлическое сопротивление

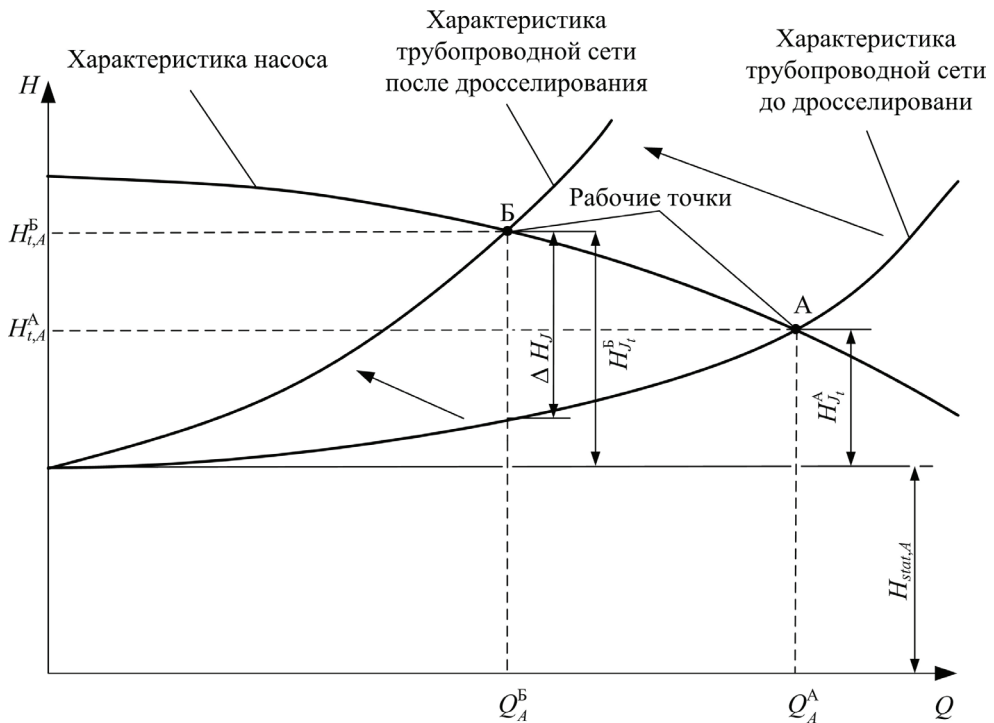


Рис. 36. Регулирование параметров работы насосной установки дросселированием на напорном трубопроводе:

$H_{t,A}^A, H_{t,A}^B$ — полные напоры насосной установки;
 Q_A^A, Q_A^B — подачи насосной установки; $H_{stat,A}$ — статический напор;
 $H_{J_i}^A, H_{J_i}^B, \Delta H_J$ — потери гидравлического напора в насосной установке

во всасывающем трубопроводе, возникающее при уменьшении степени открытия задвижки, может привести к понижению давления перекачиваемой среды на входе в насос и часто — к кавитации.

Наиболее экономичным является *регулирование параметров работы насосной установки путем изменения частоты вращения рабочего колеса насоса*. В современных насосных установках для этих целей чаще всего используют специальные устройства — преобразователи частоты, которые преобразуют неизменные постоянные параметры электрической сети (напряжение, частоту), питающей насосные агрегаты, в изменяемые⁸. Пропорционально изменению этих параметров изменяется частота вращения электродвигателя насосного агрегата, подключенного к преобразователю частоты, и соответственно — частота вращения рабочего колеса насоса, связанного с электродвигателем.

С уменьшением частоты вращения рабочего колеса насоса характеристика насоса перемещается вниз (рис. 37). Рабочей точке соответствует точка Б. При этом подача и полный напор насосной установки уменьшаются до значений Q_A^B и $H_{t,A}^B$.

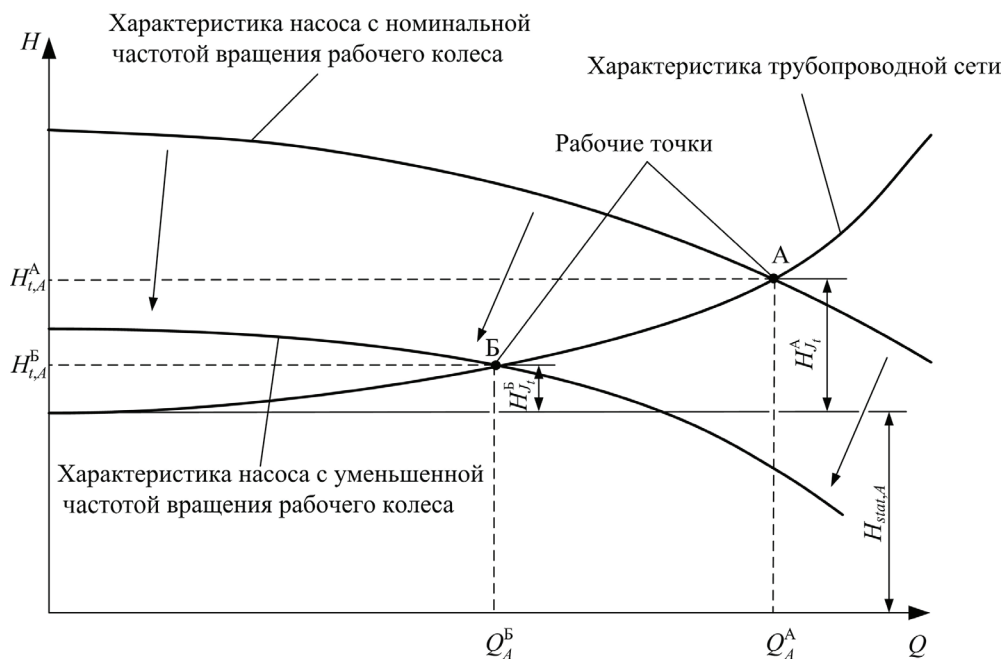


Рис. 37. Регулирование параметров работы насосной установки путем изменения частоты вращения рабочего колеса насоса:

$H_{t,A}^A, H_{t,A}^B$ — полные напоры насосной установки; Q_A^A, Q_A^B — подачи насосной установки; $H_{stat,A}$ — статический напор; H_{Jt}^A, H_{Jt}^B — потери гидравлического напора в насосной установке

⁸ Подробнее см.: Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый привод насосных установок. М. : Машиностроение, 2013. С. 67–93.

Изменение частоты вращения рабочего колеса насоса ведет к изменению всех его параметров работы. При этом изменяется положение характеристик насоса. Пересчет характеристик насоса на другую частоту осуществляют с помощью следующих основных формул:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2,$$

$$\frac{\text{NPSHR}_2}{\text{NPSHR}_1} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2,$$

где Q_1 — подача насоса при номинальной (согласно паспорту насоса) частоте вращения его рабочего колеса, м³/ч; Q_2 — подача насоса после снижения частоты вращения его рабочего колеса, м³/ч; n_1 — номинальная частота вращения рабочего колеса насоса, об/мин; n_2 — частота вращения рабочего колеса насоса после ее снижения с помощью преобразователя частоты, об/мин; H_1 — полный напор насоса при номинальной частоте вращения рабочего колеса, м; H_2 — полный напор насоса после снижения частоты вращения его рабочего колеса, м; NPSHR_1 — требуемый надкавитационный напор на входе в насос при номинальных подаче и частоте вращения рабочего колеса, насоса, м; NPSHR_2 — требуемый надкавитационный напор на входе в насос после снижения подачи насоса за счет уменьшения частоты вращения его рабочего колеса, м (подробнее о NPSHR см. п. 2.5.3).

Приведенные формулы справедливы только для турбулентного движения жидкости в насосе.

Достаточно простым и экономичным способом регулирования параметров работы насосной установки является *изменение диаметра рабочего колеса насоса*. Диаметр рабочего колеса насоса изменяют путем его обточки или замены на рабочее колесо другого диаметра. Предельная величина, на которую можно уменьшить диаметр рабочего колеса, зависит от коэффициента быстроходности (n_s)⁹ и не превышает 20 % номинального диаметра рабочего колеса.

Заводы-изготовители насосов выпускают для одной модели насоса несколько рабочих колес с разным диаметром, поэтому к обточке рабочих колес насосов на месте их эксплуатации прибегают редко. Характеристики насоса при

⁹ Коэффициент быстроходности — критерий подобия, используемый при определении типа и диаметра рабочих колес насосов. Подробнее см., напр.: *Карасев В. Б. Насосы и воздушные станции* : учеб. для вузов. Минск : Вышейш. шк., 1990. С. 30–35.

его оснащении рабочими колесами разного диаметра приводят в технической документации насоса (см., например, рис. 21).

Пересчет характеристик насоса на другой диаметр его рабочего колеса выполняется с помощью следующих основных формул:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2,$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \text{ (при } n_s < 150),$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2,$$

где Q_1 — подача насоса с рабочим колесом номинального (согласно паспорту насоса) диаметра, м³/ч; Q_2 — подача насоса с рабочим колесом уменьшенного диаметра, м³/ч; D_1 — номинальный диаметр рабочего колеса насоса, м; D_2 — уменьшенный диаметр рабочего колеса насоса, м; H_1 — полный напор насоса с рабочим колесом номинального диаметра, м; H_2 — полный напор насоса с рабочим колесом уменьшенного диаметра, м.

КПД насоса при изменении диаметра рабочего колеса практически не меняется.

2.5. Кавитация в центробежных насосах и насосных установках

2.5.1. Общие сведения о кавитации и причинах ее возникновения

С кавитацией сталкиваются при рассмотрении широкого круга вопросов, связанных с течениями жидких сред, — от исследований тока крови в сосудах до проектирования турбин и корабельных винтов. Появление кавитации зависит от физических свойств жидкой среды и параметров ее течения (давления, температуры, скорости). Кавитация в системе кровообращения может вызвать заболевания сердца и артерий. Кавитация в технике вызывает уменьшение подъемной силы подводных крыльев; ухудшение рабочих характеристик насосов, турбин, винтов и других механизмов, включая резкое падение их КПД; эрозию металлов¹⁰, из которых выполнены рабочие органы перечисленных машин и механизмов.

¹⁰ Эрозия металла — постепенное послойное разрушение поверхности металлических изделий под влиянием механических воздействий.

Кавитация — это явление парообразования и выделения воздуха, обусловленное понижением давления жидкой среды. Причиной ее возникновения служит кипение жидкой среды при нормальной температуре и низком давлении. Появлению кавитации способствует растворенный в воде воздух, который выделяется при уменьшении давления.

В центробежном насосе возникает паровая кавитация (вскипание перекачиваемой жидкой среды), если на входе в насос уменьшается абсолютное давление¹¹ перекачиваемой жидкой среды до величины, близкой давлению ее насыщенных паров (рис. 38).

Кавитация происходит из-за общего или местного понижения абсолютного давления перекачиваемой жидкой среды.

Общее понижение абсолютного давления жидкой среды может быть обусловлено:

- уменьшением атмосферного давления в насосной установке, связанным с повышением высоты местности или вызванным особенностями эксплуатации насосной установки (например, в случае забора жидкой среды из резервуара, находящегося под разрежением);
- возникновением дополнительных потерь энергии во всасывающем трубопроводе насоса, вызванных, например, его засорением;



Рис. 38. Кавитация (вскипание перекачиваемой жидкой среды) на входе в рабочее колесо насоса¹²

¹¹ Абсолютное давление — сумма манометрического и атмосферного давления.

¹² Centrifugal pump handbook / Sulzer Pumps Ltd. 3rd ed. Amsterdam [etc.] : Elsevier, 2010. P. 9.

- возрастанием давления насыщенных паров перекачиваемой жидкости вследствие увеличения ее температуры;
- увеличением геометрической высоты всасывания жидкой среды насосом свыше рекомендуемого значения.

Местное понижение абсолютного давления жидкой среды связано с особенностями ее течения в проточной части насоса и может быть вызвано:

- увеличением скорости течения перекачиваемой жидкой среды вследствие сжатия потока;
- отклонением линий тока жидкой среды от их нормальной траектории при повороте потока или при обтекании выступающих элементов;
- отрывами потока от направляющих поверхностей;
- неровностями и шероховатостями обтекаемых поверхностей;
- динамическими взаимодействиями потоков в областях сопряжения нескольких направляющих поверхностей;
- пульсациями давления в турбулентных струях (следах) за отдельными рабочими элементами;
- наличием вторичных потоков в различных зазорах и щелях между вращающимися и неподвижными элементами.

2.5.2. Последствия кавитационных воздействий и их минимизация

При возникновении внутри насоса кавитационной зоны в проточной части насоса изменяется эффективная форма направляющих поверхностей, предназначенных для управления потоком перекачиваемой жидкой среды, и изменяется сам путь, который проходит поток этой среды. Такие изменения нежелательны и сопровождаются дополнительными потерями энергии. В сочетании с затратами энергии на возникновение, развитие и разрушение кавитационных пузырьков это приводит к тому, что снижение энергетических параметров работы насоса (подачи, полного напора насоса) и уменьшение КПД оказываются прямым следствием появления кавитации в насосе

Нестационарность кавитационной зоны и вызванные ее появлением вторичные течения жидкости приводят к значительным пульсациям давления в потоке перекачиваемой жидкой среды. Эти пульсации оказывают динамическое воздействие на проточную часть насоса, что становится причиной вибрации насосного агрегата, а в ряде случаев и всей насосной установки.

Разрушение кавитационных пузырьков при переносе их потоком в область с давлением выше критического происходит чрезвычайно быстро и сопровождается характерным шипящим звуком, который всегда сопутствует кавитации. Таким образом, возникновение кавитации в насосе всегда связано с усилением шума от работающего насосного агрегата.

Образование кавитационных зон в межлопастных каналах рабочего колеса насоса и вызываемое ими изменение плотности перекачиваемой жидкой среды приводит в ряде случаев к возникновению дисбаланса ротора насоса, деформациям вала насоса и неравномерному изнашиванию направляющих подшипников. Неизбежное в этих условиях увеличение зазора между вращающимся рабочим колесом насоса и неподвижными элементами корпуса насоса вызывает увеличение объемных потерь и снижение энергетических параметров насоса и всей насосной установки.

В сложных насосных установках с большой протяженностью трубопроводов процесс образования и, в еще большей мере, разрушения кавитационных зон приводит к возникновению гидравлического удара, при котором мгновенное давление может превысить в несколько раз рабочее для данной насосной установки давление.

В подавляющем большинстве случаев кавитация сопровождается разрушением внутренней поверхности и элементов насоса, на которых возникают и некоторое время существуют кавитационные пузырьки. Это разрушение, являющееся одним из самых опасных последствий кавитации, называют *кавитационной эрозией* (рис. 39).

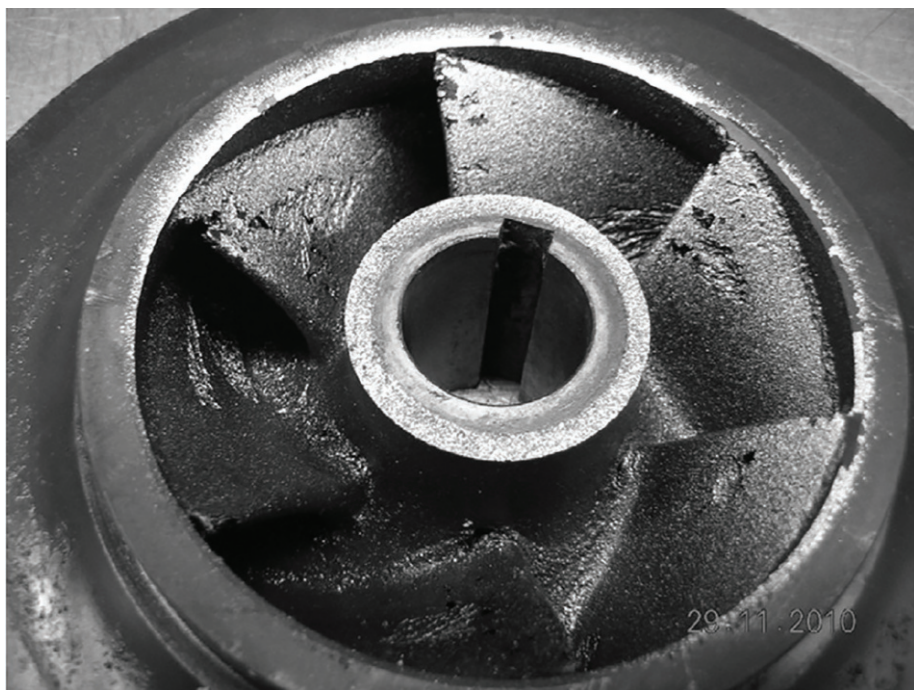


Рис. 39. Рабочее колесо центробежного насоса со следами кавитационной эрозии¹³

¹³ Merkle T. Damages on pumps and systems : The handbook for the operation of centrifugal pumps. Amsterdam [etc.] : Elsevier, 2014. P. 14.

Механические повреждения рабочего колеса насоса в результате кавитационной эрозии могут за относительно короткий срок достигнуть размеров, затрудняющих его нормальную эксплуатацию и даже делающих ее практически невозможной.

Влияние кавитации на работу центробежного насоса не постоянно и зависит от стадии ее развития: начальной, частично развившейся и полностью развившейся.

Начальная кавитация характеризуется слабым усилением шума, наличием небольшого количества кавитационных пузырьков, которые образуют неустойчивую кавитационную зону. Как правило, на этой стадии внешние характеристики гидравлической машины практически не изменяются.

Частично развившаяся кавитация характеризуется наличием устойчивой кавитационной зоны определенных размеров, которая изменяет эффективную форму направляющих поверхностей проточной части насоса и стесняет живое сечение потока. Происходит местное повышение скорости течения, появляются вторичные движения жидкости. Из-за увеличения потерь энергии ухудшаются характеристики работы насоса, значительно усиливается шум, появляется вибрация.

При *полностью развившейся кавитации* наступает срыв работы насоса. Характеристики его работы становятся совершенно неприемлемыми. Работа насоса в условиях полностью развившейся кавитации сопровождается шумом, интенсивной вибрацией и, как правило, не поддается управлению.

Для минимизации вредного воздействия кавитации обычно на заводе-изготовителе насосов для каждой модели насоса определяют кавитационные характеристики и приводят их вместе с другими параметрами работы насоса в специальных каталогах (см., например, график NPSH₃ на рис. 21). Используя эти данные, инженер-проектировщик размещает насосную установку по высоте относительно уровня воды в резервуаре-приемнике таким образом, чтобы минимизировать кавитационные воздействия на насосную установку (подробнее см. п. 2.5.3).

Конструирование многих насосов осуществляется обязательно с учетом возможной кавитационной эрозии элементов их проточной части. Основной метод борьбы с эрозией состоит в соответствующем подборе материалов при изготовлении насосов. Такой подбор производится путем проведения сравнительных испытаний различных материалов.

2.5.3. Показатели для оценки кавитационных воздействий

При проектировании для оценки кавитационных воздействий на насосы и насосные установки используют следующие показатели:

— надкавитационный напор на входе в насос NPSH₃;

- имеющийся надкавитационный напор на входе в насос NPSHA;
- требуемый надкавитационный напор на входе в насос NPSHR.

Надкавитационный напор на входе в насос NPSH¹⁴ — разность между абсолютным значением полного напора на входе в насос и значением напора, эквивалентного давлению насыщенного пара перекачиваемой жидкой среды при определенной температуре, относительно базовой плоскости NPSH и базовой точки NPSH. Единица измерения, характеризующая надкавитационный напор на входе в насос, — метр (м).

Базовая плоскость NPSH — горизонтальная плоскость, которая проходит:

- у горизонтальных насосов одностороннего и двустороннего входа — вдоль оси вала через центр окружности, описанной внешними точками входных кромок лопастей рабочего колеса (рис. 40, а, в);
- у горизонтальных многоступенчатых насосов — вдоль оси вала через центр окружности, описанной внешними точками входных кромок лопастей рабочего колеса первой ступени (рис. 40, а);
- у вертикальных насосов одностороннего входа — перпендикулярно оси вала через центр окружности, описанной внешними точками входных кромок лопастей рабочего колеса (рис. 40, б);
- у вертикальных многоступенчатых насосов одностороннего входа — перпендикулярно оси вала через центр окружности, описанной внешними точками входных кромок лопастей рабочего колеса первой ступени (рис. 40, б);

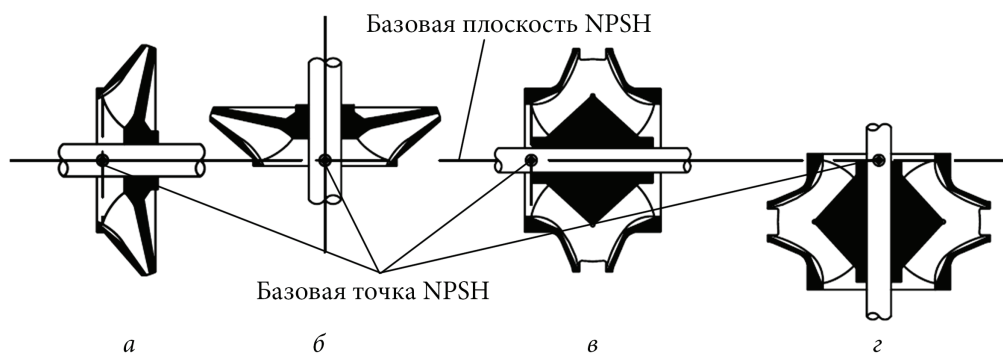


Рис. 40. Базовая плоскость и базовая точка NPSH

для различных типов рабочих колес насосов:

- а — рабочее колесо одностороннего входа горизонтальных одноступенчатых и многоступенчатых насосов;
- б — рабочее колесо одностороннего входа вертикальных одноступенчатых и многоступенчатых насосов;
- в — рабочее колесо двустороннего входа горизонтального насоса;
- з — рабочее колесо двустороннего входа вертикального насоса

¹⁴ NPSH — net positive suction head (надкавитационный напор на входе [в насос]).

— у вертикальных насосов двустороннего входа — перпендикулярно оси вала через центр окружности, описанной внешними точками наиболее высоко расположенных входных кромок лопастей рабочего колеса (рис. 40, г);

Базовая точка NPSH — точка, которая находится на пересечении оси вала насоса с центром окружности, описанной внешними точками входных кромок лопастей рабочего колеса одноступенчатого насоса (лопастей рабочего колеса первой ступени многоступенчатого насоса) (рис. 40).

Базовая плоскость NPSH и базовая точка NPSH используются при выполнении расчетов, связанных с определением расположения насоса для обеспечения его работы в бескавитационном режиме.

Расположение базовой плоскости NPSH и базовой точки NPSH по отношению к насосу указывает в технической документации насоса его завод-изготовитель.

*Имеющийся надкавитационный напор на входе в насос NPSHA*¹⁵, или $NPSH_{A_1}$, — минимальный кавитационный запас, который достигается на входе в насос, определяемый особенностями насосной установки при заданном значении подачи. Единица измерения, характеризующая имеющийся надкавитационный напор на входе в насос, — метр (м). В общем случае NPSHA рассчитывают по формуле

$$NPSHA = H_1 - z_D + \frac{P_{amb} - P_v}{\rho_1 g},$$

где H_1 — полный напор в точке наблюдения на входе в насос, м; z_D — высота базовой точки NPSH относительно плоскости сравнения, м; p_{amb} — атмосферное давление, Па; p_v — давление перекачиваемой жидкой среды, Па; ρ — плотность жидкой среды, кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с².

В ходе определения NPSHA составляют расчетную схему, на которой плоскость сравнения выполняют таким образом, чтобы она совпадала с базовой плоскостью NPSH, т. е. $z_D = 0$. Тогда NPSHA можно рассчитать следующим образом:

— если насос расположен ниже уровня жидкой среды в резервуаре-источнике (рис. 41), то по формулам

$$NPSHA = z_{A_1} + \frac{P_{amb} - P_v}{\rho_1 g} - H_{J_1-A_1} \quad (\text{для резервуара А}),$$

$$NPSHA = z_{A_1} + \frac{P_{A_1} + P_{amb} - P_v}{\rho_1 g} - H_{J_1-A_1} \quad (\text{для резервуара Б}),$$

¹⁵ NPSHA — net positive suction head available (имеющийся надкавитационный напор на входе [в насос]).

где z_{A_1} — высота точки замера давления на входе насосной установки над плоскостью сравнения, м; $H_{J_{1-A_1}}$ — потери гидравлического напора во всасывающем трубопроводе (сумма гидравлических потерь напора по длине и гидравлических потерь напора на преодоление местных сопротивлений), м;

— если насос расположен выше уровня жидкой среды в резервуаре-источнике (рис. 42), то по формулам

$$\text{NPSHA} = -z_{A_1} + \frac{p_{amb} - p_v}{\rho_1 g} - H_{J_{1-A_1}} \quad (\text{для резервуара А}),$$

$$\text{NPSHA} = -z_{A_1} + \frac{p_{A_1} + p_{amb} - p_v}{\rho_1 g} - H_{J_{1-A_1}} \quad (\text{для резервуара Б}).$$

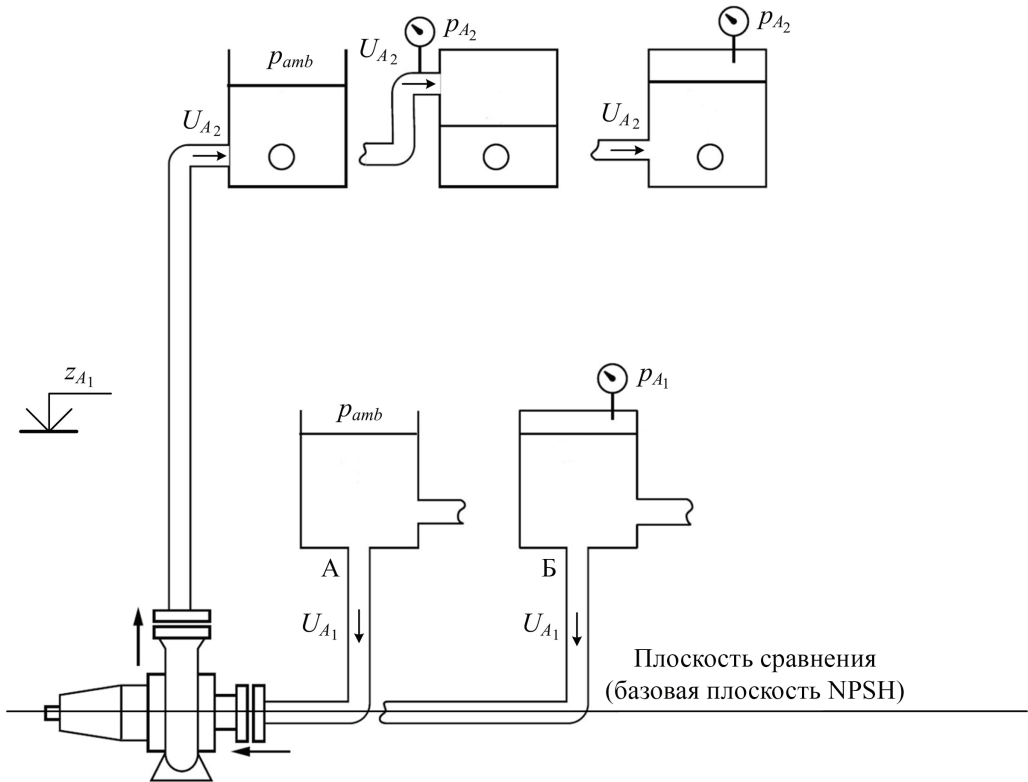


Рис. 41. Расчетная схема к определению NPSHA при расположении насоса ниже уровня жидкой среды в резервуаре-источнике:

z_{A_1} — высота точки замера давления на входе насосной установки над плоскостью сравнения; p_{amb} — атмосферное давление; p_{A_1} — давление в точке замера на входе насосной установки; p_{A_2} — давление в точке замера на выходе насосной установки;

U_{A_1} — средняя скорость на входе насосной установки;

U_{A_2} — средняя скорость на выходе насосной установки

Требуемый надкавитационный напор на входе в насос $NPSHR^{16}$, или $NPSH_R$, — минимальный кавитационный запас во входном патрубке насоса, необходимый для достижения насосом расчетных или эксплуатационных технических характеристик при заданных условиях. Единица измерения, характеризующая требуемый надкавитационный напор на входе в насос, — метр (м).

