

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

В. Ф. ЧЕБАЕВСКИЙ, К. П. ВИШНЕВСКИЙ,
Н. Н. НАКЛАДОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И ИСПЫТАНИЕ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Рекомендовано Министерством сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений по специальностям природообустройства



МОСКВА «КОЛОС» 2000

УДК [631.672.2+631.624](075.8)
ББК 40.6я73
Ч34

Редактор *Н. М. Щербакова*

Рецензент кандидат технических наук, доцент *С. А. Тарасьянц*
(Новочеркасская мелиоративная академия)
Главы 1, 4, 10, 11 написаны *В. Ф. Чебаевским*, главы 5, 6, 7 — *К. П. Вишневским*, главы 2, 3 и 8 — *Н. Н. Накладовым*, глава 9 — совместно *В. Ф. Чебаевским* и *К. П. Вишневским*

Чебаевский В. Ф. и др.

Ч34 Проектирование насосных станций и испытание насосных установок/В. Ф. Чебаевский, К. П. Вишневский, Н. Н. Накладов. — М.: Колос, 2000. — 376 с.: ил. -- (Учебники и учеб. пособия для высш. учеб. заведений).

ISBN 5—10—002930—7.

Рассмотрены различные типы узлов сооружений насосных станций и их конструктивные особенности, изложены принципы проектирования, приведены необходимые методы расчета.

Даны краткие методики проведения учебных лабораторных испытаний и примеры выполнения домашних заданий.

Для студентов вузов, обучающихся по специальностям природообустройства.

УДК [631.672.2+631.624](075.8)
ББК 40.6я73

ISBN 5—10—002930—7

© Издательство «Колос», 2000

Глава 1

РАЗЛИЧНЫЕ СХЕМЫ УЗЛОВ СООРУЖЕНИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

●

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И СОСТАВ СООРУЖЕНИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Понятия «узел сооружений насосной станции» и просто «насосная станция» в мелиорации и водном хозяйстве идентичны.

Насосная станция — это комплекс гидротехнических сооружений и оборудования, обеспечивающий забор воды из источников и транспортировку ее с помощью насосных агрегатов к напорному бассейну или месту потребления. В насосной станции обычно размещено несколько насосных агрегатов, каждый из которых можно включать или отключать в зависимости от требуемой подачи воды. Насосной станцией называют также и единичную насосную установку, расположенную на подвижной платформе или плавучем понтоне и имеющую дополнительные устройства для пуска и регулирования режима ее работы.

Насосной установкой называют комплекс устройств, обеспечивающих подачу воды из источника в напорный трубопровод с помощью насосного агрегата. Кроме насосного агрегата в состав ее входят примыкающие к нему всасывающий и напорный трубопроводы с арматурой и измерительные средства.

Насосный агрегат — это собранные в единый узел насос, двигатель и устройство для передачи мощности от двигателя к насосу.

В состав сооружений насосной станции в общем случае входят:

водозаборные сооружения, предназначенные для забора воды из поверхностного или подземного водоисточника;

водоподводящие каналы или трубопроводы, транспортирующие воду от водозабора к аванкамере насосной станции;

аванкамера, сопрягающая водоотводящее сооружение с водоприемными камерами, из которых вода поступает во всасывающие трубопроводы;

всасывающие трубопроводы, по которым воду подают к всасывающим патрубкам насосов;

здание насосной станции, в котором размещено все необходимое гидромеханическое, энергетическое и прочее оборудование, обеспечивающее подачу воды в напорные трубопроводы;

напорные трубопроводы, по которым вода транспортируется к водовыпускному сооружению насосной станции;

водовыпускное сооружение, обеспечивающее плавный выпуск воды из напорного трубопровода в напорный бассейн или отводящий канал и предотвращающее обратный ток воды при прекращении ее подачи.

В состав насосной станции могут входить рыбозащитные и сороудерживающие сооружения, а также отдельно стоящие трансформаторная подстанция, бытовые и складские помещения.

Состав сооружений насосной станции, их взаимное расположение и конструктивное исполнение зависят от многих факторов: назначения станции (для орошения, осушения, водоснабжения, перекачки сточных вод и т. д.); подачи (малая — до 1 $м^3/с$, средняя — 1...10, большая — 10...100, уникальная — более 100 $м^3/с$); напора (низконапорные — до 20 м, средненапорные — 20...60, высоконапорные — более 60 м); эксплуатационных особенностей (стационарные, передвижные, плавучие, электрифицированные, с двигателями внутреннего сгорания); топографических, геологических и гидрогеологических условий местности; характеристик водоисточника и водоприемника (колебания уровней воды, наличие наносов, устойчивость берегов и т. д.).

Насосные станции проектируют и сооружают по нормам и правилам, действующим для гидротехнических сооружений.

1.2. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Насосные станции проектируют в соответствии с техническим заданием, которое в общем случае для станций мелиоративного характера содержит следующие данные:

район расположения и назначение насосной станции;

укомплектованный график водопотребления или график водоотвода по году расчетной обеспеченности, а при необходимости соответствующий суточный график;

требования к форсировке и регулированию водоподачи, объем автоматизации и телемеханизации, данные о ремонтных базах и т. д.;

наименование водоисточника (водоприемника), место расположения водозабора (водовыпуска), режимы уровней и расходов воды, объемы твердого стока, ледовый режим, требования к рыбозащите;

ситуационный план по створу водоподачи;

источники энергоснабжения;

строительная индустрия в окружающих районах и возможности транспортировки материалов и оборудования к местам расположения насосной станции;

сроки строительства и очередность ввода мелиорируемых земель, а также изыскательские материалы:

топографические — планшеты масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000 или продольные профили с поперечниками; для крупных насосных станций при водозаборах из рек или водохранилищ могут потребоваться результаты модельных исследований водозаборных сооружений с масштабом моделей 1:5000;

инженерно-геологические — продольный профиль по трассе линейных сооружений, блок-диаграммы в местах расположения ответственных сооружений, физико-технические свойства грунтов, данные по грунтовым водам, прогноз возможных изменений их в результате строительства насосной станции и т. д.;

гидрогеологические — расчетные уровни и расходы воды в верхнем и нижнем бьефах, минимальные и максимальные уровни воды для годов расчетной обеспеченности, гидрографы, прогноз использования источника во времени и связанные с этим изменения режима расхода и уровней, величины сгона и нагона воды, характеристики твердого стока, прогноз деформации русла, ледовый режим и т. д.; для каналов должны быть даны расчетные расходы и уровни воды, в том числе уровни при аварии выше или ниже расположенных сооружений, при отключении электроэнергии или при отказе регулирующих устройств, статические уровни воды;

климатические — температуры воздуха и воды, осадки, толщина снежного покрова, промерзание почвы, сейсмичность района строительства;

прогноз влияния сооружаемого узла на изменение санитарно-гигиенических условий жизни общества, плодородие земель, растительного и животного мира, запасы рыбы в водоемах и т. д. в окружающих районах.

Следует отметить, что объем изыскательских материалов зависит от класса сооружений, особенностей природных условий, стоимости и сложности проекта, цели проектирования. Например, для учебных целей как исходные, так и изыскательские материалы могут быть в значительно менее полном составе, чем для проекта, решение по реализации которого уже принято.

Далее приведены пример технического задания на учебный курсовой проект «Насосная станция с водоисточником — водохранилище

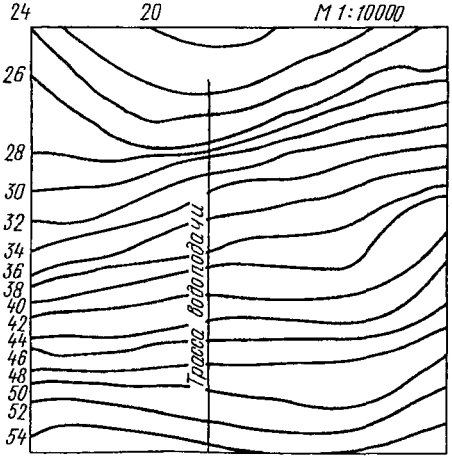
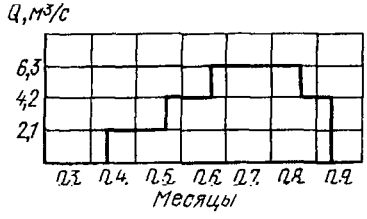


Рис. 1.1. План местности

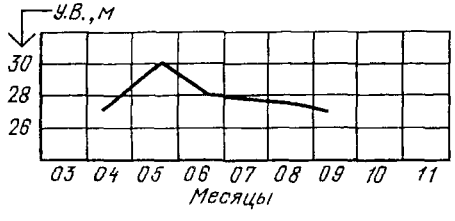
(вариант В-9)» и план местности с горизонталями и заданной трассой водоподачи (рис. 1.1).

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
УНИВЕРСИТЕТ ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Кафедра «Насосы и насосные станции»
Техническое задание на курсовой проект «Насосная станция»
Студент Петров В. И., факультет ЭГ, группа № 401.
Исходные данные:
1. Назначение насосной станции — для орошения, для осушения.
2. График водопотребления (откачки):



3. График колебаний УВ в водоисточнике:



4. Водоисточник — магистральный канал (К-...), водохранилище (В-9), река (Р-...).
5. Водоприемник — канал.
6. *Максимальная отметка УВ в водоприемнике — 52 м.*
7. Грунт — суглинок легкий, суглинок средний, суглинок тяжелый.
8. Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии — ...р.
9. Дополнительные сведения: $Q_{ф} = 1{,}15Q_{max}$.
10. План местности с нанесенной трассой водоподачи.
Состав проекта:
Пояснительная записка:
1. Техническое задание на курсовой проект.
2. Введение.
3. Паспорт насосной станции.
4. Конструктивное описание сооружений узла насосной станции.
5. Расчет подводящего и отводящего каналов.
6. Определение места расположения здания насосной станции.
7. Определение расчетных Q и H основных насосов и их число.
8. Выбор основного гидромеханического и электрического оборудования.
9. Определение отметки установки насоса и выбор типа здания насосной станции.
10. Компоновка и определение размеров здания насосной станции.

11. Водозаборное сооружение.
12. Внутристанционные коммуникации и напорные трубопроводы.
13. Водовыпускное сооружение.
14. Вспомогательное оборудование насосной станции.
15. Гидравлический расчет.
16. Водноэнергетический расчет.
17. Технико-экономические расчеты и показатели насосной станции.

Ч е р т е ж и:

1. Поперечный разрез по зданию насосной станции и водозаборному сооружению М 1:100.
2. План здания насосной станции и водозаборного сооружения М 1:100.
3. Продольный разрез по зданию насосной станции М 1:100.
4. Продольный разрез и план водовыпускного сооружения М 1:100.
5. Генплан узла насосной станции М 1:500.

Преподаватель

По этим материалам разрабатывают курсовой проект, содержание и объем которого изложены в разделе «Состав проекта» технического задания.

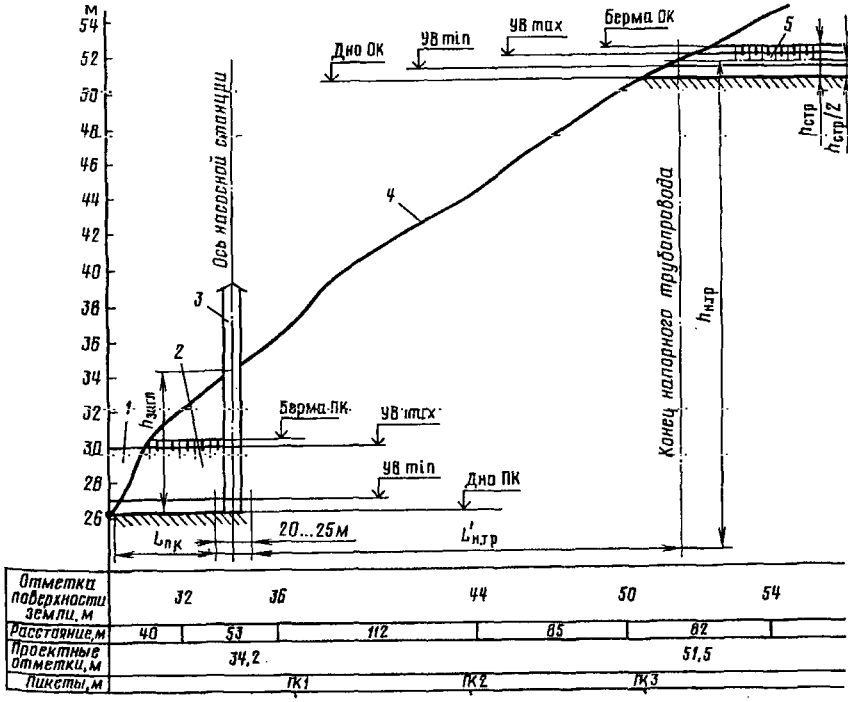


Рис. 1.2. Продольный разрез по трассе водоподачи:

1 — водоисточник; *2* — подводящий канал длиной $L_{п.к}$; *3* — здание насосной станции; *4* — поверхность земли; *5* — отводящий канал; $L'_{н.тр}$ и $h_{н.тр}$ — длина напорного трубопровода в плане и по вертикали; $h_{стр}$ — строительная глубина отводящего канала

Продольный разрез по трассе водоподачи той же насосной станции приведен на рисунке 1.2. Расположение здания станции определено по оптимальному заглублению его от поверхности земли до дна подводящего канала $h_{загл}$.

Оптимальное заглубление $h_{загл}$, по которому определяют местоположение здания насосной станции (см. рис. 1.2), окончательно устанавливают в результате технико-экономических расчетов по минимуму приведенных затрат (см. гл. 9). При этом учитывают все виды работ по подводящему каналу и напорным трубопроводам, а также затраты электроэнергии на преодоление гидравлических сопротивлений в трубопроводах [13].

Предварительно $h_{загл}$, м, можно вычислить по приближенной эмпирической формуле

$$h_{загл} = 0{,}55(Q_{max} - 1) + 5,$$

где Q_{max} — максимальная расчетная подача насосной станции, м³/с.

Конец напорного трубопровода соответствует точке пересечения горизонтальной линии, проходящей через середину строительной высоты отводящего канала, с поверхностью земли. Дальше, правее, располагают водовыпускное сооружение (на чертеже не показано).

1.3. КЛАСС И НАДЕЖНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ

Сооружения насосных станций разделяют на основные и второстепенные [15].

К основным относят те сооружения, разрушение которых приводит к нарушению нормальной работы насосной станции (плотины, дамбы, водозаборные и водовыпускные сооружения, здания насосных станций, напорные трубопроводы, подпорные стены, рыбозащитные сооружения и т. д.).

К второстепенным сооружениям относят те, разрушение или отказ в работе которых не приводит к нарушению работы насосной станции (ремонтные затворы, водозащитные и отбойные сооружения, берегоукрепительные конструкции, служебные мостики, дороги и т. д.).

Все сооружения гидротехнических систем делят на четыре класса.

Класс сооружения зависит от его высоты, типа основания, последствий аварии или нарушения режима его эксплуатации (табл. 1.1). Класс основных сооружений, выбранный по таблице 1.1, повышают на единицу, если их разрушение влечет за собой катастрофические последствия для населенных пунктов и предприятий или приводит к значительному ущербу народному хозяйству, и понижают на единицу, если катастрофические последствия при их разрушении не возникают, а последующий ремонт соору-

1.1. Класс основных сооружений в зависимости от грунтов основания и высоты сооружений

Грунты основания	I	II	III	IV
	Высота сооружений, м			
Скальные	Более 100	60...100	25...60	Менее 25
Песчаные, крупнообломочные, глинистые в твердом и полутвердом состоянии	Более 50	25...50	10...25	Менее 10
Глинистые, водонасыщенные в пластическом состоянии	Более 25	20...25	10...20	Менее 10

жений может быть выполнен без остановки работы всего гидроузла.

Класс второстепенных сооружений гидроузлов обычно при равных условиях на единицу ниже, чем основных сооружений (табл. 1.2).

1.2. Класс основных и второстепенных сооружений в зависимости от обслуживаемой площади

Площадь мелиорируемых земель, обслуживаемых сооружением при орошении и осушении, тыс. га	Сооружение	
	основное	второстепенное
Более 300	I	II
100...300	II	III
50...100	III	IV
50 и менее	IV	IV

По надежности подачи или откачки воды насосные станции разделяют на три категории.

I категория надежности — насосные станции, у которых в аварийных ситуациях допускается перерыв в работе не более 5 ч, или снижение подачи до 50 % расчетной не более чем в течение 3 сут, или при прекращении подачи могут возникнуть опасность для жизни и угроза нанесения народному хозяйству значительного ущерба; к этой категории надежности обычно относят каскады крупных и уникальных насосных станций, обслуживающих крупные массивы с ценными сельскохозяйственными культурами, а также крупные осушительные насосные станции, имеющие ограниченную аккумулирующую емкость осушительной системы.

II категория надежности — насосные станции, у которых в аварийных ситуациях допускается перерыв в подаче до одних суток или снижение ее до 50 % расчетной не более чем в течение 5 сут; к этой категории надежности обычно относят крупные и средние насосные станции, обслуживающие более 5 тыс. га посевов ценных сельскохозяйственных культур.

III категория надежности — насосные станции, у которых до-

1.3. Степень огнестойкости зданий и сооружений в зависимости от категории надежности подачи воды и их класса

Категория надежности подачи воды	Класс зданий и сооружений	Степень огнестойкости
I	II	I...II
II	III...IV	I...III
III	IV	III...IV

пускается перерыв в подаче до 5 сут; к ней относят все остальные насосные станции.

В зависимости от категории надежности подачи воды выбирают обеспеченность уровней и расходов воды в источнике, тип и габариты сооружений, число резервных насосных агрегатов и сооружений, коэффициенты запасов и т. д.

Для насосных станций существует понятие «степень огнестойкости сооружения». Известны четыре степени огнестойкости. Последняя зависит от категории надежности подачи воды и класса сооружения (табл. 1.3). Степень огнестойкости определяет перечень необходимых средств пожаротушения.

1.4. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТУ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Проект насосной станции разрабатывают как составную часть общего мелиоративного или водохозяйственного проекта. Поэтому многие технические, организационные и экономические вопросы по насосным станциям решают в комплексе с другими сооружениями общего объекта.

При разработке проекта насосной станции руководствуются нормами и правилами, действующими для гидротехнических сооружений, и следующими рекомендациями:

максимальное снижение трудоемкости и материалоемкости (особенно стальных конструкций) отдельных сооружений узла;

применение технических решений и проектов сооружений, хорошо зарекомендовавших себя на практике, максимальное унифицирование их на насосных станциях, расположенных вблизи;

более широкое использование индустриальных способов строительства сооружений с минимальным объемом ручного труда за счет применения стандартных строительных конструкций заводского изготовления (сборные железобетонные колонны, балки, панели покрытий, трубы и др.);

использование возможности строительства насосной станции по очередям и эксплуатация ее при не полностью законченных сооружениях;

применение электрической энергии для работы насосной стан-

ции как экологически чистой и удобной в эксплуатации; использование для этого двигателей внутреннего сгорания должно быть обосновано технико-экономическими расчетами;

максимальная автоматизация технологических процессов при эксплуатации насосной станции с возможностью последующего совершенствования технологического процесса;

сохранение или улучшение санитарно-гигиенических условий жизни населения в прилегающем районе, а также условий для хозяйственно-производственной деятельности;

сохранение или умножение растительного и животного мира в прилегающем районе.

При выборе места расположения гидроузла насосной станции и разработке его генерального плана придерживаются следующих рекомендаций.

1. Стремиться при размещении всех сооружений узла к максимальной экономии площади застройки, особенно когда сооружения располагают на землях, пригодных для сельскохозяйственного использования; водозабор желательно размещать как можно ближе к орошаемой территории.

2. Не допускать строительства гидроузла на площадках залегания полезных ископаемых, в зонах активного карста, оползней, селевых потоков и снежных лавин, на откосах глубоких выемок, в первом поясе зоны санитарной охраны источников водоснабжения, рядом с курортами, на территориях зеленых зон городов, лесопарков, заповедников и в охранных зонах исторических памятников.

3. Размещать основные сооружения насосных станций только по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы, рыбоохраны, водного транспорта и водоохраны, при этом необходимо также соблюдать требования Воздушного кодекса.

4. Размещать линии электропередачи и связи по границам полей севооборотов, вдоль дорог и существующих трасс.

5. Выносить жилые поселки и отдельные сооружения насосной станции из зон, по которым может пройти сосредоточенный поток воды при аварийном прорыве напорных сооружений; в качестве защитных средств можно предусмотреть сооружение специальных струенаправляющих устройств, защитных дамб, подпорных стен, нагорных и ловчих каналов.

6. Обеспечивать подъезд пожарных автомобилей к зданиям и сооружениям по всей их длине с одной стороны при ширине здания или сооружения до 18 м и с двух сторон — более 18 м.

7. Предусматривать защиту прилегающей территории от эрозии, заболачивания и засоления.

8. Предусматривать устройство дорог, обеспечивающих проезд транспорта ко всем сооружениям узла, а также места его стоянки.

9. Предусматривать превышение на 0,15...0,2 м планировочной отметки уровня полов первого этажа сооружений. При этом сама

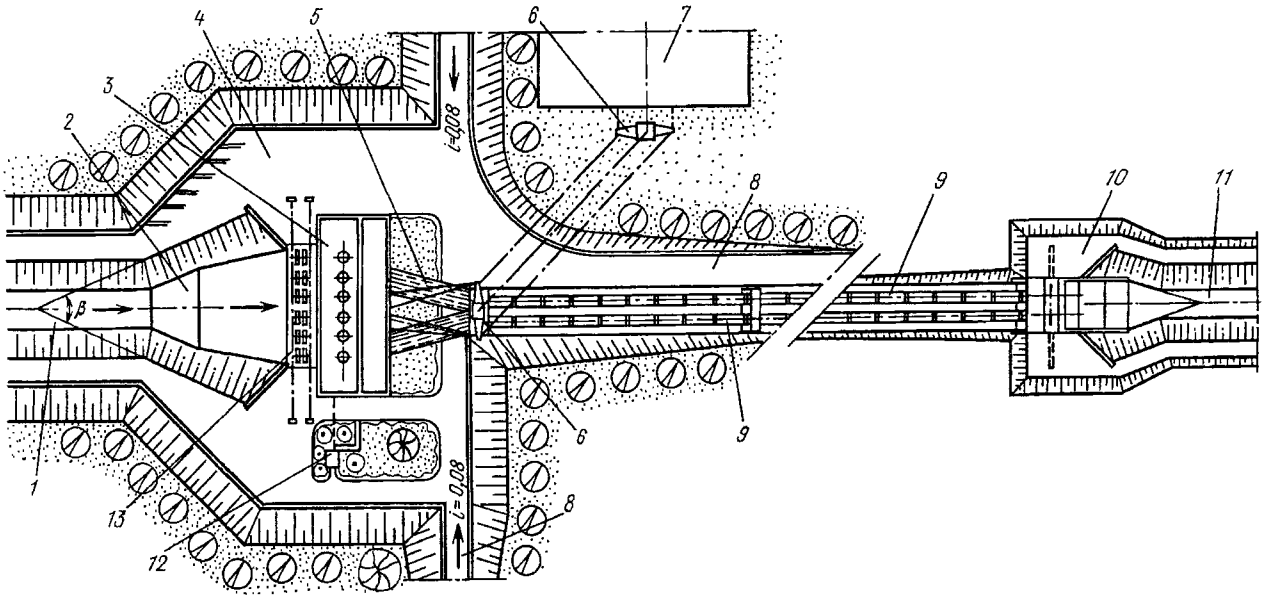


Рис. 1.3. Генеральный план насосной станции на тупиковом канале:

1 — подводящий канал; *2* — аванкамера; *3* — здание насосной станции; *4* — пристанционная площадка; *5* — доковая конструкция; *6* — опора; *7* — трансформаторная подстанция; *8* — дороги; *9* — напорный трубопровод; *10* — водовыпускное сооружение; *11* — отводящий канал; *12* — септик; *13* — водозаборное сооружение

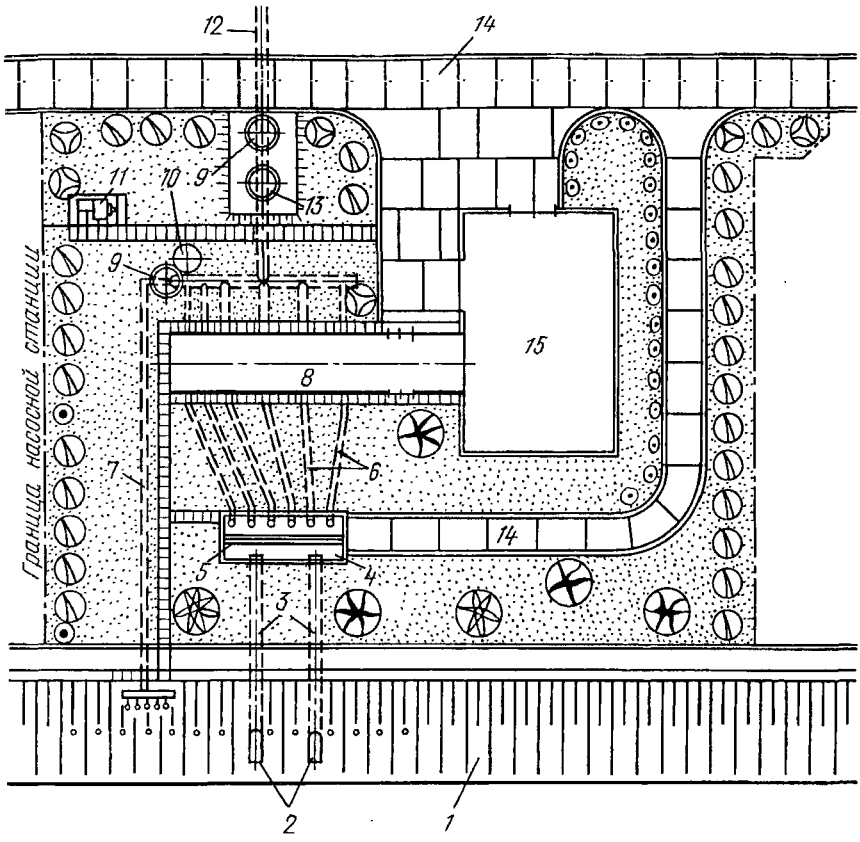


Рис. 1.4. Генеральный план насосной станции закрытой оросительной сети:
1 — откос подводящего канала; *2* — водозаборные оголовки; *3* — самотечные водоводы; *4* — береговой колодец; *5* — паз для установки фильтров; *6* — всасывающие трубопроводы; *7* — сбросной трубопровод; *8* — здание насосной станции; *9* — колодцы задвижек; *10* — воздушная емкость; *11* — туалет с мусоросборником; *12* — напорный трубопровод; *13* — колодец индукционного расходомера; *14* — дороги, открытые монтажные площадки; *15* — трансформаторная подстанция

планировочная отметка должна быть на 0,5 м выше максимального уровня воды в источнике.

10. Обеспечивать наряду с максимальными удобствами при эксплуатации, высокими экономическими показателями основного насосно-силового оборудования, технологичностью производства ремонтно-монтажных работ надлежащий эстетический вид отдельных сооружений и узла в целом в увязке с окружающей местностью; для улучшения микроклимата предусматривают озеленение территории.

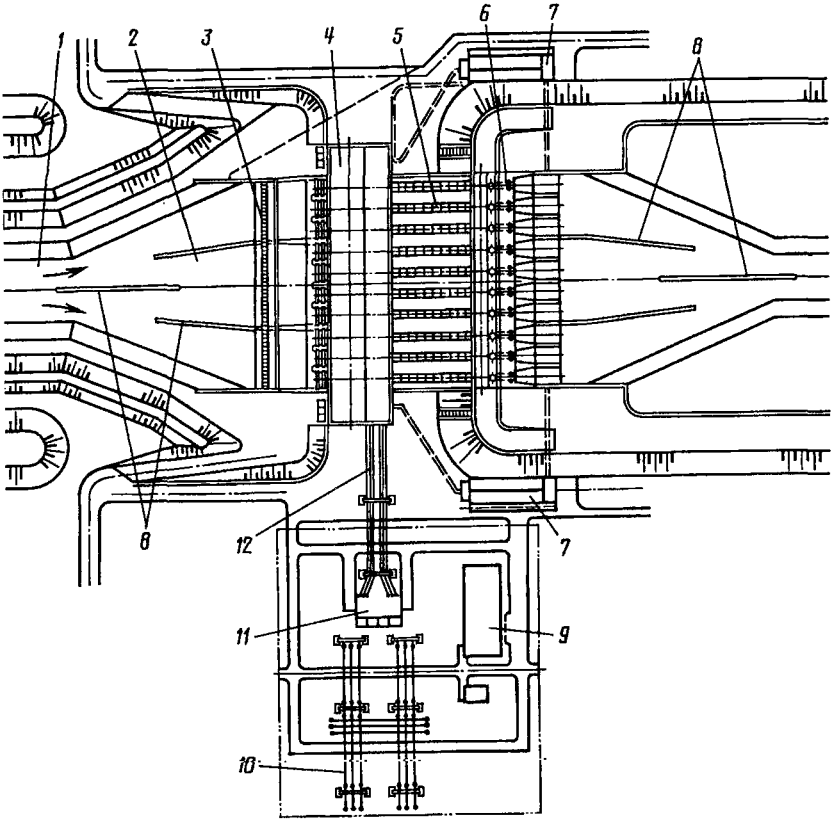


Рис. 1.5. Плаи узла иизкоиапориой иасосиой стаиции:

1 — подводящий канал; *2* — аванкамера; *3* — сороудерживающее устройство; *4* — здание насосной станции; *5* — напорный трубопровод; *6* — водовыпускное сооружение; *7* — отстойник системы технического водоснабжения; *8* — разделительные стенки; *9* — здание распределительных устройств; *10* — линии электропередачи; *11* — трансформаторная подстанция; *12* — шинопровод

Генеральные планы трех различных насосных станций, где показаны варианты размещения отдельных сооружений узлов, показаны на рисунках 1.3...1.5.

1.5. СХЕМЫ УЗЛОВ СО СТАЦИОНАРНЫМИ НАСОСНЫМИ СТАНЦИЯМИ

На схеме узла условными обозначениями показывают состав основных сооружений насосной станции и последовательность их расположения по трассе водоподачи. Выбор схемы узла — один из

ответственных этапов проектирования. Схема узла насосной станции в общем случае зависит от назначения, максимальной подачи и графика изменения подач, видов водоисточника и водоприемника, природных и хозяйственных условий района строительства (рельеф, геология, гидрология, наличие электроэнергии, дороги и другие факторы). На практике наиболее часто встречаются следующие схемы узлов насосных станций.

Для оросительных систем. 1. С водозабором из реки, транспортирующей много взвешенных частиц (в том числе абразивных) средней ($d > 0{,}2$ мм) крупности.

Схема узла, характерной особенностью которого является наличие на подводящем канале (ПК) водоотстойника (ВО), показана на рисунке 1.6, *а*. Последний рекомендуют располагать в головной части подводящего канала. Отстойник периодически очищают от наносов, для чего предусматривают специальные средства не

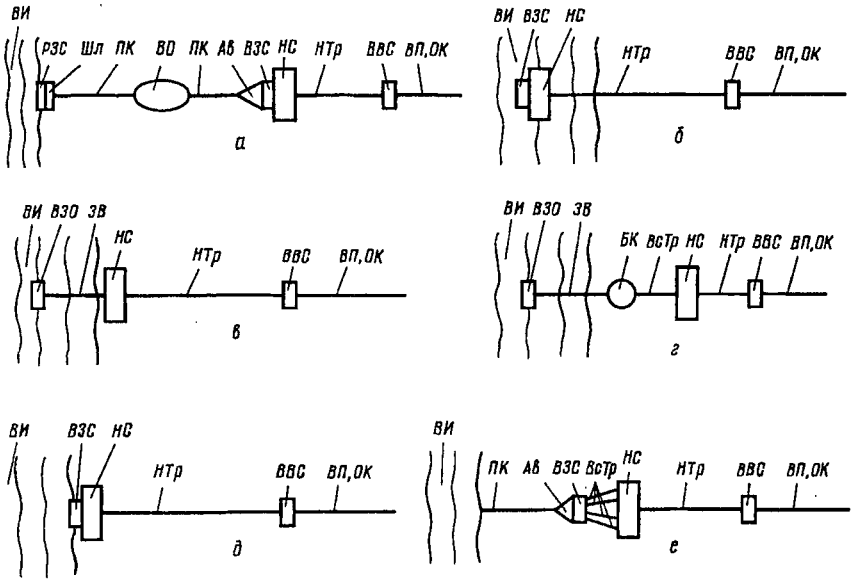


Рис. 1.6. Схемы узлов насосных станций для оросительных систем:
а — с водозабором из реки, транспортирующей взвешенные частицы со средней крупностью $d > 0{,}2$ мм; *б* — с русловым забором воды из источника и расположенным там зданием насосной станции; *в* — с русловым водозаборным сооружением; *г* — с береговым колодцем; *д* — схема узла с береговым забором воды и совмещенными водозаборным сооружением и зданием насосной станции; *е* — с подводящим каналом и раздельным расположением водозаборного сооружения и здания насосной станции; ВИ — водоисточник; РЗС — рыбозащитное сооружение; Шл — шлюз-регулятор; ПК — подводящий канал; ВО — водоотстойник; Ав — аванкамера; ВЗС — водозаборное сооружение; НС — здание насосной станции; НТр — напорный трубопровод; ВВС — водовыпускное сооружение; ВП — водоприемник; ОК — отводящий канал; ВЗО — водозаборный оголовок; ЗВ — закрытый водовод; БК — береговой колодец; ВсТр — всасывающий трубопровод

только для его очистки, но и для транспортировки отстоя в отдаленные от отстойника места. Конструкция водоотстойника и его объем обосновывают технико-экономическими расчетами. Если необходимо регулировать уровень воды в канале, отключать отводящий канал для ремонта каких-либо сооружений, защищать его от наносов и затопления берм при высоких уровнях воды в источнике, то в голове подводящего канала устраивают шлюз-регулятор (Шл). Схему гидроузла, показанную на рисунке 1.6, *а*, но без отстойника, часто реализуют при заборе воды из других видов источников (озеро, водохранилище, магистральный канал), имеющих малые (до 5 м) колебания уровней воды, если нет опасности заиления подводящего канала наносами, переносимыми вдольбереговыми течениями и волнами.

2. С русловым забором воды из источника.

Схема узла, в которой водозаборное сооружение (ВЗС) совмещено со зданием насосной станции (НС) и оба они расположены в русле источника (ВИ), показана на рисунке 1.6, *б*. Такие узлы очень дороги в строительстве и эксплуатации. Поэтому сооружение их должно быть обосновано технико-экономическим расчетом. Применяют при больших амплитудах колебаний уровней воды источника, неустойчивых берегах, затапливаемых поймах шириной более 300 м, недостаточных глубинах у берега и неблагоприятных условиях для строительства здания насосной станции на берегу или вблизи его.

Схема узла, в которой в русле расположено только водозаборное сооружение, а здание насосной станции построено на берегу водоисточника, показана на рисунке 1.6, *в*. Вода из руслового водозаборного сооружения поступает к зданию насосной станции через закрытые водоводы (ЗВ), уложенные по дну. Водозаборное сооружение может быть незатопляемым и затопляемым в виде оголовков. По требованию рыбоохранных органов затопленные оголовки (ВЗО) могут быть уложены на больших глубинах (8 м и более). Схема узла, показанная на рисунке 1.6, *в*, дешевле в строительстве и эксплуатации, чем схема узла, показанная на рисунке 1.6, *б*. При больших колебаниях уровней воды источника в схемах узлов насосных станций малой и средней подачи между водозаборными оголовками (ВЗО) и зданиями насосных станций (НС) часто предусматривают сооружение береговых колодцев (БК) (рис. 1.6, *г*). Если здание насосной станции наземного типа и расположено не далее 200 м от оголовков или через самотечные закрытые водоводы (ЗВ) вода подается от оголовков прямо к насосам, расположенным ниже уровня воды источника, то береговой колодец (БК) не предусматривают. На крупных насосных станциях при больших колебаниях уровней воды источника вместо береговых колодцев применяют открытые регулирующие емкости, сообщающиеся с источником через закрытые водоводы с затворами или шлюзы-регуляторы (см. рис. 1.13, *а*). Регулирующая емкость обеспечи-

вает надежный пуск насосов при длинных подводящих водоводах, а также прием воды из напорных трубопроводов при внезапной остановке насосной станции. Основные недостатки узлов с затопленными оголовками: сложность строительства оголовков и подводящих трубопроводов, трудность борьбы с возможными зарастанием и заилением сооружений.

3. С береговым забором воды из источника и водозаборным сооружением, совмещенным со зданием насосной станции.

Применяют при устойчивых руслах с прочными грунтами и достаточными глубинами воды у берега, а также с амплитудами колебаний уровней воды источника до 5 м (рис. 1.6, *д*). Такая схема узла по сравнению с рассмотренными выше наиболее предпочтительна для строительства и эксплуатации независимо от вида источника и максимальной подачи насосной станции.

4. С подводящим каналом и раздельным расположением водозаборного сооружения и здания насосной станции (рис. 1.6, *е*).

Применяют для сокращения размеров и стоимости строительства водозаборного сооружения. Такая схема узла характерна для насосных станций малой и средней подачи, имеющих горизонтальные насосы. Последние обусловливают большую длину здания насосной станции вдоль фронта водозабора. В этом случае само здание насосной станции, обсыпанное со всех сторон грунтом, имеет большую устойчивость. Схема узла, показанная на рисунке 1.6,*е*, наиболее типична для насосных станций, у которых насосы имеют положительную высоту всасывания.

5. С расположением здания насосной станции в нижнем бьефе водохранилища (рис. 1.7).

Эту схему применяют в тех случаях, когда забор воды насосной станцией по условиям проектирования оросительной системы должен находиться вблизи плотины (Пл), а гидрологические и геологические условия неблагоприятны для строительства узла в верхнем бьефе. Вода поступает в закрытые водоводы (ЗВ) из башни донного водовыпуска (БДВ), расположенного в русле водохранилища перед плотиной. Башня оснащена донными затворами, сороудерживающими решетками и рыбозащитными устройствами. Перед водовыпускным затвором, расположенным в нижнем бьефе, к закрытому водоводу (или водоводам) подсоединены всасы-

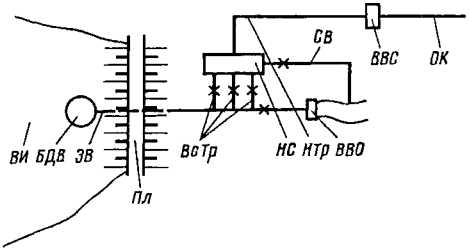


Рис. 1.7. Схема узла с расположением здания насосной станции в нижнем бьефе водохранилища:

БДВ — башня донного водовыпуска; Пл — плотина; ВВО — водовыпускной оголовок; СВ — сбросной (самотечный) водовод. (Остальные обозначения см. рис. 1.6.)

вающие трубопроводы с задвижками (ВсТр), через которые вода самотеком поступает в насосы с достаточно высоким напором, обеспечивающим бескавитационную работу последних. Это дает возможность применять наиболее дешевый наземный тип здания насосной станции. Для опорожнения трубопроводных систем предусмотрен сбросный самотечный водовод (СВ).

6. Каскады насосных станций.

Обычно применяют в тех случаях, когда требуемый напор насосной станции для подачи воды потребителю превышает напор выпускаемых промышленностью насосов, а также на магистральных каналах, обслуживающих обширные территории. Сооружают две и более последовательно работающие насосные станции (рис. 1.8). При этом для нормальной работы каскада перед второй и последующими станциями должны быть либо открытые регулирующие емкости, например каналы, либо уравнительные напорные башни (НБ), которые обеспечивают необходимый напор воды перед насосами. Вторую и последующую станции каскада оборудуют аварийными сбросными трубопроводными линиями с задвижками или затворами для сброса воды из верхнего бьефа в нижний в случае переполнения верхнего бьефа. В насосных станциях каскада желательно применять насосы с регулируемой подачей или заменять один основной насос несколькими разменными. Насосную станцию I подъема называют головной, остальные — перекачечными.

Подача воды каскадом насосных станций может оказаться экономически выгоднее, чем одной станцией, заменяющей каскад. Хотя капитальные вложения в строительство каскада насосных станций могут значительно превышать расходы на строительство

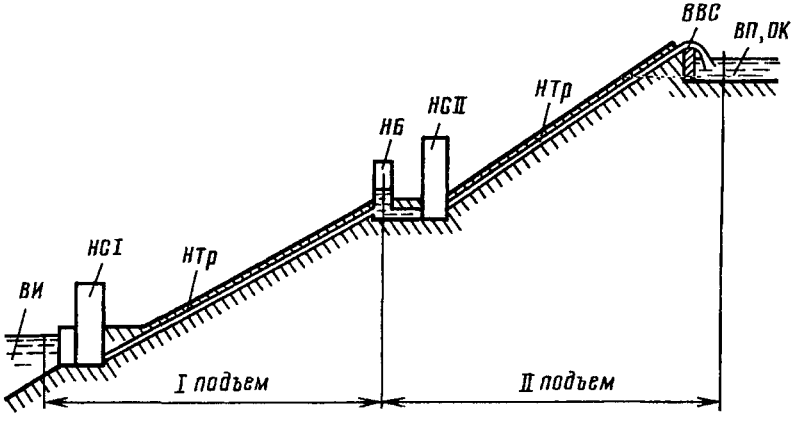


Рис. 1.8. Каскад двух насосных станций:

НБ — напорная башня. (Остальные обозначения см. рис. 1.6.)

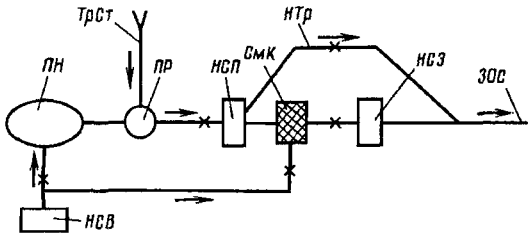


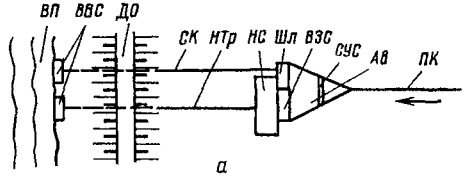
Рис. 1.9. Схема узла для орошения сточными водами и навозными стоками:

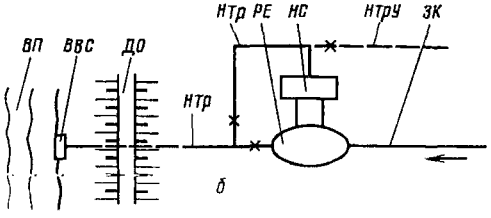
ПН — прифермский накопитель; ТрСт — трубопровод для сброса сточных вод; ПР — приемный резервуар; НСП — насосная станция перекачки; СмК — смесительная камера; НСЗ — насосная станция подачи смеси в закрытую оросительную сеть; ЗОС — закрытая оросительная сеть; НСВ — насосная станция подачи чистой воды

одной насосной станции с бóльшим напором перекачиваемой воды, чем каждая из каскада, сопоставление общих приведенных затрат по обоим вариантам может быть в пользу каскада станций. Дело в том, что в каскаде часть воды может отбираться для потребления перед каждым очередным подъемом, снижая таким образом подачи насосных станций последующих подъемов. В конечном итоге это может привести к значительной экономии электроэнергии, стоимость которой покроет увеличение стоимости строительных работ.

7. Насосные станции для орошения сточными водами и навозными стоками.

По существу, это комплекс насосных станций и различных сооружений, обеспечивающих подготовку орошаемой жидкости и подачу ее к местам орошения (рис. 1.9). Орошаемая жидкость представляет собой смесь сточных вод с обычной водой, забираемой из открытого (или подземного) источника. В данном случае (см. рис. 1.9) весь комплекс включает три насосные станции (или установки).





Для осушительных систем. 1. С забором воды из открытого канала-коллектора (рис. 1.10, *а*).

Рис. 1.10. Схемы узлов для осушительных систем с забором воды:

а — из открытого канала-коллектора; *б* — из закрытого коллектора; ДО — дамба обвалования; СК — самотечный коллектор; Шл — шлюз самотечного сброса воды из канала при высоких уровнях воды в нем; РЕ — регулирующая емкость; НТрУ — напорный трубопровод для увлажнительной системы; СУС — сороудерживающие сооружения. (Остальные обозначения см. рис. 1.6.)

По подаче осушительные насосные станции могут быть как малыми, так и крупными. Если уровни воды в канале-коллекторе в отдельные периоды могут быть выше уровней воды в водоприемнике (ВП), то в схеме гидроузла предусматривают шлюз (Шл), при открытии которого вода сбрасывается из канала в водоприемник через самотечный коллектор (СК). Сооружение самотечного сброса воды можно разместить и отдельно от здания. Здание насосной станции может быть расположено перед дамбой обвалования (ДО) и в ее теле. Если здание находится в теле дамбы, а напоры воды не превышают 5 м, то предпочтителен вариант, когда здание насосной станции, водозаборное, водовыпускное и самотечное устройства совмещены в одном сооружении. На осушительных насосных станциях чаще всего предусматривают отдельно стоящие сороудерживающие сооружения (СУС), поскольку осушительные каналы-коллекторы могут нести большое количество водорослей и мусора. В большинстве случаев на осушительных насосных станциях рыбозащитные сооружения не предусматривают.

2. С забором воды из закрытого коллектора.