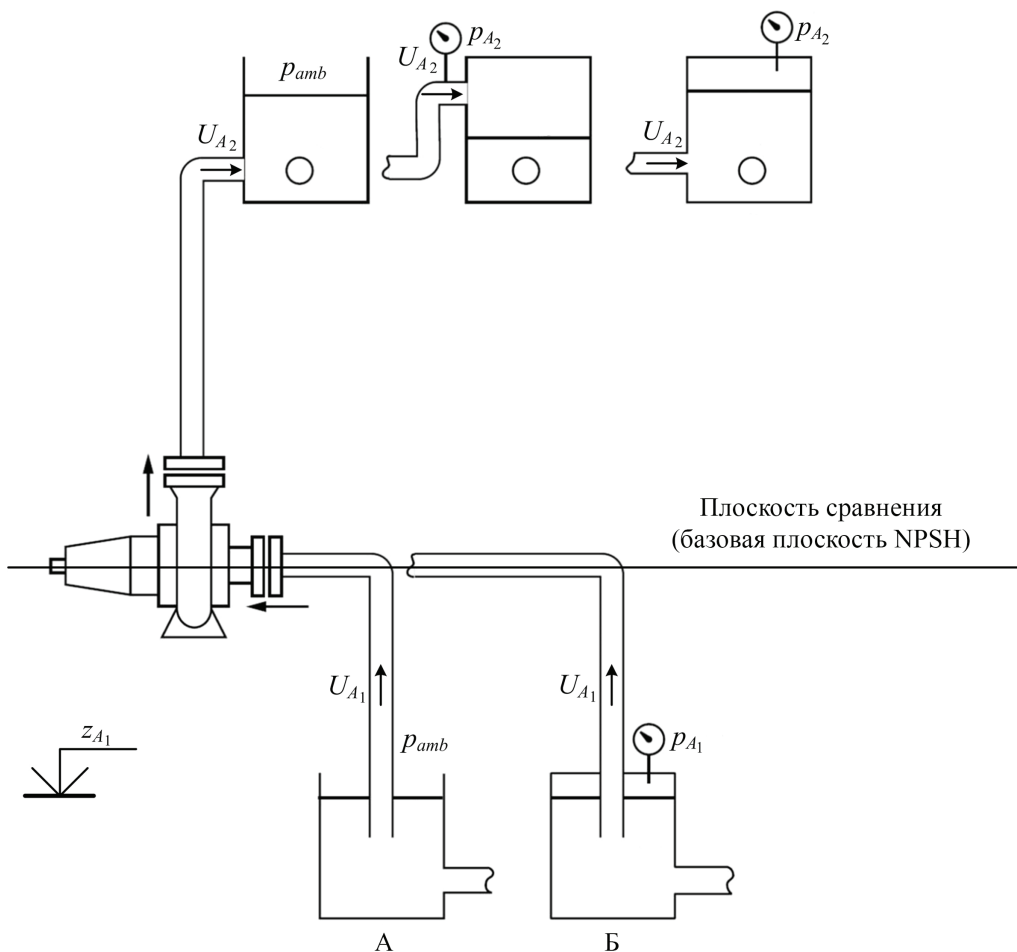


Рис. 42. Расчетная схема к определению NPSHA при расположении насоса выше уровня жидкой среды в резервуаре-источнике:

z_{A_1} — высота точки замера давления на входе насосной установки над плоскостью сравнения; p_{amb} — атмосферное давление; p_{A_1} — давление в точке замера на входе насосной установки; p_{A_2} — давление в точке замера на выходе насосной установки; U_{A_1} — средняя скорость на входе насосной установки; U_{A_2} — средняя скорость на выходе насосной установки

¹⁶ NPSHR — net positive suction head required (требуемый надкавитационный напор на входе [в насос]).

NPSHR¹⁷ — обобщенное название нескольких специальных показателей, используемых для оценки кавитационных воздействий (уровня шума от насоса, размера кавитационных пузырьков в насосе и др.). Из таких показателей наиболее часто используемым является показатель NPSH₃¹⁸, или NPSH_{3%}, — значение NPSH, при котором из-за кавитации на 3 % снижается полный напор насоса или полный напор на первой ступени многоступенчатого насоса. Единица измерения, характеризующая NPSH₃, — метр (м).

Значения NPSH₃ и других показателей, относящихся к NPSHR, указывают в технической документации насоса заводы-изготовители или фирмы-поставщики насосного оборудования.

В практике, после того как выбран насосный агрегат и определено его размещение в насосной станции относительно резервуара-источника, рассчитывают величину NPSHA и сравнивают ее с величиной NPSH₃. В общем случае должно выполняться условие

$$\text{NPSHA} > \text{NPSH}_3.$$

Однако заводы-изготовители для гарантированной минимизации кавитационных воздействий предъявляют свои требования к соотношению величин NPSHA и NPSH₃. Встречаются, например, такие требования:

$$\text{NPSHA} \geq \text{NPSH}_3 + 0,5 \text{ м},$$

$$\text{NPSHA} \geq \text{NPSH}_3 + 1 \text{ м},$$

$$\text{NPSHA} \geq S_A \text{NPSH}_3,$$

где S_A — коэффициент кавитационного запаса, указываемый в технической документации насоса.

В практике наиболее часто ориентируются на выполнение условия

$$\text{NPSHA} \geq S_A \text{NPSH}_3.$$

¹⁷ Подробнее см.: Net positive suction head for rotodynamic pumps : A reference guide / Europump. Kidlington [etc.] : Elsevier, 1999. P. 10–12.

¹⁸ NPSH₃ — net positive suction head for a drop of 3 % (требуемый надкавитационный напор на входе [в насос] для 3 %-ного снижения [полного напора]).

Глава 3

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

3.1. Системы водоснабжения городов и промышленных предприятий

3.1.1. Типы систем водоснабжения

В городах, как правило, устраивают объединенный хозяйственно-питьевой и противопожарный водопровод с подачей из него же воды для полива зеленых насаждений, уличных и внутриквартальных покрытий, а также для питания предприятий и их отдельных установок, которым требуется только вода питьевого качества. Встречаются и водопроводы, из которых воду, кроме того, подают расположенным в черте города предприятиям для их технологических целей.

На промышленных предприятиях обычно сооружают следующие системы водоснабжения¹:

- один или несколько производственных водопроводов и объединенный противопожарный и хозяйственно-питьевой водопровод;
- объединенный производственный и противопожарный водопровод и отдельный хозяйственно-питьевой водопровод;
- объединенный производственный, противопожарный и хозяйственно-питьевой водопровод.

Хозяйственно-питьевые водопроводы промышленных предприятий обычно входят в состав систем хозяйственно-питьевого водоснабжения городов, в которых расположены эти предприятия. При этом производственные водопроводы крупных промышленных предприятий (металлургических комбинатов и др.) чаще всего никак не связаны с системами хозяйственно-питьевого водоснабжения городов и включают в себя обособленные водозаборные сооружения, насосные станции, всасывающие и напорные водоводы², распределительные водопроводные сети производственного назначения.

¹ Система водоснабжения (водопровод) — комплекс инженерных сооружений, обеспечивающих забор воды из источника водоснабжения, ее очистку до нормативных показателей, транспортировку и подачу потребителям.

² Водовод — сооружение в виде тоннеля, канала, лотка или трубопровода для пропуска (подачи) воды под напором или самотеком от водоприемника (водозаборного сооружения) к месту ее потребления.

3.1.2. Назначение насосных станций в системах водоснабжения

Насосные станции систем водоснабжения по назначению можно классифицировать следующим образом:

- насосные станции I подъема;
- насосные станции II подъема;
- насосные станции III и последующих подъемов;
- повысительные насосные станции;
- насосные станции систем оборотного водоснабжения (циркуляционные насосные станции).

Насосные станции I подъема могут быть совмещены с водозаборными сооружениями или могут располагаться в отдельных зданиях. В городах насосные станции I подъема воду, забираемую из рек, озер, водохранилищ, скважин и др., подают на сооружения водоподготовки. На промышленных предприятиях такие насосные станции подают воду из источников сразу в сети производственного водоснабжения обычно без какой-либо очистки. Насосные станции I подъема работают в течение суток, как правило, с относительно постоянной производительностью.

Насосные станции II подъема сооружают чаще всего в городах, реже — на промышленных предприятиях. С помощью таких насосных станций воду из резервуаров для чистой воды, входящих в состав сооружений водоподготовки, подают в распределительную водопроводную сеть города или промышленного предприятия. В ряде случаев насосные станции II подъема могут быть совмещены с насосными станциями I подъема.

Подача насосных станций II подъема неравномерна и определяется графиком водопотребления, поэтому в процессе работы такой насосной станции регулируют ее подачу включением и выключением отдельных насосных агрегатов по графику, изменением степени открытия задвижки на напорном трубопроводе или, что более предпочтительно, регулированием частоты вращения рабочего колеса насоса с помощью преобразователя частоты, подключаемого к насосу агрегату.

Насосные станции III и последующих подъемов строят в больших городах, где насосные станции II подъема не обеспечивают необходимый свободный напор в отдаленных частях распределительной водопроводной сети (например, в Екатеринбурге насчитывается несколько сот насосных станций III и IV подъемов).

Повысительные насосные станции служат для повышения напора перед потребителями воды. В городах повысительные насосные станции сооружают в отдельных жилых кварталах, состоящих из нескольких зданий. Повысительные насосные установки размещают в подвальных помещениях и на технических

этажах зданий. Повысительные насосные станции также встречаются и на промышленных предприятиях.

Насосные станции систем обратного водоснабжения (циркуляционные насосные станции) сооружают на промышленных предприятиях, тепловых электростанциях и других объектах. Назначение таких насосных станций — подача воды для охлаждения технологического оборудования и далее подача нагретой воды, отводимой от этого оборудования, в охладитель (градирню, брызгальный бассейн и т. п.). Кроме того, с помощью этих насосных станций загрязненная обратная вода подается на очистные сооружения.

3.1.3. Категории надежности насосных станций в системах водоснабжения

Системы водоснабжения городов и промышленных предприятий, включая насосные станции различного назначения, входящие в такие системы, согласно СП 31.13330³ делятся на три категории по надежности подачи воды (далее — категории надежности).

В общем случае от того, к какой категории надежности относится насосная станция, зависит количество источников электроснабжения насосной станции; количество устанавливаемых на насосной станции рабочих и резервных насосных агрегатов; количество всасывающих водоводов, прокладываемых до насосной станции от водозаборных сооружений, резервуаров и других сооружений; количество напорных водоводов, прокладываемых от насосной станции до распределительной водопроводной сети города или промышленного предприятия; диаметры указанных водоводов.

Категорию надежности насосной станции устанавливают в зависимости от вида системы водоснабжения, в состав которой входит насосная станция, и в зависимости от функционального назначения самой насосной станции в этой системе водоснабжения.

В случае, если насосная станция входит в состав *хозяйственно-питьевого водопровода, производственного водопровода или объединенного хозяйственно-питьевого и производственного водопровода*, категорию надежности этой насосной станции определяют согласно СП 31.13330⁴ (табл. 1).

В случае, если насосная станция входит в состав *противопожарного водопровода, объединенного хозяйственно-питьевого и противопожарного водопровода, объединенного производственного и противопожарного водопровода, объединенного хозяйственно-питьевого, производственного и противопожарного водо-*

³ СП 31.13330.2012. Водоснабжение : Наружные сети и сооружения (с изм. № 1, 2) [Электронный ресурс] : актуализир. ред. СНиП 2.04.02–84. Доступ из справ.-правовой системы «Тех-эксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

⁴ Там же.

провода, категорию надежности этой насосной станции определяют согласно СП 8.13130⁵.

Таблица 1

Категории надежности насосных станций систем водоснабжения⁶

Категория надежности насосной станции	Принадлежность насосной станции	Требования к надежности подачи воды насосной станции
I	Насосная станция в составе систем водоснабжения предприятий металлургической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности, электростанций; насосная станция в составе систем водоснабжения городов при численности жителей в них более 50 тыс. чел.; насосная станция, авария на которой может нарушить подачу воды на пожаротушение	Допускается снижение подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды не более чем на 30 % расчетного расхода и на производственные нужды — до предела, устанавливаемого аварийным графиком работы предприятий; длительность снижения подачи не должна превышать 3 сут. Перерыв в подаче воды или снижение подачи ниже указанного предела допускается на время выключения поврежденных и включения резервных элементов системы водоснабжения (оборудования, арматуры, сооружений, трубопроводов и др.), но не более чем на 10 мин
II	Насосная станция в составе систем водоснабжения предприятий угольной, горнорудной, нефтедобывающей, машиностроительной и других видов промышленности; насосная станция в составе систем водоснабжения городов при численности жителей от 5 тыс. до 50 тыс. чел.	Величина допускаемого снижения подачи воды та же, что для I категории надежности; длительность снижения подачи не должна превышать 10 сут. Перерыв в подаче воды или снижение подачи ниже указанного предела допускается на время выключения поврежденных и включения резервных элементов или на время проведения ремонта, но не более чем на 6 ч
III	Насосная станция в составе систем водоснабжения мелких промышленных предприятий, участков орошаемых сельскохозяйственных земель; насосная станция в составе систем водоснабжения населенных пунктов при численности жителей менее 5 тыс. чел.	Величина допускаемого снижения подачи воды та же, что для I категории надежности; длительность снижения подачи не должна превышать 15 сут. Перерыв в подаче воды при снижении подачи ниже указанного предела допускается на время не более чем на 24 ч

⁵ СП 8.13130.2009. Системы противопожарной защиты : Источники наружного противопожарного водоснабжения. Требования пожарной безопасности (с изм. № 1) [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

⁶ Составлено по: СП 31.13330.2012. Водоснабжение; Справочник проектировщика : Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий / под. ред. И. А. Назарова. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1977. С. 56.

В соответствии с представленным сводом правил:

- к I категории надежности относят насосные станции, подающие воду непосредственно в сеть противопожарного водопровода и водопроводов, объединенных с противопожарным;
- ко II категории надежности относят насосные станции противопожарного водопровода и водопроводов, объединенных с противопожарным, населенных пунктов с числом жителей до 5 тыс. чел.; отдельно стоящих зданий любого назначения, расположенных вне населенных пунктов; зданий различного назначения при требуемом расходе воды на наружное противопожарное водоснабжение не более 10 л/с; одно- и двухэтажных зданий любого назначения при площади застройки не более площади пожарного отсека, допускаемой нормами для таких зданий.

Насосные станции III категории надежности не могут входить в состав противопожарных систем водоснабжения.

Требования к электроснабжению насосных станций установлены Правилами устройства электроустановок (ПУЭ)⁷ (табл. 2).

Дополнительно к требованиям табл. 2 учитывают следующее:

1. В качестве третьего независимого источника питания для насосной станции особой группы I категории надежности и второго независимого источника питания для насосной станции I категории надежности могут быть использованы местные электростанции, электростанции энергосистем (в частности, шины генераторного напряжения), предназначенные для этих целей агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т. п.

2. Если резервированием электроснабжения насосной станции нельзя обеспечить непрерывность технологического процесса или если резервирование электроснабжения насосной станции экономически нецелесообразно, должно быть осуществлено технологическое резервирование, например, путем установки взаимно резервирующих технологических агрегатов, специальных устройств безаварийной остановки технологического процесса, действующих при нарушении электроснабжения.

3. Электроснабжение насосной станции I категории надежности, которая обеспечивает водой особо сложные непрерывные технологические процессы, требующие длительного времени на восстановление нормального режима, при наличии технико-экономических обоснований рекомендуется осуществлять от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, к которым предъявляются дополнительные требования, не указанные в ПУЭ и определяемые особенностями технологического процесса. Для таких насосных станций дополнительно к постоянным источникам энергоснабжения следует обеспечи-

⁷ Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс]. 7-е изд. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

вать резервное (автономное) энергоснабжение. В качестве резервного энергоснабжения допускается предусматривать автономные источники (дизельные или газотурбинные электростанции, двигатели внутреннего сгорания, соединяемые непосредственно с насосами, и т. п.). Мощность каждого источника питания должна обеспечивать номинальную производительность насосной станции и выполнение требований по надежности подачи воды.

Таблица 2

Требования к надежности электроснабжения насосных станций⁸

Категория надежности насосной станции	Определение насосной станции исходя из возможных последствий перерыва в ее электроснабжении	Требования к электроснабжению насосной станции
I	Насосная станция, перерыв в электроснабжении которой может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения	Насосная станция I категории надежности в нормальных режимах должна обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв в их электроснабжении при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания
	Насосная станция особой группы, бесперебойная работа которой необходима для безаварийной остановки производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров	Насосная станция особой группы I категории надежности в нормальных режимах должна обеспечиваться электроэнергией от трех независимых взаимно резервирующих источников питания
II	Насосная станция, перерыв в электроснабжении которой приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, к нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей	Насосная станция II категории надежности в нормальных режимах должна обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Для насосной станции II категории надежности при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы в электроснабжении на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады

⁸ Составлено по: СП 31.13330.2012. Водоснабжение; Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс]. 7-е изд. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

Категория надежности насосной станции	Определение насосной станции исходя из возможных последствий перерыва в ее электроснабжении	Требования к электроснабжению насосной станции
III	Все остальные насосные станции, не подпадающие под приведенные выше определения насосных станций I и II категорий надежности	Для насосной станции III категории надежности электроснабжение может осуществляться от одного источника питания при условии, что перерывы в электроснабжении, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают одних суток

3.2. Определение технологических параметров насосных станций систем водоснабжения

3.2.1. Определение подачи и полного напора насосных станций I подъема

В учебном пособии для целей курсового и дипломного проектирования приведены особенности определения подачи и полного напора насосных станций самого распространенного типа — насосных станций I подъема.

Подачу насосной станции I подъема Q_A , м³/ч, при наличии сооружений водоподготовки определяют по формуле

$$Q_A = \frac{\alpha Q_{\max}^{\text{сут}}}{T},$$

где α — коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды сооружений водоподготовки (принимают согласно п. 9.6 СП 31.13330⁹); $Q_{\max}^{\text{сут}}$ — максимальное суточное водопотребление, м³/сут; T — продолжительность работы насосной станции в сутки, ч (при равномерной работе принимается $T = 24$ ч).

Подачу насосной станции I подъема в системе водоснабжения без сооружений водоподготовки при равномерном водопотреблении принимают равной среднечасовому водопотреблению ($Q_A = Q_{\text{cp}}^{\text{час}}$). Если водопотребление в течение суток неравномерное, то при отсутствии регулирующей емкости подача насосной станции принимается равной максимальному часовому водопотреблению ($Q_A = Q_{\max}^{\text{час}}$), при наличии регулирующей емкости — равной среднечасовому водопотреблению ($Q_A = Q_{\text{cp}}^{\text{час}}$).

⁹ СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

Полный напор насосной станции I подъема H_A для целей курсового или дипломного проектирования определяют в следующем порядке:

1. Составляют высотную схему расположения водозабора, насосной станции I подъема, сооружений водоподготовки и соединительных коммуникаций между этими сооружениями (всасывающих и напорных трубопроводов, напорных водоводов) (рис. 43).

2. Принимают количество и диаметр напорных водоводов и определяют число перемычек между этими напорными водоводами с учетом категории надежности насосной станции.

3. Рассчитывают ориентировочное значение полного напора $H_{t,A}$ насосной станции. Для схемы на рис. 43 расчет $H_{t,A}$, м, выполняют по формуле

$$H_{t,A} = H_{stat} + H_{J_1} + H_{J_2} + H_{J_3} + H_{J_4} + H_{J_5},$$

где H_{stat} — статический напор, м; H_{J_1} — потери гидравлического напора во всасывающем трубопроводе насосного агрегата, монтируемом внутри насосной станции; H_{J_2} — потери гидравлического напора в напорном трубопроводе насосного агрегата, монтируемом внутри насосной станции, м (суммарное значение H_{J_1} и H_{J_2} на данном этапе расчетов предварительно принимают равным 1,5–2 м); H_{J_3} — потери гидравлического напора в расходомере-счетчике, м (принимают равными 0,5–1,5 м); H_{J_4} — потери гидравлического напора в напорном водоводе (водоводах) от насосной станции до сооружений водоподготовки, м (определяют в соответствии с п. 3.5); H_{J_5} — потери гидравлического напора на излив в смесителе сооружений водоподготовки, м (принимают равными 0,5–1 м).

Статический напор H_{stat} представляет собой разность отметки верха трубопровода, подводящего воду в смеситель z_2 , и отметки минимального уровня воды в приемной камере насосной станции z_1 :

$$H_{stat} = z_2 - z_1.$$

Отметка z_1 принимается меньше отметки минимального уровня воды в источнике (реке, водохранилище и др.) на величину потерь гидравлического напора в водоприемных устройствах (решетках и сетках). Эти потери принимают равными 0,15–0,2 м. Отметка минимального уровня воды в источнике приводится в задании для курсового или дипломного проектирования.

Отметка z_2 также приводится в задании для курсового или дипломного проектирования.

Приведенная формула определения $H_{t,A}$ применима только для рассматриваемой высотной схемы сооружений и трубопроводных сетей. При других вариантах организации забора воды из источника и ее подачи на сооружения

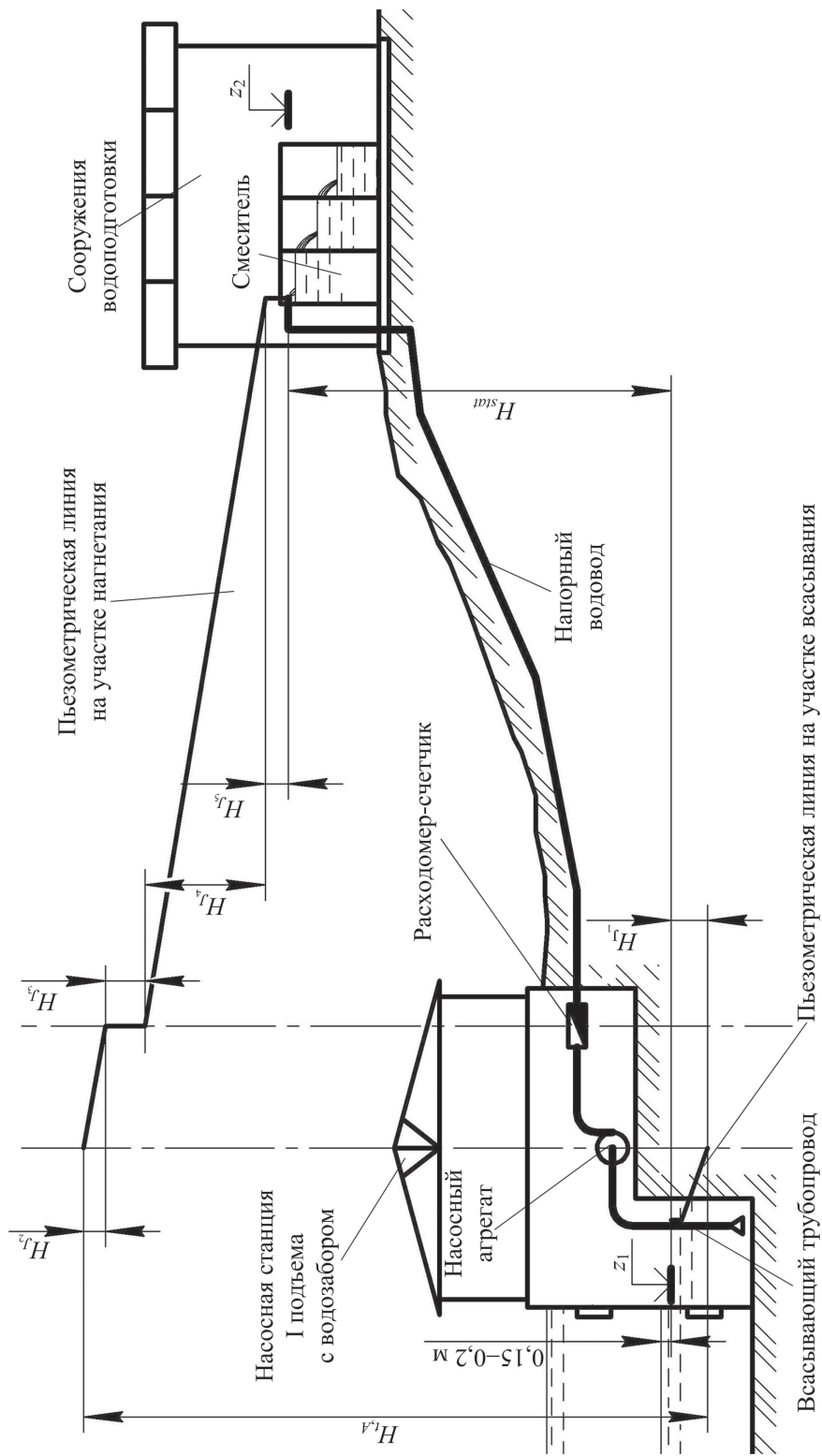


Рис. 43. Высотная схема для определения полного напора насосной станции I подъема:

$H_{т.в}$ — полный напор насосной станции; H_{stat} — статический напор; $H_{f_1} \dots H_{f_5}$ — потери гидравлического напора; z_1, z_2 — высотные отметки

водоподготовки или непосредственно потребителям высотная схема и сама формула расчета $H_{t,A}$ могут отличаться.

4. По найденным значениям Q_A и $H_{t,A}$ выбирают тип насосных агрегатов по каталогам заводов-изготовителей и фирм-поставщиков насосного оборудования и принимают количество рабочих и резервных насосных агрегатов. При выборе количества резервных насосных агрегатов учитывают категорию надежности насосной станции.

5. Выбирают способ установки насосных агрегатов (ниже или выше уровня воды в источнике) с учетом категории надежности насосной станции.

6. Определяют количество и диаметр условного прохода всасывающих и напорных трубопроводов насосных агрегатов, монтируемых внутри насосной станции. При этом учитывают категорию надежности насосной станции.

7. Уточняют высотные отметки осей насосных агрегатов, всасывающих и напорных трубопроводов, напорных водоводов и другие необходимые отметки.

8. Составляют в масштабе схематичный план насосной станции, на котором изображают насосные агрегаты, их всасывающие и напорные трубопроводы, необходимую запорную арматуру, обратные клапаны и другие элементы. На основании этого уточняют значение потерь гидравлического напора во всасывающих и напорных трубопроводах насосных агрегатов (H_1, H_2).

9. Рассчитывают значение NPSHA и оценивают вероятность возникновения кавитации при работе насосных агрегатов (подробнее об этом см. п. 2.5.3). В случае опасности появления кавитации изменяют высотное расположение насосных агрегатов относительно уровня жидкости воды в источнике и (или) подбирают насосные агрегаты с другой кавитационной характеристикой и снова по значению NPSHA оценивают вероятность возникновения кавитации.

10. Уточняют значения подачи Q_A и полного напора насосной станции $H_{t,A}$ путем построения графиков совместной работы насоса (насосов) и водовода (водоводов). Методика построения таких графиков приведена в п. 2.1 и в учебной литературе¹⁰.

3.2.2. Определение подачи и полного напора насосных станций II подъема

В учебном пособии для целей курсового и дипломного проектирования приведены особенности определения подачи и полного напора насосных станций еще одного распространенного типа — насосных станций II подъема для условий хозяйственно-питьевого водопровода города.

¹⁰ См., напр.: Залуцкий Э. В., Петрухно А. И. Насосные станции : Курсовое проектирование. Киев : Вища шк., Головное изд-во, 1987. С. 44–48.

Насосные станции II подъема хозяйственно-питьевых водопроводов, как правило, работают в течение суток неравномерно. По этой причине для снижения затрат на транспортировку воды график подачи воды насосной станции II подъема стараются максимально приблизить к графику водопотребления. Одним из наиболее экономичных и надежных способов достижения этой цели является включение в состав системы водоснабжения одной или нескольких водонапорных башен (напорных резервуаров).

Водонапорная башня в системе водоснабжения может быть расположена:

- в начале распределительной водопроводной сети, до потребителей воды;
- в конце распределительной водопроводной сети, за потребителями воды (система водоснабжения с контррезервуаром).

Подачу насосной станции II подъема и рабочий объем бака водонапорной башни определяют путем проведения специальных расчетов¹¹, основанных на подборе для графика изменения водопотребления в городе по часам суток графика подачи воды в распределительную водопроводную сеть насосной станцией. При этом стараются найти такой режим работы насосной станции, который позволит эксплуатировать устанавливаемые в ней насосные агрегаты в рабочих интервалах значений Q и H (см. рис. 21) с достижением высокого КПД и исключить частое включение и выключение насосных агрегатов в процессе работы. Одновременно стараются минимизировать вместимость водонапорной башни из-за высоких затрат на строительство подобных сооружений.

После определения подачи насосной станции II подъема и рабочего объема бака водонапорной башни определяют полный напор насосной станции II подъема.

Полный напор насосной станции II подъема $H_{t,A}$ определяют в следующем порядке:

1. Составляют высотную схему расположения резервуаров для чистой воды, насосной станции II подъема, водонапорной башни, распределительной водопроводной сети города и соединительных коммуникаций (всасывающих и напорных трубопроводов, напорных водоводов).

2. Принимают количество и диаметр напорных водоводов и определяют число перемычек между этими напорными водоводами с учетом категории надежности насосной станции.

3. Рассчитывают ориентировочное значение полного напора насосной станции $H_{t,A}$. В зависимости от расположения водонапорной башни в распределительной водопроводной сети возможны два расчетных случая.

¹¹ См., напр.: Карасев В. Б. Насосы и воздухоудувные станции : учеб. для вузов. Минск : Выш. шк., 1990. С. 191–194.

Если водонапорная башня находится в начале водопроводной сети (рис. 44), то расчет $H_{t,A}$, м, выполняют по формуле

$$H_{t,A} = H_{stat} + H_{J_1} + H_{J_2} + H_{J_3} + H_{J_4},$$

где H_{stat} — статический напор, м; H_{J_1} — потери гидравлического напора во всасывающем трубопроводе насосного агрегата, монтируемом внутри насосной станции; H_{J_2} — потери гидравлического напора в напорном трубопроводе насосного агрегата, монтируемом внутри насосной станции, м (суммарное значение H_{J_1} и H_{J_2} на данном этапе расчетов предварительно принимают равным 1,5–2 м); H_{J_3} — потери гидравлического напора в расходомере-счетчике, м (принимают равными 0,5–1,5 м); H_{J_4} — потери гидравлического напора в напорном водоводе (водоводах) от насосной станции до водонапорной башни, м (определяют в соответствии с п. 3.5).

В практике для более точного расчета значения $H_{t,A}$ необходимо дополнительно учитывать потери гидравлического напора, связанные с входом воды в водонапорную башню и выходом воды из нее.

Статический напор H_{stat} определяют по формуле

$$H_{stat} = h + H_{J_5} + H_f + z_2 - z_1,$$

где h — максимальная высота воды в баке водонапорной башни, м (величину рассчитывают ранее, после определения рабочего объема бака водонапорной башни); H_{J_5} — потери гидравлического напора в распределительной водопроводной сети на участке от водонапорной башни до диктующей точки — самой высокой и наиболее удаленной от распределительной водопроводной сети водоразборной точки внутри здания, м (определяют в соответствии с п. 3.5); H_f — свободный напор в диктующей точке, м (принимают согласно п. 5.11 СП 31.13330¹²); z_2 — отметка земли в диктующей точке, м (определяют в ходе выполнения трассировки водопроводной сети); z_1 — отметка минимального уровня воды в резервуаре для чистой воды, м (приводится в задании для курсового или дипломного проектирования).

Если водонапорная башня находится в конце распределительной водопроводной сети (рис. 45), то расчет ориентировочного значения полного напора насосной станции II подъема выполняют для максимального водопотребления и при транзите воды в водонапорную башню. После этого определяют окончательное ориентировочное значение полного напора насосной станции.

Для максимального водопотребления расчет $H_{t,A}$, м, выполняют по формуле

$$H_{t,A} = H_{stat} + H_{J_1} + H_{J_2} + H_{J_3} + H_{J_4},$$

¹² СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

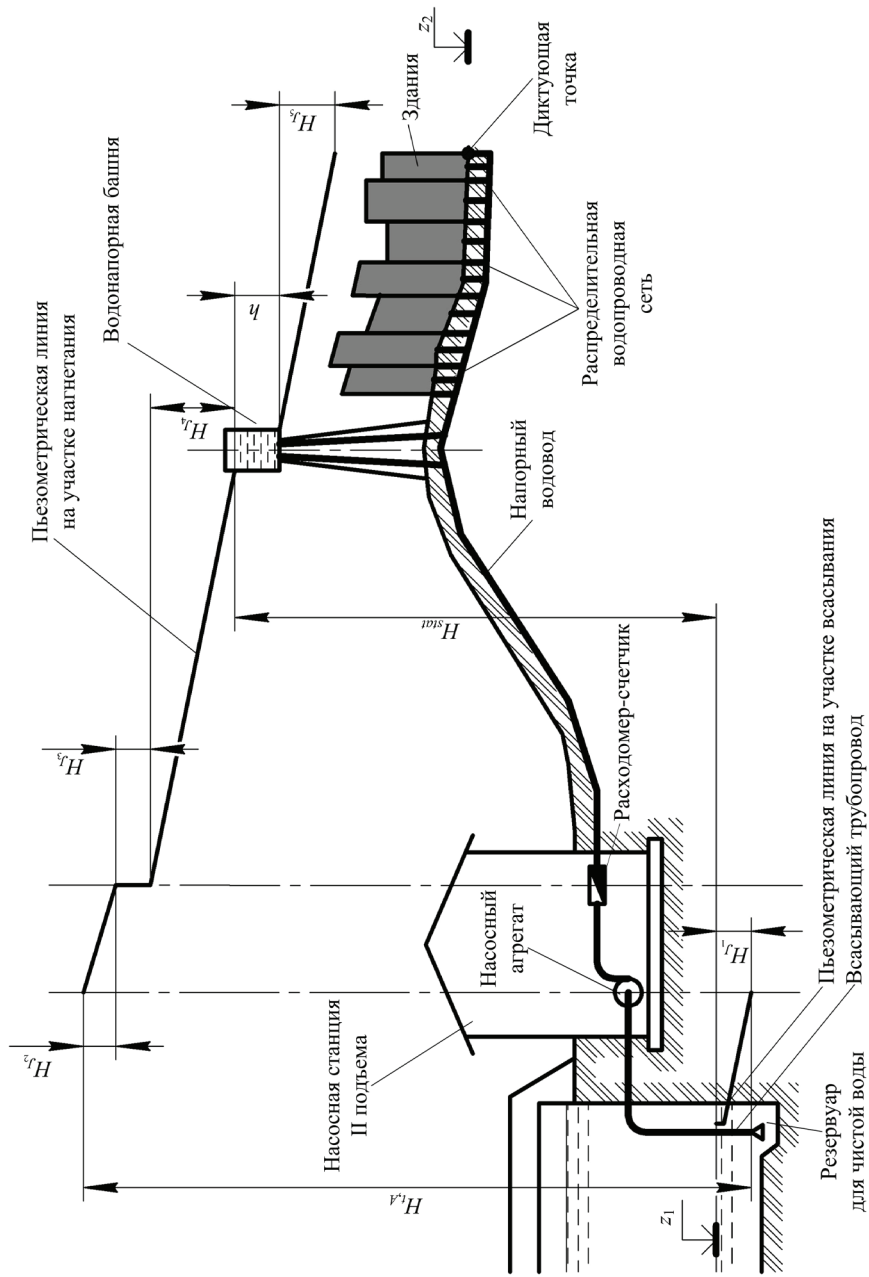


Рис. 44. Высотная схема для определения полного напора насосной станции II подъема при водонапорной башне, расположенной в начале распределительной водопроводной сети:

$H_{L,A}$ — полный напор насосной станции; H_{stat} — статический напор; $H_p \dots H_{I_5}$ — потери гидравлического напора;

h — максимальная высота воды в баке водонапорной башни; z_1, z_2 — высотные отметки

где H_{stat} — статический напор при максимальном водопотреблении, м; H_{J_1} — потери гидравлического напора при максимальном водопотреблении во всасывающем трубопроводе насосного агрегата, монтируемом внутри насосной станции, м; H_{J_2} — потери гидравлического напора при максимальном водопотреблении в напорном трубопроводе насосного агрегата, монтируемом внутри насосной станции, м (суммарное значение H_{J_1} и H_{J_2} на данном этапе расчетов предварительно принимают равным 1,5–2 м); H_{J_3} — потери гидравлического напора при максимальном водопотреблении в расходомере-счетчике, м (принимают равными 0,5–1,5 м); H_{J_4} — потери гидравлического напора в напорном водоводе (водоводах) от насосной станции до входа в распределительную водопроводную сеть и в трубопровод распределительной водопроводной сети от места подключения к ней напорного водовода (водоводов) до диктующей точки, м (определяют в соответствии с п. 3.5).

Статический напор при максимальном водопотреблении H_{stat} определяют по формуле

$$H_{stat} = H_f + z_2 - z_1,$$

где H_f — свободный напор в диктующей точке, м (принимают согласно п. 5.11 СП 31.13330¹³); z_2 — отметка земли в диктующей точке, м (определяют в ходе выполнения трассировки водопроводной сети); z_1 — отметка минимального уровня воды в резервуаре для чистой воды, м (приводится в задании для курсового или дипломного проектирования).

При транзите воды в водонапорную башню расчет $H'_{t,A}$, м, выполняют по формуле

$$H'_{t,A} = H'_{stat} + H'_{J_1} + H'_{J_2} + H'_{J_3} + H'_{J_4},$$

где H'_{stat} — статический напор при транзите, м; H'_{J_1} — потери гидравлического напора при транзите во всасывающем трубопроводе насосного агрегата, монтируемом внутри насосной станции, м; H'_{J_2} — потери гидравлического напора при транзите в напорном трубопроводе насосного агрегата, монтируемом внутри насосной станции, м (суммарное значение H'_{J_1} и H'_{J_2} на данном этапе расчетов предварительно принимают равным 1,5–2 м); H'_{J_3} — потери гидравлического напора при транзите в расходомере-счетчике, м (принимают равными 0,5–1,5 м); H'_{J_4} — сумма потерь гидравлического напора при транзите в напорном водоводе (водоводах) от насосной станции до входа в распределительную водопроводную сеть и потерь гидравлического напора в трубопроводах распределительной водопроводной сети от места подключения к ней напорного водовода (водоводов) до водонапорной башни, м (определяют в соответствии с п. 3.5).

¹³ СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

Статический напор при транзите H'_{stat} определяют по формуле

$$H'_{stat} = h + H_{J_5} + H_f + z_2 - z_1,$$

где h — максимальная высота воды в баке водонапорной башни, м (величину рассчитывают ранее, после определения рабочего объема бака водонапорной башни), м; H_{J_5} — потери гидравлического напора в распределительной водопроводной сети на участке от водонапорной башни до диктующей точки — самой высокой и наиболее удаленной от распределительной водопроводной сети водоразборной точки внутри здания, м (определяют в соответствии с п. 3.5); H_f — свободный напор в диктующей точке, м (принимают согласно п. 5.11 СП 31.13330¹⁴); z_2 — отметка земли в диктующей точке, м (определяют в ходе выполнения трассировки водопроводной сети); z_1 — отметка минимального уровня воды в резервуаре для чистой воды, м (приводится в задании для курсового или дипломного проектирования).

Для определения окончательного ориентировочного значения полного напора насосной станции рассчитанные значения $H_{t,A}$ и $H'_{t,A}$ сопоставляют друг с другом и выбирают наибольшее из них. При этом если насосная станция II подъема входит в состав объединенного хозяйственно-питьевого и противопожарного водопровода, то дополнительно проводят аналогичный расчет ориентировочного значения полного напора в случае возникновения пожара, после чего сравнивают все три полученные значения и выбирают наибольшее из них.

4. Далее уточняют значение полного напора насосной станции II подъема по аналогии с уточнением полного напора водопроводной насосной станции I подъема (см. п. 3.2.1).

3.3. Выбор количества рабочих и резервных насосных агрегатов для насосных станций систем водоснабжения

Согласно СП 31.13330¹⁵ тип и количество рабочих насосных агрегатов выбирают на основании расчетов совместной работы насосов, водоводов, сетей и регулирующих емкостей. При этом учитывают суточные и часовые графики водопотребления проектируемой системы водоснабжения; сезонные, климатические, метеорологические и другие факторы, влияющие на водопотребление; условия пожаротушения; очередность ввода в действие проектируемого объекта.

Количество рабочих насосных агрегатов оптимизируют на основе технико-экономических расчетов по проектируемым насосным станциям, включающих оценку инвестиционных затрат, в том числе затрат на комплексную автомати-

¹⁴ СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

¹⁵ Там же.

зацию и мероприятия по обеспечению энергоэффективности, а также оценку операционных затрат (на электроэнергию, обслуживание сетей и др.).

Минимальное количество рабочих насосных агрегатов на насосных станциях регламентировано СП 31.13330¹⁶:

- на насосных станциях I категории надежности — два насосных агрегата, включая пожарные насосные агрегаты;
- на насосных станциях II и III категорий надежности — один насосный агрегат.

Если необходимо организовать подачу воды потребителям, у которых разные объемы водопотребления, различные по часам суток графики водопотребления, неодинаковые требования к напору воды или имеются другие отличия, влияющие на рабочие параметры насосных агрегатов, то на насосной станции устанавливают отдельные насосные агрегаты или группы из нескольких насосных агрегатов для подачи воды каждому потребителю или нескольким однотипным потребителям. При выборе насосных агрегатов учитывают индивидуальные особенности каждого потребителя воды или нескольких однотипных потребителей.

При проектировании насосной станции с несколькими группами насосных агрегатов учитывают требования СП 31.13330¹⁷:

- на насосных станциях, подающих воду на хозяйственно-питьевые нужды, установка насосных агрегатов, перекачивающих пахучие и ядовитые жидкие среды, запрещается, за исключением насосов, подающих раствор пенообразователя в систему пожаротушения;
- при установке группы насосных агрегатов с разной производительностью резервные насосные агрегаты для насосных агрегатов с наибольшей производительностью устанавливаются непосредственно на насосной станции, а резервные насосные агрегаты для насосных агрегатов с меньшей производительностью хранятся на складе.

На насосных станциях для группы насосных агрегатов одного назначения, подающих воду в одни и те же водоводы и (или) одну и ту же распределительную водопроводную сеть, количество резервных насосных агрегатов принимают согласно СП 31.13330 (см. табл. 3).

На насосных станциях водопроводов населенных пунктов с числом жителей до 5 тыс. чел. при одном источнике электроснабжения устанавливают резервный пожарный насосный агрегат, оснащенный двигателем внутреннего сгорания и автоматическим запуском от аккумуляторов¹⁸. При этом допускается размещать расходные емкости с жидким топливом (для бензина — до 250 л, для дизельного топлива — 500 л) в помещениях, которые отделены от машин-

¹⁶ СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

¹⁷ Там же.

¹⁸ Там же.

ного зала несгораемыми конструкциями с пределом огнестойкости не менее 2 ч и где предусмотрены герметичные поддоны, исключаящие бесконтрольный пролив горюче-смазочных материалов.

Таблица 3

Требуемое количество резервных насосных агрегатов на насосных станциях водоснабжения¹⁹

Категория надежности насосной станции	Количество резервных насосных агрегатов при различном числе рабочих насосных агрегатов*	
	До 6 рабочих насосных агрегатов	Более 6 рабочих насосных агрегатов
I	2	2
II	1	2 (включая 1 на складе)
III	1	Не требуется

*В количество рабочих насосных агрегатов включены пожарные насосы.

Для обеспечения возможности повысить производительность насосной станции в случае, если возникнет необходимость в увеличении потребления воды на хозяйственно-питьевые, производственные и другие нужды, на стадии строительства насосной станции, особенно если она заглубленного типа, выполняют фундаменты под дополнительные насосные агрегаты либо монтируют фундаменты изначально с большими габаритами, рассчитанные на восприятие больших нагрузок, что в дальнейшем позволяет производить замену установленных на этих фундаментах насосных агрегатов на насосные агрегаты с большей производительностью и напором.

3.4. Выбор способа установки насосных агрегатов для насосных станций систем водоснабжения

Согласно СП 31.13330²⁰ на насосных станциях I категории надежности насосы располагают ниже уровня воды в источнике (водотоке, водоеме и др.) или резервуаре-приемнике²¹ (рис. 46, 47); на насосных станциях II категории надежности (кроме насосов, подающих воду на пожаротушение) и III категории надежности допускается установка насосов выше уровня воды в источнике или резервуаре-приемнике (рис. 48).

¹⁹ Составлено по: СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

²⁰ СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

²¹ В практике размещение насоса ниже уровня жидкости называют расположением насоса под заливом.

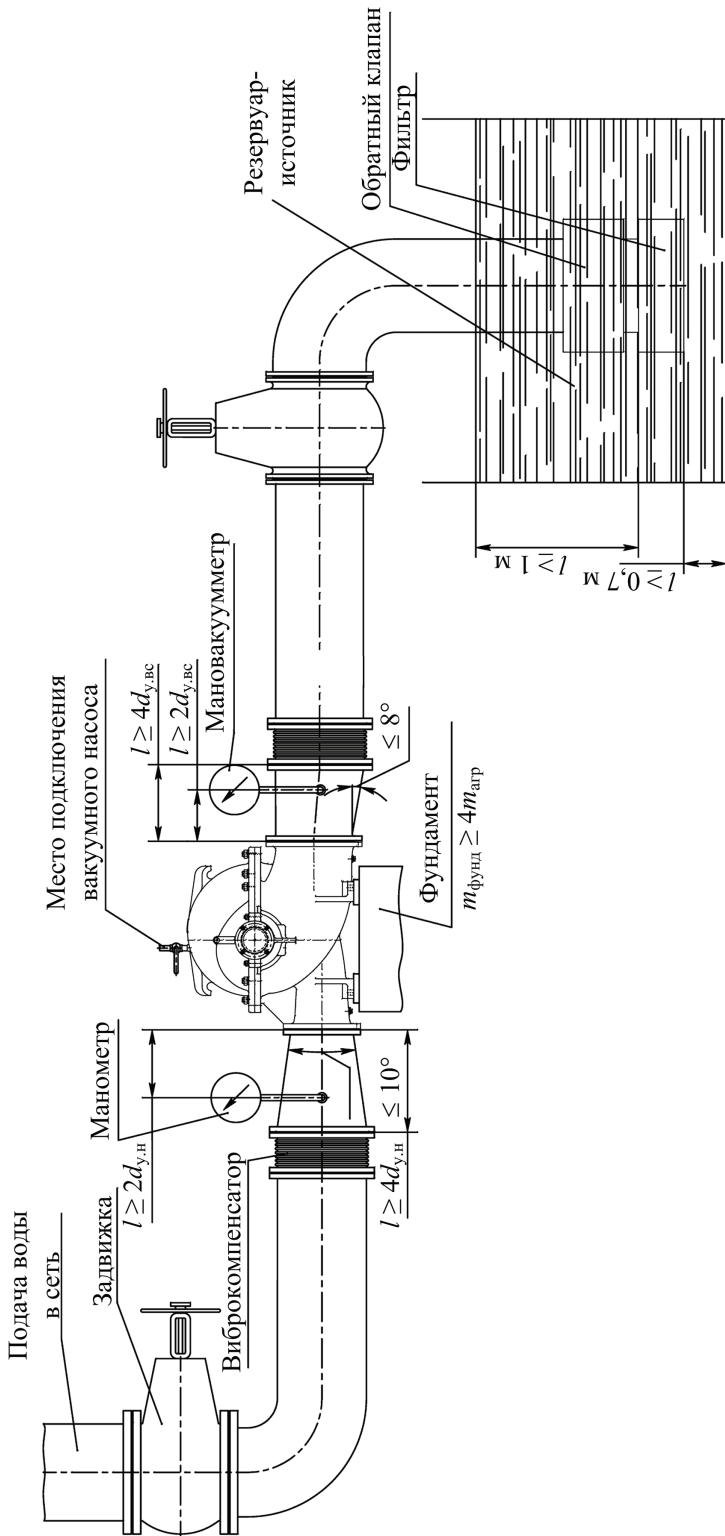


Рис. 46. Центробежный насосный агрегат, расположенный выше уровня воды в резервуаре-приемнике²²:

l — рекомендуемое расстояние; $d_{y,н}$ — диаметр условного прохода напорного трубопровода²³; $d_{y,вс}$ — диаметр условного прохода всасывающего трубопровода; $m_{\text{фунд}}$ — масса фундамента; $m_{\text{агр}}$ — масса насосного агрегата

²² Насосы центробежные двустороннего входа типа Д и агрегаты электронасосные на их основе [Электронный ресурс] : рук. по эксплуатации / АО «ГМС ЛИВГИДРОМАШ». [Б. м., б. г.]. С. 97. URL: <http://www.hms.ru/upload/block/86c/d.pdf> (дата обращения: 10.01.2018).

²³ Диаметр условного прохода трубы — геометрический параметр поперечного сечения трубы, равный диаметру условного круглого прохода (без учета допускаемых отклонений), по которому проводят гидравлический расчет трубопровода.

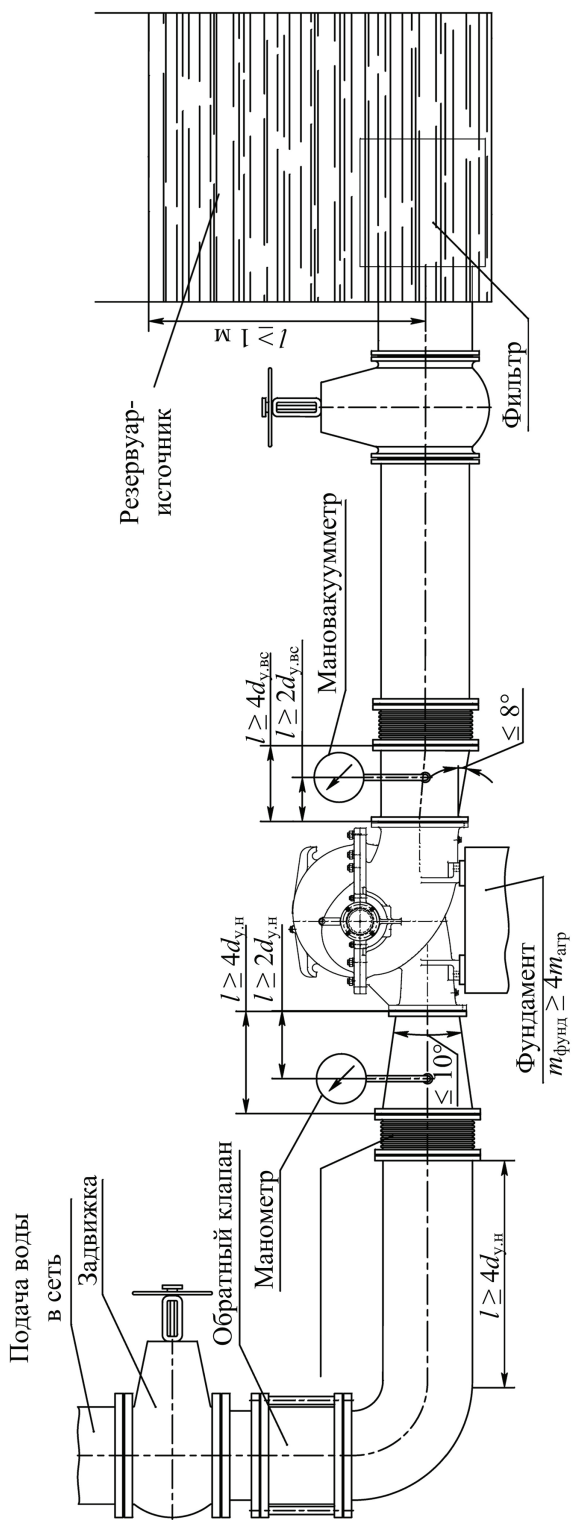


Рис. 47. Центробежный насосный агрегат, расположенный ниже уровня воды в резервуаре-приемнике²⁴.
 l — рекомендуемое расстояние; $d_{\text{у.н}}$ — диаметр условного прохода напорного трубопровода; $d_{\text{у.вс}}$ — диаметр условного прохода всасывающего трубопровода; $m_{\text{фунд}}$ — масса фундамента; $m_{\text{агр}}$ — масса насосного агрегата

²⁴ Насосы центробежные двустороннего входа типа Д и агрегаты электронасосные на их основе. С. 97.