Эти станции имеют значительно меньшие подачи, чем в предыдущем случае. Вода поступает в закрытый коллектор из дрен и далее самотеком в регулирующую емкость (РЕ) перед зданием насосной станции (рис. 1.10, *б*). Максимальный уровень воды в емкости должен быть ниже центра трубы-коллектора. Функцию регулирующей емкости может выполнять либо отдельный приемный колодец, либо аванкамера (Ав). Необходимые объемы их получают технико-экономическими расчетами. Иногда осушительные насосные станции выполняют и функции увлажнительных. Для этого они снабжены системой переключающих трубопроводов с задвижками, благодаря которым можно переключать режим работы насосной станции с осушения на увлажнение с забором воды из водоприемника (см. рис. 1.10, *б*, НТрУ).

Для сельскохозяйственного водоснабжения. 1. С забором воды из поверхностного источника.

Обычно насосные станции сельскохозяйственного водоснабжения имеют подачу менее 1 м^3/с и состоят из двух подъемов (не исключено применение и большего числа подъемов). Насосная станция I подъема обеспечивает подачу воды из источника к очистному сооружению (ОС) и далее к резервуару чистой воды (РЧВ). Насосная станция II подъема подает воду из резервуара чистой воды в емкость, установленную в водонапорной башне (ВБ). Оттуда она самотеком поступает в водопроводную сеть (ВС). Благодаря высотному расположению емкости в водонапорной башне в сети создается достаточно высокое давление воды. В ряде случаев насосная станция II подъема подает воду непосредственно в сеть или в емкость, в верхней части которой находится воздух. Для поддержания необходимого давления в емкости компрессор периодически подкачивает туда сжатый воздух. Из емкости вода под высоким давле-

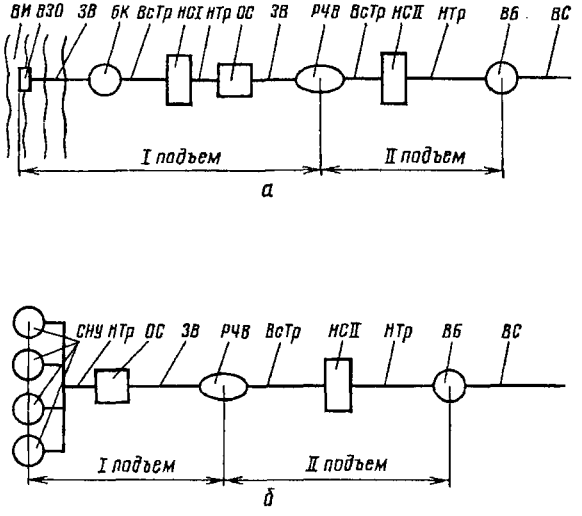


Рис. 1.11. Схемы узлов насосных станций для сельскохозяйственного водоснабжения при заборе воды:

а — из открытого источника; *б* — из подземного источника; ОС — очистное сооружение; РЧВ — резервуар чистой воды; ВБ — водонапорная башня; ВС — водопроводная сеть. (Остальные обозначения см. рис. 1.6.)

нием поступает в водопроводную сеть, а насосная станция II подъема периодически «подпитывает» емкость водой. В этих случаях надобность в водонапорной башне отпадает. Окончательное решение в каждом конкретном случае принимают после проведения технико-экономических расчетов.

Типовая схема узла насосной станции показана на рисунке 1.11, *а*. Для забора более чистой воды водозаборный оголовок (ВЗО) размещен в русле источника (ВИ), а для более тщательной очистки воды в береговом колодце (БК) установлены мелкоячеистые сетки. Кроме того, там создают условия для отстоя наносов.

Часто береговой колодец совмещают со зданием насосной станции. Насосные станции I и II подъемов иногда размещают в одном помещении.

Насосные станции сельскохозяйственного водоснабжения работают круглый год. Поэтому обычно они должны быть приспособлены к эксплуатации при минусовых температурах окружающей среды.

2. С забором воды из подземного источника.

Чаще всего подземные воды поднимают на поверхность земли из буровых скважин, внутренней поверхностью которых является обсадная труба. В последнюю опускают вертикальную скважин-

ную насосную установку (СНУ), которая через напорный трубопровод (НТр) подает воду из скважины в сборный резервуар или очистное сооружение (ОС), находящееся на поверхности земли. При этом насосная станция может иметь одну или несколько скважин (рис. 1.11, *б*). Если вода, поднимаемая из скважины, достаточно чистая, а санитарно-эпидемиологические службы допускают ее использовать для питьевых целей, то надобность в устройстве очистного сооружения отпадает. Из сборного резервуара (РЧВ) чистая вода насосной станцией II подъема подается в водонапорную башню (ВБ) и далее в водопроводную сеть. В принципе в емкость водонапорной башни можно подавать воду непосредственно скважинными СНУ. Тогда насосная станция II подъема не нужна. Однако артезианские насосные установки имеют сравнительно низкие КПД, и целесообразность реализации такой схемы должна быть обоснована технико-экономическими расчетами.

Для канализационных систем. Как и станции сельскохозяйственного водоснабжения, канализационные насосные станции эксплуатируют круглый год. Поэтому их помещения в зимнее время (в случае надобности) должны отапливаться. Чаще всего все основные сооружения узла совмещены в одном здании, к которому примыкают закрытые нижний и верхний коллекторы. Типовая схема узла канализационной насосной станции показана на рисунке 1.12. Дождевые, производственные и хозяйственно-фекальные стоки содержат много грязи, мусора и других включений, которые могут нарушить нормальную работу насосной станции. Поэтому стоки из нижнего коллектора (НК) сначала попадают в периодически очищаемый приемный резервуар (ПрР); пройдя через установленные там сороудерживающие решетки, попадают во всасывающие трубопроводы насосных установок (ВсТр), размещенных в здании насосной станции. Далее перекачиваемые стоки по напорным трубопроводам (НТр) попадают в приемную камеру (ПрК) или отдельно расположенное очистное сооружение, после чего в верхний коллектор (ВК) или водоприемник.

Некоторые схемы узлов насосных станций с конструктивным изображением отдельных сооружений узла показаны на рисунке 1.13 (водовыпускные сооружения не показаны).

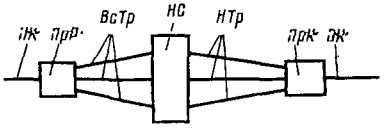


Рис. 1.12. Схема канализационной насосной станции:

НК — нижний коллектор; ПрР — приемный резервуар с решетками; ПрК — приемная камера. (Остальные обозначения см. рис. 1.6.)

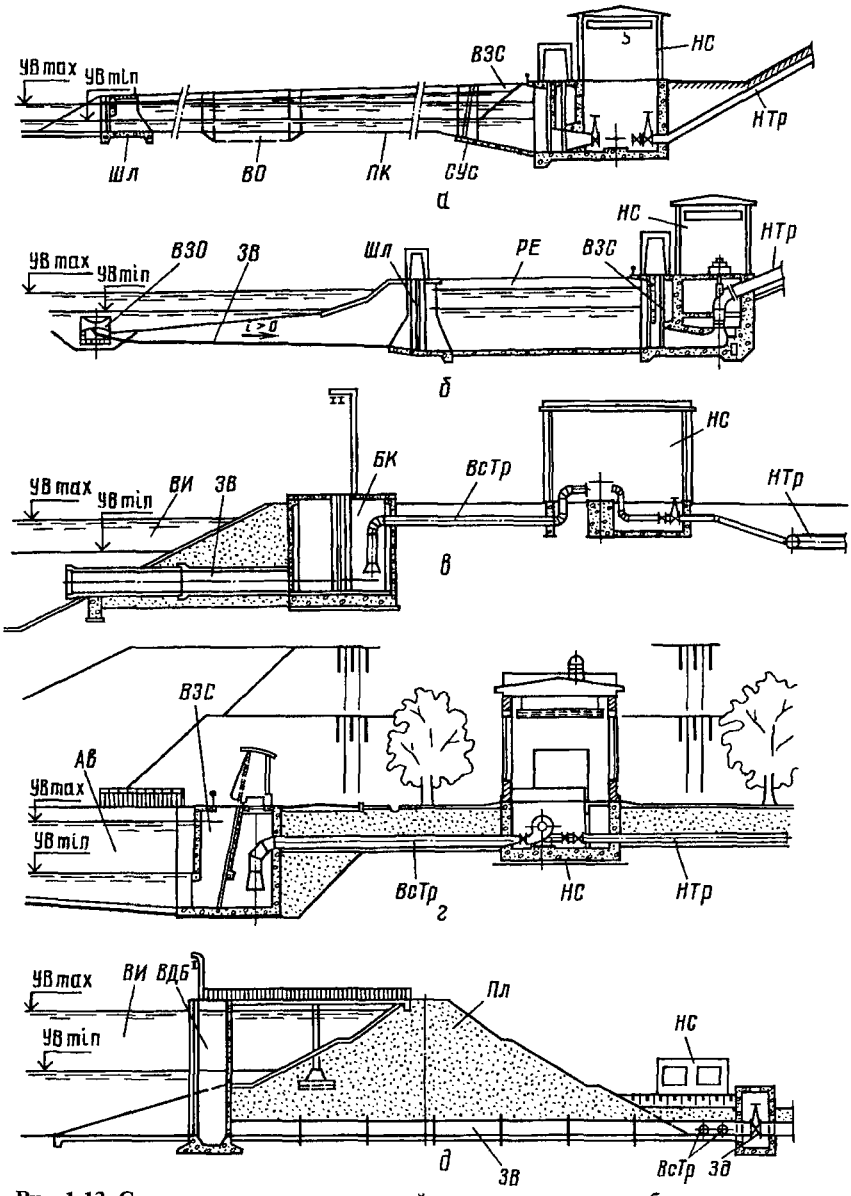


Рис. 1.13. Схемы узлов насосных станций с конструктивным изображением отдельных сооружений (без водовыпускных сооружений) при заборе воды:

а — из реки через шлюз и подводящий канал с водоотстойником; *б* — через донные оголовки при наличии регулирующей емкости перед зданием насосной станции; *в* — с береговым колодцем; *г* — из тупикового канала; *д* — при расположении здания насосной станции в нижнем бьефе водохранилища; Зд — задвижка. (Остальные обозначения см. рис. 1.6 и 1.10.)

1.6. СХЕМЫ УЗЛОВ С ПЕРЕДВИЖНЫМИ НАСОСНЫМИ СТАНЦИЯМИ ИЛИ УСТАНОВКАМИ

Передвижные насосные станции или установки чаще всего применяют на небольших объектах (площадь орошения до 500 га). Их обычно относят к III категории надежности подачи. Они при-

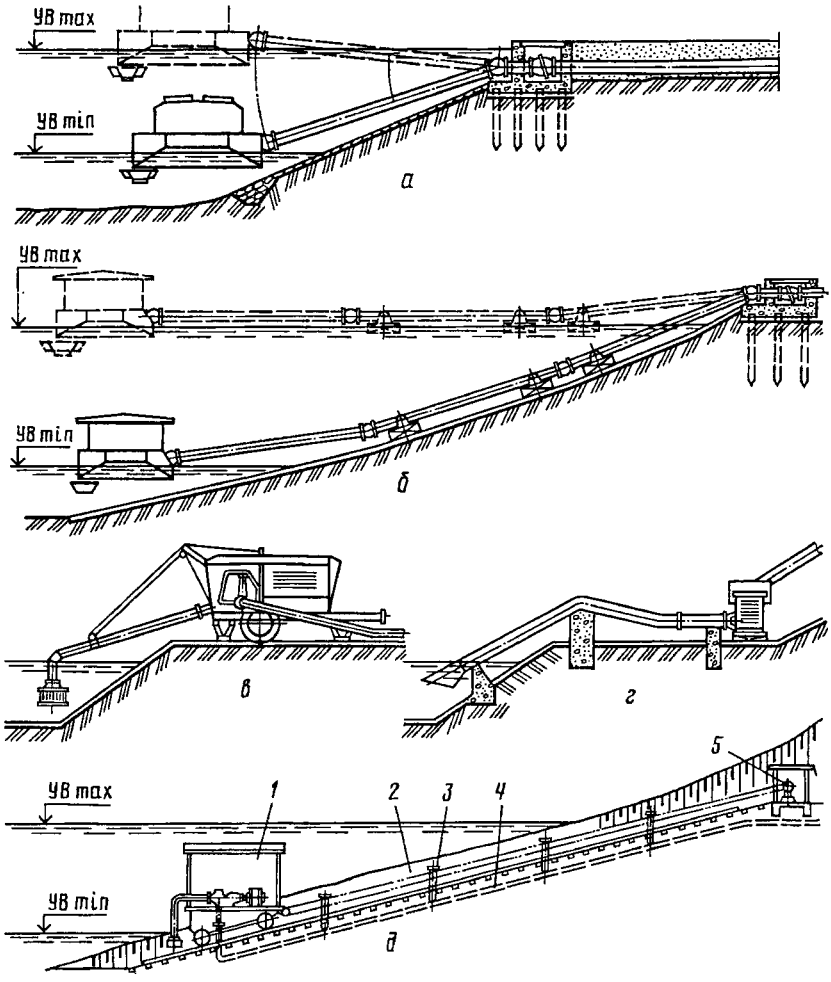


Рис. 1.14. Схемы узлов передвижных насосных станций и установок:
а и *б* — плавучие насосные станции с односекционным и многосекционным подвижным напорным трубопроводом; *в* — передвижная насосная станция на колесной платформе СНП-50/80; *г* — передвижная насосная станция на раме-салазках СНП-500/10; *д* — фуникулерная насосная установка: *1* — подвижная тележка с насосным агрегатом; *2* — рельсы; *3* — промежуточный стояк для присоединения к насосу; *4* — напорный трубопровод; *5* — лебедка

способлены для быстрого перемещения с одной рабочей позиции на другую и могут быть использованы в течение сезона на нескольких земельных участках. Их используют при сложных природных условиях или в качестве временных объектов, когда строительство стационарных насосных станций экономически не оправдано. Как правило, передвижные насосные станции или установки дешевле стационарных в производстве, но значительно дороже в эксплуатации. Они имеют и меньший срок службы.

В качестве привода насосов в них чаще всего устанавливают двигатели внутреннего сгорания. Типовые схемы узлов передвижных насосных станций и установок с конструктивным изображением отдельных элементов узла даны на рисунке 1.14.

Передвижные плавучие насосные станции, показанные на рисунке 1.14, *а, б*, применяют при неустойчивых берегах источников и колебаниях уровней воды в них более 5 м. Воду подают к берегу через подвижные напорные трубопроводы с шарнирными соединениями. Подачи освоенных промышленностью плавучих насосных станций достигают 20 $м^3/с$. Однако большинство плавучих насосных станций имеют подачи до 1 $м^3/с$. По окончании поливного сезона их можно эвакуировать в места зимнего хранения.

Передвижные наземные насосные станции и установки (рис. 1.14, *в, г*) используют для орошения небольших участков (до 500 га) или для водоотливов из котлованов во время строительства. Насосно-силовое оборудование смонтировано на колесной платформе или на салазках. Это позволяет легко транспортировать их к месту установки.

Передвижную фуникулерную насосную установку (рис. 1.14, *д*) применяют при больших колебаниях уровней воды в источнике. Все оборудование размещают на платформе, передвигающейся по рельсам, уложенным на откосе.

Глава 2

ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА РЕКАХ И ВОДОХРАНИЛИЩАХ

●

2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ, УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

Водозаборным является сооружение, через которое вода поступает из водоисточника в насосную станцию. Это сооружение должно обеспечивать надежный забор воды требуемого качества из источника с графиком водоподачи насосной станции, не допускать попадания в станцию плавающих мусора и водорослей, наносов, льда, шуги, рыбы. Конструкция и оборудование сооружения должны обеспечивать не только его надежную и удобную эксплуатацию, но и возможность проведения осмотров, ремонтов. Также водозаборное сооружение не должно препятствовать рыборазведению, судоходству, лесосплаву. Влияние сооружения на гидравлический режим водоисточника должно быть минимальным.

В зависимости от назначения насосной станции различают следующие водозаборные сооружения:

для оросительной насосной станции;

для осушительной насосной станции; особенность этого типа сооружений — наличие в них самотечного сброса, позволяющего в периоды более высоких уровней воды в осушительной сети, чем в водоприемнике (реке, водохранилище), осуществлять самотечный сброс воды, минуя насосы;

для хозяйственно-питьевого или промышленного водоснабжения; отличительная черта этих сооружений — наличие в них мелкоячеистых сеток для более качественной очистки воды от мелкого мусора.

В зависимости от вида соединения со зданием насосной станции различают водозаборные сооружения, совмещенные со зданием станции, и раздельного типа, то есть когда они расположены отдельно от здания станции и соединены с ним водоподводящим сооружением.

По расположению водоисточника водозаборные сооружения различают на русловые, располагаемые в русле реки или в водохранилище, и береговые, располагаемые на берегу или врезанные в берег. Это в большой степени зависит от формы русла, которое в плане обычно имеет криволинейную, извилистую форму. Извилины образуются под влиянием размывающего действия потока. При

размыве одного берега и дна частицы грунта переносятся водным потоком и осаждаются у противоположного берега и у перекатов. У размываемого берега образуется углубленный участок реки — плёс. В равнинной реке плёсы обычно чередуются с перекатами. Плёсы находятся у вогнутых берегов, а у выпуклых берегов — отмели. Интенсивность размыва грунта зависит от свойств грунта, скорости течения. В паводки берега размываются наиболее интенсивно, а продукты размыва отлагаются на перекатах. При спадах воды перекаты размываются и продукты размыва отлагаются у выпуклых берегов, образуя отмели. В поперечном сечении русла реки могут быть одноярусные и двухъярусные, при этом второй ярус — пойма заливается водой лишь во время паводков и весенних половодий. Берега рек могут быть пологими, крутыми, обрывистыми (рис. 2.1). Тип водозаборных сооружений выбирают с учетом формы русла и крутизны берега.

Чтобы обеспечить бесперебойную работу при большом количестве наносов и сильном шугообразовании, береговые сооружения на реках могут быть выполнены в специальных ковшах ([9], с. 286).

По отношению к уровню воды в источнике водозаборные сооружения бывают затопленные, в которых верх сооружения всегда находится ниже уровня воды в источнике, затопляемые только во время высоких (при паводках) уровнях воды и незатопляемые.

Схему и место расположения отдельных элементов и оборудования водозаборных сооружений выбирают, сравнивая технико-экономические показатели ряда вариантов. При этом учитывают природные условия (гидрология, геология, топография, климат), использование источника в данное время и перспективы его дальнейшего использования, опыт эксплуатации имеющихся в данном районе подобных сооружений. Водозаборные сооружения крупных насосных станций, расположенных на реках и водохранилищах, исследуют на моделях.

Состав и конструкции сооружений, входящих в гидроузел по забору воды из реки, зависят главным образом от гидрологического режима реки, качества воды в ней, инженерно-геологических данных, характеризующих свойства грунтов, слагающих берега и дно реки, а также от забираемых расходов.

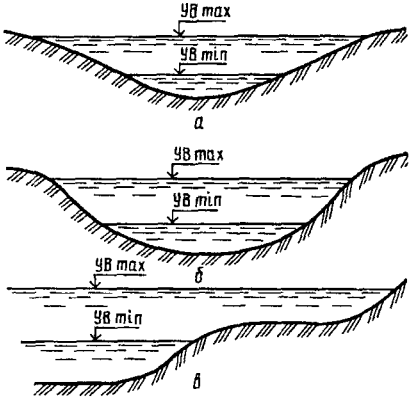


Рис. 2.1. Формы поперечных сечений русл рек:

а — одноярусное с пологими берегами; *б* — одноярусное с крутыми берегами; *в* — двухъярусное с поймой

Из гидрологических условий водоисточника наиболее важны обеспеченность расходов и уровней воды, состав и количество наносов, внутригодовое распределение стока взвешенных наносов. *Для проектирования* водозаборных сооружений нужно знать:

минимальные уровни воды летом и зимой, чтобы правильно расположить водоприемные отверстия по вертикали;

максимальный паводковый уровень, а также максимальные уровни воды в периоды ледовых заторов, чтобы обоснованно назначать отметку верха водозаборного сооружения, имеющего как подводную, так и надводную части;

максимальный и минимальный уровни воды в период ледохода для учета воздействия льда на водозаборные сооружения.

Минимальный уровень воды определяют с учетом сгона воды ветром, а максимальный — с учетом нагона воды. Согласно нормам проектирования расчетную обеспеченность уровней воды определяют по таблице 2.1.

2.1. Расчетная обеспеченность уровней воды в открытых источниках с водозаборными сооружениями различной категории

Категория водозаборного сооружения по надежности подачи воды	Обеспеченность уровня, %	
	максимального	минимального
I	1	97
II	3	95
III	5	90

На работу водозаборных сооружений большое влияние могут оказать гидробиологические процессы, происходящие в водоисточнике.

Обрастание решеток, сеток, затворов, внутренних поверхностей водоводов моллюском и другими организмами снижает пропускную способность этих элементов. Поэтому следует предусматривать меры по борьбе с ними — хлорирование, промывку сбросной горячей водой, покрытие специальными красками.

Инженерно-геологические данные — это сведения о структуре, прочности и устойчивости грунтов, сопротивляемости дна и берегов реки размыву, возможности появления оползней, сейсмических явлениях и др.

Надежность работы водозаборного сооружения в большой степени зависит от устойчивости русла в створе водозаборного сооружения, поэтому оценке устойчивости русла необходимо уделять особое внимание при выборе места размещения водозаборного сооружения. В нерегулируемых реках крупность материала, из которого сложено русло, напрямую зависит от уклона, поэтому речные потоки делят на пять категорий: приустьевые, равнинные, предгорные, горные, высокогорные. В зависимости от соотноше-

ния крупности русловых отложений и уклона русла могут быть устойчивые и неустойчивые, что оценивают параметром устойчивости [9].

При выборе места расположения водозаборного сооружения на реке надо учитывать следующее:

располагать водозаборное сооружение как можно ближе к орошаемой территории, в пределах устойчивого участка русла криволинейного очертания, на вогнутом берегу, несколько ниже вершины кривой, в зоне наибольших глубин реки. Для водозаборных сооружений наиболее благоприятны участки, где в течение года наблюдается небольшой размыв без существенных деформаций русла, или в крайнем случае устойчивые участки, где в течение года наблюдается то заиление, то размыв;

не устраивать водозаборное сооружение на участках реки ниже притоков, несущих большое количество наносов, в местах нерестилищ и скопления промысловой рыбы, а также в местах нагона плавника и водорослей.

Водозаборные сооружения на реках должны быть запроектированы так, чтобы их расположение и формы обеспечивали плавное обтекание их потоком, не вызывали большего стеснения русла. Ориентировочно стеснение русла не должно превышать 10...15 %. Водоотбор из реки назначают с учетом минимальных расходов воды в реке. Считается, что при относительном водоотборе, то есть при отношении расчетного расхода водозабора к минимальному расходу воды в реке $Q_в/Q_{min} < 0,25$, можно забирать воду из русла реки без каких-либо дополнительных мероприятий. При $0,25 \le Q_в/Q_{min} \le 0,75$ надежный водозабор возможен только из потоков с особо благоприятными формами и состоянием русла. В этих случаях, как правило, требуются руслорегулирующие работы, улучшающие условия забора воды, а также устройство водоподъемных плотин, обеспечивающих достаточные глубины в месте водозабора.

При отсутствии достаточных глубин в реке и наличии большого количества наносов для насосных станций средней и большой подачи рассматривают возможность применения подводящих каналов. При бесплотинном водозаборе на вогнутом берегу реки с боковым отводом канал располагают под острым углом к течению.

В практике мелиоративного строительства широкое применение находят и нестационарные водозаборы — фуникулерные, передвижные и плавучие, которые обычно изготовляют в заводских условиях, а на месте строительства выполняют лишь небольшой объем строительно-монтажных работ. Поэтому их применяют в тех случаях, когда нужно возвести насосную станцию за короткий срок, недостаточный для строительства стационарных сооружений. В основном же их применяют в сложных условиях строительства, когда на возведение стационарных сооружений требуются большие капитальные затраты. Плавучие водозаборы устраивают в

условиях сильно деформирующихся русл и при амплитудах колебаний уровней воды в источнике более 5 м. Подача плавучих насосных станций обычно не превышает 20 м^3/с.

2.2. БЕРЕГОВЫЕ ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА РЕКАХ

Водозаборные сооружения берегового типа состоят из водоприемника и примыкающего к нему участка русла реки с прорезью в берегу, или ковша. Эти сооружения применяют во всех случаях при наличии устойчивого, неразмываемого русла; достаточно крутых берегов; глубин у берега, необходимых для размещения водоприемных отверстий сооружения; незатопляемой поймы; надежных грунтов основания. Для насосных станций малой и средней подачи, оборудованных горизонтальными насосами, обладающими положительной высотой всасывания, и амплитудах колебаний уровней воды в реке, не превышающих 8...10 м, обычно устраивают водоприемник — береговой колодец раздельно от здания станции (рис. 2.2). При использовании вертикальных насосов (осевых и центробежных) и горизонтальных с отрицательной высотой всасывания, больших колебаниях уровней воды в реке целесообразно совмещение водоприемника со зданием станции — совмещенная компоновка (рис. 2.3). В последнем случае уменьшается длина всасывающих труб, повышается надежность работы сооружения. Водоприемник размещают по отношению к руслу так, чтобы с одной стороны прорезь в берегу реки была наименьшего размера, а с другой стороны стеснение сооружением живого сечения русла реки не превышало 10...15 % при любых уровнях воды.

Вода из реки в береговой колодец поступает через водоприемные отверстия, устраиваемые в передней стенке колодца, которую в плане ориентируют параллельно берегу. Устраивают обычно несколько рядов (ярусов) отверстий по высоте, чтобы забирать наиболее чистую воду из различных слоев потока. Так, в паводок лучше открывать верхние отверстия. Одноярусное расположение водоприемных отверстий возможно при заборе воды из относительно чистых

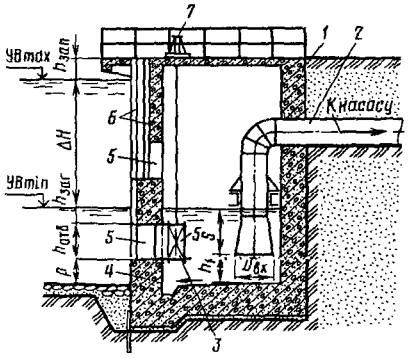


Рис. 2.2. Водозаборное сооружение берегового раздельного типа:
1 — береговой колодец; *2* — всасывающая труба насоса; *3* — ремонтный дроссельный затвор; *4* — пороги; *5* — водоприемные отверстия; *6* — пазы для решеток и ремонтных затворов; *7* — колонка управления дроссельным затвором

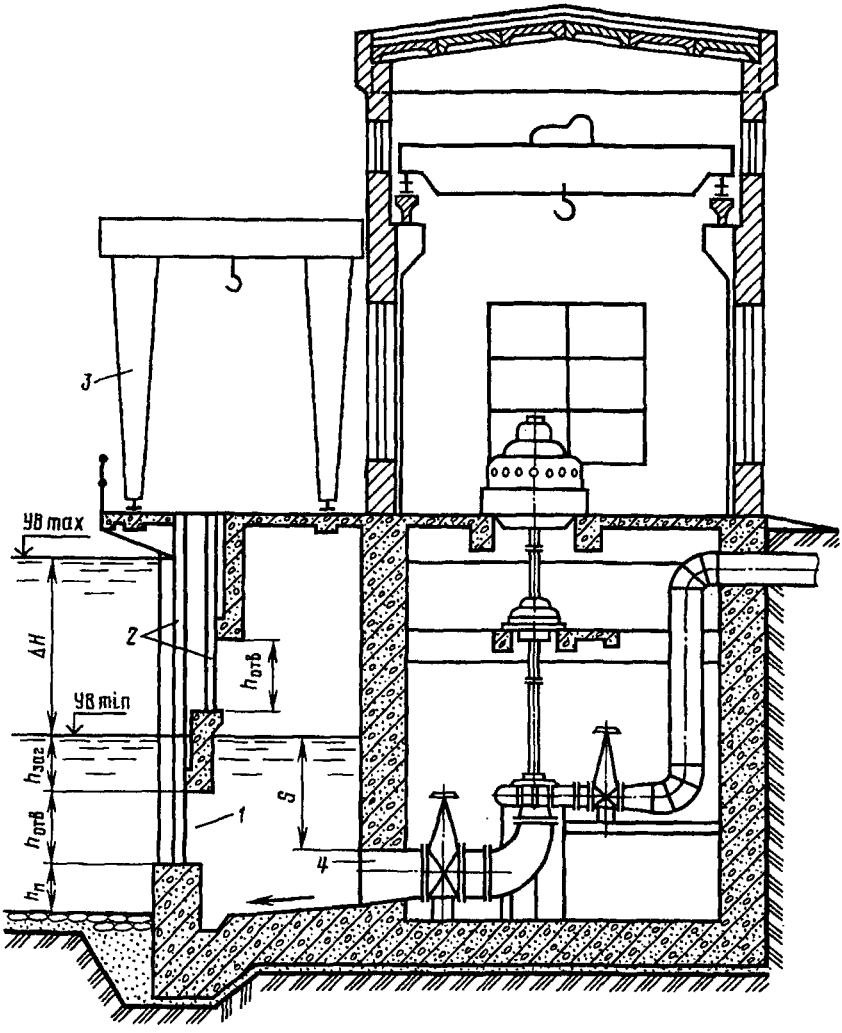


Рис. 2.3. Водозаборное сооружение берегового совмещенного типа:

1 — водоприемное отверстие; *2* — пазы для сороудерживающих решеток и ремонтных затворов; *3* — козловой кран; *4* — всасывающая труба насоса

рек с малой амплитудой колебаний уровней воды в них, когда конструктивно невозможно разместить по высоте два ряда отверстий. Водоприемные отверстия оборудуют: грубыми сороудерживающими решетками; ремонтными затворами — стандартными укороченными задвижками или дисковыми затворами, плоскими гидротехническими затворами; рыбозащитными устройствами.

При компоновке берегового колодца учитывают следующие рекомендации (см. рис. 2.2).

1. Береговой колодец выполняют из монолитного железобетона, прямоугольным или круглым в плане в зависимости от способа его возведения.

2. Для обеспечения бесперебойности водоподачи насосами, периодической очистки и ремонта без прекращения подачи воды береговой колодец разделяют перегородками на секции (водоприемные камеры), число которых принимают равным числу всасывающих труб насосов; при малой подаче (0,1...0,2 м^3/с) одного насоса в одной водоприемной камере размещают две и более всасывающих труб, расстояние между которыми принимают не менее (3...4)$D_{вх}$, чтобы исключить влияние насосов друг на друга ($D_{вх}$ — диаметр входного отверстия всасывающей трубы).

3. Для сбора выпадающих наносов в каждой секции (камере) у передней стенки устраивают приямок глубиной не менее 0,5 м, из которого наносы удаляют специальными насосами, обычно водоструйными.

4. В каждой секции берегового колодца насосной станции водоснабжения предусматривают установку мелкоячеистых сеток — плоских съемных или вращающихся.

5. Вертикальную всасывающую трубу размещают у задней стенки камеры, диаметр входного отверстия всасывающей трубы $D_{вх}$ определяют по допустимым скоростям $v_{вх}$ = 0,8...1 м/с, для малых (до 0,1 м^3/с) подач насоса $v_{вх}$ = 0,6...0,8 м/с.

6. Ширину водоприемной камеры (секции) принимают (2...2,5)$D_{вх}$, но не более 3$D_{вх}$ при расположении в ней одной вертикальной всасывающей трубы. Ширина водоприемной камеры при совмещенной компоновке берегового колодца и здания станции определяется расстоянием в осях между насосами (входными патрубками насосов). Для насосных станций блочного типа с вертикальными осевыми, диагональными или центробежными насосами ширина камеры должна быть не меньше ширины подводящей трубы насоса [9]. Ширину камеры не следует делать менее 1 м по конструктивным соображениям.

7. Длину водоприемной камеры определяют из условия создания в ней необходимого объема воды W = (15...20)Q, где Q — расчетная подача насоса, м^3/с.

Согласно этому условию длина камеры, м,

$$l_{кам} = W/(b_{кам}h_{кам}), \qquad (2.1)$$

где $b_{кам}$ и $h_{кам}$ — ширина камеры и глубина воды в ней при минимальном уровне, м.

Длина камеры должна быть достаточной для проведения осмотров, ремонтов.

8. Заглубление входного отверстия вертикальной всасывающей трубы под минимальный уровень воды в камере принимают $(1...1,5)D_{вх}$, но не менее 0,5 м; расстояние входного отверстия от дна камеры — $(0,8...1)D_{вх}$. Определение заглубления входного отверстия подводящей трубы (входное отверстие вертикально) осевого, диагонального, центробежного насосов см. гл. 3, раздел 3.3.

9. Площадь водоприемного отверстия секции (камеры), устраиваемого в передней стенке берегового колодца, м^2,

$$\omega = 1,25KQ_р/v_{отв}, \qquad (2.2)$$

где K — коэффициент, учитывающий стеснение отверстий стержнями решетки, $K = (a + c)/a$ (a — расстояние между стержнями в свету; c — толщина стержня); $Q_р$ — расчетный расход одной секции водоприемника, м^3/с; $v_{отв}$ — допустимая скорость в водоприемном отверстии, м/с, которую без учета требований рыбоохраны принимают 0,2...0,6 м/с.

10. Форма водоприемного отверстия может быть круглой, квадратной, прямоугольной, от этого зависит высота отверстия. Круглую форму целесообразно принимать, если в качестве ремонтных затворов предполагается использовать стандартные укороченные задвижки или дисковые поворотные затворы, которые устанавливают в водоприемной камере. Задвижками управляют при помощи специальных колонок, установленных на верху колодца (см. рис. 2.2). Ширину водоприемного отверстия согласовывают с шириной водоприемной камеры (секции) и размерами ремонтных затворов, устанавливаемых в камере.

11. При достаточно большой амплитуде ΔH колебаний уровней воды в реке устраивают два ряда водоприемных отверстий. Верхнее отверстие работает при высоких уровнях воды, когда в нижних слоях потока может быть большое количество крупных наносов. При малой амплитуде колебаний уровней воды делают лишь нижний ряд отверстий. Водоприемные отверстия оборудуют сороудерживающими решетками, рыбозащитными устройствами, ремонтными затворами. Сороудерживающие решетки устанавливают для механической очистки воды от крупного мусора.

12. Необходимая минимальная глубина реки в месте расположения водоприемных отверстий равна сумме высоты порога $h_п$, высоты отверстия $h_{отв}$, минимального заглубления верхней кромки отверстия под уровень воды $h_{заг}$. Для борьбы с донными наносами высоту порога принимают не менее 0,5 м, а заглубление — не менее 0,4 м, чтобы предупредить попадание сора с поверхности в отверстие. При наличии ледяного покрова глубину реки в створе во-

доприемных отверстий определяют как сумму высоты порога $h_п$, высоты отверстия $h_{отв}$, расстояния $h_{заг}$ от верха отверстия до нижней кромки льда (принимают не менее 0,2 м), высоты погруженной в воду части льда $h_л$, то есть $h_р = h_п + h_{отв} + h_{заг} + h_л$; $h_л$ можно принять около 0,9 толщины льда. При тяжелых условиях забора воды и подачах насосных станций до 25 м^3/с береговые водозаборы можно сооружать в ковшах [9].

13. Верх берегового колодца должен возвышаться над максимальным уровнем воды с учетом высоты волны, навала льда, но не менее чем на 0,6...0,8`` м. Для предупреждения подмыва колодца глубину заложения подошвы сооружения назначают на 2 м ниже возможного уровня размыва, при слабых грунтах основания по периметру подошвы фундамента устраивают шпунтовое ограждение. Дно реки у водозабора укрепляют каменной наброской, железобетонными плитами.

2.3. РУСЛОВЫЕ ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА РЕКАХ

Водозаборные сооружения руслового типа устраивают при пологих берегах и дне реки, когда требуемые для забора воды глубины находятся на большом расстоянии от берега, или при наличии затапливаемой поймы. Компоновка этих сооружений может быть раздельной или совмещенной. Русловое раздельное водозаборное сооружение состоит из водоприемного оголовка, расположенного непосредственно в русле; водопроводящего сооружения — самотечного или сифонного, соединяющего оголовок с береговым колодцем, из которого воду забирают насосы (см. рис. 5.9).

При русловой совмещенной компоновке водоприемный оголовок совмещен со зданием насосной станции, расположенным в русле реки (см. [9], с. 267). В этом случае отсутствуют береговой колодец и самотечные водоводы. Для таких сооружений характерны высокая стоимость строительства и сложность эксплуатации, поэтому такую компоновку применяют редко.

Русловые водоприемные оголовки могут быть затопленными, затопляемыми периодически и незатопляемыми.

Затопленные оголовки располагают ниже минимального уровня воды и нижней кромки ледяного покрова при ледоставе. Эти оголовки, как правило, бывают двух типов: облегченные — стальные, выполненные в виде раструба на входе в самотечный водовод, которые применяют на реках с легкими природными условиями при отсутствии опасности повреждения льдом, топляками, якорями судов; массивные — защищенные, выполненные из железобетона (рис. 2.4).

Для нормальной работы водозаборных сооружений затопленным оголовкам желательно придавать обтекаемую форму.

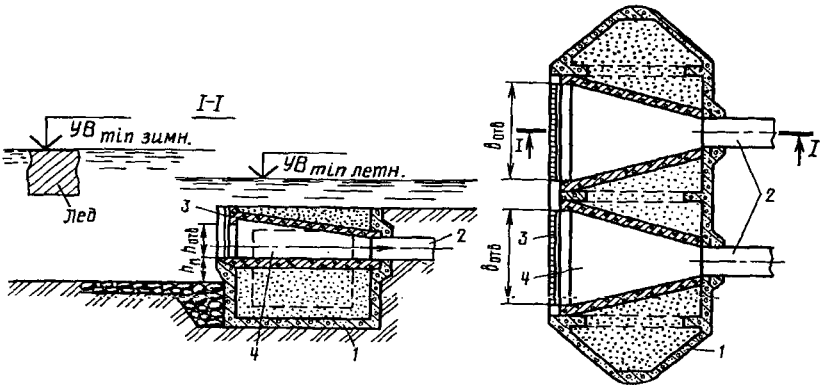


Рис. 2.4. Схема защищенного водоприемного оголовка:

1 — железобетонный кожух, заполняемый гравием или бетоном; *2* — самотечные водоводы; *3* — сороудерживающие решетки; *4* — раструб; $b_{отв}$ и $h_{отв}$ — ширина и высота водоприемного отверстия; $h_п$ — высота порога

Водоприемные отверстия оголовков располагают так, чтобы в них не завлекались донные наносы, шуга, сор, рыба.

Отверстия у вытянутых в плане оголовков обычно устраивают на боковых поверхностях, их оборудуют сороудерживающими решетками. Стержни решеток должны быть изготовлены из полосовой стали и установлены по нормали, а еще лучше под углом 135° к направлению течения воды в реке, что облегчает смыв сора при прекращении забора воды и ускоряет процесс их очистки обратным током воды. Зазор в свету между стержнями 30...100 мм. Для предотвращения попадания донных наносов во входные отверстия затопленных оголовков устраивают порог высотой не менее 0,5 м. Отверстия рекомендуют делать на боковых поверхностях вытянутых в плане оголовков, это наиболее распространенный способ размещения водоприемных отверстий. При наличии в водоисточнике большого количества донных наносов водоприемные отверстия устраивают на верхней грани оголовка.

Площадь водоприемных отверстий определяют при одновременной работе всех секций водоприемника и насосов, кроме резервных, по формуле (2.2). Значение скорости входа воды в отверстие для нормальных условий работы принимают в зависимости от особенностей режима водотока, в частности от его мутности, шугоносности, требований рыбозащиты, доступности водоприемных отверстий, а также от забираемого расхода:

без учета требований рыбозащиты для средних и тяжелых условий забора воды рекомендуемые скорости входа для русловых за-

топленных оголовков 0,1...0,3 м/с, меньшие скорости принимают для водотоков с очень тяжелыми условиями;

при заборе воды из источников, имеющих рыбохозяйственное значение, допустимую скорость входа принимают по требованиям рыбоохраны в зависимости от типа применяемых рыбозаградительных устройств. Согласно этим требованиям скорость течения в отверстиях рыбозащитных сеток должна быть не более 0,25 м/с при скоростях течения реки больше 0,4 м/с и 0,1 м/с при меньших скоростях течения. На реках со скоростями течения более 0,4 м/с скорости входа могут быть увеличены до 0,4 м/с лишь для водоприемных отверстий, размещаемых в береговых и плавучих сооружениях;

при заборе воды затопленными оголовками из рек со скоростями течения, в два — четыре раза и более превышающими скорость входа в отверстие, специальные рыбозаградительные устройства на водоприемных отверстиях можно не предусматривать. Обычно на реках в периоды ската рыбной молоди меженные скорости течения превышают 0,4 м/с, поэтому при заборе воды со скоростями входа около 0,1 м/с водоприемные отверстия затопленных оголовков могут быть оборудованы только сороудерживающими решетками.

Необходимая минимальная глубина реки в месте расположения полностью затопленного оголовка с водоприемными отверстиями при минимальном летнем уровне воды равна сумме высоты порога $h_{п}$, высоты отверстия $h_{отв}$, высоты s от верха отверстия до верха оголовка, которая зависит от конструкции оголовка и составляет 0,05...0,3 м (при ледоставе высоту от верха оголовка до нижней кромки льда принимают не менее 0,2 м), высоты слоя воды $h_{зат}$ над верхом оголовка. Последнюю принимают не менее 0,3 м.

Конструкции затопленных оголовков разнообразны и применяют их главным образом для систем водоснабжения [17].

Затопляемые оголовки (рис. 2.5) по устройству аналогичны затопленным. От последних отличаются тем, что при минимальных уровнях воды верх затопляемых оголовков возвышается над водой. Это позволяет осматривать оголовки, очищать сороудерживающие решетки, заменять рыбозаградительные устройства. При этом надежность работы сооружений существенно не повышается, они труднее вписываются в русло реки, затрудняют ее использование для судоходства и лесосплава, изменяют гидравлический режим реки, поэтому их применяют довольно редко.

Незатопляемые оголовки представляют собой железобетонное сооружение в форме пустотелого мостового быка, возвышающееся над максимальным уровнем воды в реке (см. [9], с. 292). Оголовки этого типа по сравнению с затопленными и затопляемыми обеспечивают наибольшую надежность забора воды. Кроме того, они наиболее удобны в эксплуатации, но представляют собой массивные дорогостоящие сооружения. Этот тип соору-

жений может быть рекомендован только при средней и большой подаче насосной станции в трудных природных условиях, когда устройство берегового сооружения или невозможно, или экономически нецелесообразно. Внешние очертания сооружения и его расположение в русле должны обеспечивать благоприятные условия для обтекания потоком и защиты от ледохода. Водоприемные отверстия располагают на боковых поверхностях оголовков в два, а иногда и в три яруса. Это позволяет забирать воду наилучшего качества, что особенно важно для водоснабжения.

Более подробные сведения о незатопляемых оголовках приведены в [9], [13].

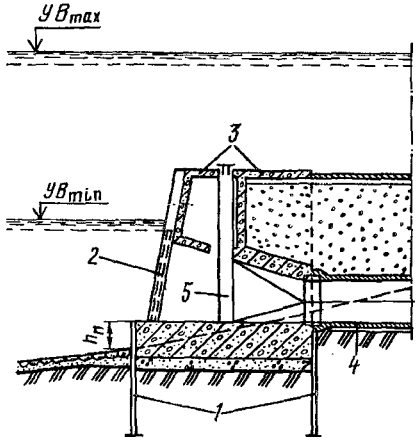


Рис. 2.5. Схема периодически затопляемого водоприемного оголовка:

1 — шпунтовое ограждение; *2, 5* — пазы для решеток и ремонтных затворов; *3* — оголовок; *4* — самотечный водовод

Водоподводящие сооружения служат для транспорта воды от водоприемных оголовков к береговым колодцам. Они могут быть самотечными (напорными и безнапорными) и сифонными.

Самотечные напорные водоводы можно применять при любых расходах и любых колебаниях уровней воды в источнике. Форма поперечного сечения водоводов, как правило, бывает круглой и реже при небольших напорах прямоугольной. Для насосных станций средней и большой подачи эти водоводы обычно выполняют из монолитного или сборного железобетона. Для станций малой подачи иногда применяют водоводы из стальных и асбестоцементных труб. Для станций большой и иногда средней подачи устраивают многоочковые подводящие водоводы, число отверстий которых может быть равно числу насосов или меньше его. Самотечные напорные водоводы можно укладывать горизонтально, с прямым или обратным уклоном. При этом они должны пропускать необходимый расход воды при любых режимах работы насосной станции и любых уровнях воды в реке. Выходное отверстие самотечного водовода (расположено в береговом колодце) должно быть заглублено под минимальный уровень воды в колодце на (4...5) $v^2_{вых} / 2g$. При этом уровни воды в колодце всегда ниже соответствующих уровней воды в реке на значение потерь напора в водоприемном оголовке и самотечных водоводах.

Самотечные безнапорные водоводы в мелиоративной практике

встречаются крайне редко. Их допускается применять при расходах более 5 м^3/с и небольших колебаниях уровней воды в источнике ($\Delta H < 0{,}5$ м). Форма сечения водовода может быть круглой, прямоугольной или овальной. Рекомендуемые материалы — сборный и монолитный железобетон. Самотечные безнапорные водоводы укладывают с постоянным уклоном в сторону насосной станции. При любых режимах эксплуатации расстояние между возможным уровнем воды и верхней точкой свода водовода должно быть не менее 0,2 м.