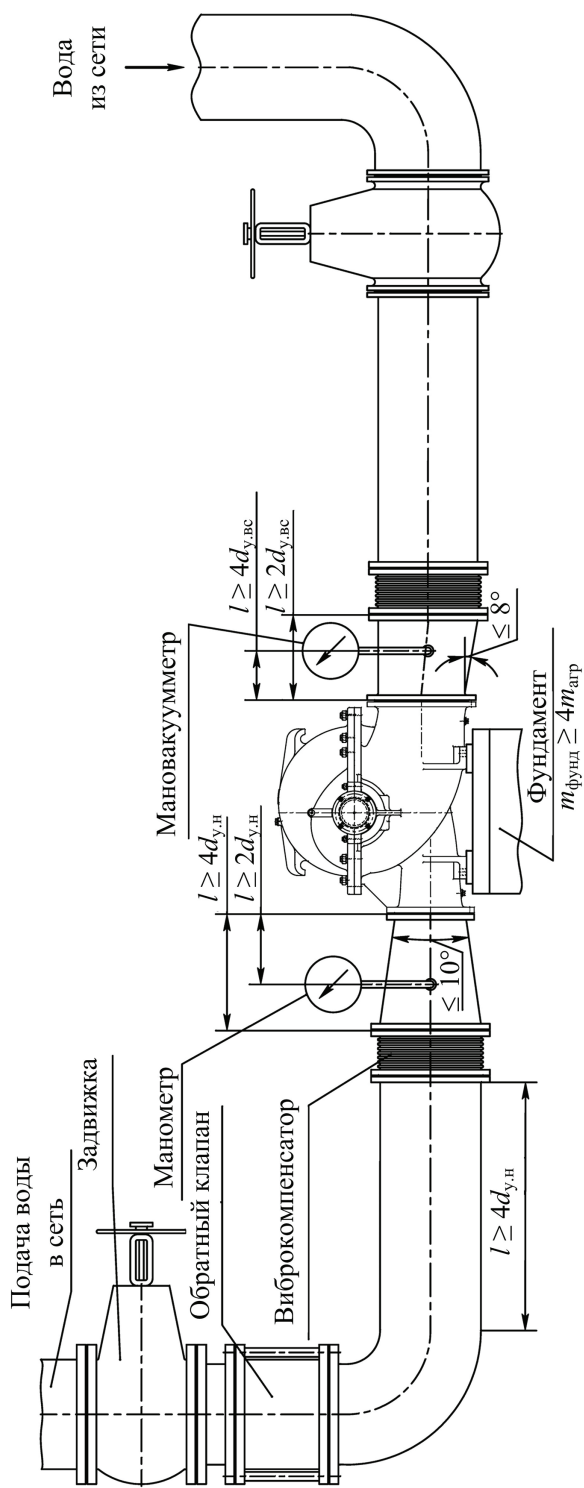


Рис. 48. Центробежный насосный агрегат, с входной стороны подключенный к напорному трубопроводу²⁵:
 l — рекомендуемое расстояние; $d_{у,н}$ — диаметр условного прохода напорного трубопровода; $d_{у,вс}$ — диаметр условного прохода всасывающего трубопровода; $m_{фунд}$ — масса фундамента; $m_{агр}$ — масса насосного агрегата

²⁵ Насосы центробежные двустороннего входа типа Д и агрегаты электронасосные на их основе. С. 97.

Отметку оси насоса при его установке ниже уровня воды определяют следующим образом:

- при заборе воды из резервуара: от верхнего уровня (определяемого от дна) неприкосновенного пожарного запаса воды — при одном пожаре; от среднего уровня неприкосновенного запаса — при двух и более пожарах; от уровня аварийного объема — при отсутствии пожарного и аварийного объемов; от среднего уровня воды — при отсутствии пожарного и аварийного объемов;
- в водозаборной скважине — от динамического уровня подземных вод при максимальном водоотборе из скважины;
- в водотоке или водоеме — от минимального уровня воды в них в зависимости от категории надежности водозабора.

Отметку пола машинных залов заглубленных насосных станций определяют исходя из отметки осей насосов наибольшей производительности и с учетом возможной в дальнейшем замены установленных насосных агрегатов на насосные агрегаты большей производительности.

При размещении насоса выше уровня воды предусматривают устройство для заливки насоса водой — вакуум-насоса (рис. 49) или вакуум-котла²⁶.

При установке на заглубленных и полузаглубленных насосных станциях центробежных горизонтальных насосных агрегатов должны быть приняты меры против возможного затопления машинного зала насосной станции при аварии, а именно:

- насосные агрегаты самой большой производительности должны быть расположены таким образом, чтобы их электродвигатели находились на высоте не менее 0,5 м от пола машинного зала;
- должен быть организован выпуск аварийного количества воды в канализацию или на поверхность земли с установкой на сбросном трубопроводе клапана или задвижки;
- должна быть обеспечена возможность откачки воды из машинного зала насосной станции основными насосными агрегатами, подающими воду потребителям.

Если установленные насосные агрегаты не позволяют осуществлять за 2 ч откачку из машинного зала насосной станции объема воды, соответствующего высоте слоя воды 0,5 м, то предусматривают дополнительные (аварийные) насосные агрегаты (один или несколько рабочих насосных агрегатов и один резервный), которые обеспечат откачку воды из машинного зала. Производительность этих насосных агрегатов определяют из условия откачки ими из машинного зала слоя воды высотой 0,5 м в течение не более 2 ч.

²⁶ См.: Залуцкий Э. В., Петрухно А. И. Насосные станции. С. 49–51.

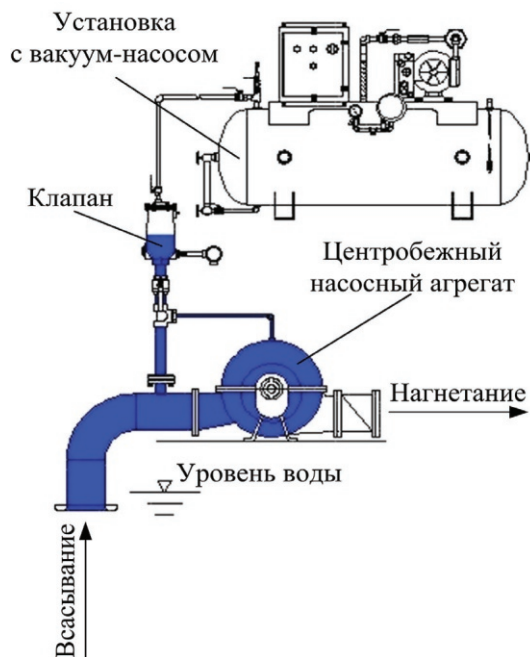


Рис. 49. Схема заливки центробежного насоса с помощью установки с вакуум-насосом

На заглубленных насосных станциях для предотвращения выхода из строя насосных агрегатов при их затоплении в аварийных ситуациях вместо центробежных горизонтальных насосных агрегатов могут быть установлены герметичные моноблочные насосные агрегаты погружного типа (рис. 50). В этом случае соблюдение условия по высоте подъема фундамента над полом машинного зала не обязательно.

3.5. Расчет и конструирование всасывающих и напорных водоводов и трубопроводов для насосных станций систем водоснабжения

Одними из основных элементов систем транспортирования воды являются всасывающие и напорные водоводы и трубопроводы.

Расчет всасывающих трубопроводов и водоводов рекомендуется выполнять с использованием учебника²⁷ или любого другого подобного издания. Расчет напорных трубопроводов производится в соответствии с таблицами д-ра техн. наук, проф. Ф. А. Шевелева²⁸.

²⁷ См., напр.: Штеренлихт Д. В. Гидравлика. 5-е изд., стер. СПб. : Лань, 2015. С. 258–259.

²⁸ См.: Шевелев Ф. А., Шевелев А. Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : справ. пособие. 8-е изд., перераб. и доп. М. : БАСТЕТ, 2007.

При гидравлических расчетах трубопроводов необходимо учитывать следующее: *всасывающий трубопровод* — гидравлически короткий трубопровод, при расчете которого должны быть рассчитаны как потери гидравлического напора по длине трубопровода, так и каждая из местных потерь гидравлического напора; *напорный трубопровод* — гидравлически длинный трубопровод, у которого потери гидравлического напора по длине настолько превышают местные потери, что их можно учитывать путем увеличения на 5–10 % найденного значения потерь гидравлического напора по длине трубопровода.

В ряде задач (например, при построении характеристики трубопроводной сети) для определения потерь гидравлического напора по длине для гидравлически длинного трубопровода H_f , м, можно пользоваться упрощенной формулой

$$H_f = sQ^2,$$

где s — удельные потери гидравлического напора по длине трубопровода, м; Q — расход воды по трубопроводу, м³/с.

Количество всасывающих водоводов к насосным станциям I и II категорий надежности независимо от числа и групп установленных насосных агрегатов, включая пожарные, должно быть не менее двух.

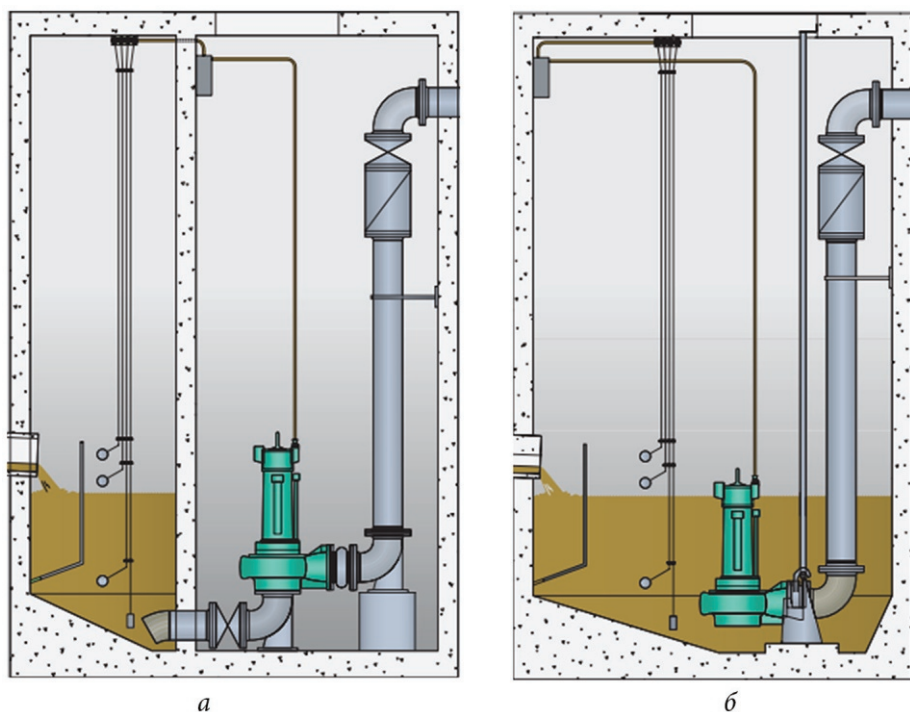


Рис. 50. Варианты установки погружного насоса в заглубленной насосной станции:
 а — насос размещен без погружения в перекачиваемую воду;
 б — насос размещен с погружением в перекачиваемую воду

Для насосных станций III категории надежности допускается устройство одного всасывающего водовода.

Количество напорных водоводов от насосных станций I и II категорий надежности должно быть не менее двух. Для насосных станций III категории надежности допускается устройство одного напорного водовода.

При выключении одного водовода остальные должны быть рассчитаны на пропуск полного расхода воды для насосных станций I и II категорий надежности и на 70 % расхода воды для насосных станций III категории надежности.

Трубопроводная обвязка и размещение запорной арматуры на всасывающих и напорных водоводах должны обеспечивать возможность:

- забора воды из любого из всасывающих водоводов при выключении любого из них каждым установленным рабочим насосным агрегатом;
- замены или ремонта любого из насосных агрегатов, обратных клапанов и основной запорной арматуры, а также проверки характеристик насосных агрегатов без нарушения требований по обеспеченности подачи воды;
- подачи воды в каждый из напорных водоводов от каждого из насосных агрегатов при выключении одного из всасывающих водоводов.

На всасывающих трубопроводах каждого насоса запорную арматуру устанавливают у насосных агрегатов, расположенных под заливом или присоединенных к общему всасывающему трубопроводу.

Диаметр всасывающего трубопровода должен быть больше диаметра всасывающего патрубка насоса. Переходы для горизонтально расположенных всасывающих трубопроводов должны быть эксцентричными, с прямой верхней частью во избежание образования в них воздушных мешков. Всасывающий трубопровод должен иметь непрерывный подъем к насосу, величина которого регламентируется СП 31.13330²⁹ или требованиями заводов-изготовителей насосного оборудования (рис. 51).

Расстояние от всасывающего патрубка насоса до ближайшего фитинга³⁰ и арматуры³¹ должно быть не менее пяти диаметров условного прохода всасывающего трубопровода.

Диаметр условного прохода водоводов и трубопроводов насосных станций, фасонных частей и арматуры принимают на основании технико-экономического расчета и с учетом требований СП 31.13330 (см. табл. 4).

²⁹ СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

³⁰ Фитинг — соединительная часть трубопровода, устанавливаемая в местах его разветвлений, поворотов, переходов на другой диаметр, а также при необходимости частой сборки и разборки труб; служит также для герметичного перекрытия трубопровода и других вспомогательных целей.

³¹ Арматура — технические устройства, устанавливаемые на трубопроводах и предназначенные для управления потоком рабочей среды путем изменения проходного сечения трубопроводов.

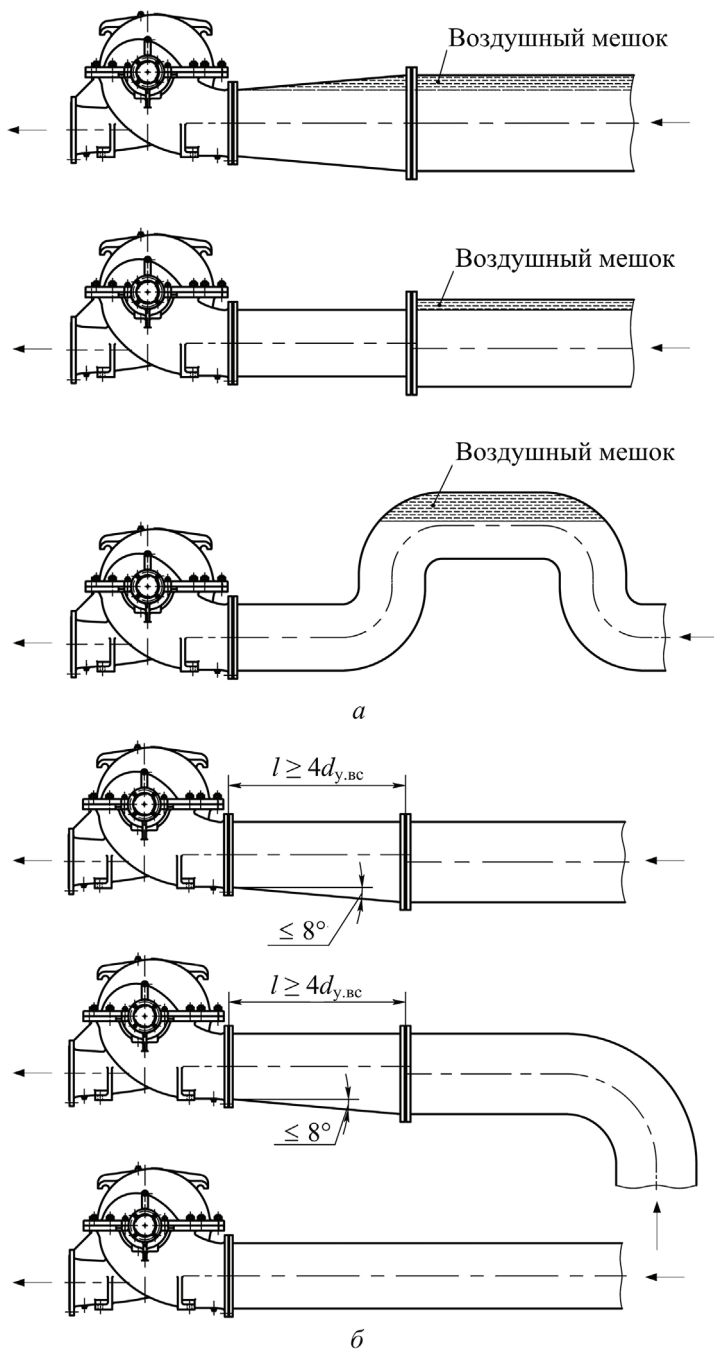


Рис. 51. Примеры монтажа всасывающих трубопроводов насосов³²:
a — неправильный монтаж; *б* — правильный монтаж

³² Насосы центробежные двустороннего входа типа Д и агрегаты электронасосные на их основе. С. 98.

**Рекомендуемые скорости движения воды
в водоводах и трубопроводах насосных станций³³**

Диаметр условного прохода трубопро- вода, мм	Скорость движения воды, м/с	
	Всасывающий водовод (трубопровод)	Напорный водовод (трубопровод)
До 250	0,6–1	0,8–2
Свыше 250 до 800	0,8–1,5	1–3
Свыше 800	1,2–2	1,5–4

Трубопроводы на насосных станциях, а также всасывающие водоводы за их пределами, как правило, выполняют из труб (стальных или из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом), соединяемых сваркой. Для присоединения к трубопроводам арматуры и насосов применяют фланцевые соединения. При этом необходимо предусматривать крепление труб, обеспечивающее предотвращение их опирания на насосные агрегаты и взаимной передачи вибрации от насосных агрегатов и узлов трубопроводов.

3.6. Компонировка зданий, сооружений и оборудования насосных станций водоснабжения

3.6.1. Объемно-планировочные решения для насосных станций систем водоснабжения

Объемно-планировочные и конструктивные решения по насосным станциям принимают согласно СП 44.13330³⁴ и СП 56.13330³⁵.

Класс ответственности и степень огнестойкости зданий и сооружений насосных станций принимают по табл. 27 СП 31.13330³⁶.

Группы санитарной характеристики производственных процессов и данные для расчета отопления и вентиляции зданий и помещений насосных станций принимают по табл. 29а СП 31.13330³⁷, технические решения по естественному

³³ Составлено по: СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

³⁴ СП 44.13330.2011. Административные и бытовые здания (с поправкой, изм. № 1) [Электронный ресурс] : актуализир. ред. СНиП 2.09.04–87. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

³⁵ СП 56.13330.2011. Производственные здания (с изм. № 1) [Электронный ресурс] : актуализир. ред. СНиП 31–03–2001. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

³⁶ СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

³⁷ Там же.

и искусственному освещению зданий и помещений насосных станций принимают по СП 52.13330³⁸.

Размеры прямоугольных и диаметры круглых в плане приемных резервуаров насосных станций рекомендуется принимать кратными 3 м, а по высоте — кратными 0,6 м. При длине стороны или диаметре сооружений до 9 м, а также для приемных резервуаров (независимо от их размеров), встроенных в здания насосных станций, допускается принимать размеры прямоугольных сооружений кратными 1,5 м, размеры круглых сооружений — кратными 1 м.

Подземные приемные резервуары насосных станций, имеющие обвалованное грунтом высотой менее 0,5 м над спланированной поверхностью территории, должны иметь ограждение от возможного заезда транспорта или механизмов. Выполнять ограждение не требуется, если перекрытия подземных приемных резервуаров насосных станций обеспечивают восприятие нагрузок от транспорта или механизмов.

Допускается опирание ограждающих и несущих конструкций зданий насосных станций на стены встроенных приемных резервуаров, не предназначенных для хранения агрессивных жидкостей.

Лестницы для выхода из заглубленных насосных станций должны быть шириной не менее 0,9 м, с углом наклона не более 45°; в помещениях насосных станций длиной до 12 м угол наклона лестниц допускается увеличивать до 60°. Для подъема на площадки обслуживания ширина лестниц должна быть не менее 0,7 м, угол наклона лестниц — не более 60°. В стесненных условиях для подъема на площадки высотой до 2 м допускается устройство стремянок.

Для одиночных переходов через трубы и для подъема к отдельным задвижкам и затворам допускается применять лестницы шириной 0,5 м, с углом наклона более 60° или стремянки.

На автоматизированных насосных станциях без постоянного пребывания персонала при заглублении машинного зала более 20 м, а также на насосных станциях с постоянным пребыванием персонала при заглублении машинного зала более 15 м предусматривают пассажирский лифт.

Спуск в приемные резервуары насосных станций на глубину до 10 м допускается устраивать вертикальным — по ходовым скобам или стремянкам. При этом на стремянках высотой более 4 м предусматривают защитные ограждения. Спуск в сооружения глубиной более 10 м необходимо предусматривать по вертикальным стремянкам с промежуточными площадками, устанавливаемыми через 5–6 м по высоте.

³⁸ СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс] : актуализир. ред. СНиП 23–05–95*. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

На насосной станции независимо от степени ее автоматизации предусматривают санитарный узел (унитаз и раковину), помещение и шкафчик для хранения одежды эксплуатационного персонала (дежурной ремонтной бригады).

При расположении насосной станции на расстоянии не более 30 м от производственных зданий, имеющих санитарно-бытовые помещения, санитарный узел допускается не предусматривать.

На насосных станциях над водозаборными скважинами санитарный узел не предусматривают. Для насосной станции, расположенной вне населенного пункта или объекта, устанавливаются туалетные кабины в пределах территории.

В отдельно расположенной насосной станции предусматривают установку верстака для производства мелкого ремонта.

3.6.2. Размещение насосных агрегатов и вспомогательного оборудования на насосных станциях систем водоснабжения

Насосные агрегаты устанавливают на насосных станциях с учетом требований нормативно-правовых и нормативно-технических документов, а также с учетом рекомендаций заводов-изготовителей и фирм-поставщиков насосного оборудования (рис. 52 и 53).

При определении в плане габаритов насосных станций ширину проходов вокруг оборудования (насосных агрегатов и др.) в случае отсутствия таких требований и рекомендаций для выбранного оборудования можно принимать по СП 31.13330³⁹:

- между насосами или электродвигателями — не менее 1 м;
- между насосами или электродвигателями и стеной в заглубленных помещениях — не менее 0,7 м, в прочих помещениях — не менее 1 м; при этом ширина прохода со стороны электродвигателя должна быть достаточной для демонтажа ротора;
- между неподвижными выступающими частями оборудования — не менее 0,7 м;
- перед распределительным электрическим щитом — не менее 2 м;
- вокруг оборудования или транспортного средства, устанавливаемого на монтажной площадке в зоне обслуживания кранового оборудования, — не менее 0,7 м.

Для насосных агрегатов с диаметром условного прохода нагнетательного патрубка до 100 мм включительно допускаются: установка агрегатов у стены или на кронштейнах; установка двух агрегатов на одном фундаменте при расстоянии между выступающими частями агрегатов не менее 0,25 м с обеспечением вокруг сдвоенной установки проходов шириной не менее 0,7 м.

³⁹ СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

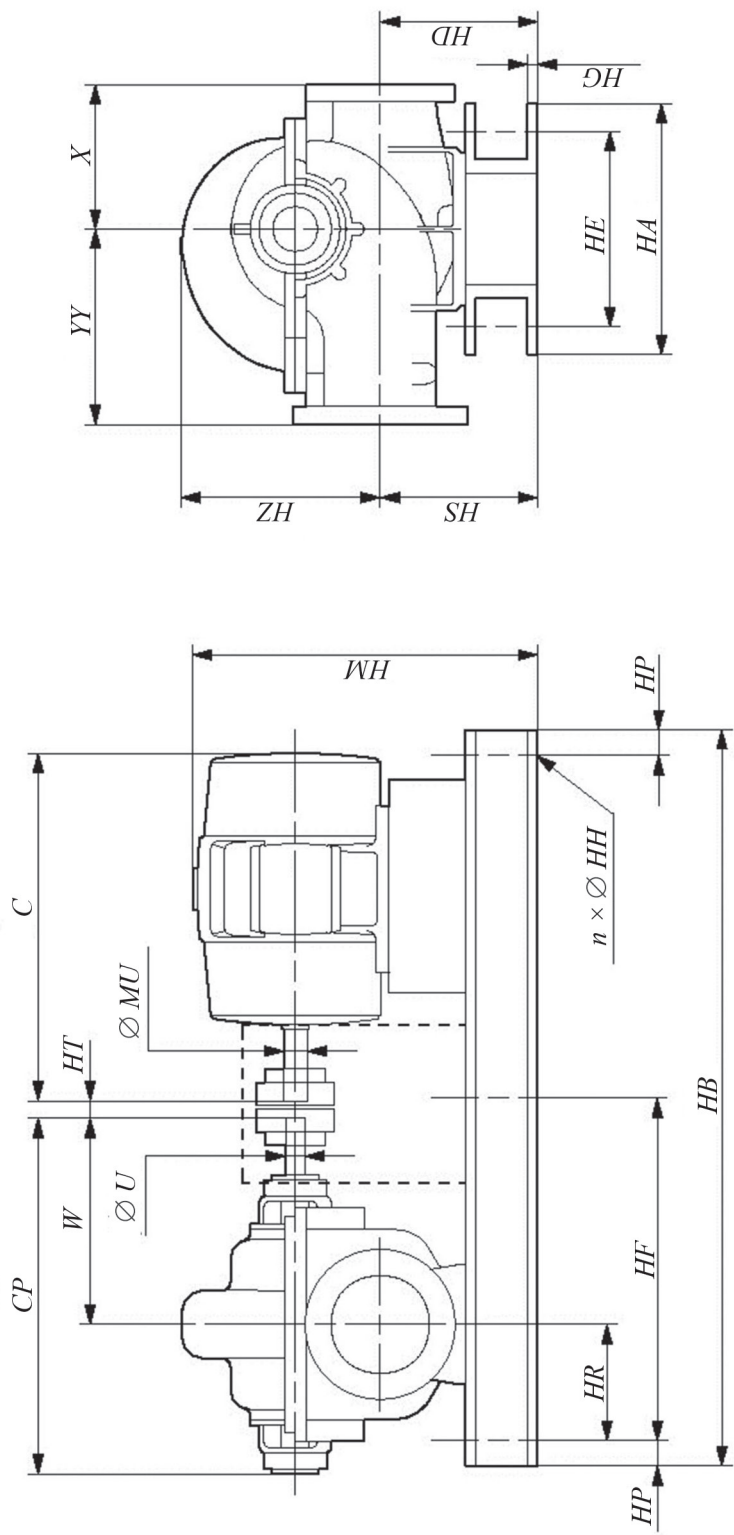


Рис. 52. Пример данных для проектирования насосных станций⁴⁰;

$CP, W, \varnothing U, X, YY, HD, HS, HZ$ — размеры насоса; $C, HM, \varnothing MU$ — размеры электродвигателя; HT — расстояние между торцами валов; $HB, HP, HR, HF, HA, HE, HG, n \times \varnothing HH$ — размеры, относящиеся к плите-основанию

⁴⁰ Составлено по: Горизонтальные насосы двустороннего входа [Электронный ресурс] : каталог GRUNDFOS. [Б. м.: б. и.], 2016. С. 105. URL: <http://ru.grundfos.com/content/dam/GMO/Documentation/catalogs/HIS-91830045-0416.pdf> (дата обращения: 10.01.2018).

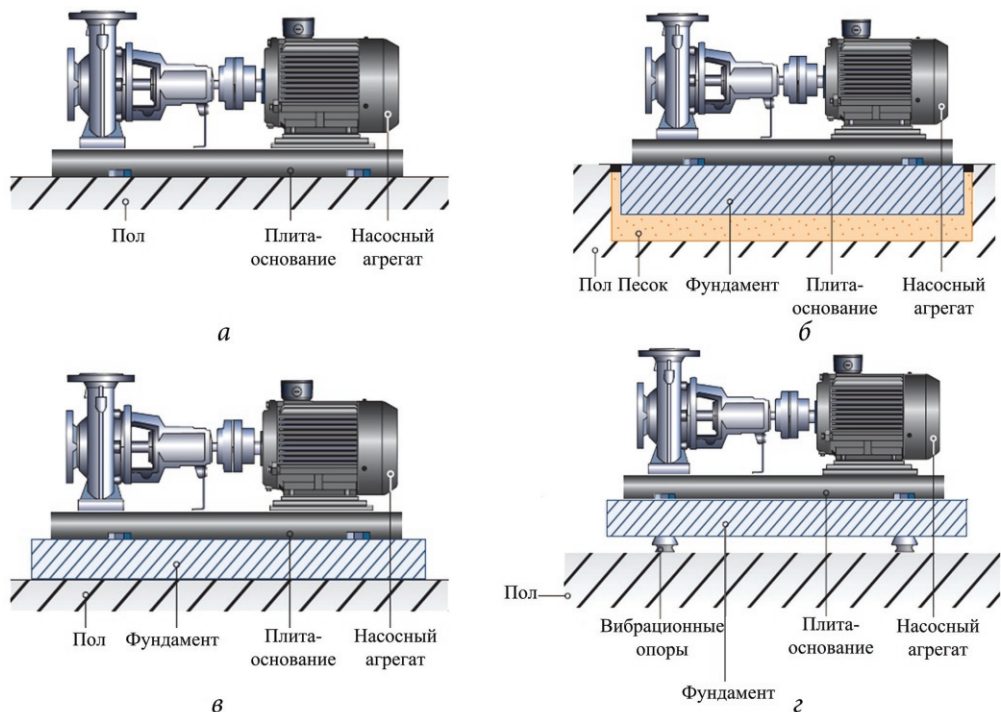


Рис. 53. Пример рекомендаций по установке центробежных горизонтальных насосных агрегатов⁴¹:

а — на полу; *б* — на бетонном фундаменте; *в* — на плавающем бетонном фундаменте; *г* — на вибрационных опорах, расположенных на бетонном фундаменте

3.6.3. Выбор подъемно-транспортного оборудования

Для эксплуатации насосных агрегатов, арматуры и трубопроводов на насосных станциях должно предусматриваться подъемно-транспортное оборудование: при массе груза до 5 т — таль ручная или кран-балка подвесная ручная; при массе груза более 5 т — кран мостовой ручной; при подъеме груза на высоту более 6 м или при длине подкранового пути более 18 м — электрическое крановое оборудование⁴² (рис. 54).

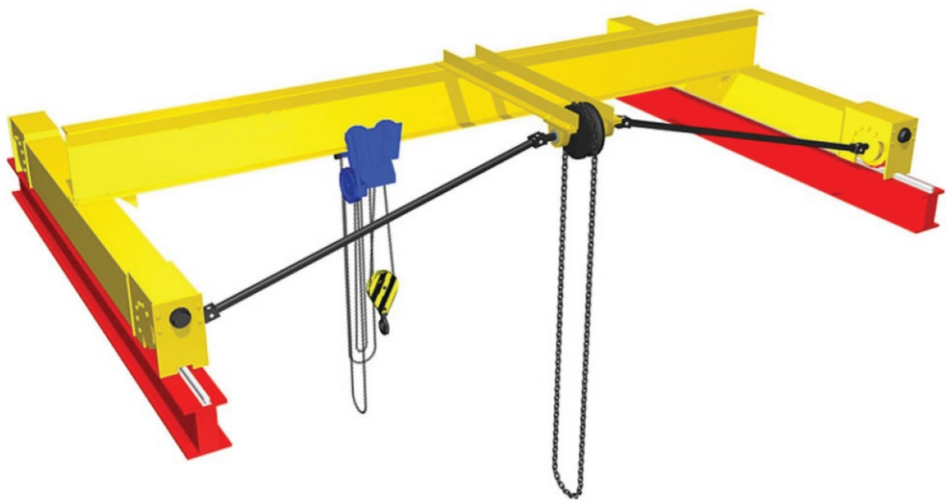
Для перемещения оборудования и арматуры массой до 0,3 т допускается применение такелажных средств.

В помещениях с крановым оборудованием предусматривают монтажную площадку.

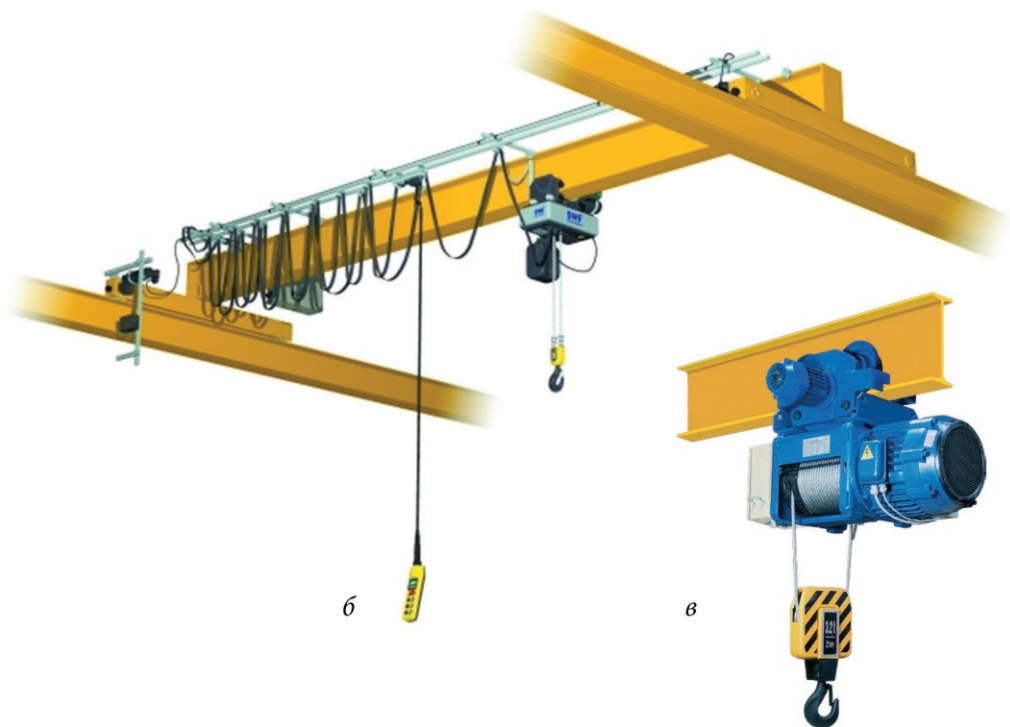
Доставку оборудования и арматуры на монтажную площадку производят такелажными средствами или талью на монорельсе, выходящем из здания, а в обоснованных случаях — транспортными средствами.

⁴¹ Промышленное насосное оборудование / GRUNDFOS. [Б. м. : б. и.], 2006. С. 79.

⁴² СП 31.13330.2012. Водоснабжение.



a



б

в

Рис. 54. Подъемно-транспортное оборудование:
a — кран-балка ручная; *б* — кран мостовой электрический; *в* — таль электрическая

Размеры ворот или дверей определяют исходя из габаритов оборудования или транспортного средства с грузом.

Грузоподъемность кранового оборудования определяют исходя из максимальной массы перемещаемого груза или оборудования. В последнем случае учитываются требования завода-изготовителя оборудования к условиям строповки оборудования при его перемещении (рис. 55).

В отсутствие требования заводов-изготовителей о перемещении оборудования только в собранном виде грузоподъемность крана допускается определять исходя из детали или части оборудования, имеющей максимальную массу. При этом учитывают увеличение массы и габаритов оборудования в случаях предусматриваемой замены его на более мощное.

Перед проемами и воротами снаружи необходимо организовать соответствующие площадки для разворота транспортных средств и грузоподъемного оборудования.

Определение высоты помещений (от уровня монтажной площадки до низа балок перекрытия), имеющих подъемно-транспортное оборудование, и установку кранов производят в соответствии с ГОСТ 7890–93⁴³.

При отсутствии подъемно-транспортного оборудования высоту помещений принимают согласно СП 56.13330⁴⁴.

3.6.4. Размещение запорной арматуры

Запорную арматуру⁴⁵ на всасывающих и напорных трубопроводах размещают в здании насосной станции.

При расположении насосов ниже уровня воды в резервуаре-приемнике (см. рис. 47) или при подключении насосов к трубопроводу с всасывающей стороны (см. рис. 48) напорный трубопровод каждого насоса должен быть оборудован запорной арматурой и обратным клапаном, который устанавливают между насосом и запорной арматурой.

3.6.5. Выбор запорной арматуры

При дистанционном и (или) автоматическом управлении насосными агрегатами монтируют запорную арматуру, оснащенную электроприводами. При этом допускается применение запорной арматуры с пневматическим, гидравлическим или электромагнитным приводом.

⁴³ ГОСТ 7890–93. Краны мостовые однобалочные подвесные: Технические условия [Электронный ресурс]: актуализир. ред. СНиП 31–03–2001. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

⁴⁴ СП 56.13330.2011. Производственные здания.

⁴⁵ Запорная арматура — изделия (вентиль, задвижка, кран и т. п.), предназначенные для перекрытия потока рабочей среды (воды, сточных вод и т. п.) с определенной герметичностью.

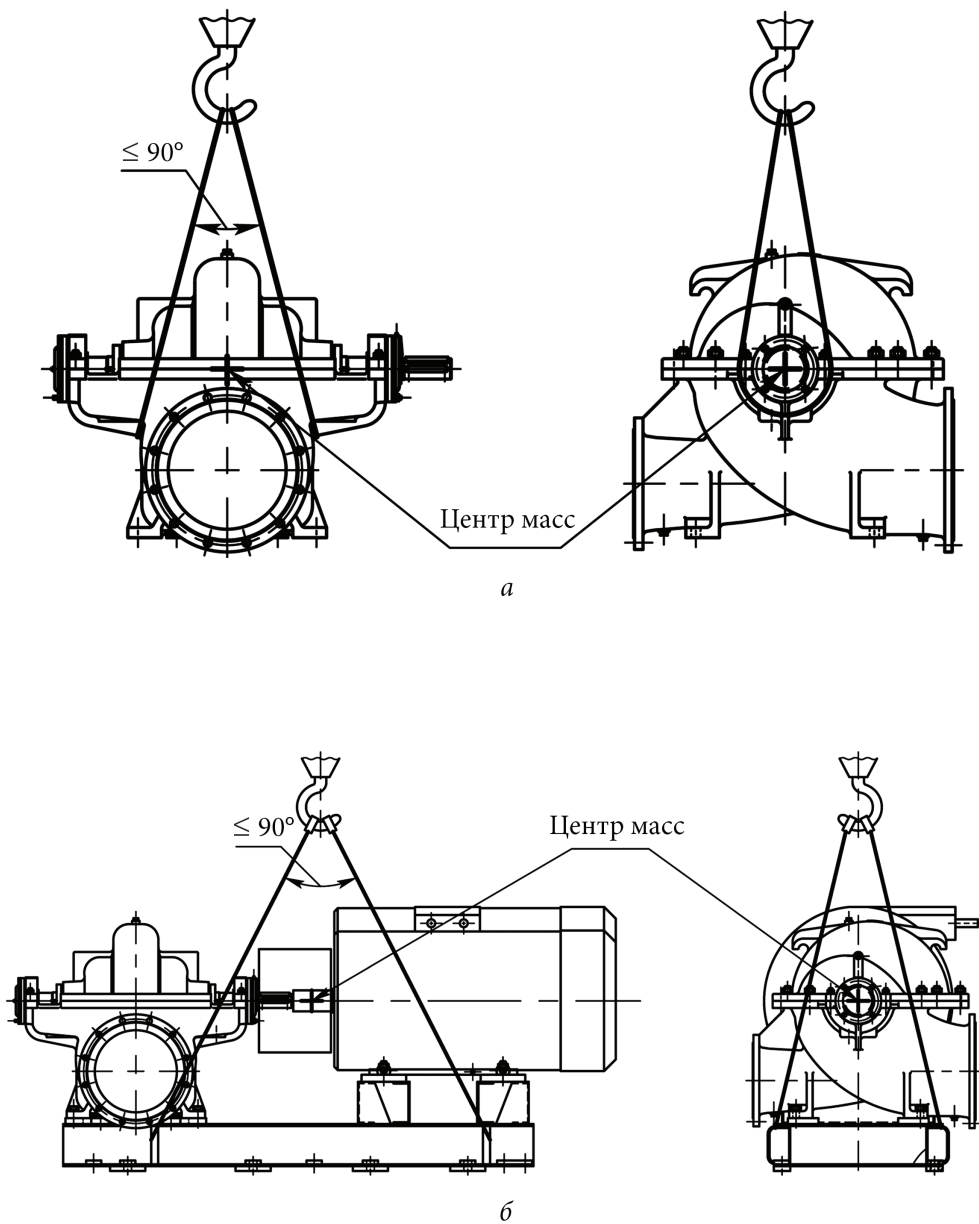


Рис. 55. Пример требований завода-изготовителя к строповке оборудования при его перемещении⁴⁶:
 а — перемещение насоса; б — перемещение насосного агрегата

⁴⁶ Насосы центробежные двустороннего входа типа Д и агрегаты электронасосные на их основе. С. 96.

При отсутствии дистанционного и (или) автоматического управления насосными агрегатами допускается устанавливать ручную запорную арматуру, если ее диаметр условного прохода 400 мм и менее. Запорную арматуру с диаметром условного прохода более 400 мм из-за значительных габаритов и большой массы ее органов управления предусматривают с электрическим или гидравлическим приводом.

3.6.6. Размещение обратных клапанов

Обратные клапаны⁴⁷ применяют на насосных станциях для того, чтобы при аварийной остановке насосного агрегата воспрепятствовать обратному течению через насос воды из напорного трубопровода. Обратное течение воды может привести к опорожнению напорных трубопроводов и водоводов и опасному обратному вращению рабочего колеса насоса и ротора электродвигателя.

Существуют различные типы обратных клапанов. Наиболее простым и давно применяемым является *обратный затвор*⁴⁸ (рис. 56, а). Однако при использовании такого обратного клапана в случае остановки насосного агрегата может произойти гидравлический удар в трубопроводе вследствие резкого захлопывания диска клапана при закрытии. По этой причине предпочтительнее *осесимметричные обратные клапаны*⁴⁹ (рис. 56, б), исключаящие их быстрое закрытие.

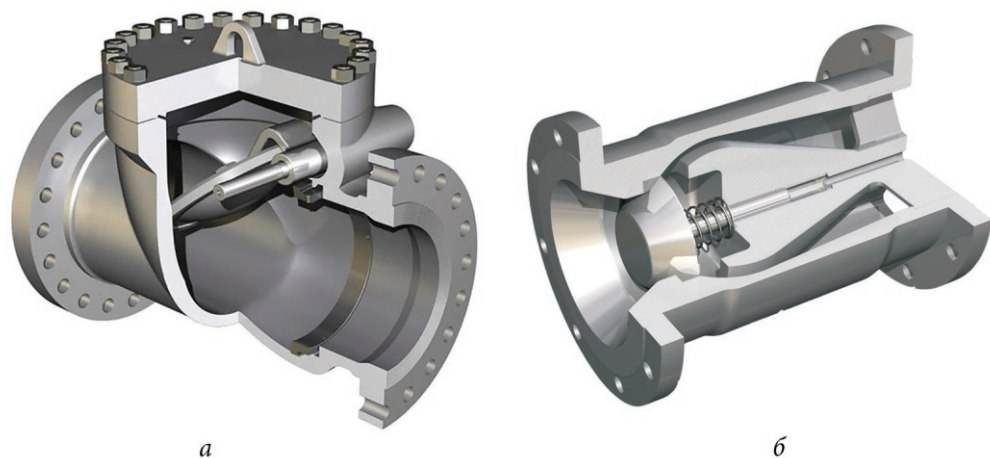


Рис. 56. Типы обратных клапанов:
а — обратный затвор; б — осесимметричный обратный клапан

⁴⁷ Клапан обратный — клапан, предназначенный для автоматического предотвращения обратного потока рабочей среды.

⁴⁸ Обратный затвор — обратная арматура, конструктивно выполненная в виде дискового затвора.

⁴⁹ Осесимметричный обратный клапан — обратный клапан, в котором запирающий элемент совершает возвратно-поступательное движение соосно с патрубками корпуса.

При размещении насоса выше уровня воды в резервуаре-приемнике для удобства заливки насоса перед запуском допускается установка в начале всасывающего трубопровода приемного обратного клапана (рис. 57). Согласно СП 31.13330⁵⁰ такие клапаны могут быть установлены на всасывающих трубопроводах с диаметром условного прохода не более 200 мм. При диаметре условного прохода всасывающего трубопровода больше 200 мм к трубопроводу присоединяют конфузор⁵¹, так как при больших диаметрах обратного клапана резко возрастают масса диска клапана и сила его удара при закрытии. Кроме того, возрастающее в приемном клапане с большим диаметром условного прохода гидравлическое сопротивление существенно снижает геометрическую высоту всасывания насоса. При оборудовании приемными клапанами насосов с индивидуальными всасывающими трубопроводами можно не устанавливать обратные клапаны на напорных трубопроводах насосов.

Диаметр условного прохода водоводов и трубопроводов насосных станций, фасонных частей⁵² и арматуры принимают на основании технико-экономического расчета исходя из скоростей движения воды в пределах, указанных в СП 31.13330⁵³.



Рис. 57. Приемный обратный клапан

⁵⁰ СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

⁵¹ Конфузор — деталь, представляющая собой сужающийся трубопровод (по ходу движения воды) в виде усеченного конуса и предназначенная для увеличения скорости потока воды.

⁵² Фасонная часть — деталь или сборочная единица трубопровода либо трубной системы, обеспечивающая изменение направления, слияние или деление, расширение или сужение потока рабочей среды.

⁵³ СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

3.6.7. Размещение монтажных вставок

Для возможности проведения монтажных работ в ограниченном пространстве между фланцами⁵⁴ смонтированного трубопровода устанавливают монтажные вставки⁵⁵ (рис. 58), которые размещают между запорной арматурой и обратным клапаном. В качестве монтажных вставок используют также сальниковые компенсаторы⁵⁶ (рис. 59).



Рис. 58. Монтажная вставка фланцевая

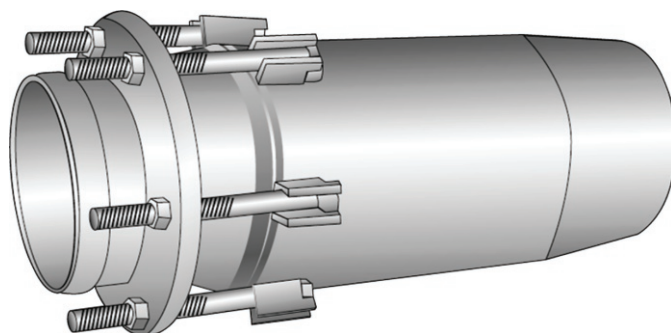


Рис. 59. Сальниковый компенсатор

⁵⁴ Фланец — элемент арматуры для соединения с трубопроводом или оборудованием, выполненный в виде плоского кольца с уплотнительной поверхностью и с расположенными на нем отверстиями для крепежных деталей.

⁵⁵ Монтажная вставка — устройство, позволяющее за счет регулирования длины хода компенсировать линейное расширение трубопровода.

⁵⁶ Сальниковый компенсатор — устройство для компенсации больших линейных перемещений трубопровода, представляющее собой подвижное соединение из двух стальных труб разного диаметра. Труба меньшего диаметра помещается в трубу большего диаметра, а пространство между ними заполняется сальниковой набивкой (шнур или кольца из асбеста с графитовой пропиткой, термостойкая резина и др.). На внешней стороне корпуса сальникового компенсатора монтируется арматура, ограничивающая перемещение внутренней трубы, чтобы предотвратить ее выпадение.

3.6.8. Размещение расходомеров-счетчиков

Для измерения расхода воды и сточных вод и учета объема этих жидких сред за определенный период времени (например, за месяц) насосные станции систем водоснабжения и водоотведения оснащают ультразвуковыми или электромагнитными расходомерами-счетчиками. Такие приборы бывают стационарными и переносными (рис. 60).

Для получения достоверных результатов измерения расходомеры-счетчики устанавливают на трубопроводах на определенных расстояниях от их конструктивных элементов (колен, тройников, задвижек и др.) (рис. 61). Как правило, эти требования приведены в паспортах или руководствах по эксплуатации таких приборов.

Особые требования к размещению расходомеров-счетчиков объясняются тем, что при движении вязкой жидкости на коротких участках, непосредственно примыкающих к конструктивным элементам трубопровода, происходит изменение вектора средней скорости потока из-за увеличения или уменьшения площади поперечного сечения трубопровода либо из-за изменения направления движения жидкости. Во многих случаях также могут изменяться значения средней скорости жидкости и направления ее движения (например, при прохождении жидкости через некоторые фасонные части трубопровода)⁵⁷. Описанные кинематические явления значительно увеличивают погрешность измерения ультразвуковыми расходомерами-счетчиками или вообще не позволяют провести измерения.



Рис. 60. Расходомеры-счетчики:
а — стационарный электромагнитный расходомер-счетчик;
б — переносной ультразвуковой расходомер-счетчик

⁵⁷ Штеренлихт Д. В. Гидравлика. С. 181.

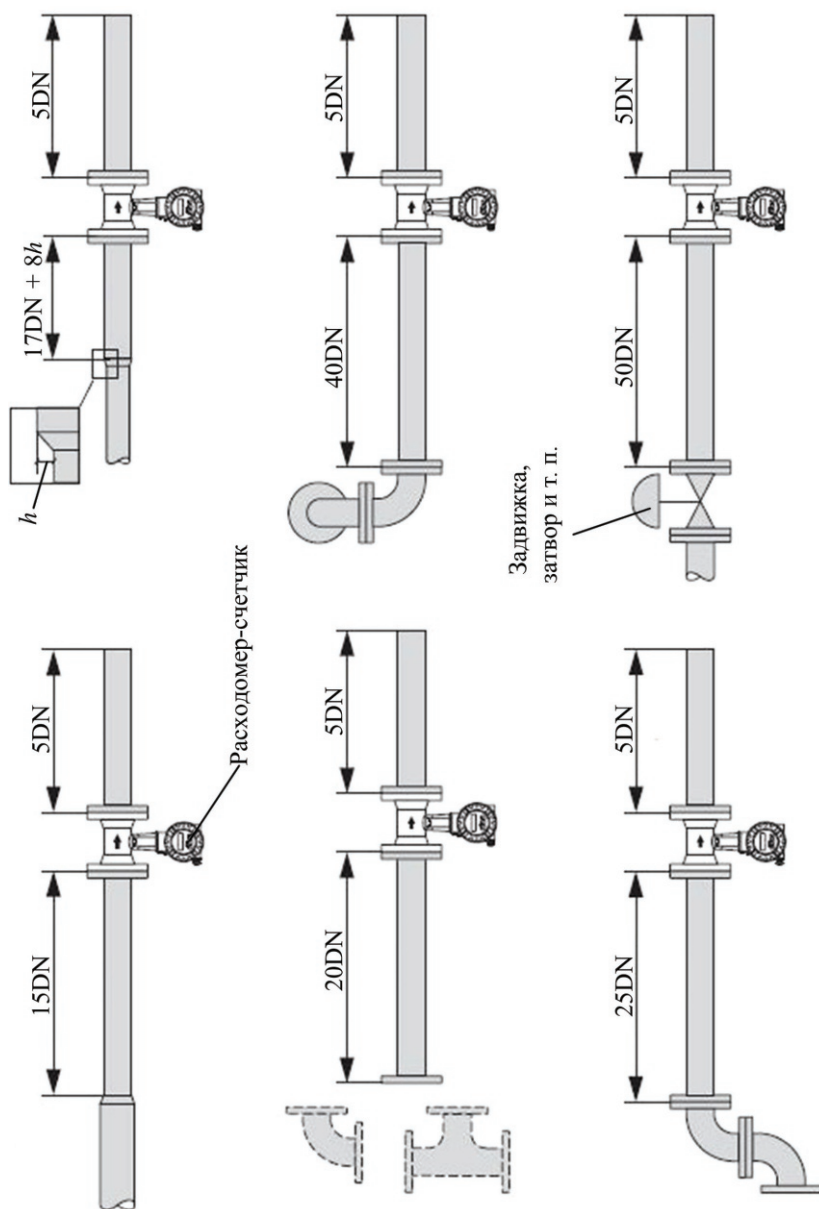


Рис. 61. Рекомендуемые варианты размещения расходомера-счетчика на трубопроводе:

DN — диаметр номинальный⁵⁸; h — высота

⁵⁸ Диаметр номинальный DN — параметр, применяемый для трубопроводных систем в качестве характеристики присоединяемых частей арматуры. Номинальный диаметр приблизительно равен внутреннему диаметру присоединяемого трубопровода, выраженному в миллиметрах и соответствующему ближайшему значению из ряда чисел, принятых в установленном порядке.