Сифонные подводящие водоводы применяют в водозаборных сооружениях II и III категории надежности подачи в том случае, если установка всех других водоводов неэкономична. Сифонные водоводы проектируют стальными, диаметром до 1,4 м. Сифонные водоводы укладывают с непрерывным подъемом от водоисточника к береговому колодцу (уклон не менее 0,001).

Выходное отверстие сифона должно быть заглублено под уровень воды в береговом колодце. Вакуум в сифоне не должен превышать 50...60 кПа. Заряжают сифон при помощи вакуумной системы, подключенной к наиболее высокой точке сифонного водовода. В процессе работы сифонного водовода выделяющийся из воды воздух удаляют.

Диаметры любых водоводов рассчитывают по допустимым скоростям для условий нормального режима работы сооружения. Для самотечных водоводов допустимые скорости v = 1...1,5 м/с, а для сифонных водоводов их можно увеличивать до 2 м/с.

Скорости в самотечных водоводах проверяют:

на незаиляемость транспортируемыми по водоводам наносами по формуле А. С. Образовского

$$\rho \le 0{,}11[1 - wC/(\sqrt{g}\,v)]^{4,3}[v^3/(gwD)], \qquad (2.3)$$

где ρ — мутность речной воды, кг/м^3; w — средневзвешенная гидравлическая крупность наносов, м/с; C — коэффициент Шези, м^{0,5}/с; g — ускорение свободного падения, м/с^2; v — расчетная скорость течения воды в водоводе, м/с; D — диаметр водовода, м;

на подвижность захватываемых в водовод влекомых наносов

$$v \ge A\sqrt[4]{Dd}, \qquad (2.4)$$

где A — параметр, принимаемый равным 10; d — диаметр влекомых наносов, м.

При определении отметки оси насоса учитывают потери напора в самотечных водоводах. Если возможно биологическое обрастание водоводов, то их диаметры и потери напора в них рассчитывают при коэффициенте шероховатости 0,02...0,04.

Диаметр водовода, определенный из условия его незаиляемости, должен быть проверен на работу при неустановившемся режиме

движения воды, возникающем при запуске насосов (с нуля), с учетом инерции воды, находящейся в береговом колодце и самотечных или сифонных водоводах, а также во всасывающих трубопроводах. Неустановившееся движение воды со скоростью v в цилиндрических трубах характеризуется уравнением

$$H=\frac{v^2}{2g}\left(\lambda\frac{l}{D}+\Sigma\zeta\right)+\frac{l}{g}\frac{dv}{dt}, \qquad (2.5)$$

где H — перепад уровней воды в реке и водоприемной камере, м; λ — коэффициент гидравлического трения труб; l и D — длина и диаметр водовода, м; $\Sigma\zeta$ — сумма коэффициентов местных гидравлических сопротивлений.

Первый член правой части уравнения — перепад уровней при равномерном течении. Последний член — инерционный напор h_i, необходимый для преодоления инерции воды в самотечном или сифонном водоводе. Например, для системы русловой оголовок — самотечный водовод (l = 150 м) — береговой колодец потери напора, а следовательно, и перепад уровней воды равен 0,5 м при равномерном движении воды со скоростью v = 1,2 м/с. Инерционный напор при продолжительности открытия задвижки у насоса 80 с и равномерном ускорении движения воды до момента полного открытия задвижки

$$h_i = (l/g)(dv/dt) = (150/9{,}81)(1{,}2/80) = 0{,}23 \text{ м}.$$

При увеличении длины самотечного или сифонного водовода инерционный напор повышается, становясь соизмеримым с перепадом уровней воды при равномерном движении воды. При этом может значительно понизиться уровень воды в береговом колодце и прорваться воздух в насос, что нарушит работу насоса. Это указывает на необходимость учета неустановившегося режима работы системы.

Опыт эксплуатации водозаборных сооружений с сифонными и самотечными водоводами, затопленными оголовками и сороудерживающими решетками на них показывает, что их необходимо промывать от наносов.

Промывка самотечных водоводов обратным или прямым током воды эффективна для относительно небольших диаметров. Самотечные водоводы большого диаметра иногда невозможно промыть указанными выше способами. На таких водоводах для наблюдений за их заиляемостью и очистки через 75...100 м устраивают смотровые колодцы. Осадок из труб удаляют, протаскивая через трубы специальные устройства — совки и скребковые рыхлители.

Самотечные водоводы укладывают в траншеи с водоотливом или под воду. В зависимости от способа укладки самотечные водоводы устраивают: при укладке в траншею с водоотливом — из железобетонных, чугунных или асбестоцементных труб; при укладке под воду — из стальных труб. Последние снаружи покрывают антикоррозионной изоляцией и защищают деревянными рейками, а

внутри в зависимости от химических свойств воды — цементным или другим покрытием, не снижающим пропускную способность. Для этих целей рекомендуют использовать некорродирующие полимерные материалы.

Самотечные водоводы укладывают в плане и в вертикальной плоскости без резких поворотов, вызывающих отложение наносов и затрудняющих их промывку. Верх трубы должен быть на 0,5...1 м ниже возможной отметки размыва дна. Водоводы укладывают на надежное основание, исключающее возможность просадки.

Береговой колодец руслового раздельного водозаборного сооружения (см. [9]) по устройству аналогичен колодцу берегового водозаборного сооружения (см. раздел 2.2), однако имеет более сложное оборудование. Он может быть выполнен раздельно от здания, станции или совмещен с ним. Условия совмещения или разделения этих сооружений аналогичны береговым водозаборным сооружениям. По условиям надежности забора воды такой береговой колодец делят на приемное отделение, число секций которого должно быть равно числу самотечных водоводов; в другой части колодца располагают водозаборные камеры, из которых воду забирают всасывающими или подводящими трубами насосов. Самотечные или сифонные водоводы в колодце оснащают запорной арматурой. Колодец также оборудуют устройствами для промывки самотечных водоводов и сороудерживающих решеток затопленных оголовков, зарядки сифонов. Если воду подают в системы водоснабжения, то в береговом колодце устанавливают также мелкие сетки — плоские или вращающиеся. Объем воды в каждой секции берегового колодца при минимальном уровне воды должен быть определен из условия запуска насоса и совместной работы самотечных водоводов. Этот объем должен быть не менее 30...35 секундных подач одного насоса.

Строительство и эксплуатация русловых раздельных водозаборных сооружений гораздо сложнее, чем береговых, а надежность забора воды меньше, так как русловой оголовок и решетки, расположенные в нем, труднодоступны для осмотра и очистки, самотечные водоводы могут заиляться. Поэтому сооружения этого типа применяют обычно для насосных станций малой и средней подачи.

2.4. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ

Водозаборные сооружения насосных станций на водохранилищах имеют много общего с речными. Вместе с тем при проектировании водозаборных сооружений на водохранилищах следует учитывать изменения, вносимые водохранилищем, особенно крупным, в естественный гидрологический режим реки: воздействие ветровых волн, явления сгона и нагона воды, вдольбереговые тече-

ния, переформирование берегов, характер отложения наносов в чаше водохранилища, развитие водной растительности и др. Важная задача при проектировании водозаборных сооружений — выбор места забора воды. Следует избегать расположения водозаборных сооружений: в прибрежной зоне разрушения волны; на берегах, где возможно нагромождение льда; в зоне вдольбереговых течений, несущих наносы, водоросли, сор.

Условия применения различных водозаборных сооружений зависят от расположения их на водохранилище: в верховьях, в средней или в приплотинной зоне.

В верховьях водохранилищ и его суженных участках гидрологические условия ближе к условиям больших и глубоких рек. Здесь могут быть применены речные береговые или русловые водозаборные сооружения (см. разделы 2.2, 2.3).

В средней и приплотинной зонах водохранилищ могут быть применены следующие типы водозаборных сооружений: русловой раздельный, состоящий из затопленного оголовка, самотечных или сифонных водоводов, берегового колодца, совмещенного со зданием станции или соединенного со зданием всасывающими трубопроводами; русловой совмещенный — водоприемник и здание насосной станции объединены в одно сооружение, иногда называемый островным типом. В водохранилищах, где течения практически отсутствуют, затопленным оголовкам можно придавать любые формы, удобные для размещения сороудерживающих решеток и самотечных водоводов, — вытянутые в плане, круглые (см. [13], рис. 2.1 и рис. 2.3). Водоприемные отверстия оголовка могут быть расположены в любом месте: либо на боковых поверхностях, желательно по кругу; либо как на верхней грани, так и на боковых; либо на верхней грани (при наличии достаточных глубин и отсутствии опасности механических повреждений).

При расположении орошаемого массива рядом с плотиной водозаборные сооружения рекомендуют размещать в зоне действия промывных отверстий. Если габариты плотины и насосной станции соизмеримы, то здание станции можно совместить с напорным фронтом плотины. В противном случае рассматривают вариант размещения здания насосной станции в нижнем бьефе. При этом варианте всасывающие трубопроводы насосов подключают к донному водовыпуску плотины или специальному водоводу, забирающему воду из верхнего бьефа плотины (см. [9], с. 149).

Русловой раздельный тип создает наиболее благоприятные условия для забора воды высокого качества, что очень важно для водоснабжения. Кроме того, в водоприемные отверстия не попадает рыба, поскольку оголовки расположены на большой глубине. Однако длинные самотечные водоводы нередко вызывают осложнения в период эксплуатации. При значительном удалении оголовка от побережья предпочтение отдают водозаборному сооружению островного типа, хотя строительство и эксплуатация его сложнее.

К береговым водозаборным сооружениям оросительных насосных станций воду часто подводят открытыми каналами, чтобы сократить длину напорных трубопроводов, расположить водозаборные сооружения и здания станций вне зоны переработки берегов. В этом случае конструкция водозаборного сооружения аналогична конструкциям водозаборов на тупиковых каналах (см. разделы 3.2, 3.3) и состоит из расширяющейся аванкамеры, сопрягающей подводящий канал с водоприемником, и незатопляемого водоприемника обычно камерного типа, совмещенного со зданием станции или раздельного с ним. На насосной станции должны быть предусмотрены рыбозащитные мероприятия.

2.5. РЫБОЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И УСТРОЙСТВА

Рыбозащитные сооружения (РЗС) и устройства (РЗУ) предусматривают с целью предупреждения попадания, травмирования и гибели молоди рыб в сооружениях насосных станций при заборе воды из источников, имеющих рыбохозяйственное значение. РЗУ и РЗС проектируют на основании ихтиологических изысканий, в которых должны быть определены: вид и размер защищаемых рыб, период их ската и миграции, распределение рыб по глубине, места нерестилищ и зимовки, сносящая скорость течения для молоди защищаемых рыб. Рыбозащитное сооружение может входить в состав водозаборного сооружения в виде блока РЗУ или представлять отдельное сооружение РЗС, устраиваемое на водоподводящем тракте насосной станции. Эффективность рыбозащитных сооружений должна быть не менее 70 % для промысловых рыб размером более 12 мм. Водозаборы с РЗУ размещают в зонах водоема с пониженной концентрацией рыб, не допускается их расположение в районах нерестилищ, зимовальных ям, на участках интенсивной миграции и концентрации личинок и молоди рыб. Основная причина попадания рыбы в водозаборные сооружения — пассивный снос и затягивание во входные отверстия сооружения.

Рыбозащитные сооружения и устройства, наиболее широко применяемые на насосных станциях, по способу защиты рыб могут быть заградительными и отгораживающими.

З а г р а д и т е л ь н ы е конструкции и устройства задерживают рыбу перед водоприемными (входными) отверстиями насосной станции различными заградительными экранами, главным образом сетчатыми, с последующим отводом ее на безопасное расстояние. К ним относятся:

вертикальные сетчатые перфорированные или фильтрующие экраны косоустановленные или V- и W-образные в плане с секциями длиной до 25 м с промывным устройством и рыбоотводом (см. [9], с. 312; рис. 2.6) на любые расходы;

сетчатый конический (конусный) однополосный рыбозаградитель с промывным устройством и рыбоотводом на расходы от 0,5 м³/с (см. [9], с. 313; рис. 2.7);

сетчатый конический двухполосный рыбозаградитель, самопромывающийся, с рыбоотводом на расходы до 5 м³/с, принимают согласно СНиП 2.06.07—87;

сетчатый струереактивный барабан, устанавливаемый в транзитном потоке на расходы до 0,5 м³/с (рис. 2.8).

При отгораживающем способе рыбозащиты входные отверстия насосной станции располагают в необитаемых зонах водоема, вне участков концентрации и движения рыб. К рыбозаградителям этого типа можно отнести РЗУ зонтичного типа. На отгораживающем способе основан рыбозащитный эффект затопленных русловых оголовков в том случае, если они находятся на большой глубине или если скорости обтекания их речным потоком более чем в 3 раза превышают входные скорости в водоприемные отверстия. В случае необходимости применяют гидравлические отгораживающие устройства — запани, которые отделяют зону обитания рыб от места забора воды.

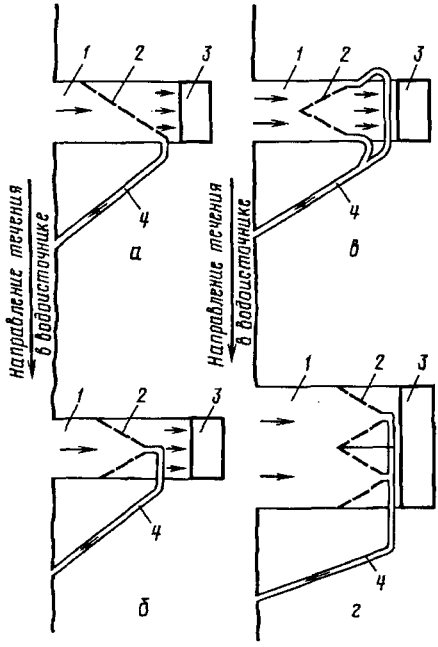


Рис. 2.6. Схемы установки вертикальных плоских экранов (сетчатых) рыбозаградителей на водозаборных сооружениях:

а — косоустановленный, длиной до 25 м; *б, в* — V-образный; *г* — W-образный; *1* — подводящий канал; *2* — вертикальный экран (сетчатый); *3* — насосная станция; *4* — рыбоотвод

К отгораживающим также могут быть отнесены устройства, создающие перед водозаборными сооружениями насосной станции воздушно-пузырьковые завесы, препятствующие попаданию рыбы во входные отверстия [7]. Воздушно-пузырьковые завесы можно комбинировать с запанями.

Широкое применение на насосных станциях находят плоские косоустановленные в потоке сетчатые РЗС, конусные РЗУ, струереактивные барабаны.

РЗУ типа сетчатый конус — это каркас, обтянутый сетчатым полотном (см. рис. 2.7). Конус устанавливают в водоприемной камере горизонтально, вода в него входит через большее основание.

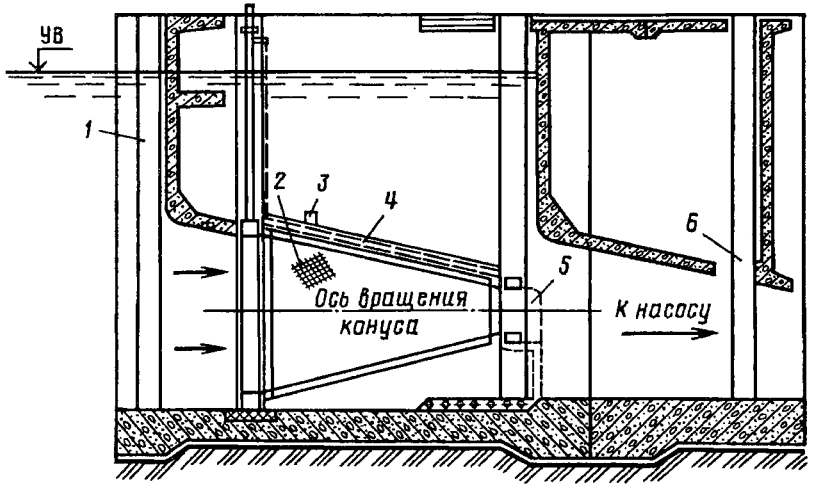


Рис. 2.7. Схема установки конического однополосного сетчатого рыбозаградителя (конусный):

1 — паз ремонтного затвора и сороудерживающей решетки; *2* — конус рыбозаградителя; *3* — подвод промывной воды; *4* — промывная труба; *5* — рыбоотвод; *6* — паз ремонтного затвора

Для обеспечения промывки сетки с наружной стороны конуса предусмотрено неподвижное промывное устройство — перфорированная труба, в которую воду подают под напором 17...20 м для промывки сетки вращающегося конуса. Рыба и мелкий мусор двигаются вдоль сетки к вершине конуса и из него в рыбоотвод. Вода, профильтровавшаяся через сетку конуса, поступает к входному отверстию подводящей трубы насоса. Расход воды на промывку составляет 2...3 % расхода водозабора. РЗУ типа сетчатый конус обычно устанавливают в водоприемных камерах водозаборов берегового типа на реках, водохранилищах.

Плоские сетки с промывным устройством и рыбоотводом могут служить и в качестве рыбозаградителей на насосных станциях, забирающих воду из водохранилищ, озер, рек. Сетки устанавливают вертикально, под углом 15...17° к оси подводящего канала. Обычно рыбозащитные сооружения этого типа являются отдельными сооружениями и размещают их на подводящих каналах насосных станций.

РЗС типа плоская сетка состоит: из эстакады — металлической или железобетонной несущей конструкции, установленной под углом к оси канала; сетчатого полотна; передвижного промывного устройства — вертикальной перфорированной трубы-флейты, которую располагают за сеткой, и передвигается она вдоль эстакады; рыбоотвода; грубых сороудерживающих решеток, устанавливае-

мых перед сетчатым полотном; подъемно-транспортного оборудования (см. [9], с. 312). Промывной расход воды в этом случае должен составлять 15...40 л/с на 1 м длины перфорированной трубы, напор — примерно 30 м, для подачи воды используют центробежные насосы, перемещающиеся вместе с перфорированной трубой. При косом подходе потока к полотну сетки мусор, смываемый промывным устройством, перемещается вместе с рыбой в

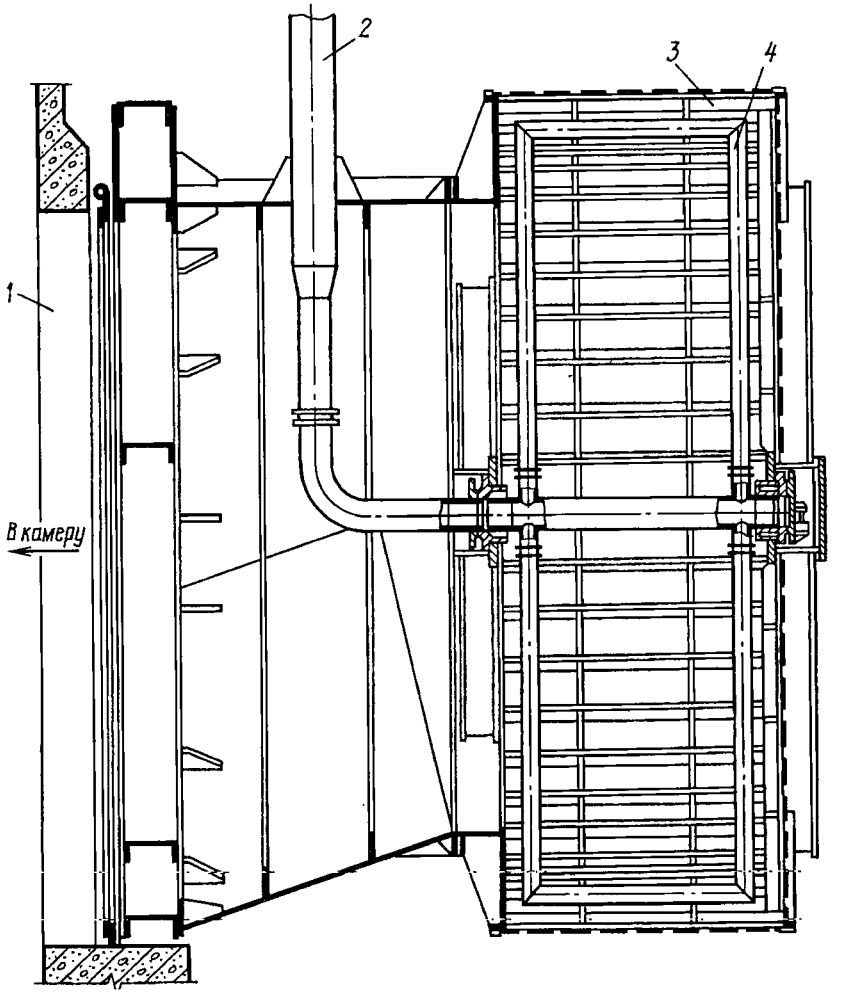


Рис. 2.8. Сетчатый струереактивный рыбозаградитель:

1 — водоприемное отверстие; *2* — труба для подвода воды к промывному устройству; *3* — сетчатый барабан; *4* — промывное устройство

концевую часть сетки и попадает в рыбоотвод, расход рыбоотвода обычно не превышает 10...20 % расхода водозабора. Длина одного сетчатого полотна не должна превышать 25 м (чтобы выполнить это условие при общей длине полотна, превышающей 25 м, следует его располагать V- или W-образно в плане).

Рыбозащитное устройство типа сетчатого струереактивного барабана (см. рис. 2.8) применяют на водоприемных отверстиях плавучих насосных станций и речных береговых водоприемников (колодцев), их устанавливают обычно на период ската рыбной молоди. РЗУ этого типа состоит из металлического каркаса, обычно цилиндрической или близкой к ней форме, обтянутого сеткой; промывного устройства — перфорированной трубы-флейты, находящейся внутри барабана и вращающейся за счет реакции струй воды, вытекающих из отверстий (принцип сегнерова колеса). Рыба и смываемый мусор с сетки отводятся течением водотока.

Для сетчатых рыбозаградителей используют штампованные или плетеные сетки из меди, латуни, нержавеющей стали, синтетических материалов с размером ячейки, подбираемым в зависимости от размеров защищаемых рыб:

Длина тела рыб, мм	12	15	20	30	40	50	60	70
Диаметр отверстия, мм	1,5	2	3	4	6	7	8	9

При квадратных отверстиях сетки указанные выше размеры соответствуют диагонали отверстия.

Общую площадь сетчатого полотна рассчитывают по известному расходу водозабора при соблюдении условий, чтобы средняя скорость в ячейке сетки не превышала сносящей скорости для заданного вида и размера защищаемых рыб. Значения сносящих скоростей для различных видов рыб приведены в СНиП 2.06.07—87 и составляют 0,15...0,35 м/с. Для предварительных расчетов значения сносящей скорости для молоди защищаемых рыб можно принять $v_р \approx (5...15)l_р$, см/с, где $l_р$ — длина тела рыбы, см.

Площадь сетчатого полотна (брутто), м^2,

$$\omega_{сет} = 1{,}2 Q_в K_с K_к / v_{расч}, \qquad (2.6)$$

где 1,2 — коэффициент, учитывающий засорение сетки; $Q_в$ — расход водозабора или отдельной секции в зависимости от типа и конструкции рыбозащитного устройства, м^3/с; $K_с$ — коэффициент стеснения отверстий сетки проволокой, $K_с = (a + d)^2/a^2$ (здесь a — ширина квадратной ячейки, d — диаметр проволоки); $K_к$ — коэффициент стеснения элементами каркаса, $K_к > 1$; $v_{расч}$ — расчетная скорость, принимают $v_{расч} \le v_р$, м/с.

В некоторых случаях вместо плоских сеток можно использовать фильтрующие экраны, представляющие собой кассеты, заполненные гравием, керамзитом или синтетическим гранулированным материалом. Размеры заполнителя кассет назначают из условия, чтобы скорость фильтрации не превышала 0,25...0,3 м/с.

Размеры подводящего канала при установке в нем вертикальных сетчатых или фильтрующих экранов назначают из условия обеспечения в нем скоростей течения на подходе к РЗС: $v_к \geq v_р$.

Рыбозаградитель зонтичного типа (рис. 2.9) представляет собой цилиндр-стакан (из металла, железобетона), устанавливаемый вверх дном на опорах над входным (водоприемным) отверстием затопленного оголовка облегченного типа (раструб оголовка ориентирован вверх). Размеры РЗУ зонтичного типа подбирают так, чтобы скорости воды как между стенками цилиндра и дном водоема, так и между стенками и входным отверстием оголовка не превышали 0,1 м/с. РЗУ этого типа применяют обычно на водоемах (озерах, водохранилищах) на расходы до 5 м^3/с.

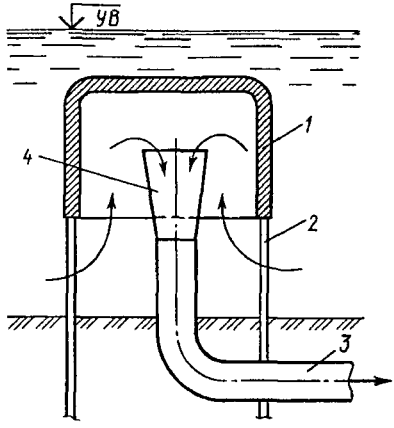


Рис. 2.9. Схема рыбозащитного устройства зонтичного типа:

1 — крышка-зонтик; *2* — опора; *3* — самотечный водовод; *4* — входной раструб водовода

2.6. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Пример 1. Определить размеры водозаборного сооружения на реке для оросительной насосной станции с максимальной подачей 0,8 м^3/с.

Исходные данные: четыре центробежных насоса марки Д800-57 с подачей $Q_н = 0{,}2$ м^3/с каждый; тип здания станции — наземный (отметка оси насоса 15,2 м). Насосная станция относится к III категории надежности по подаче воды. Исходные данные по водоисточнику: максимальный расчетный уровень воды в реке 13 м (5%-й обеспеченности), минимальный уровень воды из условия обеспечения водозабора 10 м (90%-й обеспеченности); русло реки устойчивое, количество взвешенных наносов до 0,5 кг/м^3; наблюдается умеренный ледостав; минимальный (меженный) расход воды в реке не менее 25 м^3/с, минимальные скорости течения воды 0,5 м/с; русло реки имеет неширокую затапливаемую в паводок пойму с противоположного от водозабора берега, со стороны насосной станции берег достаточно крутой (уклон 0,25...0,35); глубины в реке при минимальном уровне воды 2...2,5 м; грунты, слагающие берега и дно реки, — разнозернистые пески с несущей способностью, достаточной для устройства стационарных сооружений.

Порядок расчета. 1. Выбираем береговой тип водозаборного сооружения, раздельный со зданием станции, — береговой колодец с двухъярусным расположением водоприемных отверстий (см. рис. 2.2). Береговой колодец располагают у уреза воды при минимальном уровне. Стеснение русла береговым колодцем не превышает 8 %. Колодец в плане принимают прямоугольным, разделенным на четыре секции (камеры) по числу всасывающих труб насосов. Водоприемные отверстия делают в передней стенке колодца — по два отверстия в каждой камере: нижнее и верхнее.

2. Определяем диаметр, м, входного отверстия всасывающей трубы по скорости входа $v_{вх} = 0{,}8...1$ м/с

$$D_{вх} = \sqrt{4Q_н / (v_{вх}\pi)} = \sqrt{0{,}2/(0{,}8 \cdot 0{,}785)} = 0{,}56\,м,$$

принимаем $D_{вх} = 0{,}6$ м.

3. Принимаем ширину камеры $b_{кам} = 3D_{вх} = 1{,}8$ м. При расположении всасывающей (вертикальной) трубы у задней стенки камеры расстояние ее входного отверстия от дна $h_1 = 0{,}8D_{вх} = 0{,}8 \cdot 0{,}6 = 0{,}48$ м, а заглубление входного отверстия под минимальный уровень воды $s = (1...1{,}5)D_{вх} = (1...1{,}5)0{,}6 = 0{,}6...0{,}9$ м, принимаем $s = 0{,}8$ м. Глубина воды в камере у всасывающей трубы составляет $h_{кам} = h_1 + s = 0{,}48 + 0{,}8 = 1{,}28$ м. Дну камеры придают уклон 0,05 в сторону передней стенки.

4. Находим длину камеры из условия создания в ней минимального объема $V_{кам} \geq (15...20)Q_н = (15...20)0{,}2 = 3...4$ м^3. Объем камеры $V_{кам} = h_{кам}b_{кам}l_{кам}$, тогда длина, м, камеры $l_{кам} \geq V_{кам}/(h_{кам}b_{кам}) = 4/(1{,}28 \cdot 1{,}8) = 1{,}74$ м. Конструктивно длина камеры должна быть достаточной для размещения оборудования — дискового затвора, вертикальной всасывающей трубы и обеспечения проходов шириной не менее 1 м. Из этого условия длина камеры $l_{кам} = l_{пат} + l_{зат} + l_{прох} + D_{вх} + 0{,}2 = 0{,}4 + 0{,}45 + 1 + 0{,}2 = 2{,}05$ м. Принимаем длину камеры 2,1 м.

5. Вычисляем площадь, м^2, водоприемного отверстия (окна)

$$\omega_{отв} = 1{,}25Q_н K/v_{отв} = 1{,}25 \cdot 0{,}2 \cdot 1{,}2/0{,}4 = 0{,}75\,м^2,$$

где $v_{отв}$ принимаем 0,4 м/с.

Принимаем круглую форму нижнего отверстия, чтобы использовать в качестве ремонтного затвора стандартный дисковый затвор. Диаметр отверстия $D_{отв} = \sqrt{4\omega_{отв}/\pi} = 0{,}98$ м, принимаем $D_{отв} = 1$ м. Дисковый затвор (марка 32 с 908 р) устанавливаем внутри камеры и закрепляем на фланце стального патрубка длиной 0,4 м и диаметром 1 м. Патрубок заделываем в стенку камеры. Длина затвора 0,45 м. Принятая ширина камеры 1,8 м достаточна для размещения дискового затвора. Каждое водоприемное отверстие

оборудуем съемной вертикально расположенной сороудерживающей решеткой, выполненной из стержней — полосовой стали шириной 50 мм, толщиной 6 мм, просвет между стержнями 30 мм. Решетки устанавливаем в пазах. Очищаем решетки вручную при подъеме их на верх колодца. Верх нижнего отверстия заглубляем под минимальный уровень воды в реке на $h_{заг} = 0,5$ м. Для уменьшения поступления донных наносов в отверстия устраиваем порог высотой $h_п = 0,5$ м. Таким образом, необходимая минимальная глубина воды в реке у берегового колодца составит $h_р = h_{заг} + D_{отв} + h_п = 0,5 + 1 + 0,5 = 2$ м. Для создания этой глубины у колодца делаем небольшую расчистку. Отметка дна 8,00 м, отметка порога 8,50 м.

Верхнее водоприемное отверстие устраиваем прямоугольным — шириной 1 м и высотой 0,8 м. Оборудование отверстия — плоский ремонтный затвор $1,0 \times 0,8$ м и сороудерживающую решетку — устанавливаем по очереди в один паз. Отметка порога верхнего отверстия 10,4 м.

6. Назначаем отметку верха берегового колодца 13,8 м, что выше максимального уровня воды на 0,8 м. На этой отметке устанавливаем колонки для управления дисковыми затворами [10]. Сороудерживающие решетки и плоские ремонтные затворы поднимаем вручную с помощью тали с механизмом передвижения грузоподъемностью 2 т.

7. Делаем приямок у передней стенки глубиной 0,5 м для сбора наносов в каждой водоприемной камере. Наносы удаляем гидроэлеватором, принцип подбора которого изложен в [10].

8. Предусматриваем для защиты берегового колодца от подмыва по его периметру шпунтовое ограждение на глубину 2,5 м, дно реки вокруг колодца закрепляем каменной наброской.

9. Располагаем здание насосной станции на незатопляемых отметках примерно в 25 м от берегового колодца. Вода к насосам подводится всасывающими трубами диаметром 0,45 м.

Рыбозащитные устройства предназначены для предупреждения попадания рыбы в водоприемные отверстия берегового колодца. В данном случае для этого целесообразно использовать сетчатые струереактивные барабаны, так как вода в береговой колодец поступает из транзитного потока. Струереактивные барабаны устанавливают в пазы берегового колодца вместо сороудерживающих решеток на период ската рыбной молоди (см. рис. 2.8).

Исходные данные: минимальная длина тела защищаемых рыб 15 мм, вид рыб — полупроходные (лещ, судак, сазан и др.), сносящая скорость $v_р = 0,15...0,25$ м/с [32], размер ячейки сетчатого экрана принимают 2×2 мм (или $1,5 \times 1,5$ мм), сетка латунная или из нержавеющей стали.

Необходимую площадь брутто сетчатого полотна вычисляем по формуле (2.6)

$$\omega_{сет} = 1{,}2 \cdot 0{,}2 \cdot 1{,}56 \cdot 1{,}2/0{,}15 = 3\ м^2,$$

здесь принято $K_с = 1{,}56$; $K_К = 1{,}2$.

Диаметр сетчатого барабана принимаем $D = 1{,}25$ м, длину $l = 0{,}45$ м. Для промывки сетки внутри барабана располагаем промывное устройство — трубку диаметром 50 мм с просверленными отверстиями вдоль нее и изогнутую в форме прямоугольника. Воду на промывку подаем от основного насоса станции Д600-57. Промывной расход 5 л/с, напор, развиваемый насосом ($H = 60$ м), достаточен для проведения промывки. Для защиты сетчатых барабанов от повреждения крупными плавающими предметами вдоль берегового колодца можно установить наплавную запань.

Пример 2. Определить размеры водозаборного сооружения на реке для оросительной насосной станции, оборудованной четырьмя осевыми насосами марки ОпВ2-87 с подачей 3 м^3/с (см. рис. 5.6). Здание станции блочного типа (отметка оси насоса 48,00 м). Насосная станция относится к III категории надежности по подаче воды.

Исходные данные по водоисточнику (реке): отметка максимального уровня воды 54,00 м (5%-й обеспеченности); отметка УВ 50,00 м (90%-й обеспеченности); русло реки устойчивое с небольшими сезонными деформациями до 0,2 м; количество взвешенных наносов до 0,6 кг/м^3; умеренный ледостав; минимальный расход воды в реке не менее 100 м^3/с; минимальные скорости течения в межень 0,8 м/с. Русло реки одноярусное. Берег со стороны насосной станции крутой (уклоны 0,25...0,35), глубины воды у берега 3...4 м при минимальных уровнях воды; противоположный берег пологий. Грунты, слагающие берега и дно реки, — разнозернистые пески с достаточной несущей способностью для строительства насосной станции.

Порядок расчета. 1. Выбираем береговой тип водозаборного сооружения, совмещенный со зданием насосной станции, с одноярусным расположением водоприемных отверстий и порогом (см. рис. 5.6). Одноярусное расположение отверстий принято, так как условия для забора воды достаточно благоприятные, амплитуда колебаний уровней воды небольшая ($\Delta H = 4$ м), устройство же верхнего ряда отверстий значительно усложнит конструкцию водозабора, не увеличивая существенно надежность забора воды. Здание станции с водоприемником располагают у уреза воды при минимальном уровне. Стеснение живого сечения русла при таком расположении сооружения не превышает 10 %. Водоприемную часть сооружения разделяем быками на четыре камеры по числу насосов на станции.

2. Определяем площадь водоприемного отверстия по формуле

$$\omega_{отв} = 1{,}25 Q_н K_р / v_{отв} = 1{,}25 \cdot 3 \cdot 1{,}15/0{,}6 = 7{,}19\ м^2 \approx 7{,}2\ м^2,$$

где $Q_н$ — расчетная подача насоса, м^3/с, $Q_н = 3$ м^3/с; $K_р$ — коэффициент, учитывающий стеснение отверстий стержнями решетки, $K_р = 1{,}15$; $v_{отв}$ принимаем 0,6 м.

Форма отверстия — прямоугольная, с шириной, равной ширине водоприемной камеры: $b_{кам} = l_{ос} - b_б$, где $l_{ос}$ — расстояние в осях между насосами ОпВ2-87, $l_{ос} = 4{,}2$ м; $b_б$ — толщина быка, $b_б = 1{,}2$ м; $b_{кам} = 4{,}2 - 1{,}2 = 3$ м. Высота отверстия $h_{отв} = \omega_{отв}/b_{кам} = 7{,}2/3 = 2{,}4$ м. Принимаем $h_{отв} = 2{,}5$ м. Отметка дна водоприемной камеры 46,5 м получена как разность отметки оси рабочего колеса (48,0 м) и высоты всасывающей трубы $h_{вс.тр} = 1{,}73D_{рк} = = 1{,}73 \cdot 0{,}87 = 1{,}5$ м, где $D_{рк}$ — диаметр рабочего колеса насоса, равный 0,87 м.

3. Оборудуем каждое водоприемное отверстие съемной сороудерживающей решеткой, выполненной из стержней — полосовой стали шириной 60 мм и толщиной 6 мм, шаг стержней 50 мм. Решетку устанавливаем вертикально в пазы глубиной 0,2 м и шириной 0,4 м. Сверху водоприемное отверстие ограничено забральной стенкой, заглубленной под минимальный уровень воды в реке на 1,1 м. Для очистки решетки от сора используем решеткоочистную машину тельферного типа РТ с размером ковша 3 м, шаг грабель ковша 50 мм [10]. Для опускания ковша в быках перед сороудерживающей решеткой (на расстоянии 0,3 м) устраиваем пазы шириной 0,3 м и глубиной 0,15 м. Машину навешиваем на козловой кран, обслуживающий водозаборное сооружение.

4. Предусматриваем на входе в каждую подводящую (всасывающую) трубу насоса плоский ремонтный затвор (колесный) размером 3 · 2 м. Затвор перемещается в пазах шириной 0,4 м и глубиной 0,3 м. Для подъема затвора предусмотрен козловой кран грузоподъемностью 5 т.

5. Проверяем заглубление входного отверстия всасывающей трубы по формуле

$$S = 0{,}7v_{вх}h_{вх}^{0{,}5} = 0{,}7 \cdot 0{,}89 \cdot 1{,}3^{0{,}5} = 0{,}71 \text{м},$$

где $v_{вх}$ — скорость на входе во всасывающую трубу;

$$v_{вх} = Q_н/\omega_{вх} = Q_н/(b_{вх}h_{вх}) = 3/(1{,}3 \cdot 2{,}6) = 0{,}89 \text{ м/с},$$

здесь $b_{вх} = 3D_{рк} = 3 \cdot 0{,}87 = 2{,}6$ м (где $D_{рк}$ — диаметр рабочего колеса насоса ОпВ2-87, $D_{рк} = 0{,}87$ м); $h_{вх} = 1{,}5D_{рк} = 1{,}5 \cdot 0{,}87 = 1{,}3$ м.

Фактическое заглубление входного отверстия всасывающей трубы 1,5 м, что больше требуемого.

6. Определяем длину водоприемника от оголовка быка до стенки здания станции

$$L_{вод} = l_{кам} + l_7 + l_8 = 3{,}2 + 0{,}35 + 1{,}05 = 4{,}6 \text{ м},$$

где $l_{кам} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 = 0{,}8 + 0{,}3 + 0{,}3 + 0{,}4 + 1{,}0 + 0{,}4 = 3{,}2$ м, l_1 — длина оголовка быка, принимаем $l_1 = b_б/2 + 0{,}2 = 0{,}6 + 0{,}2 = 0{,}6$ м; l_2 — ширина паза ковша РОМ, $l_2 = 0{,}3$ м; l_3 — расстояние между пазами ковша РОМ и решетки, $l_3 = 0{,}3$ м; l_4 — ширина паза решетки, $l_4 = 0{,}4$ м; l_5 — расстояние между пазами решетки и ре-

монтного затвора, l_5 =1 м; l_6 — ширина паза ремонтного затвора, $l_6 = 0{,}4$ м; l_7 — расстояние от паза затвора до рельса козлового крана, $l_7 = 0{,}35$ м; l_8 — расстояние от рельса до стены здания, $l_8 = 1{,}05$ м.

7. Устраиваем порог высотой 0,8 м для уменьшения поступления донных наносов в водоприемные отверстия. Требуемая минимальная глубина воды в реке

$$h_{\text{реки}} = h_{\text{п}} + h_{\text{отв}} + h_{\text{загл}} = 0{,}8 + 2{,}5 + 0{,}5 = 3{,}8 \text{ м}.$$

Для обеспечения этой глубины перед водоприемником делаем небольшую расчистку. Отметка дна реки перед порогом 45,7 м, отметка порога 46,5 м.

8. Принимаем отметку верха водоприемника 55,00 м, что на 1 м выше максимального уровня воды. Для защиты водоприемника от подмыва по его периметру предусматриваем шпунтовое ограждение на глубину 3 м, дно реки вокруг сооружения закрепляем каменной наброской.

Рыбозащитные устройства (РЗУ) для предупреждения попадания в водоприемные отверстия рыб в данном случае можно применить двух типов:

плавучую запань в сочетании с воздушно-пузырьковой завесой, которые отгораживают водозаборное сооружение от водотока и препятствуют попаданию рыб в сооружение (рис. 2.10);

сетчатые конусные однополосные рыбозаградители устанавливаем в каждой водоприемной камере с промывным устройством и рыбоотводом (см. рис. 2.7).

Первый вариант более простой, так как в этом случае нужно: изготовить плавучую запань — понтоны с вертикально закрепленными на них щитами, погруженными в воду на 1 м, установить два компрессора и уложить по дну реки вдоль водозаборного сооружения два воздуховода из стальных оцинкованных труб с просверленными в них отверстиями для выпуска воздуха (см. рис. 2.10). Общая протяженность воздушно-пузырьковой завесы составляет примерно $l_{\text{в}} = 50$ м; длина запани 40 м. Запань устанавливаем так, чтобы пузырьки воздуха достигли поверхности воды непосредственно перед вертикальным щитом запани с учетом поступательных скоростей течения к водоприемным отверстиям насосной станции и средних скоростей подъема пузырьков, равных 0,4...0,6 м/с. Запань располагаем на расстоянии не менее 3 м от водоприемника. Рекомендуем принимать: диаметр отверстия в воздуховоде для выпуска воздуха $d_0 = 0{,}3...0{,}8$ мм; начальную скорость выхода пузырьков воздуха $u_0 = 2...4$ м/с; шаг отверстий $a = (20...40)d_0$; число рядов отверстий от 3 до 6. Расход воздуха через одно отверстие

$$q_0 = \mu u_0 \omega_0 = 0{,}62 \cdot 3 \cdot 0{,}785 \cdot 0{,}0005^2 = 3{,}65 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с},$$

где μ — коэффициент расхода, равный 0,6...0,64, принимаем $\mu = 0{,}62$; ω_0 — площадь отверстия, $\omega_0 = \pi d_0^2 / 4$, $\pi / 4 = 0{,}785$. Принимаем $d_0 = 0{,}5$ мм, $u_0 = 3$ м/с.