3.6.9. Организация мест для обслуживания оборудования и арматуры

На насосных станциях предусматривают места для обслуживания и монтажные площадки.

Место для обслуживания — пространство в зоне размещения технологического оборудования, электроприводов и маховиков задвижек (затворов), позволяющее персоналу насосной станции осуществлять работы, связанные с эксплуатацией, техническим обслуживанием, осмотрами, ремонтом и монтажом (демонтажем) этих устройств.

Монтажная площадка — площадка для безопасного заезда (выезда) грузового автотранспорта, выгрузки из него (загрузки в него) технологического оборудования и арматуры с помощью подъемно-транспортного оборудования или вручную, а также для сборки (разборки) и ремонта на ней технологического оборудования и арматуры.

При высоте от пола до места для обслуживания более 1,4 м устанавливают площадку или мостик, при этом высота с них до места для обслуживания не должна превышать 1 м.

Площадки и мостики для обслуживания — металлические конструкции, на которых может разместиться человек с инструментом и вспомогательным оборудованием.

В случае необходимости установки технологического оборудования и арматуры под монтажной площадкой или под площадкой для обслуживания необходимо, чтобы под ними имелось свободное пространство высотой не менее 1,8 м (высота определяется от пола помещения или площадки до низа выступающих конструкций монтажной площадки или площадки для обслуживания). Чтобы обеспечить возможность монтажа (демонтажа) технологического оборудования и арматуры, в монтажной площадке или площадке для обслуживания устраивают проемы, которые при необходимости оснащают съёмными покрытиями.

3.6.10. Монтаж трубопроводов

Трубопроводы на насосных станциях укладывают над поверхностью пола (на опорах или кронштейнах). Над трубопроводами устанавливают мостики с целью обеспечения безаварийного доступа персонала насосной станции к технологическому оборудованию и арматуре для их обслуживания.

Допускается укладка трубопроводов в каналах, перекрываемых съёмными плитами, или в подвалах.

Габариты каналов для трубопроводов:

- для труб с диаметром условного прохода до 400 мм ширину канала принимают на 600 мм, а глубину на 400 мм больше диаметра условного прохода трубопровода;

— для труб с диаметром условного прохода 500 мм и больше ширину канала принимают на 800 мм, а глубину на 600 мм больше диаметра условного прохода трубопровода.

Каналы для трубопроводов выполняют с уклоном не менее 0,005 к сборному (дренажному) приемку.

В местах установки фланцевой арматуры устраивают уширение канала для сборки (разборки) фланцевых соединений при монтаже (демонтаже) арматуры.

3.6.11. Устройство сборных (дренажных) приемков

На насосных станциях для откачки из их подземной части грунтовых вод, фильтрующихся через стены, утечек через сальники насосов и воды, изливающейся при ремонте оборудования, устраивают сборные (дренажные) приемки.

При невозможности самотечного отвода воды из сборных (дренажных) приемков предусматривают дренажные насосы. Подачу дренажных насосов рассчитывают по формуле⁵⁹

$$Q_d = (1,5 \dots 2) (\sum q_1 + q_2),$$

где $\sum q_1$ — суммарные утечки через сальники, принимаемые по данным заводов-изготовителей или фирм-поставщиков насосного оборудования, л/с; q_2 — расход фильтрационных вод через стены и пол здания насосной станции, л/с.

Величину q_2 можно приблизительно определить по формуле⁶⁰

$$q_2 = 1,5 + 0,001 W,$$

где W — объем части машинного зала, расположенный ниже максимального уровня грунтовых вод, м³.

Напор дренажного насоса определяется глубиной его установки в сборном (дренажном) приемке и потерями гидравлического напора (принимают равными 4–5 м).

Объем сборного (дренажного) приемка принимают равным подаче дренажного насоса в течение 10–15 мин. На фундаментах под насосы для отвода воды предусматривают бортики, желобки и трубки. Полы и каналы в машинном зале выполняют с уклоном не менее 0,005 к сборному (дренажному) приемку.

На насосных станциях систем хозяйственно-питьевого водоснабжения воду из сборного (дренажного) приемка откачивают в производственную или, при согласовании, в бытовую канализацию; на насосных станциях систем производственного водоснабжения эту воду откачивают в производственно-дождевую канализацию.

⁵⁹ Залуцкий Э. В., Петрухно А. И. Насосные станции. С. 51.

⁶⁰ Там же.

Глава 4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ

4.1. Назначение насосных станций в системах водоотведения городов и промышленных предприятий

Насосные станции систем водоотведения по назначению можно классифицировать следующим образом:

- насосные станции для перекачки бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод;
- насосные станции для перекачки поверхностных сточных вод (дождевых, талых, поливомоечных), насосные станции для перекачки смеси поверхностных сточных вод с другими типами сточных вод (дренажными, бытовыми, производственными и т. п.);
- насосные станции для перекачки производственных сточных вод, включая насосные станции агрессивных сточных вод;
- насосные станции для перекачки осадков.

4.2. Категории надежности насосных станций в системах водоотведения

Насосные станции систем водоотведения согласно СП 31.13330¹ делятся на три категории по надежности их действия (далее — категории надежности) (табл. 5).

В общем случае от того, к какой категории надежности относится насосная станция, зависит количество источников электроснабжения насосной станции; количество устанавливаемых на насосной станции резервных насосных агрегатов; диаметр напорных и всасывающих трубопроводов.

¹ СП 32.13330.2012. Канализация : Наружные сети и сооружения (с изм. № 1) [Электронный ресурс] : актуализир. ред. СНиП 2.04.03–85. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

Категории надежности насосных станций систем водоотведения²

Категория надежности насосной станции	Требование к надежности подачи воды насосной станцией
I	Не допускается перерыва или снижения подачи сточных вод
II	Допускается перерыв в подаче сточных вод не более 6 ч либо снижение подачи в пределах, определяемых надежностью системы водоснабжения населенного пункта или промпредприятия
III	Допускается перерыв подачи сточных вод не более суток (с прекращением водоснабжения населенных пунктов при численности жителей до 5 тыс. чел.)

Требования к надежности электроснабжения насосных станций установлены в ПУЭ³ (см. табл. 2).

4.3. Выбор количества рабочих и резервных насосных агрегатов для насосных станций систем водоотведения

Насосные агрегаты, оборудование и трубопроводы выбирают в зависимости от объема притока и физико-химических свойств сточных вод или осадков, высоты подъема перекачиваемых жидких сред и с учетом характеристик насосов и напорных трубопроводов, а также с учетом очередности ввода в действие проектируемого объекта.

Компоновка и обвязка оборудования должны обеспечивать возможность замены агрегатов, арматуры и отдельных узлов без остановки работы станции. Число резервных насосных агрегатов принимают согласно СП 32.13330 (табл. 6 и 7).

На насосных станциях I категории надежности при невозможности обеспечить электропитание от двух источников допускается оснащать резервные насосные агрегаты двигателями внутреннего сгорания, тепловыми и др. Также допускается устанавливать автономные источники электроэнергии (дизельные электростанции и т. п.).

При необходимости учета перспективного развития системы водоотведения на насосных станциях реализуют те же технические решения, что и на водопроводных насосных станциях: на стадии строительства размещают до-

² Составлено по: СП 32.13330.2012. Канализация.

³ Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс]. 7-е изд. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

полнительные фундаменты под насосные агрегаты либо сразу монтируют фундаменты с увеличенными габаритами, рассчитанные на восприятие больших нагрузок от насосных агрегатов.

Таблица 6

Количество резервных насосных агрегатов на насосных станциях бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод⁴

Категория надежности насосной станции	Количество резервных насосных агрегатов при различном числе рабочих насосных агрегатов		
	1 рабочий насосный агрегат	2 рабочих насосных агрегата	Более 3 рабочих насосных агрегатов
I	2 (включая 1 на складе)	2 (включая 1 на складе)	2
II	1	1	2
III	1	1	2 (включая 1 на складе)

Таблица 7

Количество резервных насосных агрегатов на насосных станциях агрессивных производственных сточных вод⁵ в зависимости от числа рабочих насосных агрегатов (при любой категории надежности насосной станции)⁶

Количество насосных агрегатов	
рабочих	резервных
1	2 (включая 1 на складе)
2–3	2
4	3
Более 5	Не менее половины от общего числа рабочих насосных агрегатов

При реконструкции насосной станции перекачки бытовых сточных вод III категории надежности допускается не устанавливать резервные насосные агрегаты, а хранить эти агрегаты на складе и при авариях производить замену вышедшего из строя насосного агрегата на исправный.

При оснащении насосных станций погружными насосными агрегатами учитывают следующие положения СП 32.13330⁷:

⁴ Составлено по: СП 32.13330.2012. Канализация.

⁵ Агрессивные производственные сточные воды — сточные воды, содержащие кислоты, щелочи, органические вещества и (или) другие подобные специфические компоненты.

⁶ Составлено по: СП 32.13330.2012. Канализация.

⁷ СП 32.13330.2012. Канализация.

- на насосных станциях дождевой канализации резервные насосные агрегаты, как правило, предусматривать не требуется, за исключением случаев, когда аварийный сброс в водные объекты поверхностных сточных вод невозможен;
- на насосных станциях бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод, оборудованных четырьмя и более погружными насосными агрегатами, допускается хранить второй резервный насосный агрегат на складе;
- если на насосной станции имеется возможность замены вышедших из строя насосных агрегатов на исправные в течение 2–6 ч, то допускается не устанавливать резервные насосные агрегаты непосредственно в помещении насосной станции, а хранить их на складе.

4.4. Выбор способа установки насосных агрегатов для насосных станций систем водоотведения

В общем случае насосные агрегаты на насосных станциях целесообразно устанавливать в машинных залах и приемных резервуарах ниже уровня перекачиваемых сточных вод (рис. 62, *a–z*; рис. 63).

Если насосы расположены в приемных резервуарах выше уровня перекачиваемых сточных вод (рис. 62, *d*; рис. 64), то необходимо предусматривать обеспечение запуска и бескавитационных условий работы насосных агрегатов.

Насосные агрегаты для перекачки осадков устанавливают только ниже уровня перекачиваемой жидкой среды.

4.5. Расчет и конструирование всасывающих и напорных трубопроводов и водоводов для насосных станций систем водоотведения

Расчет всасывающих и напорных трубопроводов рекомендуется выполнять по аналогии с расчетом этих трубопроводов для насосных станций систем водоснабжения (см. п. 3.5).

Каждый насосный агрегат должен иметь самостоятельный всасывающий трубопровод. Диаметр условного прохода всасывающего трубопровода должен быть больше диаметра условного прохода всасывающего патрубка насоса.

Расстояние от всасывающего патрубка насоса до близлежащего фитинга (отвода, арматуры) должно быть не менее пяти диаметров условного прохода всасывающего трубопровода.

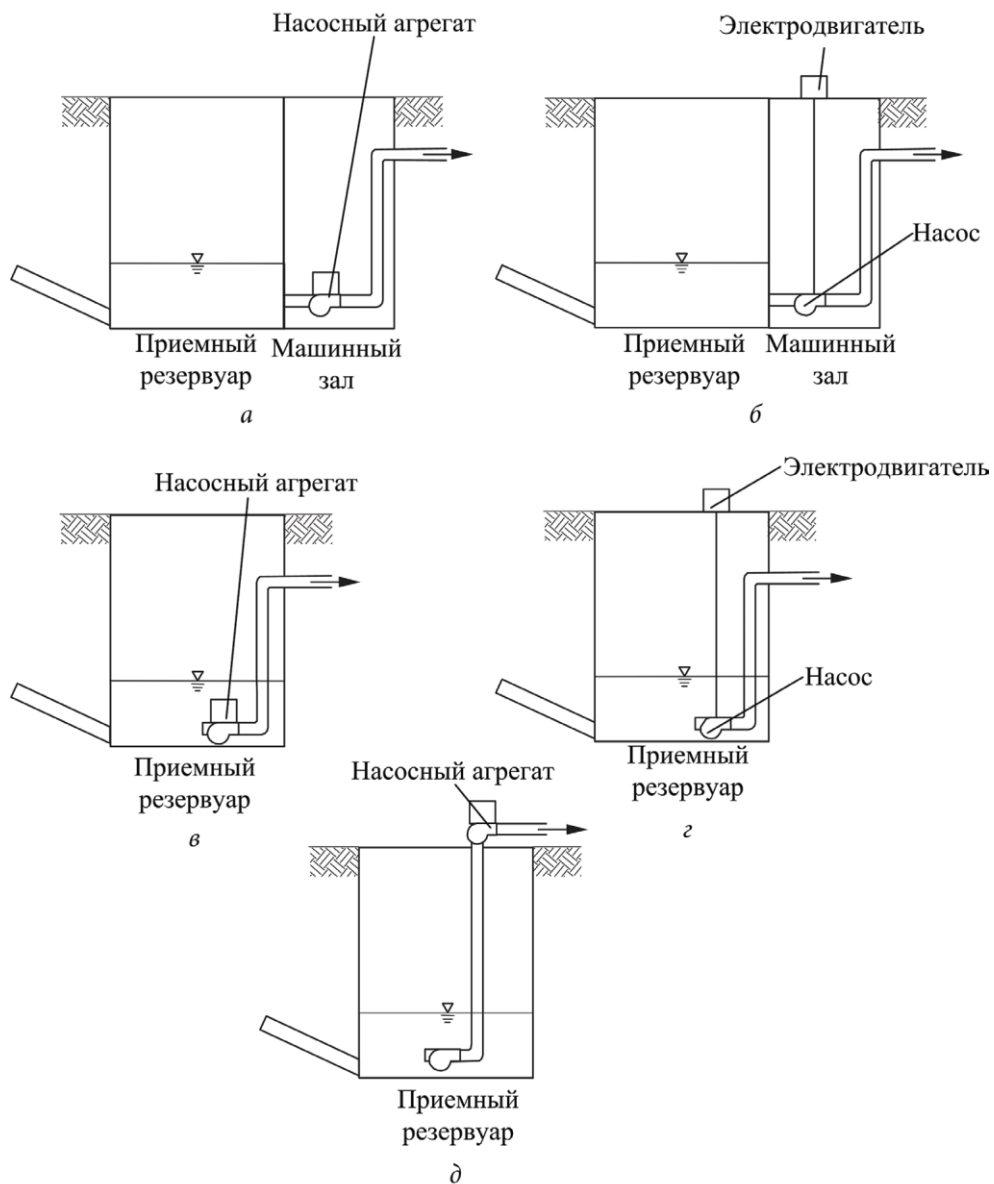


Рис. 62. Схемы размещения насосных агрегатов различных типов на насосных станциях систем водоотведения⁸:

- а* — центробежный консольный насосный агрегат или погружной насосный агрегат, размещенный без погружения в перекачиваемые сточные воды;
- б* — вертикальный центробежный насосный агрегат; *в* — погружной насосный агрегат; *г* — вертикальный осевой насосный агрегат; *д* — центробежный самовсасывающий насосный агрегат

⁸ Wastewater collection system modeling and design / T.M. Walski [et al.]. 1st ed. Exton : Bentley institute press, 2007. P. 423.

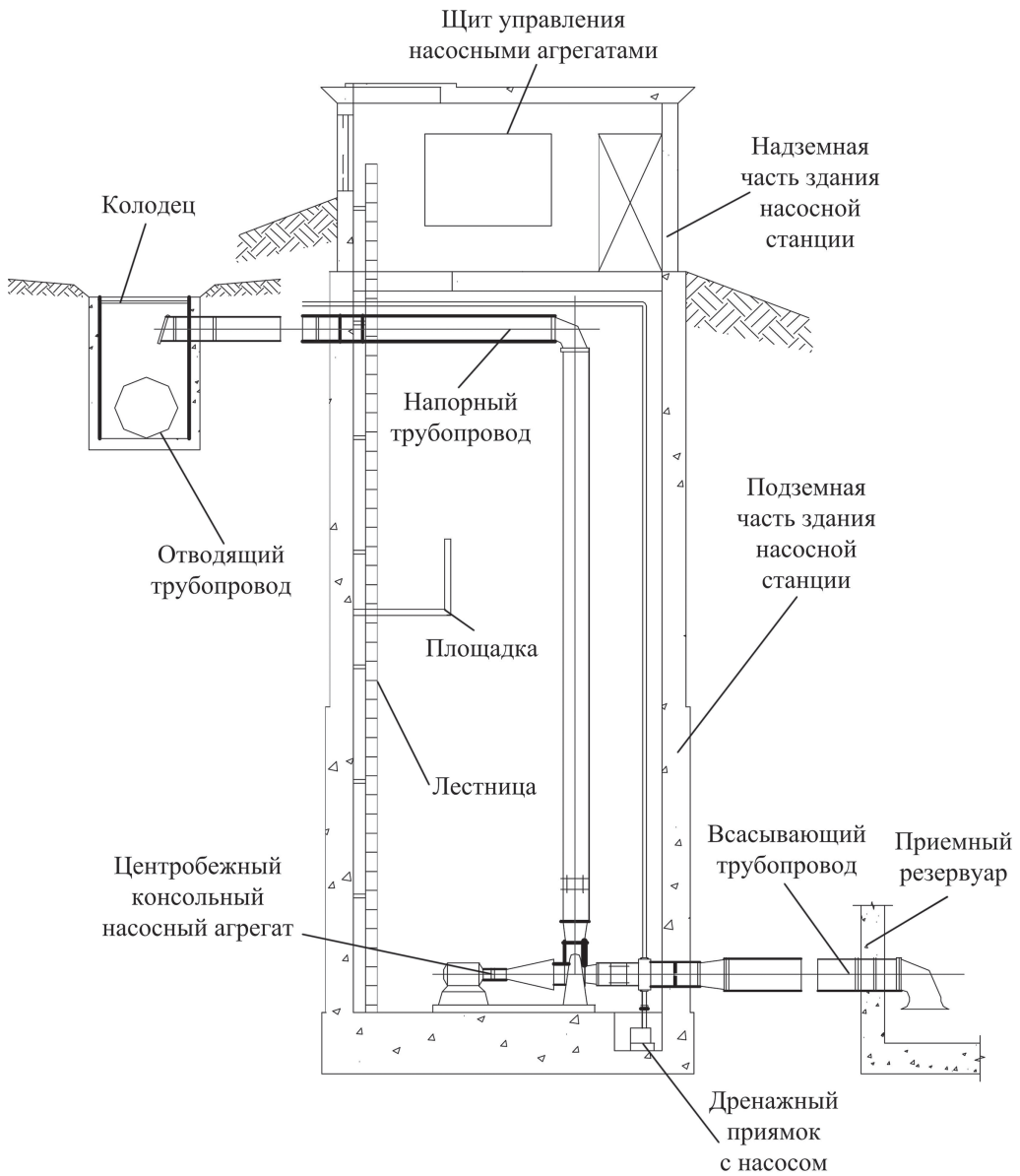


Рис. 63. Разрез насосной станции, оснащенной горизонтальным центробежным насосным агрегатом⁹

⁹ Mays L. W. Stormwater collection systems design handbook. 1st ed. N. Y. : McGraw-Hill, 2001. Fig. 12.17.

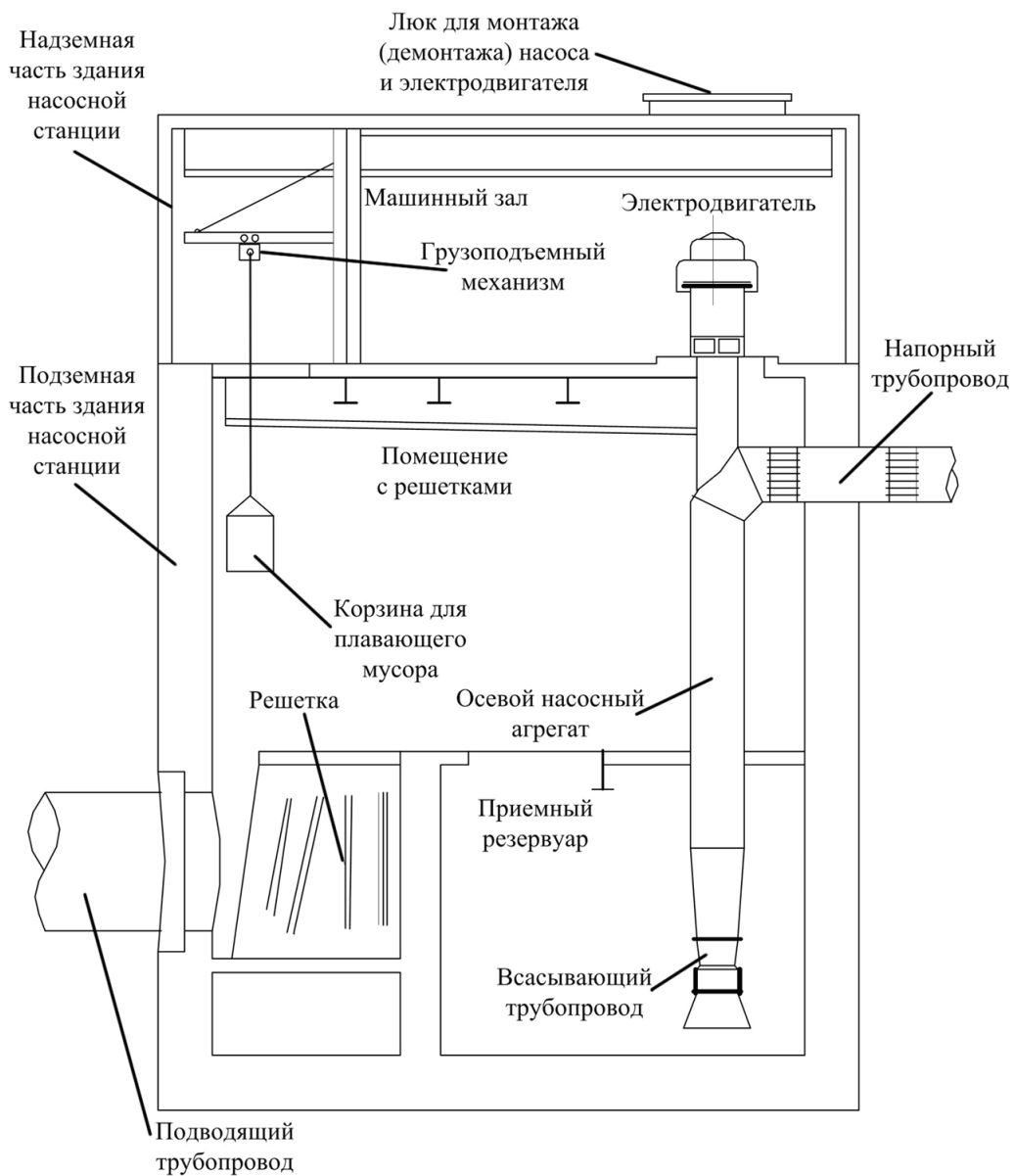


Рис. 64. Разрез насосной станции, оснащенной осевым насосным агрегатом¹⁰

¹⁰ Mays L. W. Stormwater collection systems design handbook. Fig. 12.17.

Переходы для горизонтально расположенных всасывающих трубопроводов должны быть эксцентричными, с прямой верхней частью во избежание образования в них воздушных полостей. Всасывающий трубопровод должен иметь непрерывный подъем к насосу, величина которого регламентирована СП 31.13330¹¹ или требованиями заводов-изготовителей насосного оборудования. В боковой части каждой трубы устраивают люки, через которые производят прочистку труб при их засорении. На всасывающих трубах заводского изготовления (для вертикальных насосов) люки делают в заводских условиях. Для слива сточных вод из насоса при его ремонте в нижней части всасывающей трубы, между задвижкой и насосом, предусматривается трубопровод с диаметром условного прохода 50–100 мм.

Приемные отверстия воронок всасывающих труб с диаметром условного прохода до 500 мм размещаются в горизонтальной плоскости, а с диаметром условного прохода более 500 мм — в вертикальной плоскости параллельно стене, разделяющей машинный зал и приемный резервуар. В этом случае со стороны приемного резервуара устанавливают щитовые затворы для перекрытия приемных отверстий при ремонте задвижек на всасывающих трубах.

Укладку всасывающих трубопроводов между отдельно стоящими резервуарами и зданиями насосных станций предусматривают в каналах или тоннелях с подъемом к насосам.

Для каждого насоса на всасывающем трубопроводе устанавливают задвижку и косой переход, а на напорном трубопроводе — прямой переход, обратный клапан, монтажную вставку, задвижку и необходимые отводы.

Напорные трубопроводы от насосов объединяются в один общий напорный коллектор. Используют две основные схемы расположения напорного коллектора: у стенки, разделяющей машинный зал и приемный резервуар, и с противоположной стороны машинного зала. По первой схеме напорный коллектор обычно размещают на кронштейнах на стене над всасывающими трубопроводами, а по второй схеме — над полом или в каналах. К напорному коллектору подсоединяют напорные трубопроводы подачи сточных вод в резервуары-накопители, на очистные сооружения и т. п. Число таких напорных трубопроводов от насосных станций любой категории надежности необходимо принимать на основании технико-экономических расчетов. Кроме того, учитывают возможность устройства аварийного выпуска сточных вод в водный объект, возможность строительства аварийно-аккумулирующей емкости для накопления сточных вод или аварийно-регулирующей емкости для регулиро-

¹¹ СП 31.13330.2012. Водоснабжение : Наружные сети и сооружения (с изм. № 1, 2) [Электронный ресурс] : актуализир. ред. СНиП 2.04.02–84. Доступ из справ.-правовой системы «Тех-эксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

вания сточных вод перед их поступлением в насосную станцию, возможность использования для временного аккумулирования сточных вод подводящей канализационной сети, а также возможность снижения подачи воды в соответствии с категорией надежности системы водоснабжения согласно СП 31.13330¹² (см. табл. 1).

Для двух и более напорных трубопроводов от насосной станции I категории надежности протяженностью более 2 км следует предусматривать между ними перемычки, расстояние между которыми принимается исходя из пропуска при аварии на одном из них 100 % расхода сточных вод, а при наличии аварийного выпуска сточных вод в водный объект — 70 % расхода сточных вод.

Скорости движения перекачиваемых жидких сред (сточных вод, осадков) во всасывающих и напорных трубопроводах должны исключать осаждение в них взвесей. Для бытовых сточных вод скорость принимают не менее 1 м/с.

Внутри насосной станции прокладывают стальные трубы с соединением их сваркой. Для присоединения к трубопроводам арматуры и насосных агрегатов применяют фланцы.

На насосных станциях трубопроводы прокладывают над поверхностью пола либо в каналах под полом. При любом способе прокладки трубопроводов должен быть обеспечен доступ к арматуре, установленной на трубопроводе, и для осуществления работ, связанных с ее эксплуатацией, техническим обслуживанием, осмотрами, ремонтом и монтажом (демонтажом).

Не допускается укладка в каналах трубопроводов, транспортирующих агрессивные сточные воды. Количество запорной арматуры принимают минимальное.

При проходе трубопроводов через стены здания насосной станции выполняют их жесткую или гибкую заделку. Жесткая заделка обеспечивает прочность конструкции и уменьшает фильтрацию грунтовых вод в месте прохода трубопроводов через стены здания. Гибкую заделку применяют, если существует возможность повреждения трубопроводов при осадке здания, тепловых расширениях и (или) сейсмических воздействиях.

На насосных станциях для перекачки осадков необходимо предусматривать возможность промывки всасывающих и напорных трубопроводов. Также допускается предусматривать механические средства прочистки этих трубопроводов.

¹² СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

4.6. Компоновка зданий, сооружений и оборудования насосных станций систем водоотведения

4.6.1. Объемно-планировочные решения для насосных станций систем водоотведения

Объемно-планировочные и конструктивные решения по насосным станциям принимают согласно СП 44.13330¹³ и СП 56.13330¹⁴.

Насосные станции для перекачки бытовых и поверхностных сточных вод располагают в отдельно стоящих зданиях.

Насосные станции для перекачки производственных сточных вод допускается располагать в блоке с производственными зданиями или в производственных помещениях соответствующей категории производственных процессов.

В общем машинном зале допускается установка насосных агрегатов, предназначенных для перекачки сточных вод, имеющих различные свойства, кроме сточных вод, содержащих горючие, легковоспламеняющиеся, взрывоопасные и летучие токсичные вещества.

Допускается установка насосов для перекачки сточных вод в производственных помещениях станций очистки сточных вод.

4.6.2. Размещение насосных агрегатов, вспомогательного оборудования, арматуры и трубопроводов на насосных станциях систем водоотведения

Разрабатывать компоновку насосных станций систем водоотведения, определять размеры машинных залов, выбирать подъемно-транспортное оборудование, размещать насосные агрегаты, арматуру и трубопроводы, обслуживающие устройства (мостики, площадки, лестницы и др.), предусматривать мероприятия против затопления машинных залов необходимо в соответствии с теми же рекомендациями, что и для насосных станций систем водоснабжения (см. гл. 3).

Проектировать насосные станции систем водоотведения с погружными насосными агрегатами (рис. 65–67) необходимо в соответствии с СП 31.13330¹⁵, СП 32.13330¹⁶ и другими действующими российскими нормативно-правовыми и нормативно-техническими документами, а также в соответствии с рекомен-

¹³ СП 44.13330.2011. Административные и бытовые здания (с поправкой, изм. № 1) [Электронный ресурс] : актуализир. ред. СНиП 2.09.04–87. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

¹⁴ СП 56.13330.2011. Производственные здания (с изм. № 1) [Электронный ресурс] : актуализир. ред. СНиП 31–03–2001. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

¹⁵ СП 31.13330.2012. Водоснабжение.

¹⁶ СП 32.13330.2012. Канализация.

дациями фирм-изготовителей насосного оборудования (например, существуют рекомендации фирм KSB¹⁷, «Grundfos»¹⁸).

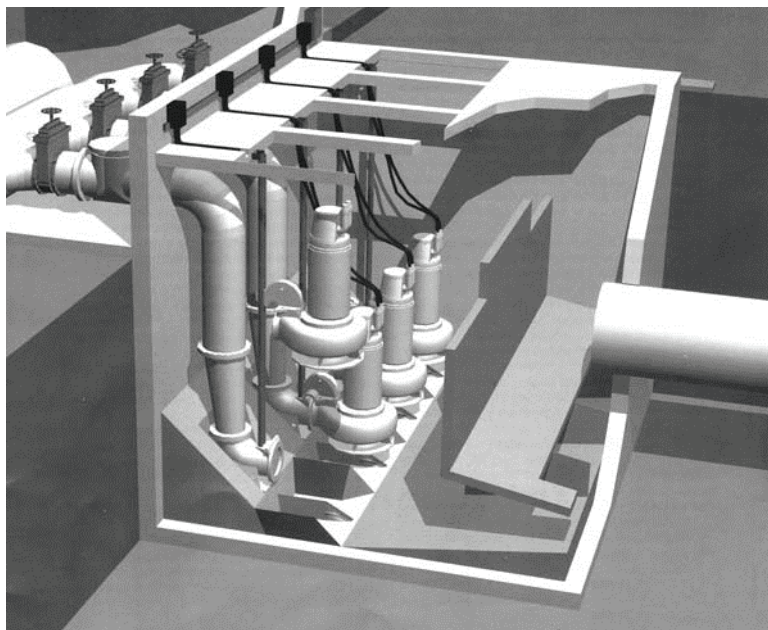


Рис. 65. Насосная станция с погружными насосными агрегатами¹⁹

4.6.3. Устройство и оснащение технологическим оборудованием приемных резервуаров для сточных вод

Для защиты насосов от засорения в приемных резервуарах для сточных вод (либо перед ними) предусматривают:

- в насосных станциях с высокой производительностью — установку устройств для задержания крупных взвешенных компонентов, транспортируемых сточными водами (решетки различных типов, процеживатели, сетки и т. п.); в насосных станциях с малой производительностью — установку решеток с ручной очисткой, корзин и других устройств;
- установку оборудования и механизмов для измельчения крупной взвеси в потоке сточных вод (рис. 68);

¹⁷ Рекомендации по проектированию насосных станций с погружными насосами серии Amarex KRT [Электронный ресурс]. [Б. м. : б. и.], 2012. 108 с. URL: <https://www.ksb.com/blob/831046/2c8f854bf71d914015686bc6bb0723ff/dow-know-how-krt-data.pdf> (дата обращения: 10.01.2018).

¹⁸ Насосы для водоотведения [Электронный ресурс] : техн. пособие. [Б. м., б. г.]. 87 с. URL: <http://ru.grundfos.com/content/dam/GMO/Documentation/books/Wastewater-70080653-0510.pdf> (дата обращения: 10.01.2018).

¹⁹ Wastewater collection system modeling and design. P. 424.

— перемешивание сточных вод для предотвращения образования осадка в приемном резервуаре либо механическими мешалками (рис. 69), либо за счет частичной подачи сточных вод обратно в приемный резервуар (рециркуляция перекачиваемых сточных вод).

Задержанные измельченные отбросы могут быть сброшены обратно в поток сточных вод либо обезвожены на соответствующем оборудовании и вывезены в герметичных контейнерах на полигон или для утилизации. Дробленые отбросы из насосных станций бытовых сточных вод при соответствующем обосновании могут быть переработаны методом компостирования.

Приемный резервуар, совмещенный в одном здании с машинным залом, должен быть отделен от него глухой водонепроницаемой перегородкой. В незаглубленной части здания насосной станции между машинным залом и помещением с решетками допускается дверь, если исключено попадание сточных вод в машинный зал при подтоплении канализационной сети.



Рис. 66. Погружные насосные агрегаты с высокой производительностью²⁰

²⁰ Wastewater collection system modeling and design. P. 427.

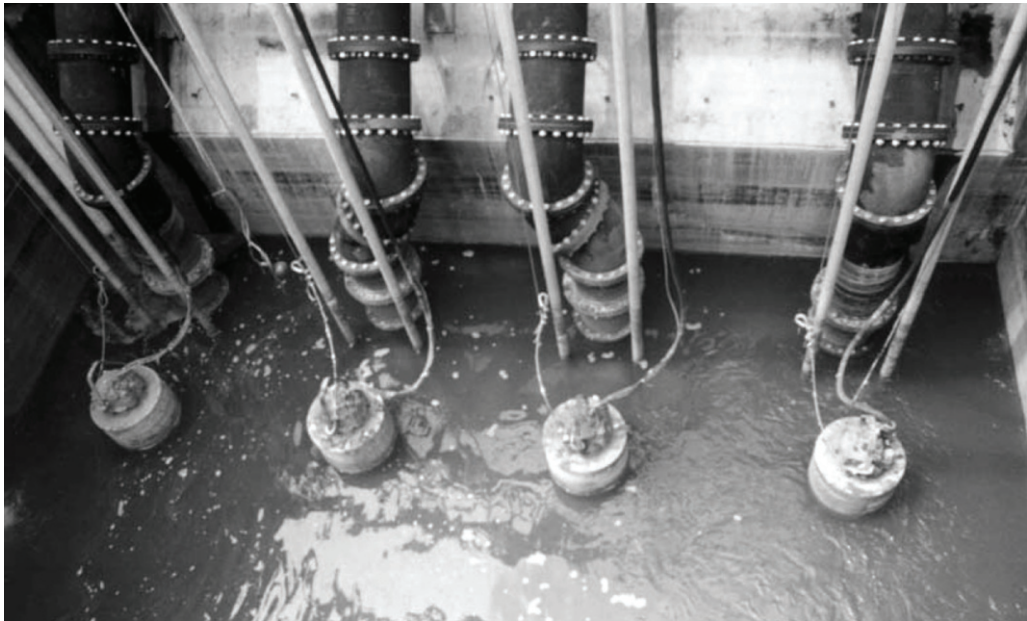


Рис. 67. Погружные насосные агрегаты
в заполненном сточными водами приемном резервуаре²¹

Вместимость приемного резервуара насосной станции сточных вод определяют в зависимости от режима притока сточных вод и их расхода, производительности насосных агрегатов, допустимой частоты включения насосных агрегатов и условий их охлаждения.

Приемные резервуары насосных станций с производительностью свыше 100 тыс. м³/сут необходимо предусматривать состоящими из двух секций (отделений).

При устройстве нескольких насосных станций, работающих последовательно, вместимость их приемных резервуаров определяется на основе расчетов режимов совместной работы этих насосных станций. В отдельных случаях вместимость приемного резервуара определяют исходя из условий возможности опорожнения в этот резервуар напорного трубопровода.

Вместимость приемного резервуара насосной станции откачки осадка из отстойника определяют исходя из условия 15-минутной непрерывной подачи насосного агрегата. Допускается уменьшать вместимость приемного резервуара, если имеется техническая возможность одновременной откачки осадка насосным агрегатом и сброса осадка самотеком под действием гидростатического давления сточных вод, находящихся в отстойнике.

²¹ Wastewater collection system modeling and design. P. 428.

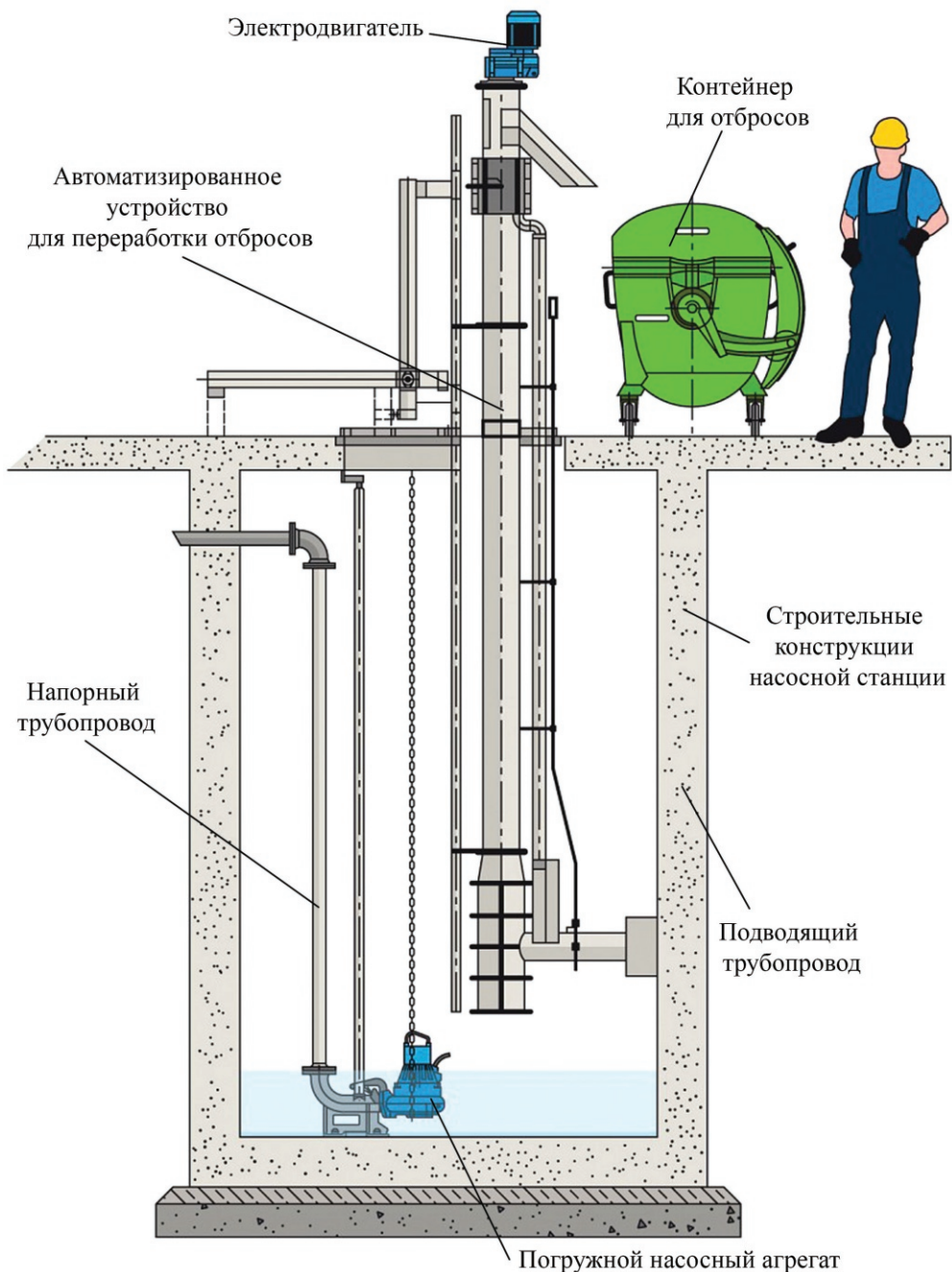


Рис. 68. Размещение в канализационной насосной станции автоматизированного устройства для задержания, обезвоживания и транспортирования отбросов

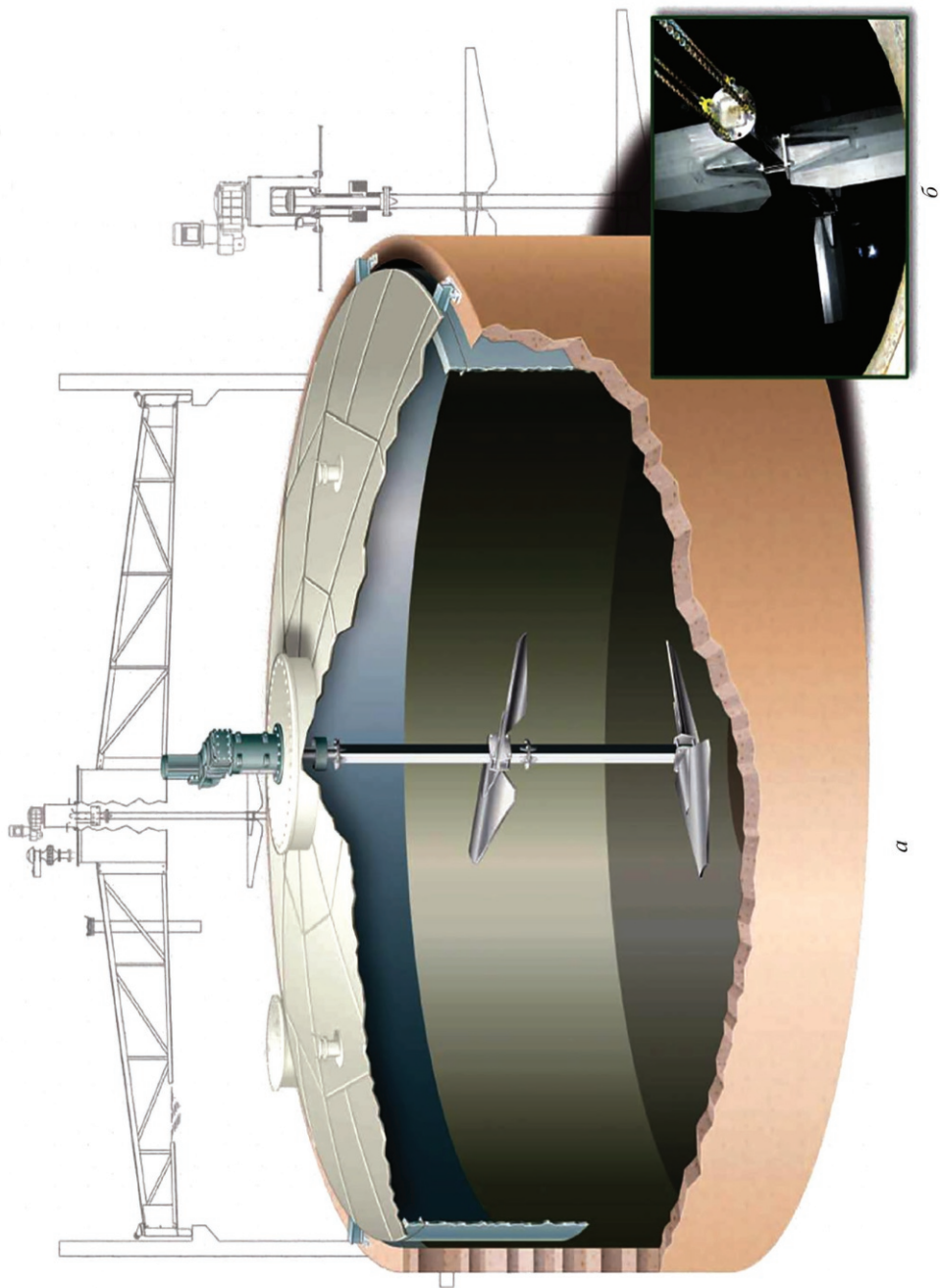


Рис. 69. Резервуар для сточных вод с механическим перемешиванием:
a — устройство резервуара; *б* — общий вид мешалки

Приемные резервуары насосных станций осадков могут быть использованы как емкости для приема загрязненной промывной воды от промывки трубопроводов.

В приемных резервуарах насосных станций монтируют устройства для взмучивания осадка и обмыва резервуара. Вода в систему взмучивания забирается из напорных трубопроводов основных насосных агрегатов. Для того чтобы через систему взмучивания можно было опорожнять трубопроводы при ремонте, трубы системы взмучивания должны быть подключены к каждому напорному водоводу и оборудованы задвижками. Диаметр условного прохода трубопроводов взмучивания осадка принимается не менее 50 мм. Взмучивание осадка можно производить по всему периметру приемного резервуара. Уклон дна резервуара к приемкам, в которых смонтированы всасывающие трубопроводы насосов, принимают не менее 0,1. В приемных резервуарах с уменьшающимися по глубине размерами в плане, а также в приемках, устроенных в этих резервуарах, уклоны стен к горизонту принимают не менее 60° для шероховатых бетонных поверхностей и не менее 45° для гладких поверхностей (пластик, бетон с полимерным покрытием и др.).

Для разных типов сточных вод, смешение которых друг с другом может вызвать образование вредных газов, хорошо осаждающихся или токсичных веществ, устраивают приемные резервуары, состоящие из нескольких независимых секций (отделений) для приема сточных вод соответствующего типа.

Приемные резервуары для производственных сточных вод, содержащих горючие, легковоспламеняющиеся, взрывоопасные или летучие токсичные вещества, и такие приемные резервуары, совмещенные с насосными станциями, должны быть отдельно стоящими зданиями. При непрерывном поступлении производственных сточных вод строят не менее двух приемных резервуаров, при периодическом поступлении сточных вод и обеспечении возможности проведения ремонтных работ — один приемный резервуар. При размещении этих сооружений на площадке промышленного предприятия обеспечивают:

- расстояние от наружных стен приемных резервуаров до здания насосной станции — не менее 10 м (при раздельном расположении приемного резервуара и здания насосной станции);
- расстояние от наружных стен отдельных приемных резервуаров и приемных резервуаров, совмещенных с насосными станциями, до производственных зданий — не менее 20 м, до общественных зданий — не менее 100 м.

Для снижения расхода сточных вод, подаваемых в напорные трубопроводы и далее на очистные сооружения, а также для аккумуляции сточных вод во время аварий на трубопроводах допускается устройство аккумуляющих и (или) регулирующих резервуаров (например, резервуары таких типов

часто используют в системе дождевой канализации городов и промышленных предприятий). Оптимальную величину зарегулированного расчетного расхода сточных вод определяют технико-экономическим расчетом.

Аккумулирующие и регулирующие резервуары оснащают насосными агрегатами для перекачки зарегулированным расходом сточных вод на очистные сооружения, оборудованием для сбора и удаления (или предотвращения осаждения) взвешенных веществ, системой смыва оседающего песка, а также устройствами для очистки вентиляционных выбросов. Кроме того, конструкция и режим эксплуатации таких резервуаров должны исключать возможность загнивания сточных вод и образующегося осадка.

Конструкция и габариты приемных, аккумулирующих, регулирующих и других резервуаров в составе насосных станций сточных вод, в которых размещены стационарные насосные агрегаты или всасывающие патрубки насосных агрегатов, должны обеспечивать предотвращение образования на поверхности перекачиваемых сточных вод устойчивых депрессионных воронок. Должно быть обеспечено заглубление всасывающего патрубка относительно минимального уровня сточных вод не менее чем на два диаметра его условного прохода, но более чем на величину требуемого кавитационного запаса, устанавливаемого изготовителем насосного оборудования. Расстояние от створа всасывающего патрубка до точки входа сточных вод в отсек либо до решеток, сит и т. п. должно быть не менее пяти диаметров условного прохода патрубка. При параллельной работе групп насосов с подачей каждого более 315 л/с предусматривают струнаправляющие перегородки.

4.7. Технологическое проектирование насосных станций бытовых сточных вод

4.7.1. Определение подачи и полного напора насосных станций бытовых сточных вод

В учебном пособии для целей курсового и дипломного проектирования приведены основные особенности определения подачи и полного напора насосных станций систем водоотведения самого распространенного типа — насосных станций бытовых сточных вод.

Поступление в бытовую канализацию сточных вод от жилых домов, административных зданий и предприятий местной промышленности, обслуживающих население, и характер распределения расходов этих сточных вод по часам суток неравномерны и зависят от множества факторов. По этой причине *подачу насосной станции бытовых сточных вод с приемным резервуаром и без*

него принимают равной максимальному часовому притоку бытовых сточных вод ($Q_A = Q_{\text{макс}}^{\text{час}}$), определяемому по графику водоотведения.

Полный напор насосной станции бытовых сточных вод $H_{t,A}$ определяют в следующем порядке:

1. Составляют высотную схему расположения насосной станции бытовых сточных вод, приемной камеры очистных сооружений или приемного колодца вышележащего канализационного коллектора и соединительных коммуникаций между этими сооружениями (всасывающих и напорных трубопроводов, напорных водоводов) (рис. 70).

2. Принимают количество и диаметр напорных водоводов и определяют число перемычек между этими напорными водоводами с учетом категории надежности насосной станции.

3. Рассчитывают ориентировочное значение полного напора насосной станции $H_{t,A}$. Для схемы на рис. 70 расчет $H_{t,A}$, м, выполняют по формуле

$$H_{t,A} = H_{\text{stat}} + H_{J_1} + H_{J_2} + H_{J_3} + H_{J_4} + H_{J_5},$$

где H_{stat} — статический напор, м; H_{J_1} — потери гидравлического напора во всасывающем трубопроводе насосного агрегата, монтируемом внутри насосной станции; H_{J_2} — потери гидравлического напора в напорном трубопроводе насосного агрегата, монтируемом внутри насосной станции, м (суммарное значение H_{J_1} и H_{J_2} на данном этапе расчетов предварительно принимают равным 1,5–2 м); H_{J_3} — потери гидравлического напора в расходомере-счетчике, м (принимают равными 0,5–1,5 м); H_{J_4} — потери гидравлического напора в напорном водоводе (водоводах) от насосной станции до приемной камеры очистных сооружений или приемного колодца вышележащего канализационного коллектора, м (определяют в соответствии с п. 3.5); H_{J_5} — потери гидравлического напора на излив в приемную камеру очистных сооружений или приемный колодец вышележащего канализационного коллектора, м (принимают равными 0,5–1 м).

Статический напор H_{stat} представляет собой разность отметок верха подводящего водовода на входе в приемную камеру очистных сооружений или приемный колодец вышележащего канализационного коллектора z_2 и среднего уровня сточных вод в приемном резервуаре насосной станции z_1 :

$$H_{\text{stat}} = z_2 - z_1.$$

Отметка z_1 принимается на 0,75–1,25 м ниже отметки лотка подводящего канализационного коллектора. Отметка лотка подводящего канализационного коллектора приводится в задании для курсового или дипломного проектирования.