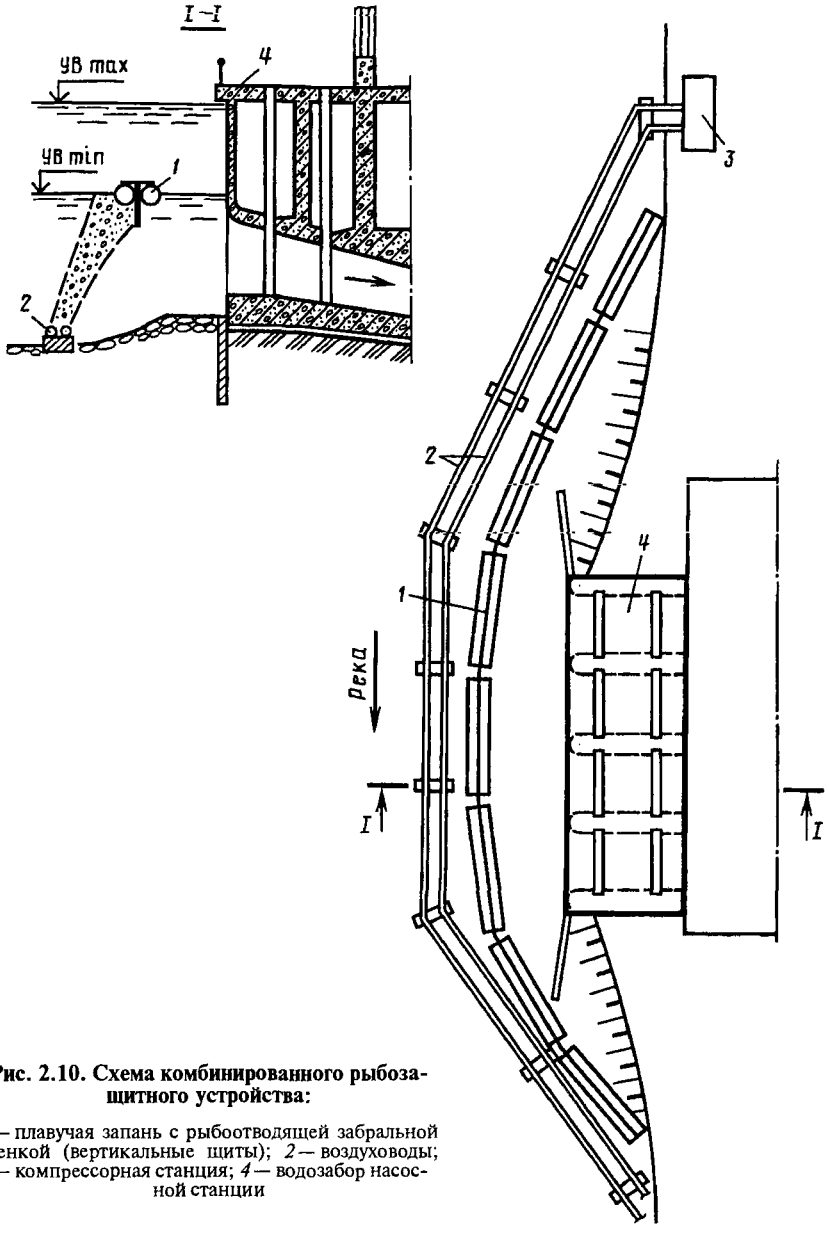


Рис. 2.10. Схема комбинированного рыбозащитного устройства:

1 — плавучая запань с рыбоотводящей забральной стенкой (вертикальные щиты); *2* — воздуховоды; *3* — компрессорная станция; *4* — водозабор насосной станции

При четырехрядном расположении отверстий и шаге отверстий $a = 30d_0 = 15$ мм $= 0{,}015$ м расход воздуха

$$Q_{\text{возд}} = (q_0 l_{\text{т}} \cdot 4)/a = (3{,}65 \cdot 10^{-7} \cdot 50 \cdot 4)/0{,}015 = \\ = 4{,}9 \cdot 10^{-3}\ \text{м}^3/\text{с} = 17{,}64\ \text{м}^3/\text{ч}.$$

Расход компрессора $Q_{\text{комп}} = K_3 Q_{\text{возд}} = 1{,}4 \cdot 17{,}64 = 24{,}7\ \text{м}^3/\text{ч}$, диаметр воздуховода

$$D_{\text{в}} = \sqrt{4Q_{\text{возд}}/(\pi u_0)} = \sqrt{0{,}0049/(0{,}785 \cdot 3)} = 0{,}046\ \text{м} = 46\ \text{мм}.$$

Для более равномерного выхода воздуха по длине трубы ее делаем составной: начальный участок $D_1 = 50$ мм (длина 16 м), второй участок $D_2 = 40$ мм (длина 16 м), последний участок $D_3 = 25$ мм (длина 18 м). Воздуховоды укладываем на расстоянии 0,2 м один от другого. Давление компрессора $p_{\text{комп}}$ должно быть достаточным, чтобы преодолеть давление столба воды в месте укладки воздуховода и потери напора в нем. При максимальной глубине воды $h = 9$ м $p_{\text{комп}} = \rho g(h + h_{\text{дл}}) = 0{,}9 + 0{,}3 = 1{,}2\ \text{кгс/см}^2 \approx 0{,}12$ МПа (потери напора по длине воздуховода приняты $h_{\text{дл}} = 3$ м). Принимаем два компрессора — рабочий и резервный. Компрессоры можно установить в отдельном помещении, а можно и в здании станции.

По *второму варианту* размещаем по одному горизонтальному сетчатому конусу в каждой из водоприемных камер между сооружением, удерживающей решеткой и ремонтным затвором (см. рис. 2.7). Конусы вращаются вокруг горизонтальной оси от специального привода. Площадь сетчатого полотна (с ячейкой 2×2 мм) конуса

$$\omega_{\text{сет}} = 1{,}2 Q_{\text{н}} K_{\text{с}} K_{\text{к}} / v_{\text{р}} = 1{,}2 \cdot 3 \cdot 1{,}56 \cdot 1{,}1/0{,}15 = 41{,}2\ \text{м}^2,$$

где $Q_{\text{н}}$ — подача насоса Оп32-87, м^3/с; $K_{\text{с}} = 1{,}56$; $K_{\text{к}} = 1{,}1$; $v_{\text{р}}$ — сносящая скорость для рыб длиной 15 мм, $v_{\text{р}} = 0{,}15$ м/с.

Принимаем: диаметр большего основания конуса 2,9 м, меньшего основания — 0,3 м; центральный угол конусности 30°. В этом случае длина конуса составит 4,9 м. Для размещения конуса с диаметром основания 2,9 м в водоприемной камере шириной 3 м ее ширину увеличивают до 3,2 м за счет уменьшения толщины быка с $b_{\text{б}} = 1{,}2$ м до $b_{\text{б}} = 1$ м в месте установки конуса. Промываем конус от промывного устройства — неподвижной трубы с отверстиями диаметром 12 мм через 40 мм. Воду на промывку конуса подаем центробежным насосом с подачей 80 л/с и напором 30 м. Для отвода рыбы устраиваем рыбоотвод, снабженный водоструйным насосом. Расход рыбоотвода 100 л/с.

Для размещения конуса длиной 4,9 м увеличиваем длину водоприемной камеры на 7...8 м (без РЗУ длина камеры 4,6 м), что повышает стоимость и усложняет водозаборное сооружение. Для выбора оптимальной конструкции РЗУ выполняем технико-экологическое сравнение рассмотренных вариантов.

Глава 3
ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА КАНАЛАХ

●

3.1. ПОДВОДЯЩИЕ КАНАЛЫ, УСЛОВИЯ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Каналы, подводящие воду к насосным станциям, обычно устраивают при заборе воды из оросительных, энергетических, судоходных каналов, водохранилищ. При заборе воды из реки подводящие каналы устраивают только при благоприятных условиях —гидрологических, топографических и геологических. Однако в практике встречается и другое решение, когда при высокой мутности воды в реке подводящий канал служит отстойником.

Подводящий канал желательно проектировать саморегулирующимся без водозаборного сооружения в его голове.

Водозаборное сооружение в голове канала необходимо:

при большой длине несаморегулирующегося канала (бермы канала параллельны его дну);

отсутствии аварийного сброса, без которого при аварии на станции возможно ее затопление;

трудных гидрологических условиях водоисточника (наносы, шуга и др.), что наиболее часто встречается при заборе воды из реки.

Работа головного сооружения должна быть согласована с работой насосной станции.

Подводящие каналы обычно проводят по кратчайшему пути от водоисточника до насосной станции. Основные условия применения подводящих каналов:

экономичность подвода воды каналом для сокращения длины напорных трубопроводов;

удовлетворительные геологические условия, допускающие сооружение канала без особых затрат на укрепление откосов и борьбу с фильтрацией;

относительная осветленность воды в источнике, обеспечивающая незаиляемость канала и его бесперебойную работу;

возможность очистки канала от наносов, не нарушающей нормальную работу насосной станции;

устойчивость берегов водоисточника;

относительно небольшой диапазон колебания уровней воды в источнике, который не вызывает экономически нецелесообразных затрат при строительстве канала и насосной станции;

относительно медленные спады уровней воды в источнике, неопасные для устойчивости откосов.

При устройстве водозаборных сооружений на водохранилищах необходимо учитывать возможность переработки их берегов, вызываемой изменениями и нарушениями в результате волн, подмывов, разрушений, занесений и др. Поэтому выбор места расположения головы канала и мероприятий по ее защите имеет важное значение. Оросительными насосными станциями второго и последующих подъемов вода забирается обычно из каналов. Иногда длину и заглубление подводящих каналов устанавливают из соображений выбора хорошего основания для насосной станции, особенно в условиях просадочных грунтов. В каналах без крепления русла определяющими являются максимально допустимые скорости из условия размыва грунтов, слагающих русло каналов, и транспортирующая способность потока в канале (заиление). Уклон канала должен обеспечивать средние скорости воды в пределах

$$v_1 < v < v_2,$$

где v_1 и v_2 — допустимые незаиляющая и неразмывающая скорости воды, м/с.

Допустимые неразмывающие скорости в каналах с расходом менее 50 м^3/с принимают в соответствии со СНиП (табл. 3.1; 3.2; 3.3).

В других случаях скорость получают умножением соответствующих значений скоростей из таблиц 3.1 и 3.2 на коэффициент, равный $\sqrt{(\rho-1000)/1650}\sqrt{K_c}$ (K_c — коэффициент условий работы).

При отсутствии данных о сцеплении грунта для предваритель-

3.1. Допустимые неразмывающие скорости, м/с, для однородных несвязных грунтов плотностью ρ = 2650 кг/м^3 при коэффициенте условий работы, равном 1, при содержании в них глинистых частиц менее 0,1 кг/м^3 в зависимости от их размеров и глубины потока

Средний размер частиц грунта, мм	Глубина потока, м			
	0,5	1	3	5
0,05...0,25	0,52...0,37	0,55...0,39	0,6...0,41	0,62...0,45
0,25...1	0,37...0,51	0,39...0,55	0,41...0,62	0,45...0,65
1...2,5	0,51...0,69	0,55...0,75	0,62...0,86	0,65...0,90
2,5...5	0,69...0,87	0,75...0,96	0,86...1,10	0,90...1,17
5...10	0,87...1,10	0,96...1,23	1,10...1,42	1,17...1,51
10...15	1,10...1,26	1,23...1,42	1,42...1,65	1,51...1,76
15...25	1,26...1,46	1,42...1,65	1,65...1,93	1,76...2,12
25...40	1,46...1,68	1,65...1,93	1,93...2,32	2,12...2,50
40...100	1,68...2,15	1,93...2,54	2,32...3,14	2,50...3,46
100...200	2,15...2,47	2,54...3,03	3,14...3,92	3,46...4,31
200...300	2,47...2,90	3,03...3,32	3,92...4,40	4,31...4,94

3.2. Допустимые неразмывающие скорости, м/с, для связных грунтов в зависимости от расчетного удельного сцепления C и глубины потока

C, 10^5 Па	Глубина потока, м			
	0,5	1,0	3,0	5,0
0,005...0,02	0,39...0,52	0,43...0,57	0,49...0,65	0,52...0,69
0,02...0,05	0,52...0,71	0,57...0,77	0,65...0,89	0,69...0,98
0,05...0,1	0,71...0,96	0,77...1,04	0,89...1,20	0,98...1,27
0,1...0,15	0,96...1,13	1,04...1,23	1,20...1,41	1,27...1,49
0,15...0,2	1,13...1,28	1,23...1,40	1,41...1,60	1,49...1,69
0,2...0,25	1,28...1,42	1,40...1,55	1,60...1,78	1,69...1,88
0,25...0,4	1,42...1,79	1,55...1,96	1,78...2,25	1,88...2,38
0,4...0,6	1,79...2,16	1,96...2,38	2,25...2,72	2,38...2,83

Примечание. Для грунтов, не засоленных легкорастворимыми солями.

3.3. Допустимые неразмывающие средние скорости потока, м/с, для каналов с монолитными бетонными, сборными железобетонными и асфальтобетонными облицовками в зависимости от класса бетона по прочности на сжатие и глубины потока

Класс бетона по *прочности* на сжатие	Глубина потока, м			
	0,5	2	3	5
B5	11,2	12,4	14,3	15,2
B7,5	12,5	13,8	16	17
B10,5	14	15,6	18	19,1
B15	15,6	17,3	20	21,1
B25	19,2	21,2	24,6	26,1

ных расчетов можно использовать значения допустимых неразмывающих скоростей при гидравлическом радиусе $R = 1...2$ м, приведенные ниже.

Грунт русла канала	Допустимые неразмывающие скорости, м/с
Супесь слабая	0,7...0,8
Супесь уплотненная	1
Суглинки легкие (и лёссовидные)	0,7...0,8
Суглинки средние	1
Суглинки плотные	1...1,2
Глины мягкие	0,7
Глины нормальные	1,2...1,4
Глины плотные	1,5...1,8
Илистые грунты	0,5

При $R > 2$ м скорость увеличивают в $(R/2)^{0,125}$ раза.

Подводящие каналы осушительных насосных станций и насосных станций, откачивающих сбросные и дренажные воды на оросительных системах, при наличии благоприятных топографичес-

ких условий (балки, овраги, местные понижения и др.) рассчитывают с учетом аккумулирования притока, чтобы выравнивать режим работы насосных станций и устанавливать на них однотипное оборудование.

Форму поперечного сечения канала принимают трапецеидальной, если это не ограничивается геологическими условиями. Полигональная форма сечения канала может быть рекомендована только при прохождении всего канала или его нижней части в малоустойчивых грунтах. При трассировке каналов следует избегать крутых закруглений.

Минимальный радиус закругления для каналов, проходящих в земляном русле, м,

$$r=11v^2\sqrt{\omega}+12, \qquad (3.1)$$

где v — средняя скорость течения воды в канале, м/с; ω — площадь живого сечения, м^2.

Для облицованных каналов радиус закругления $r \geq 5B$ (B — ширина канала по урезу воды).

Крутизну откосов каналов при глубине выемки более 5 м принимают на основании статических расчетов с учетом гидродинамического давления при быстром опорожнении канала. При глубине выемки до 5 м и быстром снижении уровня воды не более чем на 0,5 м крутизну откосов определяют по нормативным документам. Для облицованных каналов крутизну откосов необходимо увязывать с типом облицовки.

Коэффициенты заложения откосов каналов в выемке глубиной до 5 м при наполнении до 3 м приведены в таблице 3.4.

3.4. Коэффициенты заложения откосов

Грунт	Откос	
	подводный	надводный
Скала	0...0,5	0...0,25
Полускальный водостойкий	0,5...1	0,5
Галечник, гравий с песком	1,25...1,5	1
Глина, суглинок тяжелый и средний	1...1,5	0,5...1
Суглинок легкий, супесь	1,25...2	1...1,5
Песок мелкий	1,5...2,5	1...2
Песок пылеватый	3...3,5	2,5
Торф со степенью разложения:		
до 50 %	1,25...1,75	1,25
более 50 %	1,5...2	1,5

Ширину каналов по дну принимают 0,8; 1,0; далее до 5 м с интервалом 0,5 м; при ширине более 5 м — через 1 м.

Минимальная ширина канала по дну зависит от способа производства работ: при ручной выемке — не менее 0,4 м, при механизированной — не менее 1,5 м. Отношение ширины по дну каналов трапецеидального поперечного сечения к глубине наполнения $\beta = b/h$ рекомендуют принимать от 0,4...0,6 до 3,8 при коэффициентах заложения откосов $m = 1...2,5$.

Подводные откосы от надводных отделяют бермами, ширина которых определяется классом сооружений и способом производства работ, но не менее 1 м. Бермы устраивают через 5 м при высоте откоса более 7 м. Превышение берм и бровок дамб над максимальным уровнем воды в необлицованных и облицованных каналах принимают по таблице 3.5.

3.5. Превышение гребней берм и бровок берм в необлицованных и облицованных каналах над максимальным уровнем воды, см

Расход воды в канале, м³/с	Канал	
	без облицовки и с грунтово-пленочным экраном	с облицовкой
До 1	20	15
1...10	30	20
10...30	40	30
30...50	50	35
50...100	60	40

Ширину дамб канала поверху назначают с учетом условий производства работ и эксплуатации, но не менее 1,5 м. При расчете уровня воды в канале следует учитывать положительные и отрицательные волны, возникающие при включении и отключении одного или всех насосов на станции. При расходе воды в канале более 100 м³/с, а для районов с сильными ветрами более 50 м³/с возвышение верха стен сооружений, м, над статическим уровнем при максимальном расходе канала

$$h_{зап} = h_н + \Delta h + a, \qquad (3.2)$$

где $h_н$ — высота наката ветровой волны на откос у сооружения, м; Δh — высота ветрового нагона воды, м; a — запас, принимаемый не менее 0,1 м.

Отметку верха стен сооружений на каналах принимают в соответствии с классом сооружений, она должна превышать отметку гребня дамб канала при расходах до 10 м³/с на 10 см, более 10 м³/с — на 25 см.

Подводящие каналы рассчитывают на равномерное течение и проверяют на неравномерный и неустановившийся режимы.

Коэффициент шероховатости n для каналов зависит от характеристики поверхности ложа канала и составляет:

Характеристика поверхности ложа канала	Коэффициент шероховатости
Каналы в земляном русле	
При расходе более 25 м³/с:	
в связных и песчаных грунтах	0,02
в гравелисто-галечниковых грунтах	0,0225
При расходе 1...25 м³/с:	
в связных и песчаных грунтах	0,0225
в гравелисто-галечниковых грунтах	0,025
При расходе менее 1 м³/с:	
в связных и песчаных грунтах	0,025
Каналы в скале	
При хорошо обработанной поверхности	0,02...0,025
При посредственно обработанной поверхности без выступов	0,03...0,035
То же, с выступами	0,04...0,045
Каналы с облицовкой	
Бетонной хорошо отделанной	0,012...0,014
Бетонной грубой	0,015...0,017
Из асфальтобитумных материалов	0,013...0,016
Одернованное русло	0,03...0,035

Гидравлический расчет канала начинают с определения поперечного сечения канала, задаваясь: коэффициентом заложения откоса (см. табл. 3.5), рекомендуемой относительной шириной канала по дну β для каналов трапецеидальной формы, допустимой неразмывающей скоростью (см. табл. 3.1...3.3 и с. 56, 57).

Определяют площадь поперечного сечения канала на максимальный расход, для оросительной насосной станции это максимальная ордината графика водоподачи насосной станции. Затем вычисляют глубину воды канала h_{max} и ширину канала по дну b, согласуя ее с рекомендуемой шириной. Уклон дна канала определяют из формулы

$$Q=\omega C\sqrt{Ri}, \tag{3.3}$$

где ω — площадь поперечного сечения, м²; C — коэффициент Шези, м^{0,5}/с; R — гидравлический радиус, м; i — гидравлический уклон.

Для каналов с гидравлическим радиусом $R \le 5$ м коэффициент Шези следует определять, как правило, по формуле

$$C=(1/n)R^y, \tag{3.4}$$

$$y=2,5\sqrt{n}-0,13-0,75\sqrt{R}(\sqrt{n}-0,1),$$

где n — коэффициент шероховатости.

Для практических расчетов коэффициент Шези можно принимать по гидравлическим справочникам.

Для приближенных расчетов используют формулу

$$C = (1/n)R^{1/6}. \quad (3.5)$$

Для каналов с гидравлическим радиусом $R > 5$ м коэффициент Шези определяют по каналам, работающим в аналогичных условиях.

Уклон дна подводящего канала должен быть меньше критического. Отметку дна подводящего канала в его голове назначают такой, чтобы при любых уровнях воды в водоисточнике и любых подачах насосной станции глубины воды в подводящем канале были не меньше глубин, соответствующих равномерному движению. При таком условии в отдельные периоды работы насосной станции в подводящем канале будет равномерное движение, а в некоторые периоды возможно неравномерное движение с образованием кривых подпора (кривые спада не допускаются).

Канал на незаиляемость проверяют по транспортирующей способности канала или по незаиляющей скорости воды в канале. Транспортирующая способность канала, г/м^3,

$$\rho = 700(v/w)^{3/2}\sqrt{Ri} \text{ при } 2 < w < 8 \text{ мм/с}; \quad (3.6)$$

$$\rho = 350v\sqrt{Riv/w} \text{ при } 0{,}4 < w < 2 \text{ мм/с}, \quad (3.7)$$

где v — скорость воды в канале, м/с; w — гидравлическая крупность частиц среднего диаметра, мм/с; R — гидравлический радиус канала, м; i — уклон дна канала.

Незаиляющая скорость, м/с,

$$v_з = 0{,}3R^{0{,}25}. \quad (3.8)$$

При скоростях воды в каналах более 2 м/с доступ в них абразивных наносов с диаметром частиц более 0,25 мм, как правило, ограничивают для предохранения гидромеханического оборудования и бетонных облицовок каналов от износа.

Для уменьшения фильтрационных потерь воды из канала и увеличения срока службы применяют различные типы облицовок. В зависимости от назначения рекомендуют следующие типы облицовок и покрытий:

крепление каменной наброской, а также бетонными и железобетонными плитами для защиты откосов каналов от разрушающего действия значительных скоростей течения воды;

облицовка асфальтовыми и битумными материалами, а также облицовка монолитным бетоном и железобетоном или сборными плитами для предотвращения фильтрации;

цементная штукатурка и торкретирование — для уменьшения шероховатости (обычно для скальных грунтов).

Монолитную облицовку (бетонную, асфальтобетонную) делают на тщательно спланированном грунте. При устройстве сборной облицовки основание, сложенное связными грунтами, выравнивают подготовительным слоем толщиной до 10 см, чтобы плиты хорошо прилегали к основанию. Бетоном и железобетоном каналы облицовывают для предотвращения фильтрации при условии применения эластичных материалов для герметизации швов. Для монолитных и сборных облицовок используют гидротехнический бетон класса не ниже В12,5. Коэффициент заложения откосов каналов с монолитной бетонной и железобетонной облицовкой составляет не менее 1,5, сборной железобетонной — не менее 1, а толщина монолитной облицовки — a = = 8...10 см при глубине воды в канале $h < 1$ м, 10...12 см при h = = 1...2 м и a = 12...15 см при $h > 2$ м. Для каналов с расходами более 50 м^3/с толщину облицовки рассчитывают с учетом всех нагрузок.

3.2. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА ПОДВОДЯЩИХ ТУПИКОВЫХ КАНАЛАХ

Водозаборное сооружение насосной станции состоит из водоприемного оголовка — водоприемника, в котором располагают входные отверстия всасывающих (подводящих) труб насосов, и

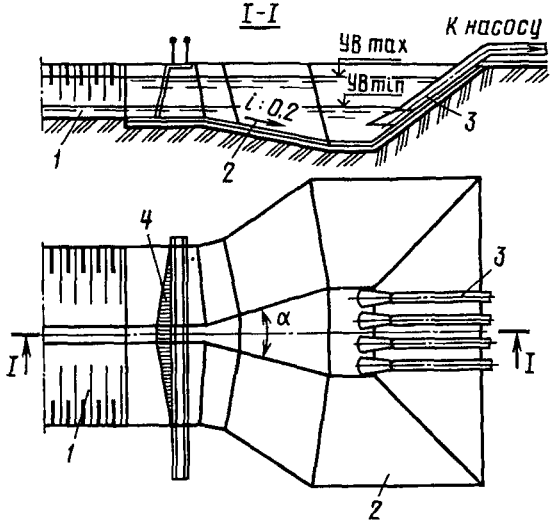


Рис. 3.1. Схема водозаборного сооружения насосной станции на тупиковом канале:

1 — подводящий канал; *2* — аванкамера; *3* — всасывающие трубы насосов; *4* — выносная сороудерживающая решетка

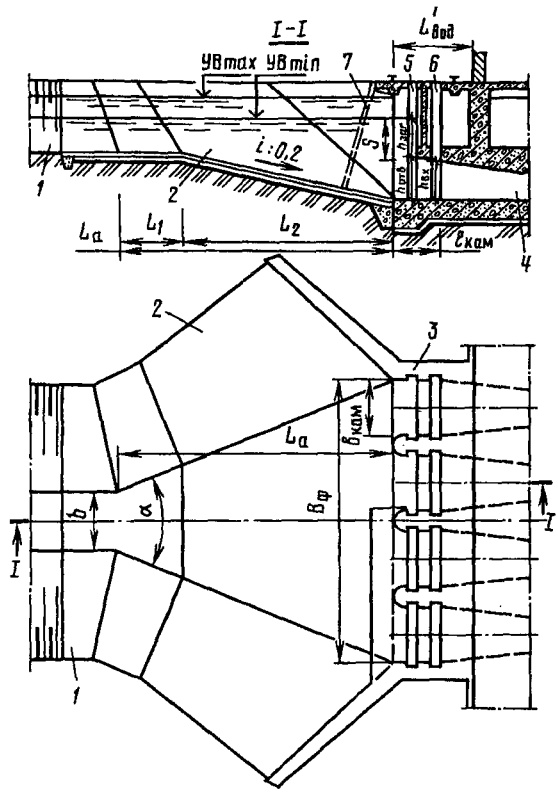


Рис. 3.2. Схема водозаборного сооружения (совмещенная компоновка) насосной станции на тупиковом канале:

1 — подводящий канал; *2* — расширяющаяся аванкамера; *3* — камерный водоприемник; *4* — подводящая труба насоса; *5* и *6* — пазы для ремонтного затвора и сороудерживающей решетки; *7* — выносная сороудерживающая решетка; α — центробежный угол конусности; L_a — длина аванкамеры; *b* — ширина подводящего канала по дну; $B_ф$ — ширина водозаборного фронта

расширяющейся аванкамеры, сопрягающей водоприемник с подводящим каналом.

Для малых насосных станций при подаче насоса до 0,1...0,2 м^3/с устраивают простейшие водозаборные сооружения, в которых аванкамеры представляют собой ковши с откосными станками (рис. 3.1). Всасывающие трубы располагают либо наклонно на торцовом откосе аванкамеры, либо вертикально. Расстояния между осями всасывающих труб принимают не менее $3D_{вх}$, диаметр входного отверстия которых зависит от скорости входа:

$v_{вх}$, м/с	0,5...0,6	0,6...0,8	0,8...1
$D_{вх}$, м	0,3...0,4	> 0,6	< 0,6

Заглубление входного отверстия всасывающей трубы под минимальный уровень воды принимают $1,5D_{вх}$, но не менее 0,5 м. Всасывающие трубы располагают у задней (торцовой) стенки (наклонной или вертикальной). Расстояние входного отверстия от дна принимают $(0,5...0,6)D_{вх}$.

Сороудерживающую решетку делают выносной и располагают в начале аванкамеры. Вдоль решетки предусматривают мостик. На входных отверстиях всасывающих труб также устанавливают решетки.

Камерные водоприемники устраивают обычно при подаче насоса более 0,2 м^3/с. В камерном водоприемнике каждая всасывающая труба забирает воду из отдельной камеры, которую отделяют одну от другой быками. Водоприемники этого типа можно совмещать со зданием станции (рис. 3.2) или предусматривают раздельными (рис. 3.3).

Совмещенную компоновку водоприемника со зданием станции применяют для станций, оборудованных вертикальными центробежными и осевыми насосами и иногда центробежными горизонтальными насосами. Ширина водоприемной камеры в этом случае зависит от расстояния между насосами. Для крупных осевых и центробежных насосов используют специальные всасывающие (подводящие) трубы, располагаемые в бетонном блоке здания насосной станции (см. рис. 5.5, 5.6).

Минимальное заглубление входного отверстия подводящей трубы насоса определяют из условия недопущения воронкообразования. В общем случае на воронкообразование влияют размеры и форма входного отверстия, скорости течения на входе, условия подхода потока, заглубление отверстия. Достаточно обоснованных рекомендаций по необходимому заглублению входных отверстий для водоприемников этого типа нет. Поэтому ориентировочно минимальное заглубление входного отверстия подводящей трубы для насосной станции блочного типа можно определить по эмпирическим формулам, полученным для водоприемника, представленного на рисунке 3.4:

при фронтальном подходе

$$s = 0,52v h_{вх}^{0,5};$$

при косом подходе потока в плане

$$s = 0,7v h_{вх}^{0,5}, \qquad (3.9)$$

где v — средняя скорость воды во входном отверстии, м/с; $h_{вх}$ — высота входного отверстия всасывающей трубы, м; s — заглубление отверстия, м.

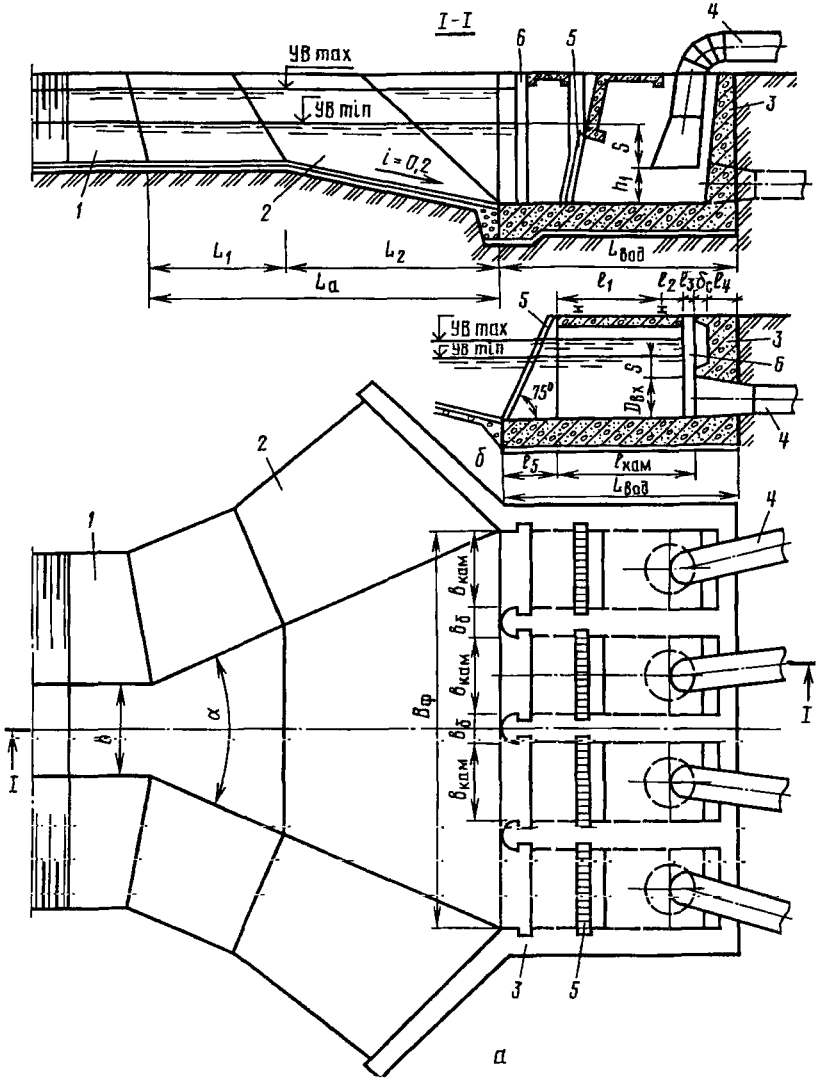


Рис. 3.3. Схема водозаборного сооружения (раздельная компоновка) насосной станции на тупиковом канале (*а*):

I—I — водоприемник с вертикальной всасывающей трубой; *б* — водоприемник с горизонтальной всасывающей трубой и сороудерживающей решеткой прислонного типа (показан на плане); *1* — паз ремонтного затвора; *2* — всасывающая труба насоса; *3* — водоприемник; *4* — наклонная сороудерживающая решетка; *5* — аванкамера; *6* — подводящий канал

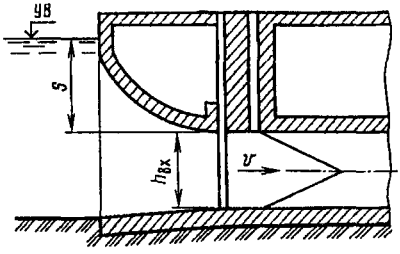


Рис. 3.4. Схема к определению заглубления входного отверстия водоприемника

Для подводящей трубы насоса минимальное заглубление верха входного отверстия отсчитывают от минимального уровня воды до верхней точки входного отверстия всасывающей трубы (см. рис. 3.4), которое принимают не менее 0,5 м.

При больших заглублениях рабочих колес вертикальных насосов целесообразно всасывающие трубы укладывать с подъемом от насоса в сторону водоприемника, при этом перед входом в насосы делают длинные конфузоры для выравнивания потока перед рабочим колесом [9].

Раздельную компоновку применяют обычно для зданий станций камерного и наземного типов с горизонтальными центробежными насосами (например, типа Д).

В зависимости от типа здания входной участок всасывающей трубы, расположенный в камере, может быть: вертикальным (входное отверстие находится в горизонтальной плоскости) или горизонтальным, а плоскость входного отверстия в этом случае вертикальна и совмещена с задней стенкой камеры. Ширину водоприемной камеры в данном случае принимают $b_{кам} = (1{,}5...2)D_{вх}$, но не менее 1 м при скоростях входа во всасывающую трубу $v_{вх} = 0{,}8...1$ м/с. Для горизонтальной всасывающей трубы с вертикальным входным отверстием ширину камеры в отдельных случаях можно уменьшить до $(1...1{,}25)D_{вх}$, так как всасывающая труба фактически находится вне камеры и не стесняет ее. Ширину водоприемной камеры согласовывают с рекомендуемыми размерами водопропускных отверстий.

Ширина и высота прямоугольных отверстий водопропускных сооружений, перекрываемых затворами

Ширина (пролет) отверстий, м	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5;
Высота отверстий, м	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,5; 3; 3,5; 4;

Продолжение

Ширина (пролет) отверстий, м	5,5; 6; 7; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 24; 30
Высота отверстий, м	4,5; 5; 5,5; 6; 7; 8; 9; 10; 12; 14; 16; 18; 20

За пролет отверстия принимают минимальный размер между боковыми вертикальными гранями, за высоту отверстия — размер от верхней грани порога до потолка донного отверстия и до верхней кромки обшивки затвора для поверхностного отверстия. При соот-

ветствующем обосновании допускается отступление от приведенных размеров.

Расстояние входного отверстия вертикальной всасывающей трубы от дна $h_1 = 0{,}8D_{вх}$. Заглубление верха входного отверстия под минимальный уровень $S = (0{,}8...1)D_{вх}$, но не менее 0,5 м (см. рис. 3.3). Длину водоприемной камеры назначают из условия размещения служебных мостиков, пазовых конструкций решеток и затворов, но не менее $3D_{вх}$ для вертикальных и $2D_{вх}$ для горизонтальных всасывающих труб. Вертикальную всасывающую трубу располагают у задней стенки камеры. Ширина водозаборного фронта $B_ф$ в этом случае определяется числом камер и быков, разделяющих камеры. Толщину быка принимают не менее 0,6...0,8 м.

Аналогично вертикальным всасывающим трубам камерного водоприемника могут быть расположены в мокрых камерах вертикальные осевые насосы типа ОВ моноблочного исполнения подачей до 1,5 м^3/с.

Водоприемники мелиоративных насосных станций необходимо оборудовать сороудерживающими решетками, устанавливаемыми в специальные пазы, и ремонтными затворами. Решетки можно располагать вертикально или наклонно, под углом 70...80° к горизонту. При установке решеток наклонно размеры водоприемника увеличиваются. Обычно так устанавливают решетки при малых амплитудах колебаний уровней воды в источнике для насосных станций малой и средней подачи. При установке сороудерживающих решеток вертикально пазы их иногда объединяют с пазами ремонтных затворов, что уменьшает размеры и стоимость сооружения. Для уменьшения высоты ремонтных затворов и решеток устраивают забральные стенки. Высоту водопропускного отверстия, перекрываемого затвором, согласовывают с размерами, приведенными выше (см. с. 66).

При большом количестве сора в водоисточнике решетки иногда делают выносными, располагая их перед оголовками быков. В этом случае целесообразно выносные решетки устанавливать наклонно к горизонту (70...80°) сплошным фронтом (см. рис. 3.2). Иногда выносные решетки образуют отдельное сороудерживающее сооружение (СУС).

Площадь сороудерживающей решетки определяют по допустимым скоростям течения воды при подходе к ней. При ручной очистке $v \le 0{,}5$ м/с, механической в слабозасоренном водотоке $v \le 1{,}2$ м/с, в сильнозасоренном $v \le 1$ м/с (в среднем 0,5...0,7 м/с).

На станциях в конце тупиковых каналов допустимые скорости снижают на 20 %.

Для механизированной очистки сороудерживающих решеток применяют специальные решеткоочистные машины. Для очистки наклонных решеток, установленных под углом 70...80° на глубине до 20 м, можно использовать решеткоочистные машины типа РН, которые передвигаются по рельсам вдоль водозаборного фронта.

Их применяют как для выносных решеток, установленных сплошным фронтом, так и для решеток, установленных в водоприемных камерах, в последнем случае ширина камеры должна соответствовать размеру ковша машины РН. Для очистки вертикальных сороудерживающих решеток предназначены решеткоочистные машины типов РТ и РВ.

Машина РТ — тельферного типа, может быть подвешена к козловому крану, обслуживающему водозаборное сооружение, или к монорельсу. Ширину водозаборной камеры согласовывают с размером ковша машины РТ 2; 2,5; 3 м [10].

Машина типа РВ передвигается вдоль фронта водозабора по рельсовым путям, как и машина РН. Характеристики и условия применения решеткоочистных машин приведены в главе 4 и в [10].

3.3. РАСШИРЯЮЩИЕСЯ АВАНКАМЕРЫ ВОДОЗАБОРОВ НА ТУПИКОВЫХ КАНАЛАХ

Расширяющаяся аванкамера должна обеспечить равномерный прямой подвод воды ко всем водоприемным отверстиям. Аванкамера — это расширяющийся в плане конус (с откосными стенками), сопрягающий подводящий канал (с шириной по дну b) и водоприемный оголовок с шириной водозаборного фронта $B_ф$. Согласно нормам проектирования аванкамеры устраивают короткими, с центральными углами конусности α в плане не менее 30...35°, чтобы не превращать их в отстойники наносов. Обычно дно водоприемника ниже дна подводящего канала, поэтому в вертикальной плоскости дно сопрягают на концевом участке аванкамеры с прямым уклоном 0,2 (см. рис. 3.2; 3.3). Характер течений в таких аванкамерах обычно неблагоприятный.

С одной стороны, при любых режимах работы насосной станции в аванкамере наблюдаются боковые водоворотные зоны — с обеих сторон транзитного потока. При наличии в воде наносов последние откладываются на откосах и в донной части аванкамеры. В отдельных случаях объем отложений может достигать 40 % объема аванкамеры.

С другой стороны, транзитный поток в короткой аванкамере не успевает достаточно расшириться по всему водозаборному фронту, поэтому наблюдают искривление струй потока перед фронтом, течения вдоль фронта и косой подход к водоприемным камерам, особенно к крайним. Из-за косого подхода в водоприемных камерах образуются вихревые воронки, зачастую с подсосом воздуха, увеличиваются потери напора, ухудшается структура потока на входе в насос. Все это отрицательно влияет на работу насосов, снижая их подачу и увеличивая нагрузки на подшипники. Особенно это отражается на крупных лопастных насосах (осевых, центробежных), установленных в зданиях блочного типа.

Длина аванкамеры, м,

$$L_a = (B_ф - b)/2\text{tg}\,{}^{\alpha}/_{2}, \qquad (3.10)$$

где $B_ф$ — ширина водозаборного фронта, м; b — ширина подводящего канала по дну, м.

Для обеспечения благоприятных условий растекания потока в расширяющейся аванкамере с горизонтальным дном ($i = 0$) и дном с прямым уклоном ($i > 0$) требуемая длина аванкамеры, м,

$$L_a \geq 4b_э(\gamma - 1), \qquad (3.11)$$

где $b_э$ — ширина прямоугольного поперечного сечения канала, эквивалентного трапецеидальному поперечному сечению подводящего канала, м,

$$b_э = b + mh, \qquad (3.12)$$

здесь m — коэффициент заложения откосов канала; h — расчетная глубина воды в канале при расходе канала, равном суммарной подаче всех установленных на станции насосов, то есть при работе водозаборного сооружения полным фронтом, м; γ — степень расширения потока, $\gamma = B_ф/b_э$.

Если фактическая длина аванкамеры меньше требуемой $L_a^ф < L_a$, то растекание потока в ней будет неблагоприятным (с образованием водоворотных зон), а подход потока к камерам — косым. Углы подхода потока δ к камерам не должны превышать 15...20° (угол подхода измеряют между осью камеры и направлением течения на входе в камеру). Эти углы можно определить при работе сооружения полным фронтом:

$$\delta_i = 2\theta_i - \varphi_i, \qquad (3.13)$$

где $\varphi_i = \text{arctg}\,[1{,}5(b_{тi} - b_i)/L_a]$, $\theta_i = \text{arctg}\,[3(B_i - b_{тi})/L_a]$; здесь B_i — расстояние между осями аванкамеры и рассматриваемой водоприемной камеры, м; $b_i = B_i/\gamma$; $b_{тi} = 2B_i b_т/B_ф$; $b_т = 0{,}5(1{,}4KL_a + b_э)$; $K = 0{,}1$ при $i = 0$, $K = 0{,}07$ при $i > 0$.

Чтобы улучшить растекание потока в аванкамере, сокращают ширину водозаборного фронта $B_ф$, а чтобы не допускать отложения наносов, сокращают и длину аванкамеры.

Уменьшать плановые размеры аванкамеры можно для насосных станций с раздельной компоновкой водозаборного сооружения, чего достигают, уменьшая ширину водозаборной камеры до минимально возможной при скорости входа во всасывающую трубу 0,8...1 м/с.

Для насосных станций с совмещенной компоновкой водозаборного сооружения — в основном это станции блочного типа и камерные с вертикальными насосами — уменьшить ширину водозаборного фронта практически невозможно.

Эффективное средство улучшения растекания потока в короткой расширяющейся аванкамере и уменьшения отложения наносов в ней — устройство дна аванкамеры с обратным уклоном [13].

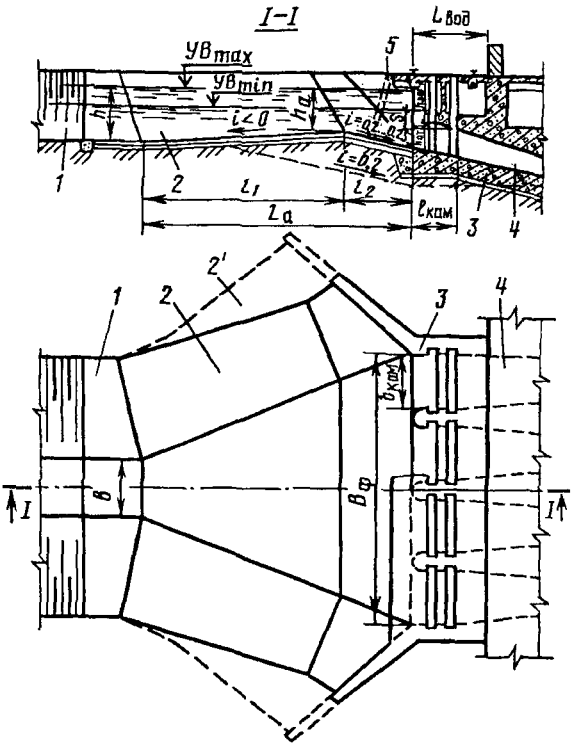


Рис. 3.5. Схема водозаборного сооружения насосной станции на тупиковом канале с аванкамерой с обратным уклоном дна ($i < 0$):

1 — подводящий канал; *2* — расширяющаяся аванкамера ($i < 0$); *2'* — аванкамера с прямым уклоном дна ($i > 0$); *3* — камерный водоприемник; *4* — подводящая труба насоса; *5* — выносная сороудерживающая решетка

Дно аванкамеры при этом будет выше дна канала на высоту порога $h_п$.

На условия растекания потока влияют степень расширения $\gamma = B_ф/b_э$; относительная высота порога аванкамеры $p = h_п/h$ (h — глубина воды в канале); длина участка с обратным уклоном L_1.

С учетом этого предлагают следующую методику расчета аванкамеры с обратным уклоном дна (предложена Н. Н. Накладовым, МГУП). Полная длина аванкамеры, м (рис. 3.5),

$$L_a = L_1 + L_2, \qquad (3.14)$$

где L_1 — длина участка с обратным уклоном $i_{обр}$, м; L_2 — длина участка, на котором дно аванкамеры сопрягают с дном водоприемной камеры, обычно уклон здесь прямой: $i = 0{,}2$ или $0{,}25$.

За расчетный режим принимают работу водозаборного сооружения полным фронтом. При известных размерах поперечного сечения подводящего канала b, m, h эквивалентную ширину канала $b_э$ вычисляют по формуле (3.12). Затем, зная ширину водозаборного фронта $B_ф$, находят глубину воды $h_а$ в конце участка аванкамеры с обратным уклоном дна, то есть на гребне дна аванкамеры. $h_а$ можно приближенно найти по формуле

$$h_а = (1{,}2...1{,}4)(hb_э/B_ф) \qquad (3.15)$$

или, допуская равенство гидравлических уклонов в подводящем канале (при равномерном движении) и в аванкамере, из уравнения

$$Ah_а^5 - h_а^2 - B_ф h_а = 0{,}25B_ф^2, \qquad (3.16)$$

где $A = B_ф^5 / (4\omega^3 R^2)$; здесь ω — площадь поперечного сечения подводящего канала, м, $\omega = bh + mh^2$; R — гидравлический радиус сечения, м.

Уравнение (3.16) проще всего решается методом последовательных приближений, обычно достаточно двух приближений:

первое $h'_а = (B_ф^2 / 4A)^{0,2}$;

второе $h''_а = [0{,}25B_ф^2 + B_ф h'_а + (h'_а)^2 / A]^{0,2}$.

Зная $h_а$, можно определить высоту порога аванкамеры $h_п = h - h_а$, а затем и относительную высоту порога $p = h_п/h$.

Длина участка аванкамеры с обратным уклоном дна, м,

$$L_1 = b_э\left[\frac{1{,}13(\gamma - 1) - \gamma p}{0{,}32 - 0{,}283p}\right]. \qquad (3.17)$$

Эта формула является аналитическим выражением зависимости, представленной в [13] на рисунке 39. Обратный уклон дна аванкамеры $i_{обр} = h_п/L_1$, но его не следует делать круче 0,1.

Длину участка L_2 назначают не более $(0{,}3...0{,}4)L_1$. Для облегчения сопряжения гребня дна аванкамеры с дном водозаборной камеры целесообразно дно последней устраивать с подъемом к аванкамере (см. рис. 3.5). В конце расчета находят общую длину аванкамеры $L_а$ по формуле (3.14), затем центральный угол конусности

$$\alpha = 2\text{arctg}\,[(B_ф - b)/2L].$$

Угол α не должен превышать 40...45°.

При устройстве обратного уклона дна проверяют, чтобы скорости течения на гребне дна аванкамеры при любых возможных уровнях воды в подводящем канале и режимах работы станции были не менее чем в 1,2...1,3 раза меньше скоростей течения в под-

водящем канале при соответствующем режиме. Нельзя допускать течение на гребне аванкамеры как через неподтопленный водослив.

Для улучшения условий входа потока в водоприемные камеры в отдельных случаях можно применить водоприемник с криволинейным фронтом, камеры которого разворачиваются в соответствии с углами подхода потока к ним. Углы подхода могут быть определены по формуле (3.13).

Способ конструирования криволинейного фронта детально изложен в [13]. Водоприемник с криволинейным фронтом может быть применен при раздельной компоновке здания и водозаборного сооружения, а иногда и при совмещенной их компоновке. Практически крайние водоприемные камеры не следует разворачивать более чем на 35°. Следует отметить, что конструкция сооружения при этом усложняется (см. [9], с. 307).

При степенях расширения $\gamma > 4...5$ возможен сбой течения в аванкамере даже при работе сооружения полным фронтом. Чтобы улучшить растекание потока в этом случае, можно применить направляющие стенки (см. [9], с. 309) или обратный уклон аванкамеры в комбинации с этими стенками.

Для тех же целей — улучшения растекания потока в аванкамере — можно устраивать поперечные стенки (см. [9], с. 310).

Если в подводящий канал из водоисточника поступает большое количество сора, то очистка сороудерживающих решеток (вертикальных или наклонных), расположенных в водоприемных камерах, затрудняется. В этих условиях целесообразно решетки из камер выносить в специальное сороудерживающее сооружение СУС, которое располагают в аванкамере так, чтобы глубина воды и ширина аванкамеры в месте расположения СУС обеспечивали допустимые скорости течения в решетках и требуемое качество очистки с помощью решеткоочистных машин. Решетки в СУС целесообразно устанавливать наклонно (под углом 75...80°) к горизонту, сплошным фронтом для облегчения их очистки, используя решеткоочистные машины типа РН (см. [9], с. 202).

Аванкамеру перед СУС выполняют либо с горизонтальным дном, либо с обратным уклоном дна при углах конусности не более 40...45°, чтобы обеспечить полное растекание потока по всему фронту сороудерживающих решеток и тем самым равномерное засорение решеток и благоприятные условия их очистки. Часто ширину фронта СУС принимают равной ширине водозаборного фронта $B_ф$. Длина участка аванкамеры за СУС определяется условиями сопряжения СУС с водоприемником как по вертикали с уклоном дна не более 0,2, так и в плане (см. [9], с. 310).

3.4. БОКОВЫЕ ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА ТРАНЗИТНЫХ КАНАЛАХ

Водозаборные сооружения на транзитных каналах располагают непосредственно на берегу канала. Они состоят в общем случае из ковша, сопрягающего канал с водоприемником, самого водоприемника, из которого вода забирается всасывающими трубами насосов. Эти водозаборные сооружения устраивают обычно для станций малой и средней подачи (рис. 3.6).

При подаче насоса до 0,1...0,2 м^3/с водозаборное сооружение может быть простейшего типа с расположением всасывающих труб на откосе канала. Расстояние между осями всасывающих труб принимают не менее $(3...4)D_{вх}$. Заглубление под минимальный уровень входного отверстия должно быть $1,5D_{вх}$, но не менее 0,5 м при скоростях входа во всасывающую трубу не более 0,6...0,8 м/с и скоростях в транзитном канале не более 1,2 м/с.

Для задержания мусора на входе во всасывающие трубы предусматривают решетки; чтобы уменьшить засоряемость решеток, целесообразно скорость во входном отверстии всасывающей трубы назначать меньше скорости в транзитном канале. Рекомендуют промывать решетки обратным током воды.

Входное отверстие всасывающей трубы устраивают в горизонтальной плоскости. Следует избегать заглубления дна транзитного канала в месте устройства сооружения.

Стеснение всасывающими трубами, служебными мостиками и направляющими конструкциями решеток поперечного сечения

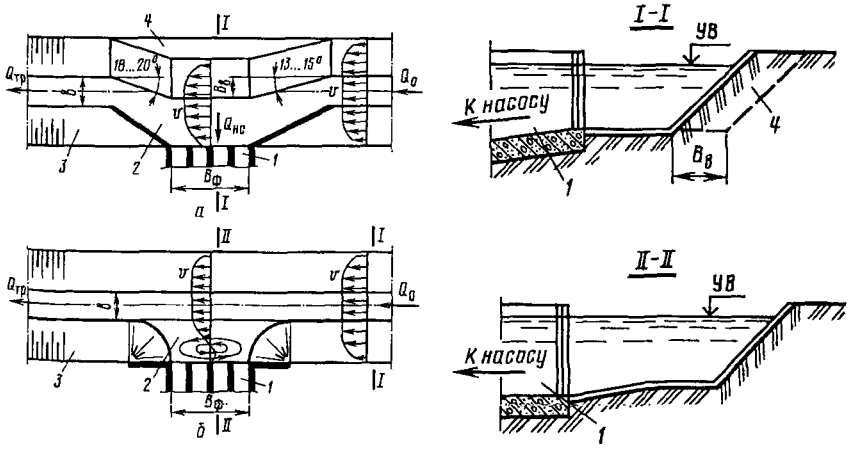


Рис. 3.6. Схема бокового водозаборного сооружения насосной станции с выступом (*а*) и без выступа (*б*):

1 — камерный водоприемник; *2* — ковш; *3* — транзитный канал; *4* — выступ

канала должно быть не более 5 %. В противном случае всасывающие трубы располагают в ковше-углублении, устраиваемом внутри берега канала. Размеры ковша должны быть минимальными.

При подаче насоса более 0,2 м^3/с устраивают водоприемники камерного типа (см. рис. 3.6).

При сопряжении камерных водоприемников с откосами канала образуются ковши, которые в условиях большой мутности воды интенсивно заиляются. Это нарушает подачу воды, а иногда она прекращается вообще. Наиболее тяжелый режим — отсутствие забора воды, когда не работают все насосы на станции. В этом случае ковш превращается в прорезь внутри берега канала. В ней при обтекании потоком верхового уступа возникает водоворотная зона, где и выпадают наносы (см. рис. 3.6, *б*). Чтобы снизить заиление бокового водозаборного сооружения, размеры ковша уменьшают. Для этого необходимо приблизить водоприемник к руслу канала. При скоростях течения в транзитном канале до 1,2 м/с ось водоприемника целесообразно ориентировать перпендикулярно к оси канала. При более высоких скоростях течения расположение водозабора может быть иным.

При таком расположении водоприемника имеет место косой подход потока к камерам, что вызывает образование вихрей в них. Чтобы не допускать вихреобразования в камерах, необходимо предусматривать устройства, выравнивающие поток на входе в камеры. Это могут быть обычные сороудерживающие решетки, изготовленные из плоских стержней, с отношением ширины стержня к просвету между стержнями около 1,3, но не менее 1. В этом случае размеры водоприемных камер и расположение всасывающих труб в них определяют так же, как и для водоприемников на тупиковых каналах.

Чтобы уменьшить заиление бокового водозаборного сооружения при водоотборе $Q_{нс}/Q_0 \geq (0{,}1...0{,}15)$ ($Q_{нс}$ — подача насосной станции, м^3/с; Q_0 — расход в транзитном канале выше водозабора, м^3/с), рекомендуют устраивать выступ у берега канала, противоположного водоприемнику (см. рис. 3.6, *а*). Ширина выступа, м,

$$B_в \geq (0{,}25...0{,}3)b_э,$$

где $b_э = b + mh$; b — ширина транзитного канала по дну, м; m — коэффициент заложения откоса канала; h — глубина воды в канале, м.

Выступ сохраняет примерно постоянной площадь поперечного сечения канала и, как следствие, не допускает уменьшение скоростей течения в канале у водозаборного сооружения и выпадение наносов. При этом происходит переход с трапецеидального поперечного сечения канала на сечение несимметричной формы в створе водоприемника. Одновременно с этим выступ создает искусственный поворот русла канала при расположении водозаборного сооружения на вогнутом берегу. В результате этого возникает попе-

речная циркуляция, под влиянием которой донные слои потока, наиболее насыщенные наносами, направляются к противоположному берегу и в меньшей степени принимают участие в питании водоприемника.

При устройстве сооружения рекомендуют:

принимать площадь поперечного сечения канала в створе водоприемника на 10...15 % больше площади канала выше сооружения;

назначать угол поворота оси транзитного канала перед сооружением не более 15°, а за ним — не более 20°;

осуществлять сопряжение боковых устоев водоприемника с откосами канала как ныряющими стенками, так и косыми плоскостями;

устанавливать на входе в камеры специальные затворы, чтобы не допускать отложения наносов в камерах при остановке насосов;

предусматривать крепление примыкающих к водоприемнику участков канала, включая выступ, чтобы не допускать их размыва.

Если дно водоприемной камеры оказывается ниже дна канала, то необходимо их сопрягать в пределах водоприемной камеры, придавая дну камеры уклон в сторону всасывающей трубы насоса.

При водоотборе $Q_{нс}/Q_0 \geq 0{,}2...0{,}25$ на транзитном канале ниже водозаборного сооружения устраивают подпорное сооружение, а при $Q_{нс}/Q_0 < 0{,}1$ ковш делают как можно меньше или вообще его не устраивают, допуская незначительное стеснение водоприемником русла канала. Если ковш все-таки необходим, то его плавно сопрягают с откосами канала — в верхней части углом 5...6°, а в нижней 10...11°. Кроме того, крепят участки канала, примыкающие к водоприемнику.

3.5. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1. РАСЧЕТ ПОДВОДЯЩЕГО КАНАЛА

Исходные данные. Насосная станция забирает воду из водохранилища. Вода к станции подается подводящим каналом длиной 80 м. Отметки уровней воды в водохранилище: минимальная — 27,00 м, максимальная — 30,00 м.

В голове канала находится рыбозащитное сооружение РЗС. Для связи с насосной станцией вдоль одного берега канала проложена дорога шириной 5 м, по другому берегу устроена берма шириной 1,5 м, превышающая максимальный уровень воды на 0,4 м, бермы канала горизонтальны. Уровни воды в канале и формы свободной поверхности определяются положением уровней воды в водохранилище и подачей насосной станции. Грунты, в которых проложен канал, — суглинки с плотностью 1900 кг/м^3, однородные, не содержат легкорастворимых солей, удельное сцепление грунта $c =$ = 17 кПа. Вода в водохранилище осветленная, однако наносы в

канал могут поступать в период волнообразования и переработки берега.

Расходы воды в канале и соответствующие им уровни воды в водохранилище приведены в таблице 3.6.

3.6. Уровни воды в водохранилище и расходы в канале

Периоды	Уровни воды за период, м	Расход канала (водоподача станции), $м^3/с$
10.04...20.05	27,0...30,0	2,1
21.05...20.06	30,0...28,0	4,2
21.06...20.08	28,0...27,5	6,3
21.08...10.09	27,5...27,0	4,2

Примечание. Коэффициент форсирования расхода $k_ф = 1,2$.

Порядок расчета. Характеристики поперечного сечения и уклон дна канала определяют по максимальному расходу $Q_{max} = 6,3$ $м^3/с$, что соответствует максимальной ординате графика водоподачи станции. Русло канала земляное. Принимают трапецеидальное поперечное сечение. Для расчета берут:

коэффициент заложения откоса $m = 1,5$ (см. табл. 3.5);

коэффициент шероховатости русла $n = 0,0225$ (см. с. 60);

относительную ширину канала по дну $\beta = 3$;

допустимую неразмывающую скорость для связных грунтов $v_р$ при коэффициенте условий работы $k_с = 1$, $c = 17$ кПа и глубине от 1 до 3 м: $v_р = 1,3...1,5$ м (см. табл. 3.1; 3.2), в данном случае $\rho = 1900$ $кг/м^3$, $k_с = 1$, поэтому значение скорости из таблицы нужно умножить на коэффициент, равный $\sqrt{(\rho-1000)/1650}\sqrt{k_с} = \sqrt{(1900-1000)/1650}\sqrt{1} = 0,74$,

$$v_р = (1,3...1,5)0,74 = (0,96...1,11) \text{ м/с}.$$

За расчетное принимают несколько меньшее значение скорости $v_{расч} = 0,9$ м/с с учетом пропуска форсированного расхода $Q_{форс}$.

Площадь живого сечения канала

$$\omega = Q_{max}/v_{расч} = 6,3/0,9 = 7 \text{ м}^2.$$

Ширина канала по дну предварительная

$$\omega = bh + mh^2 = h^2(\beta + m),$$

$$b = \beta h = \beta\sqrt{\omega/(\beta+m)} = 3\sqrt{7/(3+1,5)} = 3,74 \text{ м}.$$

Принимают $b = 4$ м.

Глубину воды в канале определяют, используя формулу $\omega = bh + mh^2$; $7 = 4h + 1,5h^2$, откуда

$$h=\frac{-4+\sqrt{4^2+4\cdot1,5\cdot7}}{2\cdot1,5}=1,2\text{ м}.$$

При этом относительная ширина канала по дну $\beta = b/h = 4/1,2 = 3,32$, что близко к рекомендуемой.

Смоченный периметр

$$\chi=b+2h\sqrt{1+m^2}=4+2\cdot1,2\sqrt{1+1,5^2}=8,33\text{ м}.$$

Гидравлический радиус $R = \omega/\chi = 7/8,33 = 0,84$ м.

Уклон дна канала находят по формуле $Q=\omega C\sqrt{Ri}$;

$$i = Q^2/(\omega^2C^2R) = 6,3^2/(7^2\cdot42,7^2\cdot0,84) = 0,00053,$$

где C — коэффициент Шези, $C = R^y/n = 0,84^{0,21}/0,0225 = 42,7$ м^{0,5}/с.

$$y=2,5\sqrt{n}-0,13-0,75\sqrt{R}(\sqrt{n}-0,1)=$$
$$=2,5\sqrt{0,0225}-0,13-0,75\sqrt{0,84}(\sqrt{0,0225}-0,1)=0,21.$$

Коэффициент Шези можно также определить и по гидравлическому справочнику.

Для того чтобы определить глубины воды h в подводящем канале при равномерном движении, но при других расходах: $Q = 2,1$ м^3/с, 4,2 м^3/с, $Q_{форс}$, нужно провести соответствующие гидравлические расчеты канала по формуле $Q=\omega C\sqrt{Ri}$ при известных данных: коэффициенте шероховатости $n = 0,0225$, ширине по дну $b = 4$ м, коэффициенте заложения откоса $m = 1,5$, уклоне дна $i = 0,00053$. Результаты расчетов приведены в таблице 3.7.

3.7. Результаты расчета канала

Период работы станции	Уровень воды в водохранилище $\downarrow$УВ, м	Q, м^3/с	h, м	h, факт
10.04...20.05	27,0...30,0	2,1	0,68	1,38...4,38
21.05...20,06	30,0...28,0	4,2	0,98	4,2...2,2
21.06...20.08	28,0...27,5	6,3	1,2	2,2...1,7
21.06...20.08	28,0...27,5	8,4*	1,38	2,2...1,7
21.08...10.09	27,5...27,0	4,2	0,98	1,7...1,2

* Форсированный фактический расход $Q'_{форс} = k_ф Q_{max} = 1,2\cdot6,3 = 7,56$ м^3/с.

Чтобы обеспечить забор необходимого количества воды в подводящий канал из водохранилища, назначают отметку дна канала в его голове. Превышение отметки уровня воды в водохранилище принято, как для бокового подтопленного водослива с широким

порогом с учетом потерь напора в рыбозаградителе. При равномерном движении воды в канале отметку дна в голове канала определяют как разность отметки минимального уровня воды в водохранилище за расчетный период и глубины воды в канале, соответствующей форсированному расходу (по графику водоподачи станции) при равномерном движении.

$$\text{дна канала} = \text{УВ}_{min} - h_{форс} - 0{,}06 = 27{,}0 - 1{,}38 - 0{,}06 = 25{,}56 \text{ м}.$$

Это сделано с запасом для того, чтобы иметь возможность обеспечить надежный забор воды из водохранилища в подводящий канал в любой период работы станции при минимальном уровне воды в водохранилище. Однако при этом в канале фактические глубины $h_ф$ будут больше расчетных практически во всех периодах, то есть движение воды будет неравномерным, с образованием кривых подпора, скорости течения будут меньше расчетных. Фактические глубины воды в канале $h_ф = \text{УВ} - \text{дна канала} - 0{,}06$.

Пример 2. РАСЧЕТ ВОДОЗАБОРНОГО СООРУЖЕНИЯ НА ТУПИКОВОМ ПОДВОДЯЩЕМ КАНАЛЕ

Исходные данные. Вода к насосной станции блочного типа поступает по открытому подводящему каналу трапецеидального поперечного сечения шириной по дну $b = 4$ м и коэффициентом заложения откосов $m = 1{,}5$.

На станции установлены четыре вертикальных центробежных насоса марки 80ВЦ-2,5/40 с подачей 2,1 м^3/с. Глубина воды в подводящем канале при $Q_{н.с} = 8{,}4$ м^3/с $h = 1{,}38$ м (при минимальном уровне воды в водохранилище). Отметка дна канала у водозаборного сооружения равна 25,52 м (уклон дна канала 0,00053, длина канала 80 м). Отметка минимального уровня воды в канале $\text{УВ}_{min} = 26{,}90$ м, максимального уровня воды $\text{УВ}_{max} = 30{,}00$ м. Отметка бермы канала с запасом 30,40 м.

Порядок расчета. Водоприемник водозаборного сооружения совмещают со зданием, так как на станции установлены вертикальные насосы (см. рис. 3.5; 5.3). Расстояние в осях между насосами $l_{ос} = 4{,}2$ м, поэтому ширина водоприемной камеры

$$b_{кам} = l_{ос} - b_б = 4{,}2 - 1{,}2 = 3{,}0 \text{ м},$$

где $b_б$ — толщина быка, с учетом пазов глубиной 0,3 м каждый принимают 1,2 м.

Ширина водозаборного фронта сооружения

$$B_ф = b_{кам} n + b_б(n - 1) = 3 \cdot 4 + 1{,}2 \cdot 3 = 15{,}6 \text{ м},$$

где n — число насосов на станции, $n = 4$.

Отметку верха водоприемника принимают равной отметке вер-

ха подземной части здания 31,15 м, а отметку дна водоприемной камеры — равной отметке низа всасывающей (подводящей) трубы основного насоса на станции 23,16 м, поэтому высота быка равна 31,15 – 23,16 = 7,99 м.

Заглубление входного отверстия всасывающей трубы должно быть не менее

$$s = 0{,}7 v_{вх} h_{вх}^{0,5} = 0{,}7 \cdot 0{,}56 \cdot 1{,}25^{0,5} = 0{,}44 \text{ м},$$

где $v_{вх}$ — средняя скорость во входном отверстии бетонной всасывающей трубы, м/с;

$$v_{вх} = Q/\omega_{вх} = Q/(b_{вх} h_{вх}) = 2{,}1/(3{,}0 \cdot 1{,}26) = 0{,}56 \text{ м/с},$$

где $h_{вх}$ — высота входного отверстия 0,85 м; $b_{вх}$ — ширина входного отверстия, в данном случае $b_{вх} = b_{кам} = 3$ м.

Фактическое заглубление входного отверстия

$$s = \text{УВ}_{min} - \text{дна камеры} - h_{вх} = 26{,}90 - 23{,}16 - 1{,}26 = 2{,}48 \text{ м},$$

что значительно больше минимально рекомендуемого 0,5 м.

Каждую водоприемную камеру оборудуют ремонтным затвором на входе во всасывающую трубу и грубой сороудерживающей решеткой. Размеры отверстия, перекрываемого затвором, определяют шириной водоприемной камеры 3 м и высотой входного отверстия всасывающей трубы

$$h_{вх} = 1{,}4 d_в = 1{,}4 \cdot 0{,}9 = 1{,}26 \text{ м}.$$

Принимают размеры отверстия $h_{вх} b_{вх} = 1{,}25 \cdot 3$ м.

Для установки ремонтного затвора в быках устраивают пазы глубиной 0,3 м и шириной 0,4 м. Грубую сороудерживающую решетку располагают вертикально в пазы. Решетку выполняют из полосовой стали шириной 80 мм, толщиной 6 мм, расстояние между стержнями принимают не более $0{,}03 D_{рк} = 0{,}03 \cdot 1000 = 30$ мм ($D_{рк}$ — диаметр рабочего колеса насоса 80ВЦ-2,5/40).

Размеры водоприемного отверстия, перекрываемого решеткой, $h_{отв} b_{кам} = 1{,}5 \cdot 3$ м. Площадь водоприемного отверстия $\omega_{отв} = 4{,}5$ м^2. Высота отверстия принята несколько больше, чем высота входного отверстия всасывающей трубы.

Требуемая площадь водоприемного отверстия

$$\omega_{отв} = 1{,}25 Q_н k / v_{отв} = 1{,}25 \cdot 2{,}1 \cdot 1{,}2 / 0{,}7 = 4{,}5 \text{ м}^2,$$

где $Q_н$ — расчетная подача насоса, 2,1 м^3/с; k — коэффициент, учитывающий стеснение отверстия стержнями решетки, принимают 1,2; $v_{отв}$ — скорость в отверстии при заборе воды из каналов и механической очистке решеток, не более 0,8...1 м/с, принимают 0,7 м/с.

Водоприемное отверстие сверху ограничивают вертикальной забральной стенкой. Заглубление верха водоприемного отверстия

(нижней кромки забральной стенки) под минимальный уровень воды принимают не менее 0,5 м. В данном случае

$$h_{заг} = \text{▽}УВ_{min} - \text{▽}дна\ камеры - h_{отв} = 26{,}90 - 23{,}51 - 1{,}50 = 1{,}89\ м.$$

Полученное значение заглубления целесообразно уменьшить до минимального 0,5 м, всасывающую трубу насоса и дно водоприемной камеры выполняют наклонными (см. рис. 3.5; с. 250 в [9]) — угол наклона дна к горизонту ≈14°. Это решение облегчит очистку решетки, уменьшит размеры водоприемника и аванкамеры.

Для очистки решетки используют навесную решеткоочистную машину типа РТ с размером ковша 2840 мм (для пролета отверстия 3 м) и минимальным шагом грабель ковша 50 мм [9]. Поэтому шаг стержней решетки принимают 50 мм. Ковш машины РТ перемещается вдоль решетки по специальным пазам, устраиваемым в быках перед пазами решетки на расстоянии 0,3 м, ширина паза 0,3 м, глубина 0,15 м.

Для подъема и опускания затворов и решеток используют козловой кран, перемещающийся вдоль водоприемника по рельсам. Решеткоочистную машину навешивают на этот кран.

Длина водоприемника $L_{вод}$ от оголовка быка до наружной грани стены здания станции

$$L_{вод} = l_{кам} + l_7 + l_8 = 3{,}05 + 0{,}35 + 1{,}0 = 4{,}4\ м,$$

где $l_{кам}$ — длина водоприемной камеры от оголовка быка до входного отверстия всасывающей (подводящей) трубы насоса, $l_{кам} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 = 0{,}75 + 0{,}3 + 0{,}3 + 0{,}4 + 0{,}9 + 0{,}4 = 3{,}05$ м; l_1 — длина закругленной части быка, $l_1 = 0{,}5b_6 + d = 0{,}5 \cdot 1{,}2 + 0{,}15 = 0{,}75$ м (d — ширина штрабы для установки одной ветви пазовых конструкций, принимаем 0,15 м, см. разд. 4.12) [9]; l_2 — ширина паза для машины РТ, $l_2 = 0{,}3$ м; l_3 — расстояние между пазами решеткоочистной машины и решетки, принимаем $l_3 = 0{,}3$ м; l_4 — ширина паза для сороудерживающей решетки, принимаем $l_4 = 0{,}4$ м; l_5 — расстояние между пазами решетки и ремонтного затвора, принимаем $l_5 = 2d + 0{,}1H_{ст} = 0{,}15 \cdot 2 + 0{,}1 \cdot 6 = 0{,}9$ м ($H_{ст}$ — статический напор на забральную стенку, м, $H_{ст} = 6$ м); l_6 — ширина паза ремонтного затвора, $l_6 = 0{,}4$ м; l_7 — расстояние от паза затвора до рельса козлового крана, определяется размерами козлового крана, принимаем не менее 0,35 м для средних станций и 0,6 м для крупных, в данном случае $l_7 = 0{,}35$ м; l_8 — расстояние от стены здания до рельса козлового крана, определяется размерами крана, для кранов грузоподъемностью до 15 т этот размер равен 1...1,2 м, принимаем $l_8 = 1$ м.

Расширяющуюся аванкамеру, сопрягающую тупиковый подводящий канал с водоприемником, рассматривают в двух вариантах.

Вариант 1. Аванкамера с горизонтальным дном (см. рис. 3.2). Дно аванкамеры горизонтально на первом участке длиной L_1 и имеет положительный уклон на втором участке длиной L_2. На втором участке сопрягаем дно подводящего канала (▽25,52 м) и горизонтальное дно водоприемной камеры (▽23,51 м). Полная длина аванкамеры, м,

$$L_a = L_1 + L_2,$$

где $L_2 = (\text{▽}дна\ канала - \text{▽}дна\ камеры)\ 5 = (25{,}52 - 23{,}51)\ 5 = 10{,}05$ м.

Принимаем центральный угол конусности аванкамеры $\alpha = 30°$ и находим полную длину аванкамеры

$$L_а = (B_ф - b)/2\text{tg}\,{}^{\alpha}/_{2} = (15{,}6 - 4)/2 \cdot 0{,}267 = 21{,}72 \text{ м},$$

где $B_ф$ — ширина водозаборного фронта, м; b — ширина подводящего канала по дну, м.

Тогда $L_2 = L_а - L_1 = 21{,}72 - 10{,}05 = 11{,}67$ м.

Для обеспечения благоприятных условий растекания потока в аванкамере с горизонтальным дном ее длина

$$L_а^{\text{треб}} = 4b_э(\gamma - 1) = 4 \cdot 6{,}07(2{,}57 - 1) = 38{,}12 \approx 38 \text{ м},$$

где $b_э$ — ширина прямоугольного сечения, эквивалентного трапецеидальному, м; $b_э = b + mh = 4 + 1{,}5 \cdot 1{,}38 = 6{,}07$ м; m — коэффициент заложения откоса подводящего канала; h — расчетная глубина в подводящем канале при минимальном уровне воды в водохранилище и работе всех насосов на станции, включая резервный, м; γ — степень расширения потока, $\gamma = B_ф/b_э = 15{,}6/6{,}07 = 2{,}57$.

Фактическая длина аванкамеры меньше требуемой, поэтому растекание потока будет неблагоприятным.

Определяем углы подхода потока к крайним водоприемным камерам (насосов № 1 и 4) δ_1 и δ_4:

$$\delta_1 = \delta_4 = 2\Theta_1 - \varphi_1 = 2 \cdot 21°15' - 4°10' = 38°20' \approx 38°,$$

где $\Theta_1 = \text{arctg}\,[3(B_1 - b_{т1})/L_а] = \text{arctg}\,[3(6{,}3 - 3{,}5)/21{,}72] = \text{arctg}\,0{,}387 = 21°15'$; $\varphi_1 = \text{arctg}\,[1{,}5(b_{т1} - b_1)/L_а] = \text{arctg}\,[1{,}5(3{,}5 - 2{,}45)/21{,}72] = \text{arctg}\,0{,}0725 = 4°10'$; B_1 — расстояние между осями аванкамеры и водоприемной камеры № 1, $B_1 = 6{,}3$ м; $b_{т1} = 2B_1b_т/B_ф = 2 \cdot 6{,}3 \cdot 4{,}33/15{,}6 = 3{,}5$ м, здесь $b_т = 0{,}5(1{,}4KL_а + b_э) = 0{,}5(1{,}4 \cdot 0{,}085 \cdot 21{,}72 + 6{,}07) = 4{,}33$ м ($K = 0{,}1$ при горизонтальном дне аванкамеры, $K = 0{,}07$ при положительном уклоне дна; принимаем среднее значение $K = 0{,}085$); $b_1 = B_1/\gamma = 6{,}3/2{,}57 = 2{,}45$ м.

Угол подхода к крайним водоприемным камерам насосов № 1 и 4 составил 38°, что превысило допустимое значение (15...20°). Поэтому рассматриваем другую конструкцию аванкамеры.

Вариант 2. Аванкамера с обратным уклоном дна. Полученное ранее значение заглубления входного отверстия подводящей трубы под минимальный уровень воды $h_{заг} = 1{,}89$ м уменьшаем до минимального 0,5 м следующим образом: подводящую трубу насоса и дно водоприемной камеры выполняем наклонными (см. рис. 3.5).

Определяем требуемую отметку дна в начале водоприемной камеры:

$$\downarrow \text{дна камеры} = \downarrow \text{УВ}_{\min} - h_{заг} - h_{отв} = 26{,}9 - 0{,}5 - 1{,}5 = 24{,}9 \text{ м}.$$

Вычисляем угол наклона к горизонту дна всасывающей трубы и водоприемной камеры

$$\beta = \text{arctg}\,c/(l_{кам} + a) = \text{arctg}\,1{,}39/(3{,}05 + 4{,}55) = \text{arctg}\,0{,}183 = 10°25',$$

где c — разность отметок дна в начале камеры и дна всасывающей трубы в конце камеры (у насоса), $c = 24{,}9 - 23{,}51 = 1{,}39$ м; $l_{кам}$ — длина водоприемной камеры, $l_{кам} = 3{,}05$ м; a — длина всасывающей (подводящей) трубы, $a = 4{,}55$ м.

Рассчитываем аванкамеру с обратным уклоном дна.
Требуемая длина аванкамеры

$$L_a = L_1 + L_2,$$

где L_1 — длина участка с обратным уклоном, м; L_2 — длина участка с прямым уклоном, м,

$$L_1 = b_э\{[1{,}13(\gamma - 1) - \gamma p]/[0{,}32 - 0{,}283p]\},$$

здесь $p = h_п/h = (h - h_a)/h = (1{,}38 - 0{,}7)/1{,}38 = 0{,}493$, где p — отиосительная высота порога аванкамеры с обратным уклоном дна; $h_п$ — высота порога аванкамеры, м; h — глубина воды в подводящем канале, м; h_a — глубина воды в конце участка с обратным уклоном, то есть на гребне дна, м. Приближенно

$$h_a = [(1{,}2...1{,}4)hb_э]/B_ф = [(1{,}2...1{,}4)1{,}38 \cdot 6{,}07]/15{,}6 = 0{,}64...0{,}75 \text{ м}.$$

Более точно глубину h_a находят из уравнения

$$Ah_a^5 - h_a^2 - B_ф h_a - 0{,}25B_ф^2 = 0,$$

где $A = B_ф^5/(4\omega^3 R^2) = 15{,}6^5/(4 \cdot 8{,}38^3 \cdot 0{,}93^2) = 453{,}7$, здесь ω — площадь живого сечения канала при расчетной глубине воды h, м^2: $\omega = bh + mh^2 = 4 \cdot 1{,}38 + 1{,}5 \cdot 1{,}38^2 = 8{,}38$ м^2; R — гидравлический радиус: $R = \omega/\chi = 8{,}38/8{,}98 = 0{,}93$ м,

где χ — смоченный периметр, м: $\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2} = 4 + 2 \cdot 1{,}38\sqrt{1+1{,}5^2} = 8{,}98$ м.

Решают приведенное уравнение подбором:
1-е приближение

$$h'_a = (0{,}25B_ф^2 / A)^{0{,}2} = (0{,}25 \cdot 15{,}6^2 / 453{,}7)^{0{,}2} = 0{,}67 \text{ м};$$

2-е приближение

$$h''_a = [(0{,}25B_ф^2 + B_ф h'_a + h'^2_a) / A]^{0{,}2} =$$

$$= [(0{,}25 \cdot 15{,}6^2 + 15{,}6 \cdot 0{,}67 + 0{,}67^2) / 453{,}7]^{0{,}2} = 0{,}69 \approx 0{,}7 \text{ м}.$$

Определив $h_a = 0{,}7$ м, вычисляют

$$L_1 = \{[1{,}13(2{,}57 - 1) - 2{,}57 \cdot 0{,}493]/(0{,}32 - 0{,}283 \cdot 0{,}493)\}6{,}07 = 17{,}1 \text{ м}.$$

Обратный уклон дна аванкамеры

$$i_{об} = (h - h_a)/L_1 = (1{,}38 - 0{,}7)/17{,}1 = 0{,}04.$$

Отметка дна аванкамеры в конце участка L_1 (гребень дна аванкамеры):

$$\text{▽ гребня дна} = \text{▽ дна канала} + i_{об}L_1 = 25{,}52 + 0{,}04 \cdot 17{,}1 = 26{,}2 \text{ м}.$$

Гребень дна аванкамеры с дном водоприемной камеры сопрягают участком длиной L_2 с прямым уклоном 1:4

$$L_2 = (\text{▽гребня} - \text{▽дна камеры})4 = (26{,}2 - 24{,}8)4 = 5{,}6 \text{ м}.$$

Полная длина аванкамеры

$$L_a = L_1 + L_2 = 17{,}1 + 5{,}6 = 22{,}7 \text{ м}.$$

Уточняют угол конусности аванкамеры

$$\alpha = 2\text{arctg}\,(B_ф - b)/2L_a = 2\text{arctg}\,(15{,}6 - 4)/2 \cdot 22{,}7 = \\ = 2\text{arctg}\,0{,}256 \approx 29^\circ.$$

Принято $\alpha = 30^\circ$.

Принимают коэффициент заложения откосов аванкамеры $m = 1{,}5$. Откосы аванкамеры и боковые устои водоприемника сопрягают обратными стенками, установленными под углом 45° к оси сооружения. Дно и откосы аванкамеры покрывают железобетонной облицовкой.

Пример 3. РАСЧЕТ ПОДВОДЯЩЕГО КАНАЛА

Исходные данные. Насосная станция забирает воду из магистрального канала (см. рис. 3.6), которую к водозаборному сооружению насосной станции (см. пример 4) подают по подводящему каналу длиной $L_{кан} = 100$ м. Вдоль левого берега канала прокладывают дорогу, по правому берегу устраивают берму шириной 1,5 м. Отметка максимального уровня воды в канале 22,5 м, минимального — 20,0 м, минимальная подача насосной станции $Q_{min} = 0{,}7$ м^3/с (работает 1 насос), максимальная $Q_{max} = 2{,}8$ м^3/с (работают 4 насоса), форсированная подача $Q_{форс} = 3{,}5$ м^3/с. Подводящий канал — саморегулирующийся, бермы его горизонтальны и превышают максимальный уровень воды в водохранилище на 0,4 м (отметка бермы 22,9 м).

Порядок расчета. Грунты, в которых проложен канал, аналогичны грунтам в примере 1, поэтому принимают допустимую неразмы-

вающую скорость $v_р = 0,9$ м/с, коэффициент заложения откосов $m = 1,5$, коэффициент шероховатости русла $n = 0,0225$. Поперечное сечение рассчитывают на расход $Q_{max} = 2,8$ м^3/с в порядке, аналогичном примеру 1.

1. Площадь поперечного сечения $\omega = 2,8/0,9 = 3,11$ м^2.

2. При относительной ширине канала по дну $\beta = 3$ ширина канала по дну $b = 2,5$ м, глубина $h = 0,83$ м.

3. Уклон дна канала $i = 0,0008$, при этом уклоне глубина воды в канале при форсированном расходе $Q_{форс} = 3,5$ м^3/с $h_{форс} = 0,93$ м (равномерное движение).

4. Отметка дна в голове подводящего канала (с запасом)

$$\text{дна канала} = \text{УВ}_{min} - h_{форс} - 0,1 = 20,0 - 0,93 - 0,1 = 18,97 \text{ м}.$$

5. Отметка дна в конце подводящего канала

$$\text{дна} = 18,97 - iL_{кан} = 18,97 - 0,0008 \cdot 120 = 18,87 \text{ м}.$$

Пример 4. РАСЧЕТ ВОДОЗАБОРНОГО СООРУЖЕНИЯ НА ТУПИКОВОМ ПОДВОДЯЩЕМ КАНАЛЕ

Исходные данные. Вода к насосной станции камерного типа поступает по открытому тупиковому подводящему каналу трапецеидального поперечного сечения шириной по дну $b = 2,5$ м и коэффициентом заложения откосов $m = 1,5$. На станции установлены пять горизонтальных центробежных насосов марки Д 3200-75 с подачей 0,7 м^3/с. Глубина воды в подводящем канале при форсированной подаче станции $Q_{форс} = 0,7 \cdot 5 = 3,5$ м^3/с $h = 0,93$ м (при минимальном уровне воды в водохранилище). Отметка дна канала у водозаборного сооружения равна 18,87 м (уклон канала 0,0008, длина канала 120 м). Отметка минимального уровня воды в канале 19,8 м, максимального — 22,5 м, бермы — 22,9 м, оси насоса —19,0 м (см. пример 3).

Здание насосной станции запроектировано в двух вариантах: с однорядным расположением насосных агрегатов (расстояние в осях между насосами $l_{ос} = 5$ м) и с двухрядным расположением (расстояние в осях между насосами 2,6 и 4,2 м) (см. главу 5, рис. 5.2). Насосы установлены с отрицательной высотой всасывания, отметка оси насосов 19,0 м. В данном случае для обоих вариантов компоновки здания возможны раздельная от здания и совмещенная с ним компоновки водозаборного сооружения. Водозаборное сооружение состоит из водоприемной части сооружения — водоприемника камерного типа и расширяющейся аванкамеры, сопрягающей подводящий канал с водоприемником (см. рис. 3.2; 3.3).

Порядок расчета. Определяют размеры входного отверстия всасывающей трубы насоса, ширину камеры и ширину водозаборного

фронта по каждому варианту. Диаметр входного отверстия всасывающей трубы находят по скорости входа $v_{вх} = 0{,}8...1$ м/с, $D_{вх} = 1$ м ($v_{вх} = 0{,}89$ м/с); плоскость входного отверстия вертикальна. Входное отверстие $D_{вх} = 1$ м со всасывающей трубой диаметром 0,8 м сопрягают сужающимся равносторонним конусом длиной $5(D_{вх} - D_{вс}) = 5(1...0{,}8) = 1$ м. Ширину камеры принимают $(1{,}5...2)D_{вх}$, но не менее 1 м.

При раздельной компоновке целесообразно принять $b_{кам} = 1{,}5D_{вх} = 1{,}5 \cdot 1 = 1{,}5$ м, толщину быка $b_б = 1$ м; эта толщина достаточна для устройства пазов глубиной 0,25 м и для установки ремонтных затворов; ширина водозаборного фронта для этого варианта

$$B_ф = b_{кам}n + b_б(n - 1) = 1{,}5 \cdot 5 + 1(5 - 1) = 11{,}5 \text{ м},$$

где $b_б$ — толщина быка, $b_б = 1$ м; n — число насосов.

Ширину камеры в данном случае можно уменьшить до $b_{кам} = D_{вх} = 1$ м, так как входное отверстие расположено в торцовой стенке камеры и всасывающая труба находится вне камеры; ширина водозаборного фронта

$$B_ф = 1 \cdot 5 + 1(5 - 1) = 9 \text{ м}.$$

При совмещенной компоновке ширина водозаборной камеры существенно не влияет на ширину водозаборного фронта, поэтому, приняв $b_{кам} = 2D_{вх} = 2$ м, вычисляют ширину водозаборного фронта по каждому варианту здания при расположении насосов:

однорядном

$$B_ф = b_{кам} + l_{ос}(n - 1) = 2 + 5(5 - 1) = 22{,}0 \text{ м};$$

двухрядном

$$B_ф = b_{кам}n + b_б \cdot 2 + b'_б \cdot 2 = 2 \cdot 5 + 1 \cdot 2 + 1{,}8 \cdot 2 = 15{,}6 \text{ м},$$

где $b'_б$ — толщина быка, $b'_б = 1{,}8$ м.

При двухрядном расположении насосов для обеспечения одинаковой ширины всех камер $b_{кам} = 2$ м, толщина быков, разделяющих камеры, различна.

В каждой камере на входе во всасывающую трубу предусматривают плоский ремонтный затвор, перекрывающий отверстие $b_{кам}D_{вх}$; для перемещения затвора в быках устраивают пазы шириной 0,4 м и глубиной 0,25 м. Для подъема затворов можно использовать кошку (таль) с ручным приводом и механизмом подъема и передвижения. Кошку передвигают по монорельсу, устанавливаемому на опорах вдоль водоприемника. Для задержания плавающего мусора на входе в водоприемник предусматривают грубую соро-

удерживающую решетку прислонного типа, которую устанавливают наклонно (под углом 75° к горизонту). Очищают решетку решеткоочистной машиной типа РН, которая перемещается по рельсам вдоль водоприемника (см. разд. 4.12). Для размещения решеткоочистной машины и пазов ремонтных затворов длина водоприемника

$$L_{вод} = l_{кам} + l_4 + l_5 + \delta_{ст} = 2{,}55 + 0{,}35 + 1{,}5 + 0{,}6 = 5{,}0 \text{ м},$$

где $l_{кам}$ — длина водоприемной камеры от оголовка быка до входного отверстия всасывающей трубы, $l_{кам} = l_1 + l_2 + l_3 = 1{,}8 + 0{,}35 + 0{,}4 = 2{,}55$ м (l_1 — расстояние, необходимое для проезда решеткоочистной машины РН-2000, равно 1,8 м; l_2 — расстояние между пазом затвора и рельсом РОМ, принимают 0,35 м; l_3 — ширина паза ремонтного затвора, $l_3 = 0{,}4$ м); l_4 — расстояние между пазом затвора и стенкой камеры, равно 0,35 м; l_5 — расстояние, необходимое для установки решетки прислонного типа под углом 75° к горизонту,

$$l_5 = h_{кам}\text{ctg } 75° = 5{,}63 \cdot 0{,}267 = 1{,}5 \text{ м},$$

здесь $h_{кам}$ — глубина водоприемной камеры, $h_{кам} = 5{,}63$ м; $\delta_{ст}$ — толщина стенки водоприемника, $\delta_{ст} = 0{,}6$ м.

Входное отверстие всасывающей трубы заглубляют под минимальный уровень воды на величину не менее

$$s = 0{,}7 v_{вх} D_{вх}^{0,5} = 0{,}7 \cdot 0{,}89 \cdot 1^{0,5} = 0{,}62 \text{ м},$$

где $v_{вх}$ — скорость во входном отверстии всасывающей трубы, $v_{вх} = 0{,}89$ м/с; $D_{вх}$ — диаметр входного отверстия всасывающей трубы, $D_{вх} = 1{,}0$ м.

Рекомендуют принимать s не менее 0,5 м. Фактическое заглубление входного отверстия (верхней кромки)

$$s = \text{УВ}_{min} - \text{верхней кромки} = 19{,}8 - 18{,}87 = 0{,}99 \text{ м}.$$

Отметку верха водоприемника принимают равной отметке верха подземной части здания станции 23,5 м. Отметка дна водоприемной камеры 17,87 м.

Для уменьшения высоты решетки дно водозаборной камеры выполняют с прямым уклоном 1:5. В этом случае отметка дна камеры на входе в нее будет 18,27 м.

Проектирование расширяющейся аванкамеры. За расчетный режим принимают $Q_ф = 3{,}5$ м^3/с, глубину воды в канале $h = 0{,}93$ м.

1. Определяют требуемую длину аванкамеры с горизонтальным дном для различных значений $B_ф$:

$$L_a = L_1 + L_2 = 4b_э(\gamma - 1) + L_2,$$

где L_1 — длина участка с обратным уклоном; L_2 — длина участка аванкамеры с наклонным дном (уклон 1:5):

$$L_2 = (\text{дна канала} - \text{дна камеры})5 = (18{,}87 - 18{,}27)5 = 3 \text{ м};$$

$b_э$ — средняя ширина канала:

$$b_э = b + mh = 2{,}5 + 1{,}5 \cdot 0{,}93 = 3{,}9 \text{ м};$$

γ — степень расширения потока;

при $B_ф = 11{,}5$ м (раздельная компоновка, $b_{кам} = 1{,}5$ м)

$$\gamma = 11{,}5/3{,}9 = 2{,}95.$$

$$L_a = 4 \cdot 3{,}9(2{,}95 - 1) + 3 = 33{,}42 \text{ м}.$$

Центральный угол конусности аванкамеры

$$\alpha = 2\text{arctg}\,[(B_ф - b)/2L_a] = 2\text{arctg}\,[(11{,}5 - 2{,}5)/2 \cdot 33{,}42] = 15°20';$$

при $B_ф = 9$ м (раздельная компоновка, $b_{кам} = 1$ м)

$$\gamma = 9/3{,}9 = 2{,}31,$$

$$L_a = 4 \cdot 3{,}9(2{,}31 - 1) + 3 = 23{,}44 \text{ м};$$

при $B_ф = 22$ м (совмещенная компоновка, однорядное расположение насосов)

$$\gamma = 22/3{,}9 = 5{,}64.$$

Степень расширения аванкамеры $\gamma > 5$, поэтому в ней возможен сбой течения, для предотвращения которого устанавливают продольные направляющие стенки. Однако растекание потока неудовлетворительно:

при $B_ф = 15{,}6$ м (совмещенная компоновка, двухрядное расположение насосов)

$$\gamma = 15{,}6/3{,}9 = 4.$$

Степень расширения также большая, и есть опасность возникновения сбойного течения, особенно при несимметричных режимах работы сооружения — одновременная работа трех или четырех насосов на станции.