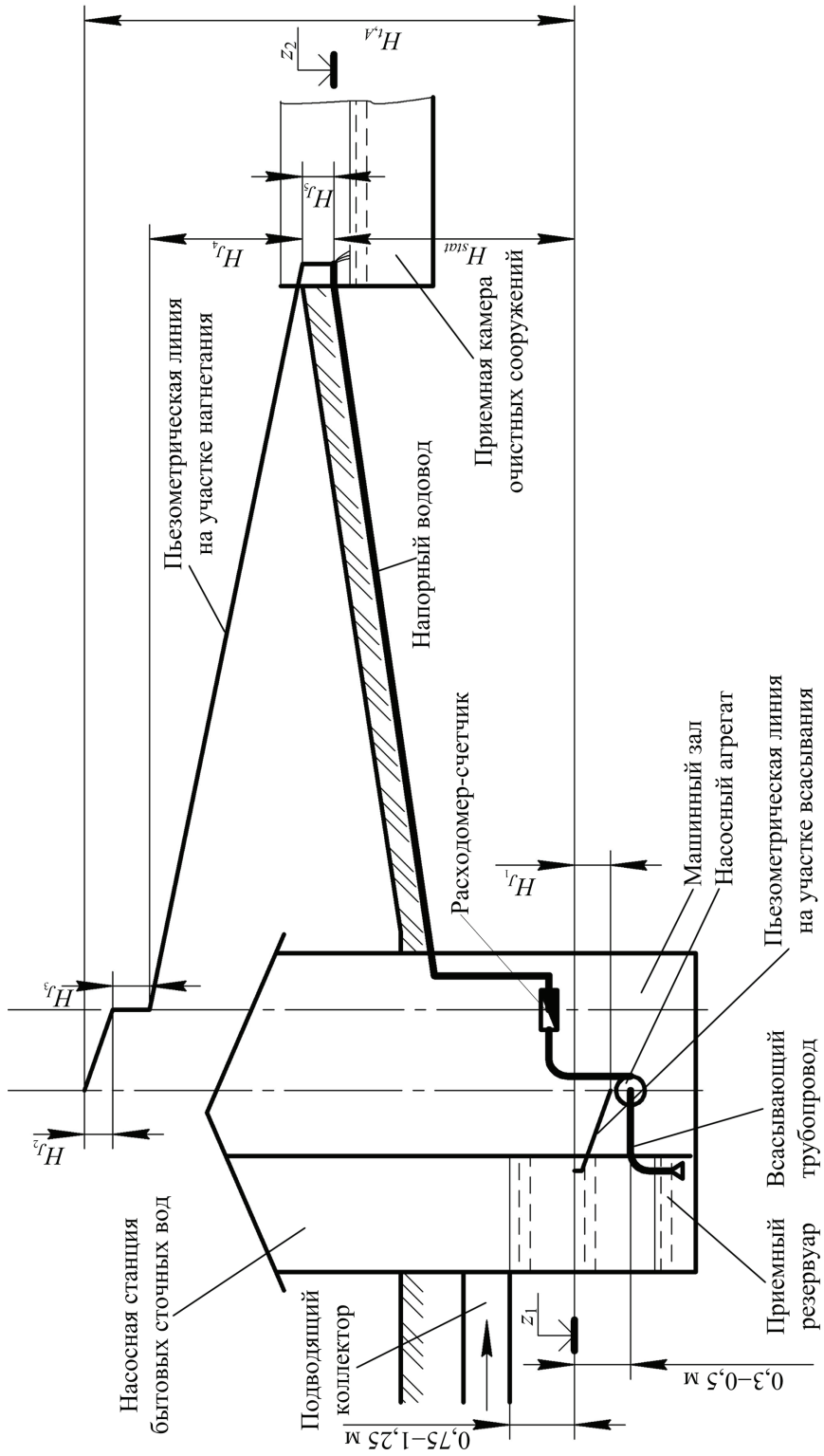


Рис. 70. Высотная схема для определения полного напора насосной станции бытовых сточных вод:
 $H_{t,A}$ — полный напор насосной станции; H_{stat} — статический напор; $H_1 \dots H_j$ — потери гидравлического напора;
 z_1, z_2 — высотные отметки

Отметка z_2 также приводится в задании для курсового или дипломного проектирования.

Если насосная станция не имеет приемного резервуара, то за отметку z_1 принимают отметку среднего уровня сточных вод в подводящем канализационном коллекторе.

Если подача сточных вод осуществляется под уровень сточных вод в приемной камере очистных сооружений (верх подводящего трубопровода расположен ниже уровня сточных вод), то за отметку z_2 принимается максимальная отметка уровня сточных вод в этой камере.

Если напорный водовод проходит повышенный участок местности, имеющий отметку земли выше уровня воды в точке присоединения к камере очистных сооружений или к приемному колодцу вышележащего канализационного коллектора, то за отметку z_2 принимают максимальную отметку верха водовода в месте повышенного участка местности.

4. Далее уточняют значение полного напора насосной станции II подъема по аналогии с уточнением полного напора водопроводной насосной станции I подъема (см. п. 3.2.1).

4.7.2. Компоновка зданий насосных станций бытовых сточных вод

Примеры классических технических решений по зданиям насосных станций, реализованные в нашей стране, приведены в учебных пособиях²². Для целей курсового и дипломного проектирования рассмотрим далее основные аспекты проектирования подобных насосных станций.

При проектировании насосных станций бытовой канализации приемный резервуар, помещение с решетками, машинный зал, подсобные и бытовые помещения обычно размещают в одном здании, состоящем из двух частей — подземной и надземной.

Подземная часть зданий насосных станций

Подземная часть здания насосной станции разделяется водонепроницаемой глухой стенкой. По одну сторону стенки размещается приемный резервуар и расположенное над ним помещение с решетками, по другую — машинный зал. Машинный зал обычно проектируют несколько больше помещения с решетками. При этом разделительная стенка может проходить не через середину колодца. Горизонтальные центробежные насосные агрегаты обычно располагают в один ряд вдоль стенки, отделяющей машинный зал от приемного резерву-

²² См., напр.: Залуцкий Э. В., Петрухно А. И. Насосные станции : Курсовое проектирование. Киев : Вища шк., Головное изд-во, 1987. С. 113–114; Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции : учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1986. С. 214–215, 238–239, 242–243.

ара. Включение и выключение насосных агрегатов проектируется автоматическим, в зависимости от уровня сточных вод в приемном резервуаре насосной станции. Если после включения первого насоса уровень воды в резервуаре повышается, то включается второй насос, и т. д.

Как было отмечено ранее, нормативными документами рекомендуется устанавливать насосы на насосных станциях систем водоотведения ниже уровня перекачиваемых сточных вод. Для этого насосы размещают таким образом, чтобы отметки осей их всасывающих патрубков были на 0,3–0,5 м ниже отметки уровня сточных вод в приемном резервуаре, при котором включается первый насосный агрегат. В процессе курсового и дипломного проектирования после того, как окончательно выбраны насосные агрегаты (см. п. 4.7.1), пользуясь их установочными чертежами, определяют отметки фундаментов насосных агрегатов и уровня пола машинного зала. Окончательно отметку пола машинного зала и высотное положение насосных агрегатов уточняют при совместной компоновке приемного резервуара и машинного зала насосной станции. Общая для приемного резервуара и машинного зала железобетонная плита, на которую опираются бетонные фундаменты насосов, образует днище насосной станции. Плита днища располагается на отметке дна приемка приемного резервуара.

Далее составляют схему расположения в плане насосных агрегатов, трубопроводов, арматуры, решеток-дробилок и другого необходимого оборудования. С учетом массы насосов, их электродвигателей и арматуры выбирается подъемно-транспортное оборудование и принимают схему заглубления насосной станции — полузаглубленная или заглубленная.

Заглубленный тип здания выбирают, если размещаемое в нем основное технологическое и подъемно-транспортное оборудование не требует значительного заглубления насосной станции.

Полузаглубленный тип здания выбирают, если размещаемое в нем основное технологическое и подъемно-транспортное оборудование требуют значительного заглубления насосной станции.

В учебных целях значительным заглублением насосной станции можно считать заглубление ее строительных конструкций ниже планировочной отметки земли более чем на 15 м.

При определении глубины заглубления подземной части насосной станции необходимо учитывать, что если напорный коллектор от насосных агрегатов размещается на кронштейнах на стене, то при определении возможности устройства перекрытия над машинным залом необходимо учитывать доступ к задвижкам, расположенным на этом коллекторе, возможность их монтажа (демонтажа).

С учетом размеров фасонных частей строят в масштабе план расположения оборудования и трубопроводов с арматурой в машинном зале. На плане предусматривают место для монтажной площадки и лестниц, ведущих с первого этажа в машинный зал. План позволяет определить форму и размеры подземной части насосной станции.

Подземную часть малых и средних насосных станций принимают, как правило, в виде круглой шахты, которую строят опускным способом. При малом заглублении подводящего коллектора (до 3 м) и отсутствии грунтовых вод более целесообразна для размещения оборудования прямоугольная форма помещения. Форма подземной части крупных станций принимается на основании технико-экономического сравнения вариантов. При длине или диаметре подземной части насосной станции до 9 м допускается принимать размеры прямоугольных в плане сооружений кратными 1,5 м, а круглых — кратными 1 м. Для больших насосных станций размеры принимают кратными 3 м.

Надземная часть зданий насосных станций

В надземной части насосной станции размещают:

- перевалочные помещения для приема оборудования, монтируемого в машинном зале и в помещении с решетками;
- электропомещения (щитовая низкого напряжения, камеры трансформаторов, помещение распределительного устройства);
- бытовые помещения (гардероб, туалеты, душевые);
- подсобные помещения (служебное помещение, мастерская, кладовая).

Состав и размеры бытовых и подсобных помещений принимают в соответствии с рекомендациями СП 44.13330²³. Численность работающих можно определять согласно Рекомендациям по нормированию труда работников водопроводно-канализационного хозяйства²⁴.

Помещения для приема оборудования и электропомещения располагают, как правило, на уровне первого этажа; бытовые и подсобные помещения могут быть расположены как на первом, так и на втором этаже здания.

В полузаглубленных станциях над основными насосами и решетками в перекрытии первого этажа оставляют проемы, чтобы монтажная площадка на уровне первого этажа и машинный зал (помещение с решетками) обслуживались одним подъемно-транспортным устройством. Если разместить электропомещения в здании насосной станции затруднительно, камеры для установки

²³ СП 44.13330.2011. Административные и бытовые здания.

²⁴ Рекомендации по нормированию труда работников водопроводно-канализационного хозяйства [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

трансформаторов и помещение распределительного устройства выносят в отдельно сооружаемый павильон трансформаторной подстанции.

В заглубленных насосных станциях электропомещения, вспомогательные и подсобные помещения располагают на перекрытии над машинным залом и помещением с решетками.

Перевалочные помещения, куда в кузове автомобиля или на инвентарной тележке может быть подано монтируемое оборудование, обычно проектируются отдельно для машинного зала и для помещения с решетками. В этих помещениях с помощью монорельса или кран-балки оборудование снимается с автомобиля или тележки и через монтажный проем подается на монтажную площадку в машинный зал (помещение с решетками). С монтажных площадок насосы или решетки-дробилки к месту установки подаются подъемно-транспортным оборудованием, расположенным в подземной части здания.

Планы первого этажа и подземной части здания насосной станции увязываются в соответствии со стенами, монтажными площадками, проемами и лестницами, соединяющими первый этаж с машинным залом и помещением с решетками. Надземную часть здания чаще всего выполняют прямоугольной в плане, из кирпича или сборного железобетона. Стены сооружаются на балках, опирающихся на железобетонную конструкцию подземной части. При необходимости можно выносить консоли этих балок на 1–1,5 м за пределы колодца подземной части здания станции. Минимальная высота помещений с подъемно-транспортным оборудованием определяется расчетом после выбора этого оборудования по грузоподъемности и пролету. Высота электропомещений определяется наибольшей высотой устанавливаемого электрического оборудования.

4.7.3. Размещение вспомогательного оборудования на насосных станциях бытовых сточных вод

На насосных станциях бытовых сточных вод предусматриваются системы хозяйственно-питьевого, технического водоснабжения и откачки дренажных вод. Вода для систем хозяйственно-питьевого и технического водопровода подается из водопроводной сети населенного пункта или промышленного предприятия.

Хозяйственно-питьевой водопровод внутри насосной станции проектируется из труб с диаметром условного прохода 15–20 мм, с подключением к приборам в санузле, душевой и кранам для мойки пола в помещении с решетками и машинном зале. Горячая вода поступает из центрального теплового пункта или подается от водонагревателя. Сточная вода от санитарных приборов отводится в приемный резервуар насосной станции.

Технический водопровод подает воду на охлаждение и уплотнение сальников основных насосов и к дробилкам для смыва раздробленного осадка. Расчет системы технического водопровода приведен в учебных пособиях²⁵.

Система откачки дренажных вод предусматривается в машинном зале станции и предназначена для откачки грунтовых вод, фильтрующихся через стены здания, утечек оборудования и воды, изливающейся при ремонте и замене оборудования, фасонных частей и арматуры. На малых неавтоматизированных насосных станциях дренажные воды можно откачивать основными насосами. Для этого к всасывающему патрубку одного из насосов присоединяют трубу с вентилем, имеющую диаметр условного прохода 15–20 мм, которая свободным концом опускается в дренажный приямок. Эту же схему можно использовать для откачки воды из машинного зала при аварии на трубопроводах внутри насосной станции.

4.8. Особенности устройства насосных станций для перекачки малых объемов сточных вод

В ряде случаев требуются насосные станции для перекачки малых объемов сточных вод. Это относится к небольшим предприятиям, отдельно стоящим зданиям и другим объектам с небольшим объемом водоотведения. В настоящее время различными специализированными фирмами разработаны насосные станции в комплектно-блочном исполнении, все узлы которых, включая сам корпус насосной станции, изготавливают заводским способом и поставляют на объект в полностью комплектном виде. На рис. 71 показана одна из конструкций такой комплектно-блочной насосной станции.

Комплектно-блочная насосная станция состоит из вертикального стеклопластикового корпуса со смонтированными в нем погружными насосными агрегатами, трубопроводами, электрокабелями, контрольно-измерительными приборами и средствами автоматизации.

Стеклопластиковые корпуса насосных станций рассматриваемого типа могут быть диаметром от 1 м до 3,7 м и высотой до 15 м.

Комплектно-блочные насосные станции обычно работают в автоматическом режиме. Возможно также управление насосной станцией со щита управления, который размещают либо в недалеко расположенном здании, либо в неотапливаемом металлическом контейнере рядом с насосной станцией.

Комплектно-блочная насосная станция может быть в иной, чем показано на рис. 71, комплектации. Например, в корпусе насосной станции может быть раз-

²⁵ См., напр.: Залуцкий Э. В., Петрухно А. И. Насосные станции. С. 122–123.

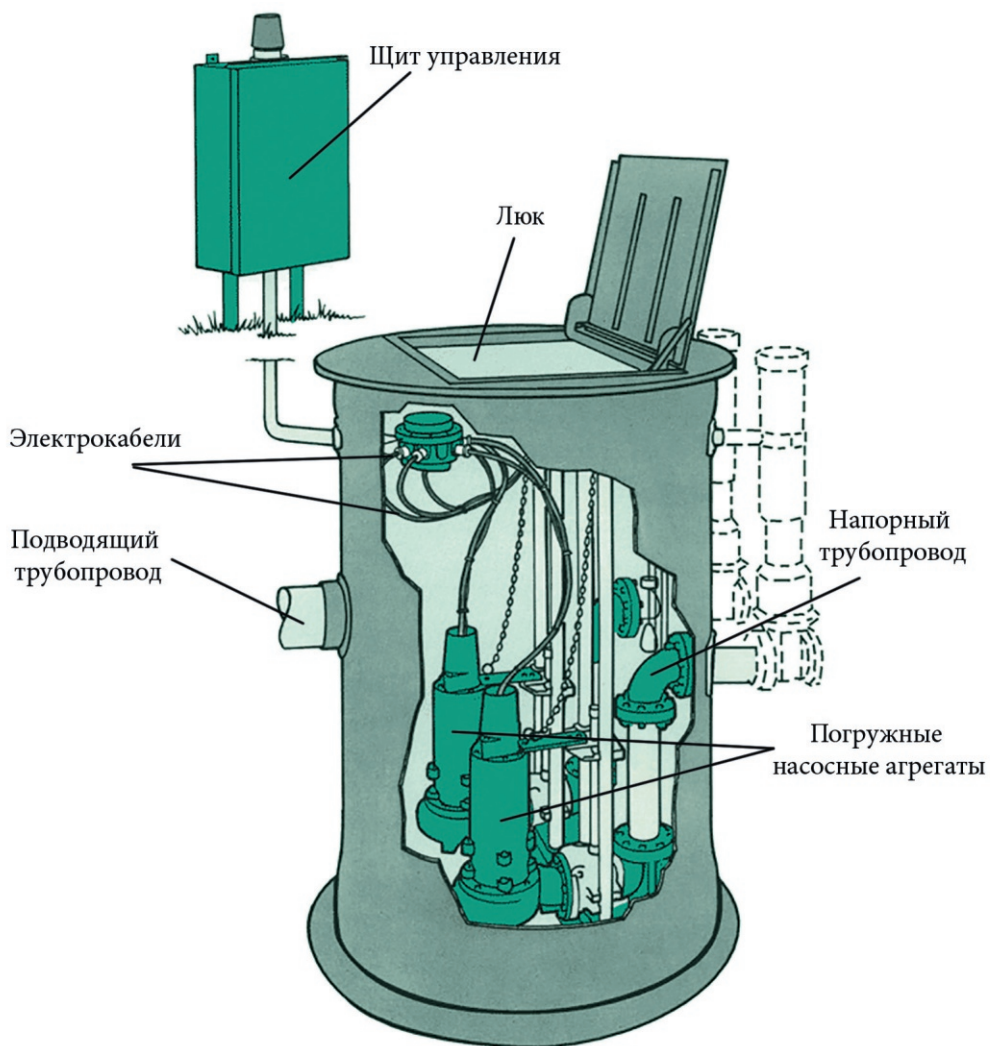


Рис. 71. Комплектно-блочная насосная станция для сточных вод

мещен решетчатый контейнер для крупных отбросов и (или) корпус насосной станции может быть оборудован приточной и вытяжной вентиляционными системами.

Выпускают также комплектно-блочные насосные станции и другой конструкции. Например, стеклопластиковый корпус насосной станции может иметь горизонтальное исполнение.

**ЕДИНИЦЫ ВЕЛИЧИН, ПРИМЕНЯЕМЫЕ
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ***

Таблица 1.1

Основные единицы Международной системы единиц (СИ)

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		международное	российское
Время	секунда	s	с
Длина	метр	m	м
Количество вещества	моль	mol	моль
Масса	килограмм	kg	кг
Сила света	кандела	cd	кд
Термодинамическая температура	кельвин	K	К
Электрический ток, сила электрического тока	ампер	A	А

Таблица 1.2

Некоторые производные единицы Международной системы единиц (СИ)

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		международное	российское
Давление	паскаль	Pa	Па
Момент силы	ньютон-метр	N · m	Н · м
Мощность	ватт	W	Вт
Объем	кубический метр	m ³	м ³
Плотность	килограмм на кубический метр	kg/m ³	кг/м ³

* Составлено по: Положение о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации (с изм. на 15.08.2015 г.) [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		международное	русское
Площадь	квадратный метр	m ²	м ²
Сила	ньютон	N	Н
Скорость	метр в секунду	m/s	м/с
Температура Цельсия	градус Цельсия	°C	°C
Теплоемкость	джоуль на кельвин	J/K	Дж/К
Ускорение	метр на секунду в квадрате	m/s ²	м/с ²
Частота	герц	Hz	Гц
Электрическое напряжение, электрический потенциал, раз- ность электрических потенциа- лов, электродвижущая сила	вольт	V	В
Электрическое сопротивление	ом	Ω	Ом
Энергия, работа, количество теплоты	джоуль	J	Дж

Таблица 1.3

**Некоторые внесистемные единицы величин,
применяемые наравне с единицами Международной системы единиц (СИ)**

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		международное	русское
Время	минута	min	мин
	сутки	d	сут
	час	h	ч
Давление	атмосфера техническая	–	ат
	бар	bar	бар
	килограмм-сила на квадрат- ный сантиметр	kgf/cm ²	кгс/см ²
	метр водяного столба	m H ₂ O	м вод. ст.
	миллиметр водяного столба	mm H ₂ O	мм вод. ст.
	миллиметр ртутного столба	mm Hg	мм рт. ст.
Длина	дюйм	inch	дюйм
	фут	ft	фут

Окончание табл. 1.3

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		международное	русское
Масса	тонна	T	т
Объем, вместимость	литр	l	л
Площадь	гектар	ha	га
Сила	килограмм-сила	kgf	кгс
	тонна-сила	tf	тс
Энергия	киловатт-час	kW · h	кВт · ч

Таблица 1.4

**Относительные единицы величин, применяемые наравне с единицами
Международной системы единиц (СИ)**

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		международное	русское
КПД	процент	%	%
Массовая доля компонента; молярная доля компонента и т. п.	миллионная доля	ppm	млн ⁻¹

**МНОЖИТЕЛИ И ПРИСТАВКИ
ДЛЯ ОБОЗНАЧЕНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ КРАТНЫХ
И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ И ИХ НАИМЕНОВАНИЯ***

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	российское
10^{24}	иотта	Y	И
10^{21}	зетта	Z	З
10^{18}	экса	E	Э
10^{15}	пета	P	П
10^{12}	тера	T	Т
10^9	гига	G	Г
10^6	мега	M	М
10^3	кило	k	к
10^2	гекто	h	г
10^1	дека	da	да
10^{-1}	деци	d	д
10^{-2}	санти	c	с
10^{-3}	милли	m	м
10^{-6}	микро	μ	мк
10^{-9}	нано	n	н
10^{-12}	пико	p	п
10^{-15}	фемто	f	ф
10^{-18}	атто	a	а
10^{-21}	зепто	z	з
10^{-24}	иокто	y	и

* Составлено по: Положение о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации (с изм. на 15.08.2015 г.) [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт» (дата обращения: 10.01.2018).

СООТНОШЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ*

Таблица 3.1

Единицы давления

Наименование единицы давления	Соотносимая единица давления				
	ат	бар	кгс/см ²	м вод. ст	Па
Атмосфера техническая	–	0,98	1,00	10,00	$9,81 \cdot 10^4$
Бар	1,02	–	1,02	10,20	$1,00 \cdot 10^5$
Килограмм-сила на ква- дратный сантиметр	1,00	0,98	–	10,00	$9,81 \cdot 10^4$
Метр водяного столба	0,10	$9,81 \cdot 10^{-2}$	0,10	–	$9,81 \cdot 10^3$
Паскаль	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-4}$	–

Таблица 3.2

Единицы длины

Наименование единицы длины	Соотносимая единица длины				
	дюйм	м	мкм	см	фут
Дюйм	–	$2,54 \cdot 10^{-2}$	$2,54 \cdot 10^4$	2,54	$8,33 \cdot 10^{-2}$
Метр	39,37	–	$1,00 \cdot 10^6$	100,00	3,28
Микрометр	$3,94 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$	–	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$3,28 \cdot 10^{-6}$
Сантиметр	0,39	0,01	$1,00 \cdot 10^4$	–	$3,28 \cdot 10^{-2}$
Фут	12,00	0,30	$3,05 \cdot 10^5$	30,48	–

Таблица 3.3

Единицы объема

Наименование единицы объема	Соотносимая единица объема		
	дм ³ (л)	м ³	см ³
Кубический дециметр (литр)	–	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^3$

* Составлено по: Unit converter [Electronic resource] // Softportal : [website]. URL: <http://www.softportal.com/software-8281-unit-converter.html> (date of access: 30.04.2018).

Наименование единицы объема	Соотносимая единица объема		
	дм ³ (л)	м ³	см ³
Кубический метр	$1,00 \cdot 10^3$	–	$1,00 \cdot 10^6$
Кубический сантиметр	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$	–

Таблица 3.4

Единицы плотности

Наименование единицы плотности	Соотносимая единица плотности			
	г/см ³	кг/дм ³	кг/м ³	т/м ³
Грамм на кубический сантиметр	–	1,00	$1,00 \cdot 10^3$	1,00
Килограмм на кубический дециметр	1,00	–	$1,00 \cdot 10^3$	1,00
Килограмм на кубический метр	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$	–	$1,00 \cdot 10^{-3}$
Тонна на кубический метр	1,00	1,00	$1,00 \cdot 10^3$	–

Таблица 3.5

Единицы площади

Наименование единицы площади	Соотносимая единица площади		
	га	м ²	см ²
Гектар	–	$1,00 \cdot 10^4$	$1,00 \cdot 10^8$
Квадратный метр	$1,00 \cdot 10^{-4}$	–	$1,00 \cdot 10^4$
Квадратный сантиметр	$1,00 \cdot 10^{-8}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$	–

Таблица 3.6

Единицы расхода

Наименование единицы расхода	Соотносимая единица расхода				
	дм ³ /мин (л/мин)	дм ³ /с (л/с)	дм ³ /ч (л/ч)	м ³ /с	м ³ /ч
Кубический дециметр в минуту (литр в минуту)	–	$1,67 \cdot 10^{-2}$	60,00	$1,67 \cdot 10^{-5}$	0,06
Кубический дециметр в секунду (литр в секунду)	60,00	–	$3,60 \cdot 10^3$	$1,00 \cdot 10^{-3}$	3,60

Наименование единицы расхода	Соотносимая единица расхода				
	дм ³ /мин (л/мин)	дм ³ /с (л/с)	дм ³ /ч (л/ч)	м ³ /с	м ³ /ч
Кубический дециметр в час (литр в час)	$1,67 \cdot 10^{-2}$	$0,28 \cdot 10^{-3}$	–	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$
Кубический метр в се- кунду	$6,00 \cdot 10^4$	$1,00 \cdot 10^3$	$3,60 \cdot 10^6$	–	$3,60 \cdot 10^3$
Кубический метр в час	16,67	0,28	$1,00 \cdot 10^3$	$2,78 \cdot 10^{-4}$	–

Учебное издание

Аникин Юрий Викторович
Царев Николай Сергеевич
Ушакова Людмила Ивановна

НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

Учебное пособие

Заведующий редакцией
Редактор
Корректор
Компьютерная верстка

М. А. Овечкина
В. И. Первухина
В. И. Первухина
В. К. Матвеев

Подписано в печать 08.06.2018 г. Формат 70×100¹/₁₆.
Бумага офсетная. Цифровая печать. Усл. печ. л. 11,29.
Уч.-изд. л. 9,0. Тираж 50 экз. Заказ 132.

Издательство Уральского университета
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ
620083, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: +7 (343) 389-94-79, 350-43-28
E-mail: rio.marina.ovechkina@mail.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ
620083, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: +7 (343) 358-93-06, 350-58-20, 350-90-13
Факс: +7 (343) 358-93-06
<http://print.urfu.ru>

Для заметок

Для заметок