Анализируя рассмотренные варианты компоновки, делают вывод, что раздельная компоновка водоприемника и здания станции позволяет назначить минимально возможные размеры водозаборного сооружения — как водоприемника, так и аванкамеры, а это, в свою очередь, улучшит подход потока к водоприемным отверстиям и снизит стоимость сооружения.

Окончательно принимают раздельную компоновку водозаборного сооружения, а ширину камеры принимают $b_{кам} = 1{,}25D_{вх} = 1{,}25$ м; ширина водозаборного фронта $B_ф = 5 \cdot 1{,}25 + 1(5 - 1) = 10{,}25$ м, степень расширения потока $\gamma = 10{,}25/3{,}9 = 2{,}63$.

Если принять горизонтальное дно аванкамеры, то ее длина, необходимая для обеспечения благоприятного растекания потока, $L_a = L_1 + L_2 = 4 \cdot 3{,}9(2{,}63 - 1) + 3 = 28{,}43$ м. Центральный угол ко-

нусности $\alpha \approx 15...16°$. Это очень длинная аванкамера, поэтому целесообразно ее укоротить. Чтобы при этом сохранить благоприятный гидравлический режим, дно аванкамеры выполняют с обратным уклоном. В этом случае порядок расчета аналогичен примеру 2.

1. Вычисляют приближенно глубину воды в конце участка с обратным уклоном

$$h_а = [(1,2...1,4)hb_э]/B_ф = [(1,2...1,4)0,93 \cdot 3,9]/10,25 = 0,42...0,5 \text{ м}.$$

Принимают $h_а = 0,5$ м.

2. Определяют длину участка аванкамеры

$$L_1 = \left[\frac{1,13(\gamma-1)-\gamma p}{0,32-0,283p}\right]b_э = \left[\frac{1,13(2,63-1)-2,63\cdot 0,462}{0,32-0,283\cdot 0,462}\right]3,9 = 12,7 \text{ м},$$

где $p = (h - h_а)/h = (0,93 - 0,5)/0,93 = 0,462$.

Общая длина аванкамеры

$$L_а = L_1 + L_2 = 12,7 + (3 + 0,5 \cdot 5) = 18,2 \text{ м}.$$

При длине аванкамеры 18,2 м угол конусности

$$\alpha = 2\text{arctg}\,[(B_ф - b)/2L_а] = 2\text{arctg}\,[(10,25 - 2,5)/2 \cdot 18,2] = 24°.$$

Принимают $\alpha = 30°$, тогда длина аванкамеры

$$L_а = (B_ф - b)/2\text{tg}\,{}^{\alpha}/_{2} = (10,25 - 2,5)/2 \cdot 0,267 = 14,5 \text{ м}.$$

Обратный уклон дна аванкамеры

$$i_{об} = (h - h_а)/L_1 = (0,93 - 0,5)/9 = 0,048,$$

где $L_1 = L_а - L_2 = 14,5 - 5,5 = 9$ м.

Отметка дна аванкамеры в конце участка

$$\downarrow \text{дна} = \downarrow \text{дна канала} + 0,43 = 18,87 + 0,43 = 19,3 \text{ м}.$$

В короткой аванкамере поток не будет в достаточной степени расширяться, поэтому требуется проверка условий подхода к водозаборным камерам. Не проводя этих расчетов, отметим, что в данном случае условия входа в водозаборные камеры будут улучшены, так как в водоприемнике использована выносная сороудерживающая решетка, установленная перед оголовками быков, которая выравнивает поток, уменьшает возможность возникновения вихревых воронок в камерах.

Боковые устои водоприемника сопрягаются с откосами аванкамеры обратными стенками, установленными под углом 45° к оси сооружения. Дно и откосы аванкамеры покрывают железобетонной облицовкой.

Глава 4

ОСНОВНОЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

●

4.1. СОСТАВ И НАЗНАЧЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

В зависимости от назначения оборудование насосных станций подразделяют на основное и вспомогательное.

К основному оборудованию относят главные насосы и электродвигатели, а также трубопроводную арматуру, устанавливаемую на всасывающих и напорных линиях, по которым транспортируется вода. Основное оборудование непосредственно осуществляет подачу воды по заданному графику из источника к потребителю. Выбор его — один из самых ответственных этапов проектирования, так как определяет компоновку узла и тип здания насосной станции, надежность и эффективность работы всего сооружения.

Для нормальной работы основного оборудования насосной станции предусматривают и вспомогательное оборудование, которое в общем случае обеспечивает:

заполнение водой корпусов насосов и всасывающих трубопроводов, установленных выше уровня нижнего бьефа (вакуум-система);

подачу воды для смазки и охлаждения подшипников, масляных ванн, воздухо- и маслоохладителей (система технического водоснабжения);

подачу масла в масляные ванны, подшипники и систему регулирования агрегата (система маслоснабжения);

подачу сжатого воздуха для торможения электродвигателей, в систему регулирования, для привода специального инструмента, для обдувки секций электрооборудования, для поддерживания майн перед затворами гидротехнических сооружений, для отжатия воды из всасывающих труб уникальных насосов при их пуске и т. д. (система снабжения сжатым воздухом);

монтаж и демонтаж оборудования, установку и подъем сороудерживающих решеток и затворов, очистку решеток, подъемно-транспортное обслуживание (механическое оборудование);

собственные нужды станции (хозяйственно-питьевое водоснабжение, канализация, отопление и вентиляция, противопожарная система, дренажная и осушительная системы).

Состав вспомогательного оборудования зависит от назначения насосной станции, природных условий, типоразмера основного оборудования, типа здания насосной станции и степени автоматизации технологических процессов.

Ниже рассмотрены рекомендации по выбору как основного, так и вспомогательного оборудования станций, а также необходимые для этого методики расчета.

Материалы по выбору трубопроводной арматуры приведены в главе 6.

4.2. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ДОПУСТИМЫЕ ОТМЕТКИ УСТАНОВКИ НАСОСОВ

Основные параметры: подача насоса Q, м^3/с, м^3/ч, л/с; напор насоса H, м; мощность насоса (потребляемая) N, кВт; коэффициент полезного действия насоса (отношение полезной мощности насоса к потребляемой)

$$\eta = \rho g Q H / 1000 N, \qquad (4.1)$$

где ρ — плотность жидкости, кг/м^3; g — ускорение свободного падения, м/с^2; Q — подача насоса, м^3/с.

Для воды

$$\eta = 9{,}81 Q H / N; \qquad (4.2)$$

электроэнергия, потребляемая насосной установкой, кВт·ч,

$$Э = HW / 367 \eta_{н.у}, \qquad (4.3)$$

где W — объем перекачиваемой воды за время работы насосной установки, м^3; $\eta_{н.у}$ — произведение коэффициентов полезного действия насоса, электродвигателя, силовых трансформаторов и кабелей, узла передачи мощностей от двигателя к насосу, $\eta_{н.у} = \eta\eta_{дв}\eta_{с}\eta_{пер}$, обычно $\eta_{с} = 0{,}96...0{,}98$, $\eta_{пер} = 1$;

мощность электродвигателя, кВт,

$$N_{дв} \geq K_{зап} N, \qquad (4.4)$$

где $K_{зап}$ — коэффициент запаса мощности, зависящий от мощности двигателя:

Мощность электродвигателя $N_{дв}$, кВт	2...5	5...10	10...50	50...350	> 350
Коэффициент запаса $K_{зап}$	1,5...1,3	1,3...1,15	1,15...1,1	1,1...1,05	1,05

частота вращения вала насоса, электродвигателя n, мин$^{-1}$, с$^{-1}$; коэффициент быстроходности насоса

$$n_s = 3{,}65 n \sqrt{Q} / H^{3/4}. \qquad (4.5)$$

Значения n, мин$^{-1}$, Q, м^3/с, H, м, принимают при КПД насоса $\eta = \eta_{max}$, причем для насосов с двусторонним входом жидкости в рабочее колесо (насосы типа Д) в формулу (4.5) подставляют половину подачи насоса, а для многоступенчатых насосов — напор, приходящийся на одну ступень;

допустимый кавитационный запас — минимально допустимое превышение полной удельной энергии жидкости перед насосом над упругостью насыщенных паров жидкости

$$\Delta h_{доп} = p_{в.доп} / \rho g + v_в^2 / 2g - H_{п.ж}, \qquad (4.6)$$

где $p_{в.доп}$ — минимально допустимое абсолютное давление жидкости во всасывающем трубопроводе перед насосом, Н/м^2; $v_в$ — скорость жидкости в том же сечении всасывающего трубопровода, м/с, обычно $v_в$ = 1...1,5 м/с; $H_{п.ж}$ — упругость насыщенных паров жидкости (воды), м, в зависимости от ее температуры:

Температура воды, °С	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Упругость насыщенных паров, м	0,06	0,12	0,24	0,43	0,75	1,26	2,03	3,18	4,82

Допустимый кавитационный запас вновь проектируемых насосов при отсутствии соответствующих характеристик можно вычислить по формуле С. С. Руднева

$$\Delta h_{доп} = 10A(n\sqrt{Q} / C_{кр})^{4/3}, \qquad (4.7)$$

где A — коэффициент запаса (более точное определение величины A дано в главе 10), A = 1,1...1,5; n — частота вращения, мин$^{-1}$; Q — подача насоса, м^3/с; $C_{кр}$ — постоянная, которая зависит от коэффициента быстроходности насоса n_s:

$C_{кр}$	600...750	800	800...1000	1000...1200
n_s	50...70	70...80	80...150	150...250

геометрическая высота всасывания насоса $h_в$, м, — расстояние по вертикали в зависимости от типа насоса до уровня воды в источнике от отметок:

оси горизонтального центробежного насоса;

верхней отметки лопасти рабочего колеса горизонтального осевого насоса;

отметки горизонтальных осей вращения лопастей относительно втулочной части вертикального осевого насоса;

оси напорного патрубка вертикального центробежного насоса (в ряде случаев $h_в$ определяют по другим отметкам, которые указаны в документации, прилагаемой к насосу).

Если указанные отметки насоса будут расположены выше уровня воды в источнике, то высоту всасывания у насоса считают положительной, если ниже — отрицательной. Допустимая геометрическая высота всасывания, м,

$$h_{в.доп} = H_а - H_{п.ж} - \Delta h_{доп} - h_{Sв}, \qquad (4.8)$$

где $H_а$ — напор воды, соответствующий атмосферному давлению, м, в зависимости от расположения источника над уровнем моря; $h_{\Sigma в}$ — потери напора во всасывающей линии насоса, м, $h_{\Sigma в} = h_м + h_д$ ($h_м$ — местные потери, м, $h_д$ — потери на трение по длине трубопровода, м).

Высота над уровнем моря, м	0	200	400	600	800	1000	1500	2000	3000
$H_а$, м	10,3	10,1	9,8	9,6	9,4	9,2	8,6	8,1	7,2

У вертикальных насосов, предназначенных для крупных и средних станций (здания камерного и блочного типов), потери $h_{\Sigma в}$ уже учтены в кавитационных характеристиках. Тогда

$$h_{в.доп} = H_а - H_{п.ж} - \Delta h_{доп}; \qquad (4.9)$$

допустимая отметка установки насоса, м,

$$\downarrow УН_{доп} = \downarrow УВИ_{min} + h_{в.доп} - h_{сус}, \qquad (4.10)$$

где $\downarrow УВИ_{min}$ — минимальный уровень воды в источнике; $h_{сус}$ — потери напора в сороудерживающем устройстве, м.

Если насосная станция имеет длинный подводящий канал, то необходимо учитывать наличие уклона поверхности воды в канале, то есть

$$\downarrow УН_{доп} = \downarrow УВИ_{min} + h_{в.доп} - h_{сус} - iL_{п.к}, \qquad (4.11)$$

где i — уклон дна канала; $L_{п.к}$ — длина подводящего канала, м (см. рис. 1.3).

Насос работает нормально, если отметка его установки $\downarrow УН$ соответствует отметке, рассчитанной по формулам (4.10) и (4.11), либо находится ниже этой отметки, то есть $\downarrow УН \le \downarrow УН_{доп}$. Значение $\downarrow УВИ_{min}$ принимают для минимального уровня воды в источнике в период работы насосной станции.

4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО НАПОРА НАСОСА

Расчетный напор насоса, м,

$$H_р = H_{г.ср} + h_д + h_м, \qquad (4.12)$$

где $H_{г.ср}$ — средневзвешенная геодезическая высота подъема, м; $h_д$ — потери напора на трение по длине всасывающего и напорного трубопроводов, м; $h_м$ — сумма потерь напора на местные сопротивления, м.

При проектировании насосных станций, как правило, определяют три расчетных напора: максимальный расчетный $H_{р.max}$, средневзвешенный расчетный $H_р$ и минимальный расчетный $H_{р.min}$. Максимальный напор необходим для проверки возможности реализации заданной подачи насосной станции, средневзвешенный — для расчета потребления электроэнергии и минималь-

ный — для определения отметки установки насосов. Этим напорам соответствуют минимальная $Q_{\text{р.min}}$, расчетная $Q_{\text{р}}$ и максимальная расчетная $Q_{\text{р.max}}$ подачи насоса.

Средневзвешенную геодезическую высоту подъема находят исходя из условия равенства работы, затрачиваемой на подъем всей воды при этом напоре за год, и работы, необходимой для подъема воды по периодам графика водоподачи при переменных условиях, м,

$$H_{\text{г.ср}} = \text{S}\, Q_i H_{\text{г.}i} t_i / \text{S}\, Q_i t_i, \qquad (4.13)$$

где Q_i и $H_{\text{г.}i}$ — подача, м^3/с, и геодезическая высота подъема воды, м, насосной станцией по периодам t_i, принимаемые по графикам водоподачи и отметкам уровней воды в верхнем и нижнем бьефах; $i = 1, 2, 3...$ — порядковый номер периода, в котором $Q_i = \text{const}$.

Если водоисточником (нижний бьеф) служит река или водохранилище, то средневзвешенную геодезическую высоту подъема насосных станций определяют по колебанию уровней в них, соответствующих режиму среднего гидрологического года (обеспеченность 50 %). Если водоисточник — канал (станция перекачки), то отметки уровня воды в нем рассчитывают по глубине наполнения канала в зависимости от протекающего расхода воды.

Верхним бьефом оросительных станций может быть водохранилище или отводящий канал. Отметки уровня воды в водохранилище вычисляют по режиму его работы (графики наполнения и разбора воды с учетом потерь на испарение и фильтрацию). Уровни воды в отводящем канале определяются глубинами наполнения, которые зависят от расхода по кривой $h = f(Q)$. Оросительные зональные насосные станции (станции перекачки), имея подводящий от водоисточника и отводящий магистральный каналы одинакового сечения, при небольшой длине каналов будут иметь практически постоянные геодезические высоты подъема независимо от подачи насосной станции. Если же сечения этих каналов по геодезическим условиям различны, то, определив в них уровни указанным выше способом, за расчетную средневзвешенную геодезическую высоту подъема принимают полусумму минимальной и максимальной геодезических высот подъема воды. При малом колебании уровней воды (до 2 м) допускается $H_{\text{г.ср}}$ определять как полусумму максимальной и минимальной геодезических высот подъема.

Аналогичным способом можно найти геодезические высоты подъема и в отдельные периоды работы насосной станции.

Верхним бьефом осушительных насосных станций чаще всего служит река. Колебания уровней зависят от ее гидрологического режима, который при определении $H_{\text{р}}$ принимают по среднему гидрологическому году. Колебания уровней в нижнем бьефе у осушительных насосных станций зависят от режима работы осушительной системы и поверхностного стока воды.

Различают три режима работы осушительной системы:

насосная станция обеспечивает откачку воды без подтопления осушаемой территории выше установленной максимальной отметки в подводящем к ней воду канале, колебания уровней в котором определяют режим нижнего бьефа станции;

то же, но перед насосной станцией имеется регулирующий бассейн; колебания уровней в нижнем бьефе устанавливаются режимом наполнения и сработки регулирующего бассейна, увязанного с подачей насосной станции;

допускается затопление осушаемой территории паводковыми водами; колебание уровней в нижнем бьефе зависит от площади и рельефа затопляемой территории, допустимой длительности затопления и подачи насосной станции.

При проектировании осушительной системы, чтобы определить средневзвешенную высоту подъема и выбрать оборудование, необходимо рассчитать графики колебания уровней и притока воды в нижнем бьефе станции для периода ее работы. Отметки нижнего бьефа осушительных насосных станций, перекачивающих грунтовые воды, определяются уровнем воды, зависящим от забираемого расхода воды и удельного дебита.

Дренажные станции могут иметь в нижнем бьефе каналы (открытые дрены), колодцы, к которым вода подводится закрытыми дренами, дренажные колодцы или скважины при глубоком дренаже. При глубоком дренаже территории и большом расстоянии между скважинами вода от скважинных насосов отводится трубопрово-

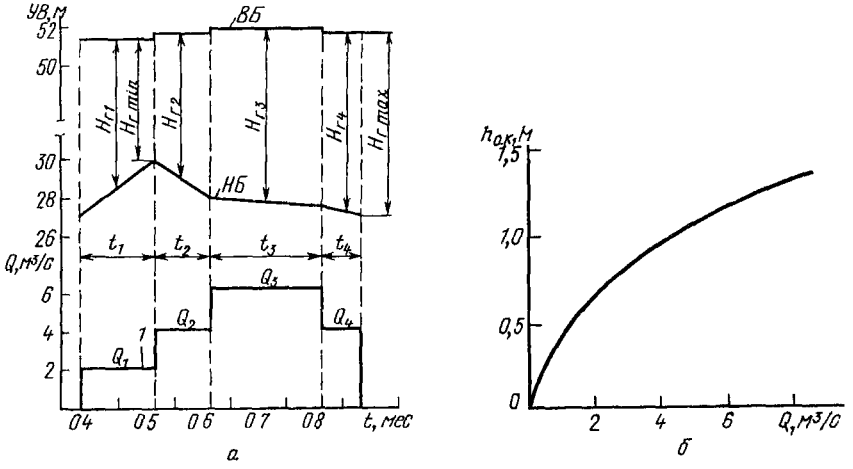


Рис. 4.1. Совмещенный графнк колебаний (*а*) и зависимость глубины воды в отводящем канале $h_{о.к}$ от пропускаемого через него расхода воды Q (*б*):

НБ — уровень воды в источнике; ВБ — то же, в отводящем канале (водоприемнике); *1* — подачи насосной станции Q_i

дами различной длины к сборным коллекторам-водоприемникам, которую можно использовать для орошения.

В качестве примера для определения $H_{г.ср}$ рассмотрим оросительную насосную станцию, подающую воду из водохранилища в отводящий (магистральный) канал. Исходные данные для проектирования этой насосной станции приведены на рисунках 1.1 и 1.2, а расчет отводящего канала — в разделе 2.6. Совместные графики изменения подачи насосной станции Q_i и уровней воды в верхнем (ВБ) и нижнем бьефах (НБ) показаны на рисунке 4.1, *а*. Отметки уровней воды верхнего бьефа (отводящего канала) определяются отметкой дна и глубиной наполнения канала $h_{о.к}$ в зависимости от пропускаемого через него расхода Q (рис. 4. 1, *б*). Потерями напора в подводящем канале и СУС пренебрегаем.

Расчет средневзвешенной геодезической высоты подъема $H_{г.ср}$ ведем в табличной форме (табл. 4.1).

4.1. Расчет средневзвешенной геодезической высоты подъема

Период работы насосной станции, i	Число суток в периоде t_i	Подача насосной станции Q_i, м^3/с	Средние отметки уровней воды, м		Геодезическая высота подъема $H_{г.i}$, м	$Q_i H_{г.i} t_i$	$Q_i t_i$
			в верхнем бьефе	в нижнем бьефе			
11.04...20.05	40	2,1	51,5	28,5	23	1932	84
21.05...20.06	31	4,2	51,8	29	22,8	2969	130,2
21.06...20.08	61	6,3	52	27,75	24,25	9319	384,3
21.08...10.09	21	4,2	51,5	27,25	24,25	2139	88,2
	Σ=153	—	—	—	—	Σ=16359	Σ=686,7

При более сложных характерах изменения уровней воды в бьефах для получения более точных результатов число периодов t_i увеличивают.

Средневзвешенная геодезическая высота подъема из условия равенства работ

$$H_{г.ср} = \Sigma\, Q_i H_{г.\,i} t_i / \Sigma\, Q_i t_i = 16359/686{,}7 = 23{,}8 \text{ м}. \qquad (4.14)$$

Расчетный напор для подбора насоса можно получить, если известны потери напора по длине трубопровода и местные потери. Так как в момент подбора насоса насосная станция и трубопроводы, как правило, еще не запроектированы, то нельзя определить потери. Поэтому потерями можно задаться предварительно, используя опыт проектирования. После составления проекта гидротехнического узла сооружений напор насоса находят более точно. Его и указывают в заказе заводу на поставку оборудования.

Для предварительных расчетов на первом этапе проектирования, когда не выбраны еще основные агрегаты и не запроектированы водоводы, местные потери напора $h_м$ обычно принимают

0,7...1,2 м при использовании осевых насосов и 1...1,5 м — центробежных.

Для насосных станций водоснабжения эти потери увеличивают на 25...30 %. Предварительные потери на трение жидкости по длине трубопроводов

$$h_д = iL_{н.тр}, \qquad (4.15)$$

где i — удельное сопротивление по длине трубопровода, м/км, зависящее от максимальной подачи насосной станции:

Максимальная подача насосной станции, $м^3/с$	До 3	3...10	Более 10
i на 1 км напорного трубопровода, м	4	3...3,5	2,5...3

$L_{н.тр}$ — длина трубопровода, км.

Для рассматриваемого выше примера расчетные напоры:

$$H_р = H_{г.ср} + h_д + h_м = 23,8 + (3...3,5)0,256 + 1 = 25,6 \text{ м};$$
$$H_{р.max} = H_{г.max} + h_д + h_м = 24,8 + (3...3,65)0,256 + 1 = 26,6 \text{ м};$$
$$H_{р.min} = H_{г.min} + h_д + h_м = 21,5 + (3...3,5)0,256 + 1 = 23,3 \text{ м}.$$

Длину, м, напорного трубопровода определяют по формуле

$$L_{н.тр} = \sqrt{L^2_{н.тр} + h^2_{н.тр}} \text{ (см. рис. 1.3).}$$

Расчетные напоры насосов насосных станций $H_р$, работающих на закрытую оросительную сеть, находят для максимальных подач насосов Q_{max}, при которых они должны работать. При этом насосы должны обеспечивать некоторый минимальный свободный напор воды $H_{д.м}$ для любого гидранта закрытой оросительной сети при самых неблагоприятных сочетаниях работы дождевальных машин. Рассматривают различные варианты работы дождевальных машин и определяют гидрант, у которого напор воды будет минимальным. Обычно это самый дальний гидрант от насосной станции при максимальной ее подаче. Для этого гидранта и находят расчетный напор насоса по формуле

$$H_р = H_{р.min} = H_г + H_{д.м} + h_{Σг}, \qquad (4.16)$$

где $H_г$ — максимальная геодезическая высота подъема воды от источника к гидранту, м; $H_{д.м}$ — минимально допустимый (свободный) напор воды в гидранте при подключении к нему дождевальной машины, м; $h_{Σг}$ — суммарные потери напора в сети от водоисточника до гидранта, $h_{Σг} = h_д + h_м$.

Аналогично рассчитывают и напоры насосов для станций сельскохозяйственного водоснабжения (I и II подъемов).

4.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПОДАЧ И ЧИСЛА УСТАНАВЛИВАЕМЫХ НАСОСОВ

Определение расчетной подачи насосов $Q_р$ и их числа Z — два взаимно увязанных процесса. Значения величин $Q_р$ и Z зависят от графика водопотребления (или водоотвода) $Q = f(t)$ и его максимальной ординаты Q_{max}. График водопотребления перестраивают в ступенчатый график водоподачи, причем в каждом периоде работы насосной станции реализуются постоянные подачи Q_i. В наиболее простых случаях при однотипных насосах эти подачи кратны минимальной подаче насосной станции. Считают, что последняя соответствует расчетной подаче одного насоса $Q_р$, а число насосов $Z = Q_{max}/Q_р$. В дальнейшем насосы, непосредственно обеспечивающие выполнение графика водоподачи, будем называть основными рабочими. Общий объем воды, подаваемый за сезон, при исходном и ступенчатом графиках должен быть неизменным за счет подбора соответствующих значений t_i. Кроме того, во многих случаях для наиболее рациональной увязки числа насосов и напорных трубопроводов желательно, чтобы общее число устанавливаемых основных насосов (рабочих и резервных) было кратно двум или трем. Типы устанавливаемых насосов и их число выбирают с таким расчетом, чтобы график водоподачи насосной станции по возможности лучше покрывал график водопотребления с учетом получения при этом максимальной экономической эффективности, связанной со строительством и эксплуатацией насосной станции.

Рассматривают несколько вариантов насосных станций с различными типами и числом насосов и на основе технико-экономического сравнения выбирают наиболее выгодный.

Расчетную максимальную подачу оросительных насосных станций $Q_{н.с.max}$ определяют по максимальной ординате укомплектованного графика водопотребления Q_{max}, умноженной на коэффициент форсировки $K_ф$, зависящий от максимальной ординаты укомплектованного графика водопотребления

$$Q_{н.\,с.\,max} = K_ф Q_{max}. \qquad (4.17)$$

Q_{max}, м³/с	< 1	1...10	10...50	50...100	> 100
$K_ф$	1,2	1,15	1,1	1,05	1

Максимальная расчетная подача осушительных насосных станций соответствует максимальной ординате графика водооткачки, который обосновывают специальными расчетами [9]. Форсированных подач у осушительных насосных станций не предусматривают.

Основываясь на практике проектирования и эксплуатации насосных станций, разработаны рекомендации по выбору для них

номенклатуры и числа насосов, которые сводятся к следующему:

применять по возможности однотипные, освоенные промышленностью насосы; использование разнотипных и не освоенных промышленностью насосов должно быть обосновано технико-экономическими расчетами; применение не освоенных промышленностью насосов согласовывают с заводами-изготовителями и увязывают со сроками строительства узла;

отдавать предпочтение при прочих равных условиях следует наиболее надежным и удобным в эксплуатации центробежным горизонтальным насосам типа Д; вертикальные центробежные насосы рекомендуют применять при расчетных подачах насоса более 2 $м^3/с$; на плавучих насосных станциях устанавливают только горизонтальные насосы;

использовать по возможности насосные агрегаты (насос + двигатель) максимальной заводской готовности на общей фундаментной раме с установкой трубопроводной арматуры и контрольно-измерительных приборов;

принимать число основных рабочих насосных агрегатов $Z_{раб}$ для мелиоративных и водоснабженческих насосных станций в зависимости от максимальной подачи насосной станции.

$Q_{н.с.max}$, $м^3/с$	< 1	1...5	5...30	> 30
$Z_{раб}$	2...4	3...5	4...6	5...9

Число основных рабочих агрегатов может быть увеличено, если промышленностью освоено лишь менее крупное, чем требуется по расчету, насосно-силовое оборудование, а технико-экономические расчеты не подтвердили целесообразность разработки и освоения в производстве нового насоса; число агрегатов может быть уменьшено по сравнению с вышеприведенными данными, если воду подают в открытый водоем и в системе имеется регулирующая емкость; на оросительных насосных станциях III категории надежности подачи допускается установка одного насосного агрегата с подачей до 400 л/с и мощностью до 150 кВт;

применять дополнительные разменные насосы со значительно меньшей подачей (до 20...30 % подач основных насосов) для лучшего покрытия графика водопотребления при использовании основных насосов с подачей более 1,5 $м^3/с$.

Число разменных насосов зависит от конкретных требований к точности покрытия графика водопотребления графиком водоподачи.

Кроме основных рабочих и разменных насосов предусматривают установку на насосных станциях резервных насосов (табл. 4.2).

На насосных станциях III категории надежности подачи резервные насосы, как правило, не предусматривают.

Число резервных насосов может быть увеличено в следующих случаях:

4.2. Рекомендуемое число резервных насосов для насосных станций различной категории надежности подачи

Категория надежности подачи насосной станции	Число насосов	
	рабочих	резервных
I	≤ 6	1
	≥7	2
II	≤ 8	1
	≥ 9	2

при установке на станции вновь осваиваемых насосов или насосов, гарантированный срок работы которых между капитальными ремонтами меньше, чем продолжительность работы его в году;

при работе насосной станции в тяжелых условиях, влияющих на надежность работы насосов (перекачка агрессивной воды или воды с большим содержанием абразивных частиц, большое число пусков);

при большой нагрузке основных насосов (более 5500 ч в году); в этом случае число резервных насосов рассчитывают с учетом графика водоподачи и календарного графика проведения текущих, средних и капитальных ремонтов.

Рекомендуемая номенклатура насосов для насосных станций закрытых оросительных систем рассмотрена в разделе 4.14.

На осушительных насосных станциях при наличии перед ними регулирующих емкостей устанавливают однотипные насосы, при отсутствии емкостей — разнотипные. Число и типы насосов выбирают так, чтобы при включении или отключении одного из них скорость изменения уровней воды в каналах или регулирующих емкостях не превышала пределов, при которых разрушаются откосы.

Рекомендуемая номенклатура насосов для осушительных насосных станций приведена в таблице 4.3.

4.3. Рекомендуемая номенклатура насосов для осушительных насосных станций

$Q_{н.с.max}$, м^3/с	Число однотипных насосов у насосных станций с регулирующей емкостью	Число насосов и возможное соотношение их подач у насосных станций без регулирующей емкости
< 0,4	1	1
0,4...1	2	2— 1:2, 1:3
1...5	≥ 3	3— 1:1:2, 1:1:3, 1:1:4, 1:2:2
>5	≥ 4	4 — 1:1:2:2, 1:1:3:3

Резервные насосы на осушительных насосных станциях не предусматривают, если станция на полную мощность работает не более 10 сут и нет опасности катастрофического затопления населенных пунктов или ценных сельскохозяйственных угодий в случае выхода из строя одного из основных агрегатов.

Осушительные насосные станции, как правило, должны быть автоматическими: пуск и остановка насосных агрегатов предусматриваются в зависимости от уровня воды в подводящем канале.

Таким образом, в общем случае число главных насосов на насосных станциях мелиоративного и водоснабженческого назначения

$$Z = Z_{раб} + Z_{раб.рез} + Z_{разм} + Z_{разм.рез}, \qquad (4.18)$$

где $Z_{раб}$, $Z_{раб.рез}$, $Z_{разм}$, $Z_{разм.рез}$ — число рабочих, резервных основных, разменных, резервных разменных насосов.

Часто один основной резервный насос заменяют несколькими разменными насосами. Последние в этом случае выполняют две функции — разменных и резервных насосов. Учитывая изложенные выше рекомендации и конкретные требования к проекту, выбирают номенклатуру и число насосов согласно формуле (4.18). Исключив все резервные насосы, составляют ступенчатый график водоподачи с наилучшим по возможности покрытием графика водопотребления (водооткачки). Находят расчетные подачи насосов $Q_р$. При этом желательно, чтобы выбранные расчетные подачи насосов $Q_р$ были близки к тем подачам, которым соответствуют режимы работы имеющихся в каталогах насосов при $\eta = \eta_{max}$.

Согласно техническому заданию (см. рис. 1.1) имеем очевидное решение: $Z = Z_{раб} + Z_{раб.рез} = 3 + 1 = 4$, $Q_р = 2{,}1$ м^3/с.

4.5. ЛОПАСТНЫЕ НАСОСЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В МЕЛИОРАЦИИ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ВОДОСНАБЖЕНИИ

На мелиоративных насосных станциях обычно применяют насосы общего назначения, допускающие перекачку воды температурой до 85 °С и с содержанием твердых включений не более 3 г/л, размером не более 0,5 мм, из них абразивных не более 2 %. Ниже кратко описаны различные типы насосов, которые наиболее часто используют в мелиорации и сельскохозяйственном водоснабжении.

Центробежные насосы типов К и КМ. Это горизонтальные, одноступенчатые центробежные насосы с рабочим колесом одностороннего входа, консольно расположенным на конце вала насоса. Напорный патрубок насоса может быть повернут на 90, 180 или 270° в зависимости от условий компоновки. Смазка подшипников жидкая. Осевые усилия через вал воспринимаются шарикоподшипниками. Для снижения осевых усилий на рабочем колесе делают двустороннее щелевое уплотнение, разгрузочную камеру и разгрузочные отверстия.

Моноблочные насосы типа КМ в отличие от насосов типа К не имеют опорной стойки и отдельного вала, поскольку рабочее коле-

со насажено непосредственно на вал электродвигателя. Сводные характеристики $H = f(Q)$ насосов типов К и КМ показаны на рисунке 4.2, *а*.

Центробежные горизонтальные насосы типа Д. Это центробежные, одноступенчатые с горизонтальным двусторонним подводом воды к рабочему колесу насосы. Корпус насоса чугунный, имеет горизонтальный разъем в плоскости расположения оси вала, поэтому разбирать и ремонтировать насос можно без демонтажа трубопроводов. Опорами ротора насосов Д 6300-80 и Д 5000-50 служат подшипники скольжения, насосов Д 3200-33, Д 2500-17, Д 3200-75, Д 2500-45, Д 5000-32, Д 3200-20, Д 6300-27 и Д 4000-22 — подшипники качения с жидкой смазкой, а для всех остальных насосов — подшипники качения с консистентной смазкой. Для охлаждения сальников и предотвращения подсоса воздуха из атмосферы в насосах предусмотрены уплотнения с гидравлическим затвором.

Насосы типа Д по сравнению с насосами типов К и КМ имеют более высокие КПД. Они удобнее в эксплуатации благодаря наличию у них горизонтального разъема. Поэтому предпочтительнее применять эти насосы.

Сводные характеристики насосов типа Д приведены на рисунке 4.2, *б*.

Центробежные горизонтальные насосы типов ЦН и ЦНС. Высоконапорные центробежные насосы типа ЦН — горизонтальные, многоступенчатые, имеющие горизонтальный разъем, с рабочими

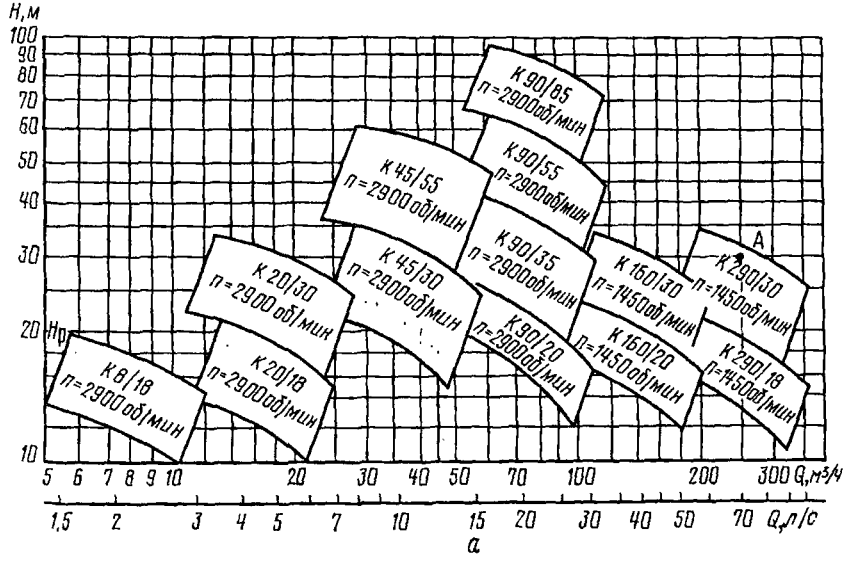
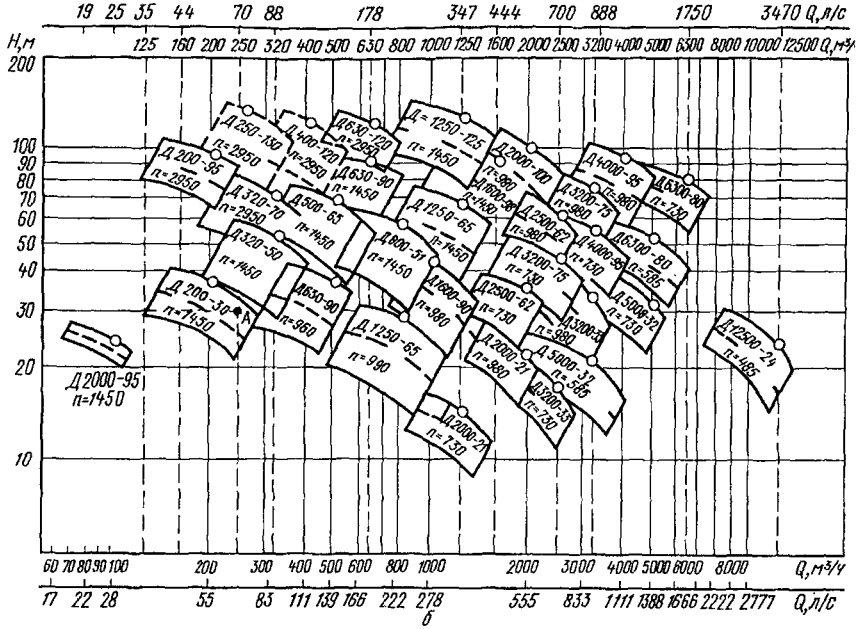
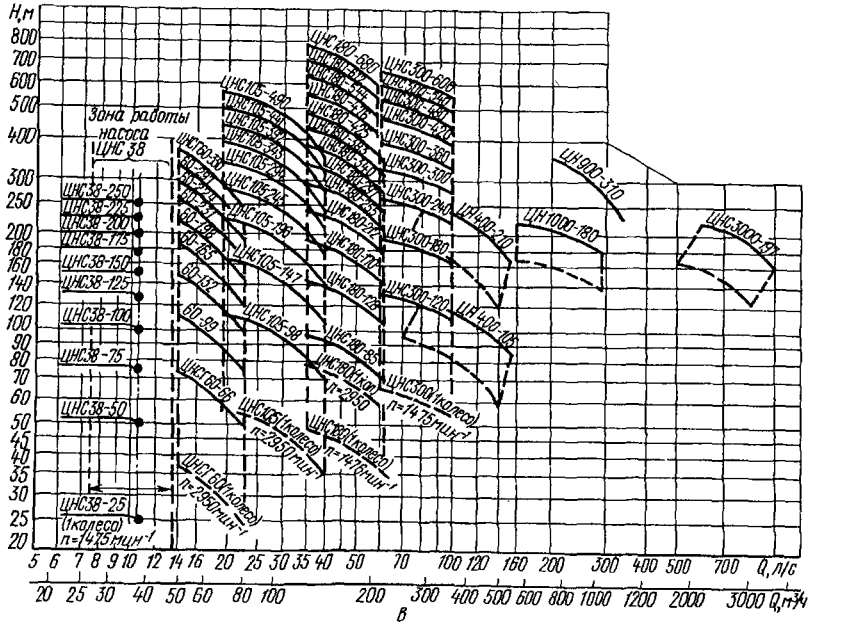


Рис. 4.2. Сводные характеристики насосов:

а — типов К и КМ (продолжение рис. см. с. 102...105)


19 25 35 44 70 88 178 347 444 700 888 1750 3470 Q,л/с
H,м
125 160 200 250 320 400 500 630 800 1000 1250 1600 2000 2500 3200 4000 5000 6500 8000 10000 12500 Q,м³/ч
Д 200-95 n=2950
Д 250-150 n=2950
Д 400-120 n=2950
Д 630-90 n=1450
Д 320-70 n=2950
Д 500-65 n=1450
Д 320-50 n=1450
Д 800-57 n=1450
Д 200-30 n=1450
Д 630-90 n=980
Д 1250-65 n=990
Д 2000-95 n=1450
Д 1250-125 n=1450
Д 2000-100 n=980
Д 4000-85 n=980
Д 6300-80 n=730
Д 1250-65 n=980
Д 2500-62 n=980
Д 4000-80 n=730
Д 6300-80 n=585
Д 3200-75 n=730
Д 2500-62 n=730
Д 4000-80 n=585
Д 6300-32 n=730
Д 1600-90 n=980
Д 3200-75 n=980
Д 5000-32 n=730
Д 2000-27 n=980
Д 5000-32 n=585
Д 6300-32 n=730
Д 1250-65 n=730
Д 2000-27 n=730
Д 12500-24 n=485
17 22 28 55 83 111 139 166 222 278 555 833 1111 1388 1666 2222 2777 Q,л/с
60 70 80 90 100 200 300 400 500 600 800 1000 2000 3000 4000 5000 6000 8000 Q,м³/ч

б


H,м
Зона работы насоса ЦНС 38
ЦНС38-250
ЦНС38-225
ЦНС38-200
ЦНС38-175
ЦНС38-150
ЦНС38-125
ЦНС38-100
ЦНС38-75
ЦНС38-50
ЦНС38-25 (1 колесо) n=1425 мин⁻¹
ЦНС 180-680
ЦНС 180-595
ЦНС 180-510
ЦНС 180-425
ЦНС 180-340
ЦНС 105-490
ЦНС 105-392
ЦНС 105-294
ЦНС 105-196
ЦНС 105-147
ЦНС 105-98
ЦНС 60-392
ЦНС 60-340
ЦНС 60-297
ЦНС 60-255
ЦНС 60-212
ЦНС 60-170
ЦНС 60-132
ЦНС 60-98
ЦНС 60-85
ЦНС 60-66
ЦНСт 60-66
ЦНС 60 (1 колесо) n=2950 мин⁻¹
ЦНСт 60 (1 колесо) n=2950 мин⁻¹
ЦНС 60 (1 колесо) n=1475 мин⁻¹
ЦНСт 60 (1 колесо) n=1475 мин⁻¹
ЦНС 300-600
ЦНС 300-540
ЦНС 300-480
ЦНС 300-420
ЦНС 300-360
ЦНС 300-300
ЦНС 300-240
ЦНС 300-180
ЦНС 300-120
ЦН 400-210
ЦН 400-105
ЦНС 300 (1 колесо) n=1475 мин⁻¹
ЦН 900-370
ЦН 1000-180
ЦНС 3000-57
5 6 7 8 9 10 12 14 16 20 25 30 35 40 50 70 100 120 160 200 300 400 500 700 Q,л/с
20 25 30 40 50 60 80 100 200 300 400 500 600 800 1000 1200 2000 3000 Q,м³/ч

в

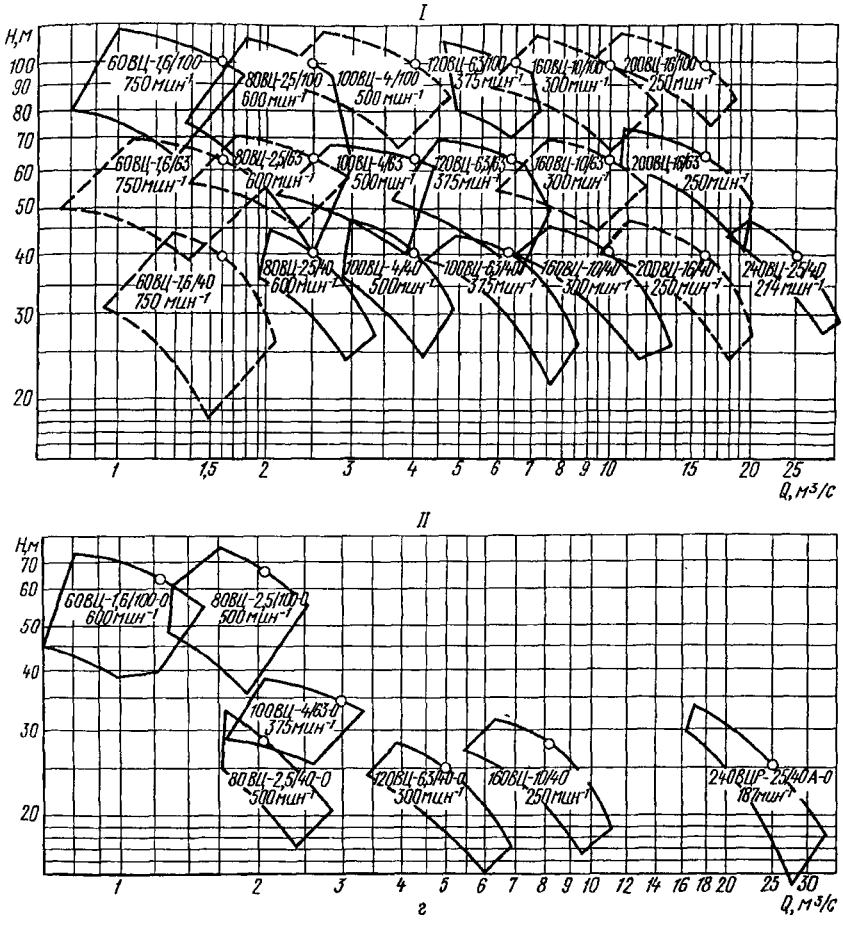


Рис. 4.2. (продолжение):

б — типов Д; *в* — типов ЦН и ЦНС; *г* — типа В с повышенной частотой вращения (*I*) и с пониженной частотой вращения (*II*)

колесами одностороннего входа. Их можно использовать на высоконапорных насосных станциях в качестве основных насосов, а также на крупных осушительных и оросительных насосных станциях в качестве вспомогательных насосов.

Высоконапорные центробежные насосы типа ЦНС — горизонтальные, многоступенчатые, секционные, с рабочими колесами одностороннего входа, могут быть использованы в качестве как основных, так и вспомогательных насосов. Сводные характеристики этих насосов приведены на рисунке 4.2, *в*.

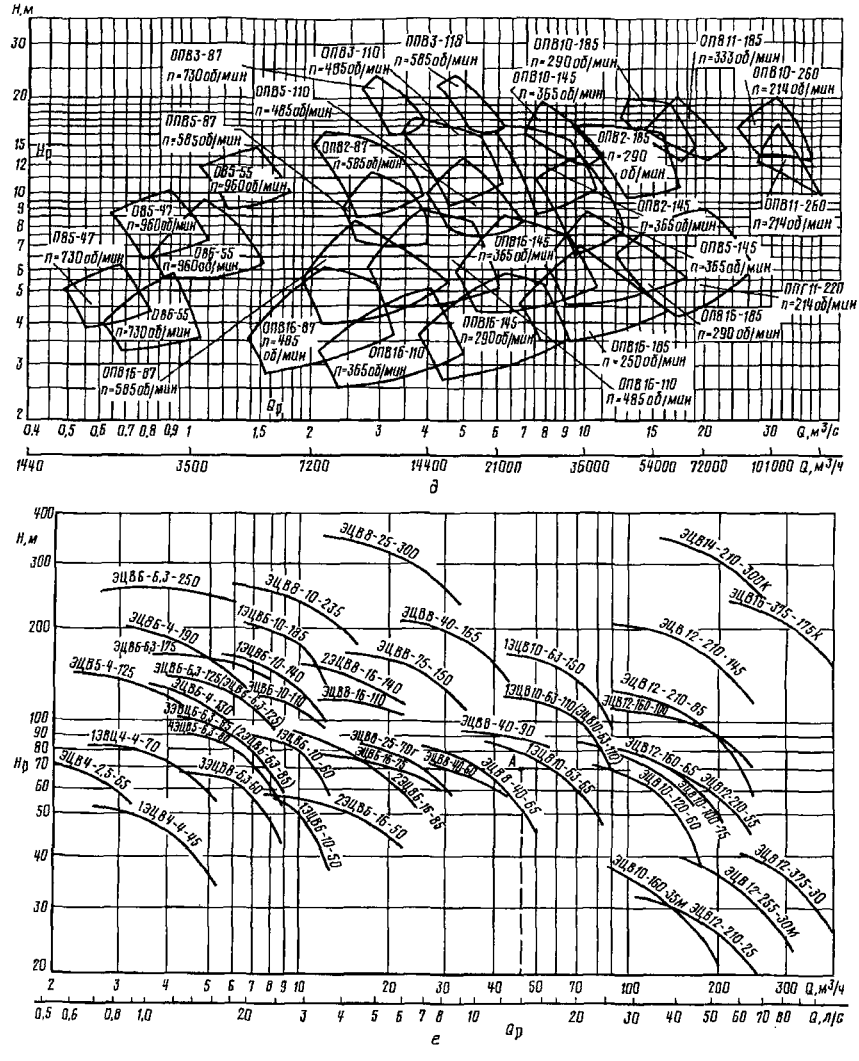


Рис. 4.2. (продолжение)

Центробежные вертикальные насосы типа В. Это центробежные вертикальные, одноступенчатые насосы, с рабочим колесом одностороннего входа, консольно расположенным на конце вала насоса. Корпус насоса по периферии имеет спиральную форму с горизонтальным напорным патрубком. К верхнему фланцу корпуса насоса прикреплена крышка, на которой установлены направляющий

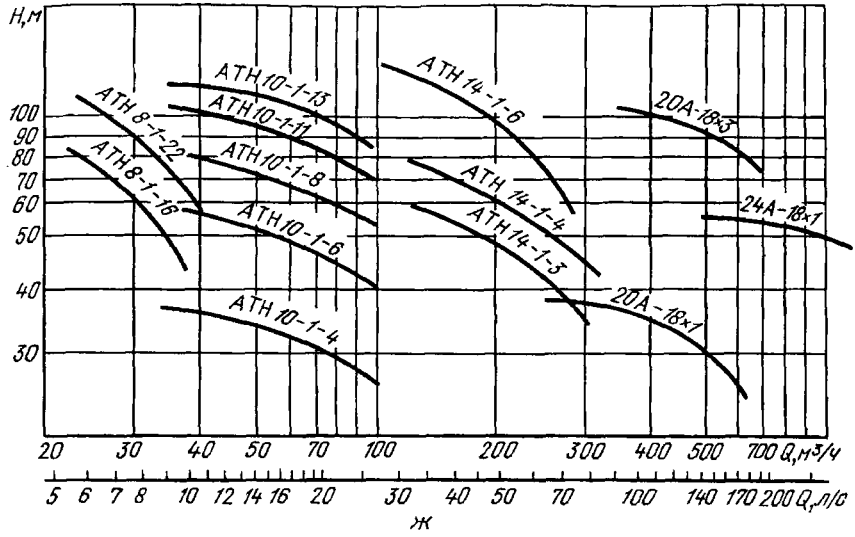


Рис. 4.2. (продолжение)

д — типов О и ОП; *е* — типа ЭЦВ; *ж* — типов А и АТН

подшипник и сальниковое уплотнение. Вода к рабочему колесу насоса подводится снизу. Осевая гидравлическая сила и вес вращающихся деталей через валы насоса и двигателя воспринимаются пятой электродвигателя. Направляющие подшипники насосов типа В с резиновыми или лигнофолевыми вкладышами смазываются перекачиваемой водой, если содержание в ней взвешенных частиц не более 50 мг/л при допустимой их крупности и абразивности. При перекачивании загрязненной воды подшипники должны смазываться технически чистой водой, подаваемой из специальной системы. Последние конструкции крупных насосов с диаметрами напорных патрубков более 1600 мм имеют баббитовые подшипники с масляной смазкой.

Сводные характеристики $H = f(Q)$ насосов типа В приведены на рисунке 4.2, *г*.

Осевые насосы типов О и ОП. Эти насосы имеют горизонтальное и вертикальное исполнение, состоят из рабочего колеса, вала и корпуса. В свою очередь, корпус насоса состоит из подвода, камеры рабочего колеса, выправляющего аппарата, диффузора, закладного и переходного колец. Осмотр и ремонт рабочего колеса возможны без демонтажа и разборки насоса. Вода к насосам обычно подводится изогнутыми всасывающими трубами. Для насосов с рабочими колесами диаметром 1100 мм и менее разрешен камерный подвод [6].

Насосы ОВ2-42МК и ОВ8-42МК (вертикального исполнения) применяют только с камерным подводом. Валы всех осевых насосов имеют две подшипниковые опоры. Осевые силы и вес вращающихся деталей воспринимаются пятой электродвигателя. Осевые насосы могут быть поставлены с жестко закрепленными лопастями во втулке рабочего колеса (тип О) и поворотными лопастями (тип ОП). Последние могут быть с ручным механизмом разворота лопастей при остановленном насосе, с электроприводом или с электрогидроприводом разворота лопастей рабочего колеса на ходу.

В последнее время осевые вертикальные насосы с диаметром рабочих колес $D_{р.к} \leq 0{,}55$ м стали делать моноблочными — насос и двигатель составляют единый узел, изготовляемый на заводе. Сводные характеристики осевых насосов типов О и ОП приведены на рисунке 4.2, *д*.

Низконапорные осевые насосы типа ОГ8-55 ($Q = 0{,}9$ м^3/с, $H = 10$ м) и ОГ5-70М ($Q = 2{,}25$ м^3/с, $H = 11$ м) с горизонтальным расположением вала поставляют с жестко закрепленными лопастями рабочего колеса и приводом от электродвигателя через соединительную муфту. Агрегат поставляют на общей фундаментной плите.

Погружные (капсульные) насосы. Рекомендуют применять для оборудования временных насосных станций и станций с малым периодом работы. По конструктивному исполнению погружной насос представляет собой моноблочный агрегат со встроенным электродвигателем, который расположен в герметичном корпусе в потоке воды преимущественно со стороны всасывающей части агрегата. В нижней части электродвигателя имеется сборник возможных протечек через уплотнения вала в корпусе агрегата. Просочившуюся воду удаляют оттуда, повышая давление воздуха в полости двигателя путем подачи его от компрессора.

Электроэнергия к двигателю подводится гибким кабелем через станцию управления, поставляемую комплектно с агрегатом. Погружные насосы [6] могут быть изготовлены в двух вариантах: на салазках (на рельсах, уложенных по укрепленному откосу) или на шарнире. Установка погружного агрегата на шарнире позволяет довольно быстро поднимать агрегат из воды в случае необходимости, а также быстро устанавливать его в рабочее положение, что очень важно при недостаточной надежности гидроизоляции погружного электродвигателя. Насосы устанавливают на открытом воздухе (без здания).

Насосы для подъема воды из скважин. Насосы типа ЭЦВ, А и АТН предназначены для забора воды из артезианских скважин. Сводные характеристики насосов приведены на рисунке 4.2, *е, ж*.

Насосы марки ЭЦВ — одно- или многоступенчатые погружные центробежные вертикальные с рабочими колесами одностороннего входа. Электронасос ЭЦВ состоит из насоса, погружного элект-

родвигателя, токоподводящего кабеля, водоподъемного трубопровода, оборудования устья скважины и системы автоматического управления. Подшипники насоса смазываются и охлаждаются водой.

Насосы типа А — центробежные секционные вертикальные с трансмиссионным валом, вращающимся в лигнофолевых подшипниках, для смазки которых используют чистую воду, подаваемую вдоль колонны напорных труб и насоса по специальному трубопроводу.

Насосы типа АТН — центробежные секционные вертикальные с радиальными подшипниками приводного вала и насоса, смазываемыми перекачиваемой водой. Насосы АТН менее надежны, поэтому их применение должно быть обосновано расчетом.

В дальнейшем насосы типа А и АТН будут иметь единое обозначение: ЦТВα-$Q_ч$-H, где α — внутренний диаметр скважины, мм, уменьшенный в 25 раз; $Q_ч$ — подача, м^3/ч; H — напор, м.

При расчетах насосных станций, оборудованных насосами типа ЭЦВ, А и АТН (ЦТВ), следует учитывать дополнительные потери напора в водоподъемных трубах насосов в размере: для насосов ЭЦВ — 3...6 % напора насоса, для насосов А — 4...6, для насосов АТН 8 — 16...18, для насосов АТН 10 — 12...14 и для насосов АТН 14 — 6...8 %.

4.6. ВЫБОР НАСОСОВ ПО КАТАЛОГАМ

После определения расчетных напора $H_р$ и подачи $Q_р$ насоса выбирают насос, который должен не только обеспечивать расчетные параметры, но и по возможности удовлетворять следующим требованиям:

1 — иметь высокий КПД;

2 — наименьший допустимый кавитационный запас $\Delta h_{доп}$;

3 — наилучшие эксплуатационные возможности;

4 — минимальные габариты и массу;

5 — иметь серийный выпуск промышленностью.

Насос подбирают согласно расчетным $H_р$ и $Q_р$ по каталогам насосного оборудования, предназначенным для проектных организаций и предприятий, эксплуатирующих насосы. В зависимости от назначения и конструкции насоса сначала его подбирают по сводным характеристикам $H = f(Q)$, которые приведены на рисунках 4.2...4.5. На этих рисунках показаны выпускаемые нашей промышленностью насосы различных марок и рекомендуемые рабочие диапазоны по Q и H, при которых насосы работают с достаточно высокой экономичностью (обычно $\eta > 0{,}9\eta_{max}$). Кроме того, там указаны частоты вращения валов насосов, которым соответствуют представленные характеристики $H = f(Q)$. Определив марку насоса по заданным $Q_р$ и $H_р$, находят в каталогах более подроб-

ные сведения о насосе и его характеристиках. Ниже на нескольких примерах показаны различные случаи выбора насосов по каталогам.

Пример 1. Подобрать насос по расчетным $Q_р = 252$ м^3/ч и $H_р = 30$ м.

По сводным характеристикам насосов типа К и КМ (см. рис. 4.2) находим насос К-290/30, удовлетворяющий $Q_р$ и $H_р$ с $n = 1450$ мин$^{-1}$ при $Q = 252$ м^3/ч и $H = 30$ м, $\eta = 81$ %, $\Delta h_{доп} = 4$ м, мощность на валу насоса $N = 25{,}5$ кВт. Масса насоса 179 кг, габариты 850×610×575 мм.

По сводным характеристикам насосов типа Д (см. рис. 4.2, *б*, точка А) определяем насос Д200-36 с $n = 1450$ мин$^{-1}$, который при $Q = 252$ м^3/ч и $H = 30$ м имеет $\eta = 68$ %, $N = 30{,}2$ кВт, $\Delta h_{доп} = 4{,}5$ м. Масса насоса 270 кг, габариты 980 × 799 × 738 мм.

Сравнивая два варианта подобранного насоса, видим, что оба насоса удовлетворяют одному из вышеприведенных требований. Но лучше требованиям, приведенным на с. 107, отвечает насос К-290/30, так как он имеет КПД на 13 % выше, мощность на валу насоса на 15 % меньше, допустимый кавитационный запас его меньше. В отношении требования 3 следует отметить, что насос Д200-36 по сравнению с насосом К-290/30 более удобен в монтаже и демонтаже, так как имеет горизонтальный разъем. Однако насос К-290/30 имеет меньшие габариты и массу, что снижает стоимость строительства. Из сравнения двух вариантов можно сделать предварительный вывод, что целесообразнее использовать насос К-290/30. Однако окончательное решение можно принимать только после проведения технико-экономических расчетов, учитывающих строительно-монтажные и эксплуатационные затраты.

Пример 2. Подобрать насос для рабочих параметров $Q_р = 2{,}1$ м^3/с и $H_р = 25{,}6$ м (по примерам, изложенным в разделах 4.3 и 4.4).

На сводных характеристиках указанным параметрам соответствует насос типа ВТ-80ВЦ-2,5/40 (800В-2,5/40) с $n = 500$ мин$^{-1}$ (точка A с координатами $Q_р$ и $H_р$ попала в криволинейный многоугольник, соответствующий этой марке). В каталоге находим характеристику насоса, которая показана на рисунке 4.3. Сплошные линии соответствуют насосу с максимальным диаметром рабочего колеса $D_2 = 1010$ мм, штрихпунктирные — с минимально допустимым диаметром $D_2 = 940$ мм. Если точка A попадает на одну из линий характеристик $H = f(Q)$ или в 2%-ю зону по напору H в ту и другую сторону от этих линий, то окончательно выбираем насос с указанными на характеристиках диаметрами рабочих колес D_2. Если точка A располагается между двумя характеристиками $H = f(Q)$, то рабочее колесо необходимо обточить до нужного диаметра $D_2 = D_{2обт}$.

1. Проводим на характеристике насоса параболу $H = aQ^2$,

где $a = H_р / Q_р^2 = 25{,}6 / 2{,}1^2 = 5{,}8$.

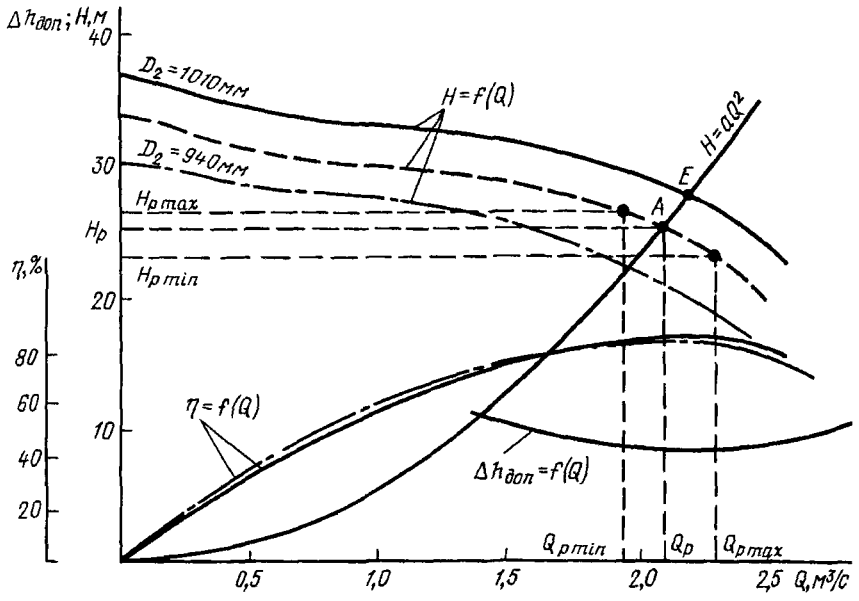


Рис. 4.3. Характеристики насоса 80ВЦ-2,5/40 напора H, коэффициента полезного действия η и допустимого кавитационного запаса $\Delta h_{доп}$ при $n = 500$ мин$^{-1}$

2. Находим точку пересечения этой параболы с верхней характеристикой насоса $H = f(Q)$ и обозначим ее буквой E.

3. Вычисляем коэффициент быстроходности насоса, принимая при этом Q и H (см. рис. 4.3) на режиме $\eta = \eta_{max}$

$$n_s = \left(3{,}65n\sqrt{Q}\right) / H^{3/4} = \left(3{,}65 \cdot 500\sqrt{2{,}2}\right) / 28^{3/4} = 222 \text{ мин}^{-1}.$$

4. Рассчитываем диаметр обточки рабочего колеса по формулам:

при $n_s < 200$ $D_{2обт} = D_2 (Q_р / Q_E)$

и

при $n_s > 200$ $D_{2обт} = D_2 (Q_р / Q_E)^{0,66}$.

В данном случае $D_{2обт} = 1010(2{,}1/2{,}2)^{0,66} = 979{,}5$ мм.

5. Находим степень обточки рабочего колеса

$$i_D = D_{2обт} / D_2 = 979{,}5/1010 = 0{,}97$$

и

$$D_2 = (D_2 - D_{2обт})/D_2 \cdot 100 = (1010 - 979{,}5)/1010 \cdot 100 = 3\ \%.$$

Максимальные степени обточки рабочих колес центробежных насосов в зависимости от коэффициента быстроходности приведены ниже:

n_s, мин$^{-1}$	60...200	120...200	200...300
Степень обточки, %	20...15	5...10	10...5

6. Определяем, задаваясь несколькими подачами исходного насоса, его характеристику $H = f(Q)$ с обточенным рабочим колесом по формулам:

при $n_s < 200$ $Q_{обт} = Qi_D$, $H_{обт} = Hi_D^2$

и

при $n_s > 200$ $Q_{обт} = Qi_D^{3/2}$, $H_{обт} = Hi_D^3$.

7. Получаем характеристику $\eta = f(Q)$ насоса с обточенным колесом, учитывая, что КПД насоса снижается на каждые 10 % обточки на 1 % при $n_s = 60...120$ и на 2,5 % — при $n_s > 120$ мин$^{-1}$.

4.4. Результаты пересчета характеристики насоса при изменении диаметра рабочего колеса

D_2 = 1010 мм			$D_{2обт}$ = 979,5 мм		
Q, м^3/с	H, м	η, %	$Q_{обт}$, м^3/с	$H_{обт}$, м	$\eta_{обт}$, %
0	37	0	0	33,8	0
0,5	34,1	34	0,48	31,1	33
1,0	33,3	55	0,955	30,4	54
1,5	32	73	1,43	29,2	72
2,0	29,5	85	1,91	26,9	84
2,5	24,1	83	2,39	22,0	82

Результаты расчетов по пунктам 6 и 7 сводим в таблицу 4.4.

8. Рассчитываем характеристику насоса $N = f(Q)$ с обточенным рабочим колесом по формуле

$$N_{обт} = (\rho g Q_{обт} H_{обт})/\eta_{обт}.$$

Если при обточке рабочего колеса КПД насоса снижается менее чем на 1 %, то

при $n_s < 200$ $N_{обт} = Ni_D^3$

и

при $n_s > 200$ $N_{обт} = Ni_D^{4,5}$.

Характеристика насоса $\Delta h_{доп} = f(Q)$ при обточке рабочего колеса не изменяется.

Характеристика $H = f(Q)$ при обточенном рабочем колесе насоса показана на рисунке 4.3, а характеристика $\eta = f(Q)$ может быть построена по данным таблицы 4.4.

Учитывая, что насос в процессе эксплуатации может работать с разными напорами — от $H_{р.max}$ до $H_{р.min}$ (см. раздел 3), находим на графике $H = f(Q)$ диапазон изменения его подач: $Q_{р.min} = 1{,}95$ м^3/с, $Q_{р.max} = 2{,}3$ м^3/с (см. рис. 4.3).

Определяем допустимую отметку установки насоса 80ВЦ-2,5/40 в насосной станции, проектируемой по исходным данным, приведенным на рисунках 1.1 и 1.2. Так как длина подводящего канала относительно мала ($L_{п.к} = 0{,}256$ км), то снижением уровня воды перед зданием насосной станции за счет уклона дна канала пренебрегаем. Допустимую отметку установки насоса рассчитываем по формулам (4.9) и (4.10).

Наиболее неблагоприятные условия для работы насоса будут в том случае, когда значение $\Delta h_{доп}$ будет максимальным. Это соответствует режиму работы насоса при $Q = Q_{р.min}$ (см. рис. 4.3). Полагая, что $H_а = 10$ м, $H_{п.ж} = 0{,}2$ м, $h_{сус} = 0{,}2$ м, получаем

$$h_{в.доп} = H_а - H_{п.ж} - \Delta h_{доп} = 10 - 0{,}2 - 9 = 0{,}8 \text{ м}.$$

Тогда

$$\text{УН}_{доп} = \text{УВИ}_{min} + h_{в.доп} - h_{сус} = 27 + 0{,}8 - 0{,}2 = 27{,}6 \text{ м}.$$

Для обеспечения полной залитости внутренних полостей насоса водой при УВИ_{min} (обеспечение пуска насоса без применения вакуум-системы) назначаем отметку установки насоса УН = $= \text{УВИ}_{min} - 0{,}75 = 26{,}25$ м.

Таким образом, условия бескавитационной работы насоса, когда $\text{УН} \le \text{УН}_{доп}$, выполняются при любых подачах насоса в процессе эксплуатации насосной станции.

Если по параметрам $Q_р$ и $H_р$ и условиям проектирования насосной станции подходит осевой насос, то у него подбираем угол установки лопасти, а характеристику насоса $H = f(Q)$ определяем методом интерполяции. Она должна проходить через точку A с координатами $Q_р$, $H_р$. Точки пересечения этой характеристики с кривыми $\eta = \text{const}$ и $\Delta h = \text{const}$ (на рис. 4.5 — сплошные и пунктирные линии соответственно) используем для построения рабочих характеристик осевого насоса $H = f(Q)$, $\eta = f(Q)$, $N = f(Q)$ и $\Delta h_{доп} = f(Q)$ при $n = \text{const}$. Обточка рабочего колеса осевого насоса недопустима.

Пример 3. Подобрать насос для $Q_р = 400$ м^3/ч и $H_р = 18$ м.

По сводным характеристикам насос с такими параметрами подобрать не удалось. Поэтому используем метод подбора насоса с изменением его частоты вращения. Отдав предпочтение насосам типа Д, видим, что расчетная точка A с координатами $Q_р = 400$ м^3/ч

и $H_р = 18$ м ближе всего располагается к криволинейному многоугольнику, которому соответствует насос Д630-90 с $n = 980$ мин$^{-1}$ (см. рис. 4.2, *б*). Ясно, что если выбрать этот насос, то его частота вращения будет меньше, чем указанная. Разрешения завода-изготовителя на использование этого насоса с меньшей частотой вращения не требуется. Ближайшая стандартная меньшая частота вращения $n = 730$ мин$^{-1}$.

Стандартные частоты вращения синхронных $n_{синх}$ и асинхронных $n_{асинх}$ электродвигателей

$n_{синх}$, мин$^{-1}$	3000	1500	1000	750	600	500	375	300	250	214	187,5	166,7
$n_{асинх}$, мин$^{-1}$	2900	1450	970	730	585	485	367	290	—	—	—	—

Полагая, что насос будет использован при частоте вращения $n = 730$ мин$^{-1}$, находим по формулам подобия условную рабочую точку A' при $n = 980$ мин$^{-1}$.

$$Q'_р = Q_р \cdot 980/730 = 400 \cdot 980/730 = 537 \text{ м}^3/\text{ч}$$

и

$$H'_р = H_р \left(980/730\right)^2 = 18\left(980/730\right)^2 = 32{,}4 \text{ м}.$$

Если точка A' с координатами $Q'_р = 537$ м^3/ч и $H'_р = 32{,}4$ попала в криволинейный многоугольник, которому соответствует насос Д630-90 с $n = 980$ мин$^{-1}$, то насос выбран. Если нет, то делаем попытки использовать его при других стандартных частотах вращения или используем другие насосы. В данном случае насос Д630-90 может быть применен при частоте вращения $n = 730$ мин$^{-1}$. Его исходные характеристики $H = f(Q)$, $\eta = f(Q)$ и $\Delta h_{доп} = f(Q)$ даны для частоты вращения $n = 960$ мин$^{-1}$ [6].

Задаемся несколькими подачами и пересчитываем указанные характеристики по формулам подобия

$$Q = Q_{исх} i_n,\ H = H_{исх} i_n^2 \text{ и } \Delta h_{доп} = \Delta h_{доп.исх} i_n^2,$$

где $i_n = 730/960$.

При этом считают, что КПД насоса при различных частотах вращения на подобных режимах не изменяется. Расчет проводим в табличной форме (табл. 4.5).

Исходные и пересчитанные характеристики насоса Д630-90 показаны на рисунке 4.4. Далее обтачиваем рабочее колесо насоса и находим его характеристики так же, как и в предыдущем примере. Результаты расчета характеристик насоса с обточенным рабочим колесом приведены в таблице 4.6 и на рисунке 4.4.

4.5. Результаты пересчета характеристик насоса с одной частоты вращения на другую

$n = 960$ мин$^{-1}$				$n = 730$ мин$^{-1}$			
Q, м^3/ч	H, м	η, %	$h_{доп}$, м	Q, м^3/ч	H, м	η, %	$h_{доп}$, м
0	40	0	—	0	23,2	0	—
100	42	35	—	76	24,4	35	—
200	42,5	55	—	152	24,7	55	—
300	41,5	69	3,5	228	24,1	69	2,0
400	39,5	75	4	304	22,9	75	2,3
500	36,5	75	5	380	21,2	75	2,9
600	32,5	70	6,4	456	18,9	70	3,7

4.6. Результаты пересчета характеристик насоса при изменении диаметра рабочего колеса

$D_2 = 525$ мм			$D_{2обт} = 500$ мм		
Q, м^3/ч	H, м	η, %	Q, м^3/ч	H, м	η, %
0	23,2	0	0	21,0	0
76	24,4	35	72,2	22,2	34
152	24,7	55	144,4	22,4	54
228	24,1	69	216,6	21,8	68
304	22,9	75	288,8	20,7	74
380	21,2	75	361	19,2	74
456	18,9	70	433,2	17,1	69

Пример 4. Если изложенными способами подобрать насос из освоенных промышленностью невозможно, а технико-экономические расчеты показывают целесообразность проектирования нового насоса (например, с существенно большими параметрами Q и H), то, используя законы подобия, можно спроектировать новый насос на основе модельного, который ближе всего подходит по напору и конструкции к новому насосу. Например, требуется спроектировать вертикальный насос с параметрами $Q_р = 40$ м^3/с и $H_р = 12{,}5$ м. По сводным характеристикам осевых лопастных насосов (см. рис. 4.2, *д*) определяем, что это — зона работы осевых насосов второй модели (типа О2 или ОП2). В качестве модельного принимаем насос ОПВ2-185. Характеристика этого насоса показана на рисунке 4.5. Выбираем параметры исходной точки: $H = 15$ м, $Q = 15{,}5$ м^3/с, $\eta = 86{,}5$ %, $\Delta h_1 = 11$ м, $n = 300$ мин$^{-1}$. Масса насоса 34 500 кг, диаметр рабочего колеса $D_{р.к} = 1850$ мм.

Отношение напоров нового и модельного насосов $H_р/H = 12{,}5/15 = 0{,}835$. Теория подобия лопастных насосов позволяет записать [9]:

$$i_n = \sqrt{Q_м Q_н} \cdot \sqrt[4]{(H_н / H_м)^3} \quad \text{и} \quad i_D = \sqrt{Q_н / Q_м} \cdot \sqrt[4]{H_м / H_н}.$$

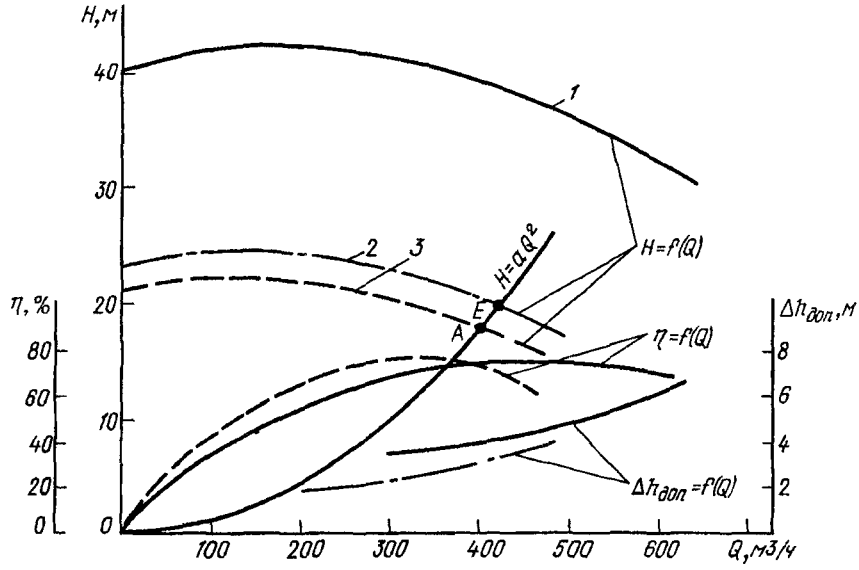


Рис. 4.4. Характеристики насоса Д630-90 при различной частоте вращения:

1 — исходная характеристика насоса при $n = 960$ мин$^{-1}$ и $D_2 = 525$ мм; *2* — при $n = 730$ мин$^{-1}$ и $D_2 = 525$ мм; *3* — при $n = 730$ мин$^{-1}$ и $D_2 = D_{2\,обт} = 500$ мм

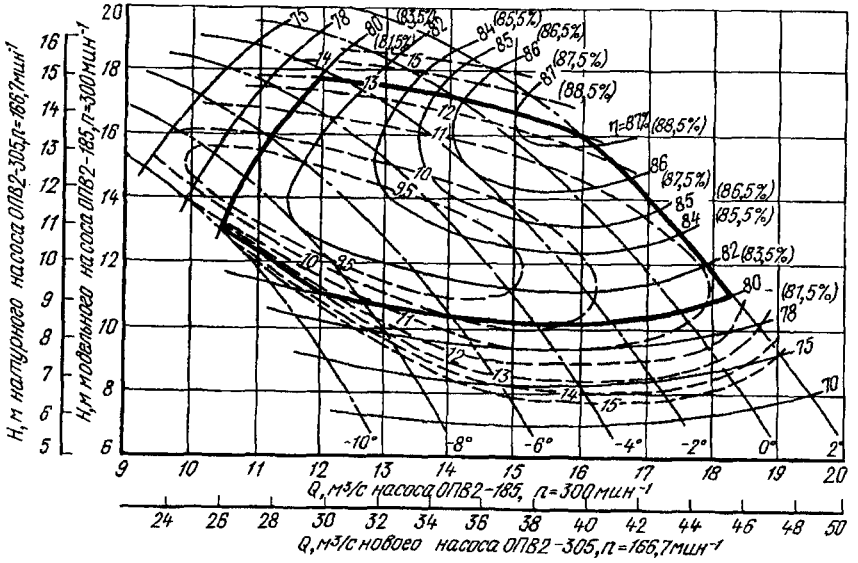


Рис. 4.5. Характеристики модельного насоса ОПВ2-185 при $n = 300$ мин$^{-1}$ и нового ОПВ2-305 при $n = 166{,}7$ мин$^{-1}$ (в скобках — КПД нового насоса, пунктирные линии — кавитационные характеристики модельного насоса по первому критическому режиму)

Подставляя параметры насосов на расчетном режиме в первую из формул, получаем

$$i_n = \sqrt{15{,}5/40} \cdot \sqrt[4]{0{,}835^3} = 0{,}545.$$

Следовательно, частота вращения вала нового насоса

$$n_н = i_n n_м = 0{,}545 \cdot 300 = 163 \text{ мин}^{-1}.$$

Ближайшая синхронная частота вращения 166,7 мин$^{-1}$, пересчитав, находят коэффициент

$$i_n = n_н / n_м = 166{,}7/300 = 0{,}556.$$

Далее, учитывая, что $H_р / H = i_D^2 i_n^2 = 0{,}835$,

$$i_D = \sqrt{0{,}835} / i_n = \sqrt{0{,}835} / 0{,}556 = 1{,}642.$$

Следовательно, искомый диаметр рабочего колеса нового насоса должен быть равен

$$D_н = i_D D_м = 1{,}642 \cdot 1850 = 3040 \text{ мм},$$

который округляем до 3050 мм.

Окончательные коэффициенты для дальнейших расчетов

$$i_n = 0{,}556;\ i_D = 3050/1850 = 1{,}65.$$

Новый насос может иметь следующую марку ОП2-305 с $n = 166{,}7$ мин$^{-1}$. Характеристику нового насоса получим, пересчитав характеристики модельного насоса по формулам подобия [9]:

$$Q_н = Q_м\, i_D^3 i_n = Q_м \cdot 1{,}65^3 \cdot 0{,}556 = 2{,}49 Q_м;$$

$$H_н = H_м i_D^2\, i_n^2 = H_м \cdot 1{,}65^2 \cdot 0{,}556^2 = 0{,}845 H_м;$$

$$N_н = N_м i_D^5\, i_n^3 = N_м \cdot 1{,}65^5 \cdot 0{,}556^3 = 2{,}10 N_м;*$$

$$\Delta h_{доп.н} = A\, \Delta h_1\, i_D^2\, i_n^2 = A \Delta h_1 \cdot 1{,}65^2 \cdot 0{,}556^2 = 0{,}845 A \Delta h_1;$$

$$\eta_н = 1 - (1 - \eta_м)\, i_D^{-0{,}45}\, i_n^{-0{,}2} = 1 - (1 - 0{,}865)\, 1{,}65^{-0{,}45} \cdot 0{,}556^{-0{,}2} = 0{,}88,$$

где A — коэффициент запаса (см. главу 10), Δh_1 — кавитационный запас насоса по I критическому режиму.

---

* Если имеется характеристика $N_м = f(Q_м)$.

Если коэффициенты запаса A для модельного и нового насосов остаются неизменными, то можно записать

$$\Delta h_{\text{доп.н}} = \Delta h_{\text{доп.м}} i_D^2 i_n^2 = 1{,}65^2 \cdot 0{,}556^2 \Delta h_{\text{доп.м}} = 0{,}845\, \Delta h_{\text{доп.м}}.$$

Для упрощения построения характеристики нового насоса параметры модельного насоса выбираем в точках пересечения кривых $H_{\text{м}} = f(Q_{\text{м}})$ и $\eta_{\text{м}} = \text{const}$.

Характеристики нового насоса можно построить и так: на характеристике насоса ОП2-185 наносим шкалы подачи и напоров. Значения КПД нового насоса увеличиваем на 1,5 % и заменяем на новые значения Δh_{I} ($\Delta h_{\text{Iн}} = 0{,}845 \Delta h_{\text{Iм}} = \text{const}$). При этом масштаб шкалы подачи увеличивается в 2,49 раза, а напора — в 0,845 раза (см. рис. 4.5).

Масса вновь проектируемого насоса в первом приближении может быть вычислена по формуле

$$m_{\text{н}} = m_{\text{м}} \sqrt[3]{H_{\text{н}} / H_{\text{м}}}\; i_D^{2,3} = 34\,500 \cdot 0{,}94 \cdot 1{,}65^{2,3} = 103\,000 \text{ кг}.$$

Габариты нового насоса приближенно можно определить, умножая все линейные размеры на $i_D = 1{,}65$.

Пример 5. Рассмотреть все возможные варианты подбора оборудования для подъема воды из скважины и подачи ее в резервуар, расположенный в 500 м от устья скважины. Исходные данные: $Q_{\text{р}} = 180$ м^3/ч, или 50 л/с, удельный дебит скважины $q_{\text{о}} = 15$ м^3/ч, водовод стальной $D_{\text{у}} = 250$ мм, отметка воды в резервуаре 74 м.

В данном примере могут быть рассмотрены четыре варианта оборудования: артезианские (типа А или АТН) и электропогружные насосы (типа ЭЦВ), эрлифтная и насосно-гидроэлеваторная (с водоструйным насосом) установки.

Вариант 1. Оборудование — погружной (артезианский) насос (рис. 4.6, *а*). Расчетный напор насоса

$$H_{\text{р}} = H_{\text{г}} + Q_{\text{р}}/q_{\text{о}} + 1{,}05 h_{\text{д}} = 32{,}0 + 180/15 + 1{,}05 \cdot 5{,}67 \cdot 0{,}542 = 47{,}23 \text{ м},$$

где $H_{\text{г}}$ — геодезическая высота подъема воды, м, $H_{\text{г}} = 74 - 42 = 32$ м; $Q_{\text{р}}$ и $q_{\text{о}}$ — подача (м^3/с) и удельный дебит (м^2/с) скважины; 1,05 — коэффициент, учитывающий наличие местных потерь; $h_{\text{д}}$ — потери напора по длине водовода, м, $h_{\text{д}} = 1000 i L$ [$1000i = 5{,}67$ — потери напора на 1 км водовода; L — длина водовода с $D_{\text{у}} = 250$ мм с учетом длины (0,042 м) напорного водовода насоса в пределах скважины, $L = 0{,}542$ км].

По сводным характеристикам скважинных насосов (см. рис. 4.2, *ж*) определяем, что наиболее близкие параметры имеет насос АТН14-1-3. В каталогах находим более подробные данные об этом насосе, который при напоре 47 м имеет следующие параметры: $Q = 200$ м^3/ч, мощность 55 кВт, КПД = 69 %, электродвигатель

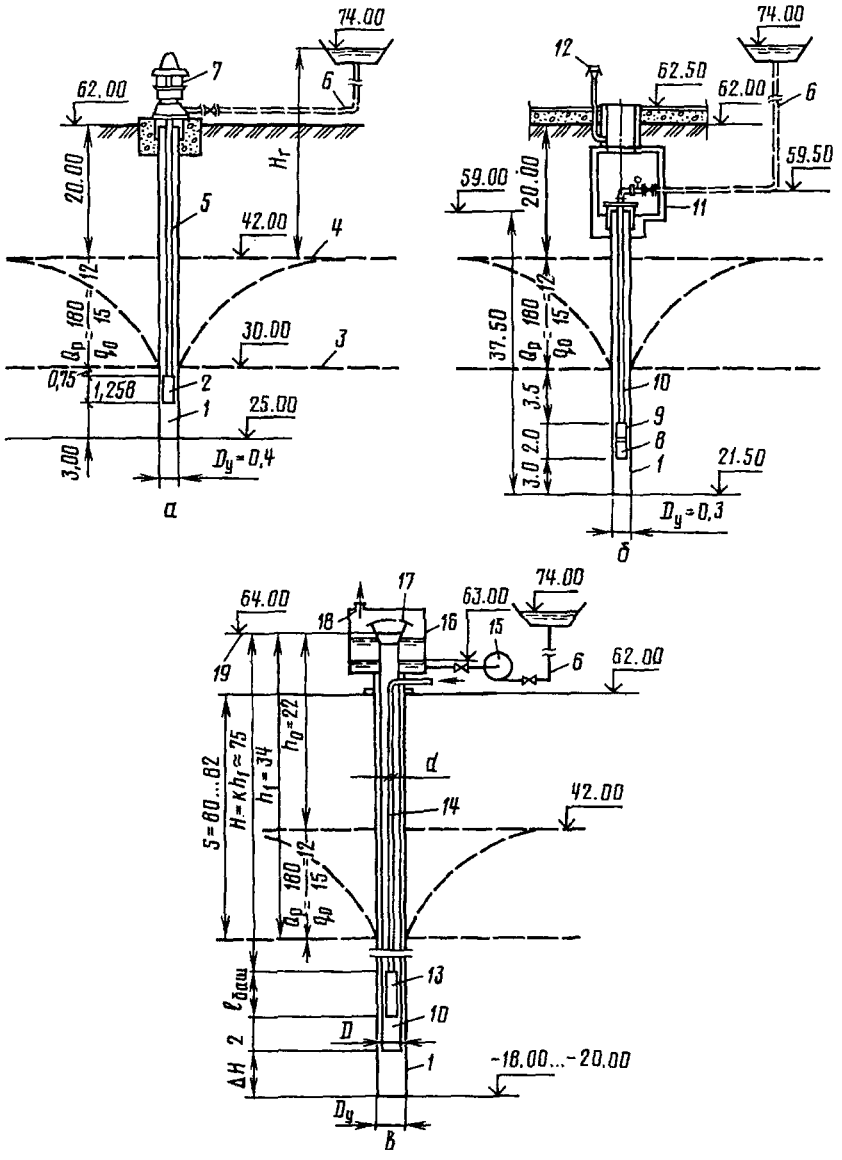


Рис. 4.6. Установка для подъема воды из скважины (отметки и размеры в м):

а — артезианский насос АТН14-1-3; *б* — погружной электронасос типа ЭЦВ; *в* — эрлифтная установка; *1* — обсадная труба; *2* — турбинный (артезианский) насос; *3* и *4* — динамический и статический уровни; *5* — напорный трубопровод с трансмиссионным валом; *6* — напорный трубопровод ($D_у$ = 250 мм, длина 500 м); *7* — электродвигатель АВШ-55; *8* — погружной электродвигатель; *9* — погружной насос; *10* — водоподъемная труба; *11* — колодец железобетонный сборный; *12* — вентиляционная труба; *13* — башмак-форсунка; *14* — воздушная труба от компрессора; *15* — насос подкачки; *16* — приемный бак (может быть совмещен с резервуаром насосной станции подкачки); *17* — воздухоотделитель; *18* — отвод воздуха; *19* — уровень излива

АВШ-55, частота вращения 1475 мин$^{-1}$, масса насоса 207 кг, диаметр обсадной трубы 400 мм. Рабочая часть насоса должна быть опущена в скважину целиком, ниже динамического уровня воды, то есть ниже отметки 30,0 м.

Вариант 2. Оборудование — скважинный электронасос (рис. 4.6, *б*). По сводным характеристикам скважинных насосов (см. рис. 4.2, *г*) определяем, что для данного случая наиболее близкие параметры имеет насос ЭЦВ12-160-65. Вносим поправку в потери напора, поскольку диаметр водоподъемного трубопровода для этого насоса 150 мм, а не 250 мм, как было в первом случае:

$$H_{\text{р}} = 32{,}0 + 180/15 + 1{,}05\ (5{,}67 \cdot 0{,}5 + 76{,}6 \cdot 0{,}042) = 50{,}35 \text{ м}.$$

В соответствии с данными каталога электронасос ЭЦВ12-160-65 имеет при напоре $H = 50$ м следующие параметры: подача 200 м^3/ч, КПД = 60 %, мощность насоса 35 кВт, электродвигатель ПЭД8-45-270, мощность двигателя 45 кВт, масса электронасоса 400 кг, диаметр обсадной трубы $D_{\text{у}} = 300$ мм.

Вариант 3. Оборудование — эрлифтная установка (рис. 4.6, *в*). В связи с тем что эрлифт имеет более низкий КПД, чем насосы, и может работать только на вертикальных водоводах, воду на отметку 74,0 м подаем в два подъема. Первый подъем — эрлифт, подающий воду в бак, расположенный над землей у скважины. Второй подъем — центробежный насос, который забирает воду из бака и подает ее по водоводу в резервуар. Исходные данные для расчетов приведены на рисунке 4.6, *в*.

Принцип работы установки заключается в следующем. Сжатый воздух от компрессора по трубе *14* подается в скважину, где через башмак-форсунку *13* он попадает в водоподъемную трубу *10* и, смешиваясь с водой, поднимается вверх в воздухоотделитель *17*. Воздух уходит в атмосферу, вода сливается в бак *16*. Отсюда ее и забирает центробежный насос *15* и по трубопроводу *6* подает в резервуар. Ниже приведен приближенный расчет этой установки.

1. Заглубление башмака-форсунки от уровня излива

$$H = kh_1 = 2{,}20 \cdot 34 = 75 \text{ м},$$

где k — коэффициент заглубления форсунки (табл. 4.7), $k = 2{,}2...2$; h_1 — расстояние от динамического уровня до отметки излива, $h_1 = 34$ м.

4.7. Соотношение параметров эрлифтов

Высота подъема h_1, м	Коэффициент заглубления форсунки k	Гидравлический КПД эрлифта $\eta_{\text{в.в}}$
До 15	3...2,5	0,59
15..30	2,5...2,2	0,57
30...60	2,2...2	0,53
60...90	2...1,75	0,5
90...120	1,75...1,65	0,4

2. Длина водоподъемной трубы

$$H_1 = H + l_{баш} + 2 = 75 + 2{,}1 + 2 \approx 79 \text{ м},$$

где $l_{баш}$ — длина башмака (см. табл. 4.7, 4.8); 2 м — запас на неточность установки и стабилизацию потока.

3. Глубина скважины

$$S = H_1 - (64 - 62) + \Delta H = 80...82 \text{ м},$$

где ΔH — запас на неточность установки и расчета, $\Delta H = 3...5$ м.

4. Необходимая подача воздуха для работы эрлифта

$$Q_в = \frac{hQ}{23\eta_{в.в} \lg\{[h_1(k-1)+10]/10\}} =$$

$$= \frac{34 \cdot 180}{23 \cdot 0{,}53 \cdot \lg\{[34(2{,}2-1)+10]/10\}} = 710 \text{ м}^3/\text{ч} = 11{,}8 \text{ м}^3/\text{мин},$$

где $V_0 = Q_в/Q = 710/180 = 3{,}95$.

Гидравлический КПД эрлифта $\eta_{в.в}$ берем из таблицы 4.7. Основные потери энергии в эрлифте происходят из-за трения эмульсии, проскальзывания пузырьков воздуха, истечения воздуха из форсунки, ускорения движения эмульсии, слива эмульсии из водоподъемной трубы, поглощения тепла при расширении пузырьков воздуха вследствие уменьшения давления при подъеме эмульсии по водоподъемной трубе.

Вычислить потери трудно, поэтому для практических целей можно пользоваться гидравлическими КПД, указанными в таблице 4.7.

5. Подача компрессора, м^3/мин,

$$Q_к = a_1 a_2 Q,$$

где a_1, a_2 — коэффициент зависимости подачи компрессора от температуры воздуха и от высоты расположения компрессора над уровнем моря.

Практически для средних условий (с учетом утечек и др.) подача компрессора

$$Q_к = 1{,}2 Q_в = 1{,}2 \cdot 11{,}8 = 14{,}2 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

6. Расчетное давление компрессора:

пусковое

$$P_п = 0{,}01(H - h_0 + 2) = 0{,}01(75 - 22 + 2) = 0{,}55 \text{ МПа};$$

рабочее

$$P_р = 0{,}01(H - h_1 + 5) = 0{,}01(75 - 34 + 5) = 0{,}46 \text{ МПа},$$

где цифры 2 и 5 — практически принимаемые потери напора в воздуховодах, м. Для более строгих расчетов потери напора определяют по специальным формулам.

7. Для обеспечения эрлифта сжатым воздухом по справочникам-каталогам подбираем два стандартных передвижных компрессора ЭК-9М подачей по 9 м^3/мин и давлением 0,6 МПа. В качестве привода используем электродвигатели А2-92-6 мощностью по 75 кВт. Между компрессором и эрлифтом устанавливают ресивер. Вместимость его для компрессора подачей менее 30 м^3/мин

$$V_{\text{рес}} = 2\sqrt{Q_{\text{к}}} = 2\sqrt{14{,}2} = 7{,}5\text{м}^3.$$

С учетом перечня изготавливаемых ресиверов принимаем ближайший больший ресивер вместимостью 10 м^3.

8. Для увеличения гидравлического КПД эрлифта при больших высотах подъема (больше 30...40 м) диаметр водоподъемной трубы делаем переменным. Опыт эксплуатации наиболее экономичных эрлифтов показал, что скорость движения воды или эмульсии должна быть в трубе до форсунки 1...2 м/с, у форсунки 3...5 м/с и у излива *6...8 м/с. Воздушная труба может быть расположена снаружи* водоподъемной трубы (внешняя, параллельная система) и внутри (центральная, внутренняя система). В последнем случае увеличиваем диаметр водоподъемной трубы. Внутренний диаметр воздушной трубы рассчитываем по средней рекомендуемой скорости движения воздуха $v_{\text{воз}} = 8...10$ м/с. Принимаем $v_{\text{воз}} = 9$ м/с и определяем внутренний диаметр трубы:

$$d_{\text{воз}} = \sqrt{\frac{Q_{\text{к}} 4}{\pi\left(P_{\text{р}}+1\right) 9{\cdot}60}} = \sqrt{\frac{14{,}2{\cdot}4}{3{,}14{\cdot}\left(0{,}46{\cdot}10+1\right){\cdot}9{\cdot}60}} = 0{,}077\,\text{м}.$$

Принимаем трубу с наружным диаметром 83 мм.

Воздушную трубу располагаем центрально. Для сокращения арифметических действий рассмотрим вариант водоподъемной трубы с одинаковым ее внутренним диаметром по всей длине. Диаметр вычисляем по средней скорости движения эмульсии, рекомендуемой для излива $v_{\text{изл}} = 7$ м/с, с учетом стеснения сечения воздушной трубой

$$D_{\text{вод}} = \sqrt{\frac{4(Q+Q_{\text{в}})}{\pi v_{\text{изл}}{\cdot}3600} + d^2} = \sqrt{\frac{4(180+710)}{3{,}14{\cdot}7{,}0{\cdot}3600} + 0{,}083^{\,2}} = 0{,}227\,\text{м},$$

где d — наружный диаметр воздушной трубы, $d = 0{,}083$ м.

В соответствии с ГОСТ 8732—70 наружный диаметр водоподъемной трубы принимаем $D = 273$ мм (толщина стенки 7 мм), а обсадной — $D_{\text{о}} = 325$ мм (толщина стенки 10 мм).

9. Для оценки полученных результатов в таблицах 4.8 и 4.9 приводим некоторые практические данные по выполненным эрлифтным установкам.

4.8. Диаметры труб, мм, в зависимости от подачи эрлифта

Q, л/с	При параллельной системе расположения воздушной трубы			При центральной системе расположения воздушной трубы		
	водоподъемная D	воздушная L	обсадная D_o	водоподъемная D	воздушная L	обсадная D_o
1...2	40	12	100	—	—	—
2...3	50	12...20	100	50	12,5	75
3...4,5	63	20...25	150	63	20	100
4,5...6	—	—	—	75	20	100
6...9	75	25...30	150	88	25	125
9...12	88	25...30	200	100	30	150
12...18	100	30...38	200	113...125	38	175
21...30	125	38...50	250	150	50...63	200
30...45	150	50...63	300	200	75	250
45...60	175	50...63	350	—	—	—
50...70	200	63...75	350	250	88	300

4.9. Основные данные по выполненным конструкциям эрлифтов

Диаметр воздушной трубы d, мм	Подача воздуха, м³/ч	Длина башмака, мм	Число отверстий в ряду	Число рядов	Диаметр отверстий, мм
19	30	1490	6	20	4
25	60	1490	8	20	4
32	100	1490	8	20	5
38	200	1490	8	20	6
50	400	1490	8	20	6
65	700	2075	12	30	6
75	1000	2075	15	30	6
100	1500	2075	22	30	6

10. Подбираем насосы II подъема

$$H_р = H_{г.max} + h_м + h_д = 11{,}0 + 1{,}0 + 2{,}84 = 14{,}84 \text{ м},$$

где $H_{г.max}$ — максимальная геодезическая высота подъема, $H_{г.max} = 74{,}0 - 63{,}0 = 11$ м; $h_м$ — местные потери, $h_м = 1$ м; $h_д$ — потери по длине трубопровода, $h_д = 1000iL = 5{,}67 \cdot 0{,}5 = 2{,}84$ м.

По сводным характеристикам центробежных консольных насосов (см. рис. 4.2, *а*) и каталогам выбираем насос К-160/20, параметры которого после обточки рабочего колеса будут: $Q = 180$ м³/ч; $H = 14{,}84$ м; $\eta = 78$ %; $\Delta h_{доп} = 4{,}5$ м.

Насос поставляют с электродвигателем А2-61-4 мощностью 13 кВт, $n = 1450$ мин$^{-1}$. Масса всего агрегата 365 кг.

На станции устанавливаем один агрегат, так как в случае отказа он может быть заменен новым в течение нескольких часов.

Вариант 4. Оборудование — насосно-гидроэлеваторная установка (рис. 4.7). Насосно-гидроэлеваторные установки применяют для

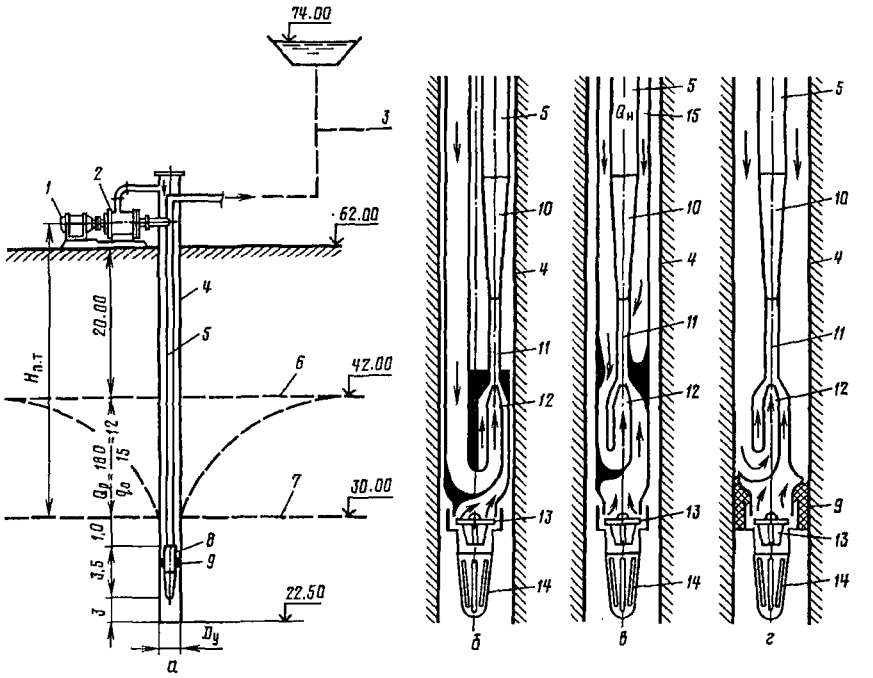


Рис. 4.7. Насосно-гидроэлеваторная установка и конструкция гидроэлеваторов: (отметки и размеры в м):

а — схема насосно-гидроэлеваторной установки; *б* — гидроэлеватор трехтрубной конструкции с боковым размещением рабочей и водоподъемной труб; *в* — то же, с центральным размещением водоподъемной трубы; *г* — гидроэлеватор двухтрубной конструкции; *1* — электродвигатель; *2* — насос многосекционный; *3* — напорный трубопровод ($D_у$ = 250 мм, длина 500 м); *4* — обсадная труба; *5* — водоподъемная труба; *6* и *7* — статический и динамический уровни; *8* — водоструйный насос (гидроэлеватор); *9* — резиновое уплотнение; *10* — диффузор; *11* — камера смешения; *12* — насадка (сопло); *13* — обратный клапан; *14* — фильтр; *15* — подача рабочей воды между обсадной и водоподъемными трубами

откачки воды из скважин, подвалов, котлованов, для заливки насосов перед их пуском в работу, для увеличения высоты всасывания установки. Наиболее простая схема гидроэлеватора при центральном расположении насадка показана на рисунке 4.7, *б, в, г*. Разработаны более сложные конструкции, имеющие лучшие КПД.

Гидроэлеваторы, устанавливаемые в скважинах, выполняют как двухтрубными, так и трехтрубными (см. рис. 4.7). Наиболее экономична двухтрубная схема. Для расчета гидроэлеватора и необходимых для его работы напора и подачи насоса воспользуемся данными, приведенными в таблице 4.10.

Используя данные таблицы 4.10, рассчитывают элеваторную установку.

1. Принимаем коэффициент эжекции $q = Q_э/Q_р = 1$; как показала статистика, при q, близком к 1, гидроэлеватор работает достаточно экономично. Тогда $Q_э = Q_р = 180$ м^3/ч = 50 л/с.

4.10. Связь между основными параметрами гидроэлеваторов

$q = Q_э/Q_р$	$n = v_2/v'_3$	$v'_{3уд}$	$v_{3уд}$	$v_{2уд}$	$v_{1уд}$	$\eta_{ст.г}$
0,5	0,398	5,808	4,303	2,311	7,56	0,2591
0,75	0,4536	5,998	4,443	2,721	8,459	0,2715
1,0	0,4908	6,279	4,651	3,082	9,478	0,2818
1,4	0,531	6,543	4,846	3,474	10,84	0,2921
1,5	0,5388	6,744	5,069	3,687	11,58	0,2577
1,8	0,5586	7,013	5,194	3,917	12,59	0,2532

Примечание. $Q_э$ — подача эжектируемой воды, м³/с; $Q_р$ — подача рабочей (эжектирующей) воды, м³/с; v_1 — скорость на выходе из насадки, м/с; v_2 и v_3 — скорости соответственно эжектируемого потока в начале смесительной камеры и общего потока в конце смесительной камеры; v'_3 — осредненная скорость по количеству движения в начале смесительной камеры; (индекс «уд» показывает, что в таблице дана приведенная скорость, а для получения действительной скорости необходимо табличное значение умножить на $\sqrt{h_{эп} + h_{вак}}$); $\eta_{ст.г}$ — статический КПД гидроэлеватора, то есть отношение полезной работы, создаваемой струйным насосом, к работе, создаваемой центробежным насосом.

2. Определяем потери статического напора во всасывающей части гидроэлеватора исходя из условия, что коэффициент потерь в ней $\xi_2 = 0,108$, а скорость эжектируемого потока $v_2 = 7$ м/с

$$h_{вак} = (1 + \xi_2)\, v_2^2 / 2g = (1 + 0,108)\, 7^2 / 19,62 = 2,77 \text{ м}.$$

Опасность возникновения кавитации в гидроэлеваторе отсутствует, так как

$$h_{вак} < H_а + l_{заг} - H_{п.ж},$$

где $l_{заг}$ — заглубление гидроэлеватора под динамический уровень воды в скважине, м, $l_{заг} = 1$ м.

3. Вычисляем напор воды в выходном сечении гидроэлеватора

$$h_{эл} = H_г + 1,05(h_{w1} + h_{w2}) = (74,0 - 30,0) + 1,05(69,6 \cdot 0,0335 + 5,67 \cdot 0,50) = 49,4 \text{ м},$$

где h_{w1} потери напора в водоотводной колонне длиной 33,5 м с $D_у = 200$ мм при $Q = Q_р + Q_э = 100$ л/с, м; h_{w2} — потери напора в напорном водоводе длиной 500 м с $D_у = 250$ мм при $Q = 50$ л/с, м.

4. Рассчитываем усредненную скорость в начале смесительной камеры, приняв коэффициент сопротивления смесительной камеры и диффузора $\xi_3 = 0,35$,

$$v'_3 = \sqrt{(h_{эл} + h_{вак})(1 + 0,35)2g} = \sqrt{(49,4 + 2,77)1,35 \cdot 19,62} = 37,2 \text{ м/с}.$$

5. Определяем скорость на выходе из насадка:

$$v_1 = q(v'_3 - v_2 \cos\alpha_2) + v'_3 = 1(37,2 - 7 \cdot 0,9) + 37,2 = 68,2 \text{ м/с},$$

где $\cos\alpha_2$ — косинус угла входа эжектируемого потока, $\cos\alpha_2 = 0,9$. Проверка: согласно таблице 4.10 $v_{1уд} = 9,478$. Следовательно, $v_1 = v_{1уд}\sqrt{(49,4 + 2,77)} = 9,478\sqrt{52,17} = 68,4$ м/с, что очень близко к полученной ранее.

6. Вычисляем необходимый напор рабочей воды перед насадком с учетом коэффициента потерь в нем $\xi_1 = 0,108$ по значению v_1:

$$h_р = v_1^2 / 2g(1 + \xi_1) = 68,2^2 / 19,62(1 + 0,108) = 262 \text{ м}.$$

7. Находим необходимую приведенную высоту нагнетания насоса

$$H_{н.п} = h_р - H_{п.т} + h_{wр} = h_р - H_{п.т} + iL_{п.т} = 262 - 32,5 + 0,12 \cdot 33,5 = 233,5 \text{ м},$$

где i — удельное сопротивление кольцевого пространства в подводящей трубе, м/м, $i = 0{,}12$ м/м; $L_{п.т}$ — длина подводящей трубы, м, $L_{п.т} = 33{,}5$ м.

8. Вычисляем:
полный напор насоса

$$H = H_{н.п} + h_{н.у} - (74 - 62{,}5) - h_{w_2} = 232{,}5 + 0{,}5 - 11{,}5 - 5{,}67 \cdot 0{,}5 = 218{,}7 \text{ м},$$

где $h_{н.у}$ — потери напора в коммуникациях насосной установки, м, $h_{н.у} = 0{,}5$ м;

диаметр насадка

$$d_1 = \sqrt{(Q_р \cdot 4)/(\pi v_1)} = \sqrt{(0{,}05 \cdot 4)/(3{,}14 \cdot 68{,}2)} = 0{,}0306 \text{ м} = 3{,}06 \text{ см};$$

площадь выходного сечения насадка

$$f_1 = (\pi d_1^2)/4 = (3{,}14 \cdot 3{,}06^2)/4 = 7{,}35 \text{ см}^2;$$

площадь для подвода эжектируемого потока

$$f_2 = Q_э/v_2 = 0{,}05/7 = 0{,}00715 \text{ м}^2 = 71{,}5 \text{ см}^2;$$

площадь смесительной камеры в ее начале

$$f_{3н} = f_1 + f_2 = 7{,}35 + 71{,}5 = 78{,}85 \text{ см}^2;$$

диаметр смесительной камеры в ее начале

$$d_{3н} = \sqrt{(f_{3н} \cdot 4)/\pi} = \sqrt{(78{,}85 \cdot 4)/3{,}14} = 10 \text{ см};$$

площадь сечения горловины

$$d_{3н} = (Q_р + Q_э)/v_3 = (0{,}05 + 0{,}05)/33{,}58 = 0{,}00298 \text{ м}^2 = 29{,}8 \text{ см}^2,$$

где $v_3 = v_{3уд}\sqrt{h_{эл} + h_{вак}} = 4{,}651\sqrt{52{,}17} = 33{,}6$ м/с;

диаметр горловины

$$d_3 = \sqrt{(29{,}8 \cdot 4)/3{,}14} = 6{,}16 \text{ см}.$$

Начало смесительной камеры располагаем от выходного сечения насадка на расстоянии $l_1 = 1{,}5d_1 = 1{,}5 \cdot 30{,}6 = 46$ мм. Длину смесительной камеры принимаем $8d_3 = 8 \cdot 61{,}6 = 490$ мм.

Длина диффузора $l_{диф} = 7(d_в - d_3) = 7(210 - 61{,}6) = 1040$ мм, где $d_в$ — внутренний диаметр водоподъемной трубы с $D_у = 200$ мм (219 · 4,5 по ГОСТ 10704—63), $d_в = 210$ мм.

Для напора 218,7 м и подачи 50 л/с по сводным характеристикам многоступенчатых насосов выбираем насос типа ЦНС180-255, который может обеспечить подачу 180 м^3/ч при напоре 250 м. Мощность насоса 305 кВт, КПД 74 %. Электродвигатель А12-32-4, мощность 400 кВт. Для снижения потребляемой насосом мощности рабочие колеса можно обточить. КПД гидроэлеватора

$$\eta_{эл} = (Q_э\, h_{эл})/Q_р\,(h_р - h_{эл}) = (0{,}05 \cdot 49{,}4)/0{,}05(262 - 49{,}4) = 0{,}232.$$

Глубина скважины $S = 62 - 30 + l_{заг} + l_{г.э} + l_{зап} = 32 + 1 + 3{,}5 + 3 = 39{,}5$ м,

где $l_{заг}$ — заглубление, $l_{заг} = 1$ м; $l_{г.э}$ — длина гидроэлеватора со всасывающим устройством, $l_{г.э} = 3{,}5$ м; $l_{зап}$ — запас, $l_{зап} = 3$ м.

Можно провести расчеты и с другими значениями q и v_2 с целью определения оптимальных параметров гидроэлеватора для решения поставленной задачи. Однако можно уже полагать, что вариант 4 подъема воды из скважины с помощью гидро-

элеваторной установки вероятнее всего наименее предпочтителен из всех рассмотренных вариантов, так как в этом случае энергопотребление намного выше, чем в любом другом.

С. Н. Карамбировым (МГУП) был разработан графоаналитический метод расчета гидроэлеваторов и выбора их оптимальных параметров из условий ограничений любого вида. Основное преимущество этого метода — меньший объем расчетных работ для получения оптимальных конечных результатов.

В предложенном им методе геометрическое подобие гидроэлеваторов характеризуется параметром $m = f_1/f_{к.с} = (d_1/d_{к.с})^2$ — отношением площади выходного отверстия насадки к площади камеры смешения, а кинематическое подобие их режимов работы — параметром $\alpha = v_2/v_1$ — отношением скоростей эжектируемого и эжектирующего потоков в начале камеры смешения и на выходе из насадки соответственно. Гидроэлеватор подбирают по следующим безразмерным переменным: относительному напору $h = H_{эл}/(H_{эл} + H_р)$ — отношению напора гидроэлеватора к полному перепаду напора эжектируемого и эжектирующего потоков; коэффициенту эжекции $q = Q_э/Q_р$ — отношению подач эжектируемой и эжектирующей жидкостей; КПД гидроэлеватора $\eta_{эл} = (qH_{эл})/H_р = (hq)/(1 - h)$. Все три переменные являются функциями геометрических и кинематических параметров гидроэлеватора. Аргументы этих переменных α и m изменяются от 0 до 1. Построенные в квадрате плоскости α и m линии постоянных величин h, q и $\eta_{эл}$ образуют обобщенную безразмерную характеристику гидроэлеваторов (см. рис. 4.14). Характеристика построена при среднестатистических коэффициентах: $\xi_1 = 0{,}06$; $\xi_2 = 0{,}1$; $\xi_д = 0{,}18$ (коэффициент потерь напора в диффузоре) и $\lambda = 0{,}015$ (коэффициент трения в камере смешения).

Область использования обобщенной характеристики на рисунке 4.8 ограничена условием бескавитационной работы гидроэлеватора $\alpha < \alpha_{кав}$, где $\alpha_{кав} = \sqrt{\left(H_а + l_{заг} - H_{п.ж}\right) / 1{,}35\left(H_{эл} + H_р\right)}$. Порядок использования безразмерной характеристики на рисунке 4.8 лучше всего показать на примере. Пусть будут те же исходные данные и та же задача, которые были ранее в расчете по варианту 4, в частности, $q = 1$ и $Q_э = Q_р = 50$ л/с. Расчет проводим в следующей последовательности.

1. Определяем требуемый напор гидроэлеватора

$$H_{эл} = H_г + \Sigma h_i = (74 - 30) + 1{,}05\,(69{,}6 \cdot 0{,}0335 + 5{,}67 \cdot 0{,}5) = 49{,}4 \text{ м},$$

где Σh_i — сумма потерь напора в трубопроводах при подъеме воды от динамического уровня в скважине к водоприемнику, м.

2. Задаем $\alpha = 0{,}3$, чтобы получить высокий КПД гидроэлеватора. Тогда при $q = 1$ по графику на рисунке 4.8 находим $h = 0{,}25$ и далее

$$H_р = H_{эл}\,(1 - h)/h = 49{,}4(1 - 0{,}25)/0{,}25 = 148,\ 2 \text{ м}.$$

3. Вычисляем условия бескавитационной работы гидроэлеватора, для чего находим

$$\alpha_{кав} = \sqrt{\frac{H_а + l_{заг} - H_{п.ж}}{1{,}35\left(H_р + H_{эл}\right)}} = \sqrt{\frac{10{,}4 + 1{,}0 - 0{,}2}{1{,}35\left(148{,}2 + 49{,}4\right)}} = 0{,}205,$$

где $l_{заг}$ — заглубление гидроэлеватора под динамический уровень воды в скважине, м.

Так как принятое $\alpha = 0{,}3$ больше $\alpha_{кав}$, то гидроэлеватор с заданными условиями и параметрами не может быть реализован. Поэтому задаем $\alpha = 0{,}17$.

4. Находим по графику при $q = 1$ и $\alpha = 0{,}17$ $h = 0{,}2$.

Тогда

$$H_р = 49{,}4(1 - 0{,}2)/0{,}2 = 197{,}6 \text{ м}$$

и

$$\alpha_{кав} = \sqrt{\frac{10{,}4 + 1{,}0 - 0{,}2}{1{,}35(197{,}6 + 49{,}4)}} = 0{,}185.$$

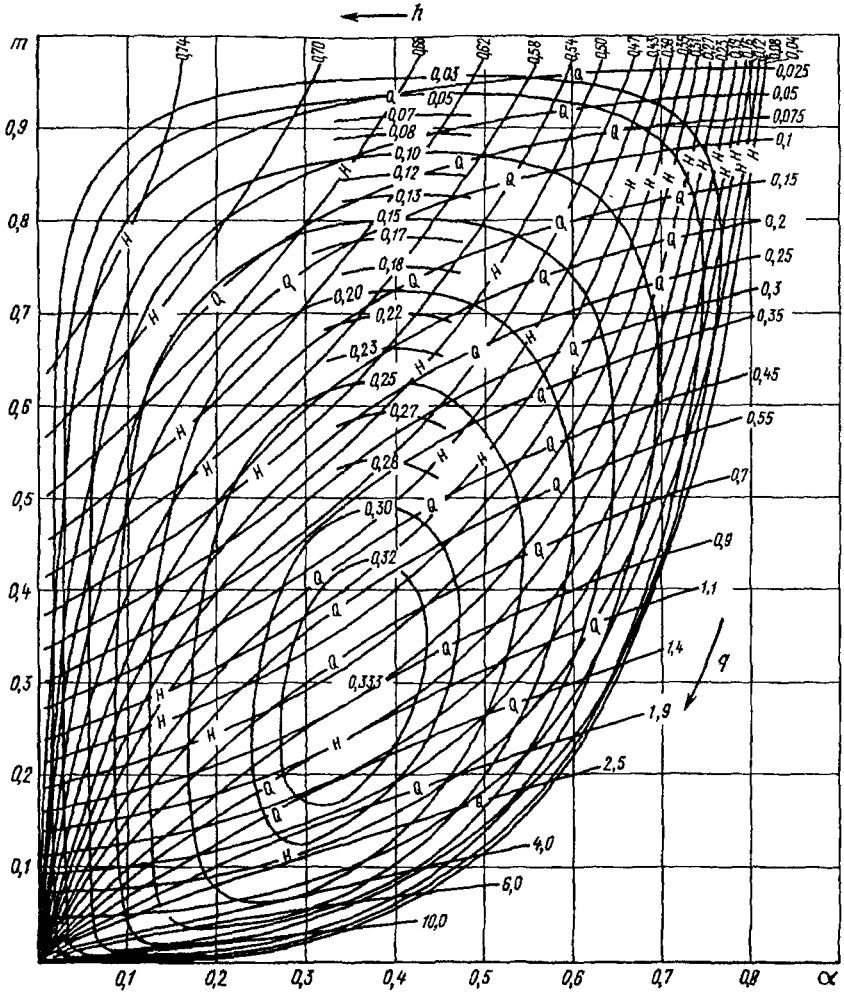


Рис. 4.8. Обобщенная безразмерная характеристика гидроэлеваторов

Условия бескавитационной работы гидроэлеватора выполняются. По графику находим: $m = 0{,}145$ и $\eta_{эл} = 0{,}25$.

5. Определяем выходную скорость воды из насадка

$$v_1 = \sqrt{\left(H_{эл} + H_р\right) 2g \Big/ \left[1 + \xi_1 - \alpha^2\left(1 + \xi_2\right)\right]} =$$

$$= \sqrt{\left(49{,}4 + 197{,}6\right) 19{,}62 \Big/ \left[1 + 0{,}06 - 0{,}17^2\left(1 + 0{,}1\right)\right]} = 68{,}7 \text{ м/с}.$$

6. Вычисляем диаметр выходного отверстия насадка

$$d_1 = \sqrt{Q_р \cdot 4 / \pi v_1} = \sqrt{0{,}05 \cdot 4 / 3{,}14 \cdot 68{,}7} = 0{,}0305 \text{м}.$$

7. Рассчитываем диаметр и длину камеры смешения

$$d_{к.с} = \sqrt{d_1^2 / m} = \sqrt{0{,}0305^2 / 0{,}145} = 0{,}08 \text{м}$$

и $l_{к.с} = 6d_{к.с} = 6 \cdot 0{,}08 = 0{,}48$ м.

8. Определяем требуемый напор центробежного насоса, принимая потери напора в коммуникациях насосной установки $h_{н.у} = 0{,}5$

$$H = (H_{эл} + H_р) - 32{,}5 + 0{,}12 \cdot 33{,}5 + h_{н.у} - (74 - 62{,}5) - H_{w_2} =$$
$$= 247 - 33{,}5 + 0{,}12 \cdot 33{,}5 + 0{,}5 - 11{,}5 - 5{,}67 \cdot 0{,}5 = 204{,}7 \text{ м}.$$

9. Строим безразмерную характеристику гидроэлеватора $h, \eta_{эл} = f(q)$ на участке от $\alpha = 0$ до $\alpha = \alpha_{кав}$, используя для этого точки пересечения линий $h = \text{const}$, $\eta_{эл} = \text{const}$ и $q = \text{const}$ с горизонтальной линией $m = 0{,}145 = \text{const}$, и далее преобразуем ее в размерную.

Дальнейшие расчеты ведем в том же порядке, как и в исходном примере варианта 4. Несмотря на менее совершенную конструкцию гидроэлеватора (цилиндрическая камера смешения вместо конической), экономичность гидроэлеваторной установки во втором примере выше, чем в первом за счет повышения КПД элеватора и соответственно снижения напора насоса, перекачивающего эжектирующую жидкость. Можно сделать попытку увеличить эффективность работы гидроэлеватора, увеличив заглубление его под уровень воды в скважине $l_{заг}$, $\alpha_{кав}$ и α, а следовательно, и $\eta_{эл}$ (см. рис. 4.8). Однако при этом возрастают и потери в трубопроводных линиях гидроэлеваторной установки, которые повысят требуемый напор $H_{эл}$. С помощью несложных расчетов и графиков на рисунке 4.8 можно найти оптимальное заглубление $(l_{заг})_{opt}$.

Оптимальный вариант установки для забора воды из скважины может быть выбран только в результате технико-экономического сравнения. При этом должны быть учтены капитальные и ежегодные издержки, в которые входят отчисления на амортизацию и текущий ремонт, стоимость содержания штата и электроэнергии. С технической точки зрения наиболее простым следует считать вариант 2 с электропогружным насосом. В этом случае насосная станция будет иметь наибольший КПД (по сравнению с вариантами 3 и 4) и бóльшую надежность (по сравнению с вариантом 1).

4.7. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИВОДА НАСОСОВ

В качестве привода к насосам на мелиоративных насосных станциях могут быть применены любые типы двигателей: электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания, ветродвигатели, паровые и др. Наибольшее распространение получили электродвигатели трехфазного переменного тока, синхронные и асинхронные, горизонтального и вертикального исполнения.

По сравнению с другими типами двигателей электродвигатели обладают рядом преимуществ: компактность, меньшая масса на единицу мощности, простота и надежность эксплуатации, экономичность.

Насосы типов К, Д, В, О и ОП, применяемые на насосных станциях, поставляют насосостроительные заводы комплектно с электродвигателями. Если комплектуемые с насосами электродвигатели не отвечают требованиям установки или проектируют новый тип насоса, то необходимо учитывать следующие рекомендации:

для насоса мощностью до 200 кВт применяют низковольтные асинхронные электродвигатели, при большей мощности и необходимости частых пусков — высоковольтные асинхронные двигатели;

для насосов мощностью 250 кВт и более применяют высоковольтные синхронные электродвигатели желательно с тиристорным возбуждением;

напряжение и мощность электродвигателя необходимо согласовывать со схемой внешнего электроснабжения;

при подборе электродвигателя необходимо обеспечивать заданную для вала насоса частоту вращения и мощность, которую рассчитывают по формуле (4.4).

Номинальную мощность электродвигателя в каталогах дают при температуре окружающей среды 35 °С. В тех случаях, когда эта температура выше, номинальную мощность электродвигателя снижают согласно формуле $N_{дв} = k_2 N_{ном}$, где k_2 — температурный коэффициент.

Для асинхронных двигателей: $k_2 = 0{,}95$ при $t = 40$ °С; $k_2 = 0{,}9$ при $t = 45$ °С; $k_2 = 0{,}85$ при $t = 50$ °С.

Для синхронных электродвигателей: $k_2 = 0{,}95$ при $t = 40$ °С; $k_2 = 0{,}875$ при $t = 45$ °С; $k_2 = 0{,}75$ при $t = 50$ °С.

С учетом этих данных электродвигатель выбирают с большей номинальной мощностью.

Форма исполнения электродвигателя должна соответствовать условиям окружающей среды. Как правило, для мелиоративных насосных станций выбирают обдуваемые электродвигатели с влагоустойчивой изоляцией.

Электродвигатели мощностью более 630 кВт желательно применять закрытые, чтобы исключить чрезмерный нагрев воздуха в машинном зале здания насосной станции.

Асинхронные электродвигатели. На мелиоративных насосных станциях и станциях сельскохозяйственного водоснабжения наиболее часто применяют асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором серий А2, АО2, А3, АО3, АН, АВ и др.

Ниже даны краткие характеристики некоторых типов электродвигателей.

Серии А3 и АО3 (выпуск 01.01/02/03.01 — 73): мощность 45...315 кВт, частота вращения 490...2970 мин$^{-1}$, напряжение 220/380 и 6000 В. Здесь и далее даны приближенные частоты вращения валов электродвигателей. Более точные частоты вращения валов двигателей даны в их документации.

Конструкция: горизонтальное расположение вала на подшипниках качения с консистентной смазкой. Электродвигатели серии А3 работают как в режиме самовентиляции, так и с принудительной вентиляцией. Электродвигатели серии АО3 охлаждаются путем теплоотдачи с наружной поверхности ребристой станины. Коробку ввода для присоединения кабелей размещают с

правой стороны электродвигателя, если смотреть со стороны насоса.

Серия А2 13-го, 14-го и 15-го габаритов (выпуск 01.02/03.02—70): мощность 200...1250 кВт, частота вращения 485...1450 мин$^{-1}$, напряжение 6000 В, пуск прямой от полного напряжения сети.

Конструкция: электродвигатель может быть как горизонтальным, так и вертикальным. При горизонтальном вале применяют подшипники качения с консистентной смазкой, при вертикальном — подпятник и два направляющих подшипника, расположенных в масляных ваннах. Охлаждение электродвигателей выполнено в режиме самовентиляции, но может быть и с принудительной вентиляцией.

Серия АН2 (выпуск 01.02/03.05—78): мощность 500...2000 кВт, напряжение 6000 В, частота вращения 367...970 мин$^{-1}$.

Конструкция: горизонтальное расположение вала на двух подшипниках качения с консистентной смазкой. Двигатели работают в режиме самовентиляции.

Серия АН2 14-го, 15-го, 16-го габаритов (выпуск 01.03.06—70): мощность 200...10 000 кВт, частота вращения 95...970 мин$^{-1}$, напряжение 6000 В.

Конструкция: горизонтальное расположение вала на двух подшипниках скольжения с кольцевой или принудительной смазкой под давлением 0,025...0,05 МПа. Охлаждение воздушное, в режиме самовентиляции.

Серия ДВДА (выпуск 1179) — двухскоростные электродвигатели: мощность от 500/300 до 1400/700 кВт, частота вращения от 585/485 до 367/290 мин$^{-1}$, напряжение 6000 В.

Конструкция: электродвигатели серии ДВДА изготовляют вертикальными с подпятником и двумя направляющими подшипниками, расположенными в масляных ваннах. Электродвигатели работают в режиме самовентиляции: воздух забирается из фундаментной ямы и сверху через окна верхней крестовины, а выбрасывается в машинный зал через отверстия в обшивке статора. Смазка подшипников замкнутая, без внешней циркуляции. Охлаждение масляных ванн водяное.

Синхронные электродвигатели. На мелиоративных насосных станциях наиболее часто применяют синхронные электродвигатели серий СД, СДН, СДН3, ВДС, ВСДН и др. Ниже даны краткие характеристики некоторых типов электродвигателей.

Серии СДН-2 и СДН3-2 16-го и 17-го габаритов: мощность 315...4000 кВт, напряжение 6000 В, частота вращения 300...1000 мин$^{-1}$, пуск прямой, асинхронный от полного напряжения сети. Возбуждение происходит от статического тиристорного возбудителя.

Конструкция: горизонтальное расположение вала на двух подшипниках скольжения с кольцевой смазкой. Охлаждение воздушное. Электродвигатели серии СДН-2 работают в режиме самовен-

тиляции, а электродвигатели СДН3-2 — в режиме принудительной вентиляции по замкнутому или разомкнутому циклу.

Серии СД2 и СД3-2 (выпуски 01.09.09 — 76 и 01.09/10.11—77): мощность 160...1000 кВт, напряжение 6000 В, частота вращения 500...1500 мин$^{-1}$. Возбуждение происходит от статических тиристоров, пуск — от полного напряжения сети.

Конструкция: горизонтальное расположение вала на двух подшипниках (шариковый со стороны контактных колец и однорядный роликовый со стороны привода). Коробка выводов расположена с правой стороны машины. Охлаждение электродвигателей серии СД2 предусмотрено в режиме самовентиляции по разомкнутому циклу, а серии СД3-2 — самовентиляции по замкнутому циклу через воздухоохладитель, встроенный в нижней части станины электродвигателя.

Серия ДСГ260/54-28 У4.2: мощность 2500 кВт, напряжение 6000 В, частота вращения 214,3 мин$^{-1}$. Электродвигатель изготовлен для привода горизонтальных осевых насосов ОПГ-220-1.

Конструкция: горизонтальное расположение вала, закрытое исполнение с вентиляцией по замкнутому циклу через воздухоохладители (электродвигатель работает в режиме самовентиляции). Электродвигатель имеет полый вал, установленный на самосмазывающихся подшипниках. Один конец вала предназначен для присоединения узла маслоприемника разворота лопастей рабочих колес насоса, другой — для соединения с осевым насосом через зубчатую муфту. Электродвигатель возбуждается от статического тиристорного возбудителя.

Серии ВДС2-325 и ВДС-375 (выпуск 01.10.29—78): мощность 4000...12 500 кВт, частота вращения 187...375 мин$^{-1}$, напряжение 6000 В; электродвигатели предназначены для привода вертикальных насосов. Их выполняют подвесными с подпятником и двумя направляющими подшипниками, расположенными в масляных ваннах с фланцевым концом вала для присоединения к насосу. Пуск электродвигателей ВДС2-325 прямой, асинхронный, от полного напряжения сети при минимальных моментах сопротивления на валу насоса, то есть при закрытой задвижке у центробежных насосов и при минимальных углах установки лопастей рабочих колес осевых насосов. Пуск электродвигателей ВДС-375 асинхронный, через пусковой реактор, снижающий напряжение на зажимах обмотки статора двигателя в начальный момент пуска до 0,7 номинального напряжения. Электродвигатели возбуждаются от статических тиристорных или электромашинных (при специальном заказе) возбудителей. Подпятник двигателя рассчитан на осевую нагрузку от веса вращающихся частей электродвигателя и насоса, а также от реакции воды.

Серия ВСДН (СДВ) 15-го, 16-го и 17-го габаритов (выпуск 01.10.03—76): мощность 630...3200 кВт, напряжение 6000 В, частота вращения 375...750 мин$^{-1}$. Пуск прямой, от полного напряжения сети, возбуждение от статических тиристорных возбудителей.

Конструкция: вертикальные двигатели серии ВСДН (СДВ) выполняют подвесными с подпятником и двумя направляющими подшипниками. Система смазки замкнутая, внутри масляных ванн верхней и нижней крестовин без внешней циркуляции. Охлаждение масла водяное. Подпятник рассчитан на восприятие нагрузки от веса вращающихся частей агрегата и от реакции воды. Электродвигатель работает в режиме самовентиляции: воздух забирается из фундаментной ямы и сверху через отверстия в верхней крестовине, а выбрасывается в машинный зал через отверстия в корпусе статора.

На практике возможно применение и других электродвигателей с улучшенной конструкцией и лучшими эксплуатационными качествами.

Пример. Подобрать двигатель для вертикального насоса 80ВЦ-2,5/40, характеристика которого после обточки рабочего колеса показана на рисунке 4.3.

Максимальная потребляемая мощность:

для центробежных насосов

$$N_{max} = 9{,}81\, Q_{p\,max}\, H_{p\,min}/\eta_{Qp\,max};$$

для осевых насосов

$$N_{max} = 9{,}81\, Q_{p\,min} H_{p\,max}/\eta_{Qp\,min}.$$

Для рассматриваемого случая

$$N_{max} = 9{,}81 \cdot 2{,}3 \cdot 23{,}3/0{,}83 = 633{,}4 \text{ кВт}.$$

По формуле (4.4) с учетом данных, приведенных на с. 90, требуемая мощность двигателя

$$N_{дв} = K_{зап} N_{max} = 1{,}05 \cdot 633{,}4 = 665 \text{ кВт}.$$

Учитывая тип насоса (тип В) и его частоту вращения ($n = 500$ мин$^{-1}$), можно сделать вывод, что требуемый двигатель синхронный, вертикального исполнения (см. также с. 112). По каталогам или другим справочным материалам выбираем двигатель с частотой вращения $n = 500$ мин$^{-1}$ и равной или ближайшей большей мощностью*. Этим условиям удовлетворяют двигатели с маркой ВАН-143/41-12 или СДВ-16-36-12, которые имеют номинальную мощность $N_{ном} = 800$ кВт.

4.8. ВАКУУМ-СИСТЕМЫ

Заливка водой насосов, установленных выше уровня источника, может быть выполнена при помощи вакуум-насосов, эжекторов, методом автоподсоса, при помощи всасывающих труб с приподнятым коленом или баков-аккумуляторов. Насосы с помощью роторных вакуум-насосов заливают на насосных станциях любой мощности. При частых пусках (несколько раз в сутки) рекомендуют использовать в вакуум-системах вакуум-котлы, которые обеспечи-

* Для курсового и дипломного проектирования можно использовать справочные таблицы в учебном пособии А. Т. Манушина «Проектирование насосных станций мелиоративного назначения». М., МГМИ, 1988.

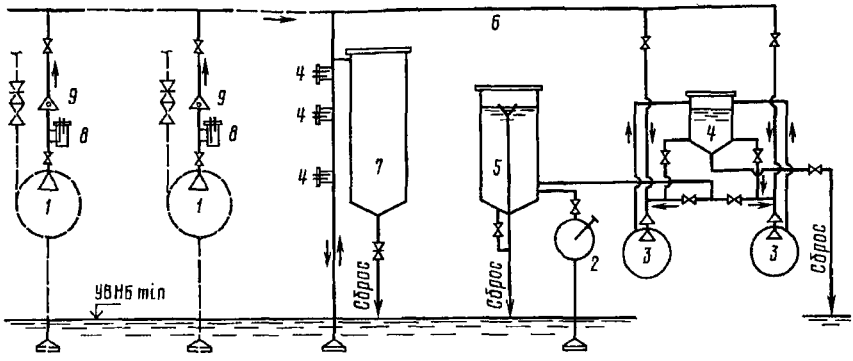


Рис. 4.9. Схема централизованной заливки основных насосов с нспользованнем вакуум-котла:

1 и *2* — основной и ручной насосы; *3* — вакуум-насос; *4* — водоотделитель вакуум-насоса; *5* — заливочный бачок-отстойник; *6* — воздушная магистраль; *7* — вакуум-котел; *8* — сигнализатор уровня ЭРСУ-2; *9* — клапан выпуска воздуха или вентиль с электроприводом

вают постоянный залив насосов водой и готовность их к пуску (рис. 4.9). Заливать насосы при помощи водовоздушных эжекторов целесообразно при относительно небольшой высоте всасывания (2...2,5 м). Для питания эжекторов рекомендуют использовать воду из напорных трубопроводов или от специального высоконапорного насоса.

На насосных станциях, где предусмотрена постоянная работа одного агрегата, можно применять так называемый метод автоподсоса. В этом случае всасывающий патрубок работающего насоса соединен с всасывающим патрубком неработающего насоса, создавая в нем необходимый вакуум. Подача вакуум-насосов, м^3/мин,

$$Q = H_a WK/T(H_a - h_{в\,max}),$$

где H_a — напор воды, соответствующий атмосферному давлению, м; W — объем всасывающего и напорного (до задвижки) трубопроводов и корпуса насоса, м^3; K — коэффициент запаса, при вакууме с остаточным напором: более 7 м $K = 1{,}05$, менее 7 м $K = 1{,}1$; T — время пуска основного агрегата, $T = 7...10$ мин; $h_{в\,max}$ — геометрическая высота всасывания при минимальном уровне воды в нижнем бьефе, м.

Рекомендуемые типы и основные характеристики вакуум-насосов приведены в таблице 4.11.

4.11. Техническая характеристика вакуум-насосов

Показатель	ВВН1-0,75	ВВН1-1,5	ВВН1-3	ВВН1-6	ВВН1-12	ВВН1-25
Подача, м^3/мин	0,75	1,5	3,3	6	12	25
Номинальный вакуум, $h_{в\,max}/H_a \cdot 100$ %	60	60	60	60	60	60
Частота вращения, мин$^{-1}$	1450	1450	1450	1450	980	730

Продолжение

Показатель	ВВН1-0,75	ВВН1-1,5	ВВН1-3	ВВН1-6	ВВН1-12	ВВН1-25
Мощность электродвигателя, кВт	2,2	5,5	7,5	18,5	30	90
Ориентировочный расход воды, л/с	0,05	0,16	0,13	0,25	0,38	2,38
Габариты агрегата, мм:						
длина	815	695	1195	1435	1840	2656
ширина	332	354	385	590	710	845
высота	333	650	755	980	1220	1540
Масса агрегата, кг	90	134	291	590	885	1935

Расчетный объем вакуум-котла принимают исходя из условия, чтобы вакуум-насос, поддерживающий расчетный уровень воды в котле (см. рис. 4.9), включался не более 4 раз в 1 ч. Подсос воздуха в систему зависит от диаметра всасывающего патрубка заливаемого насоса.

Подсос, л/ч	50	100	200	400
Диаметр всасывающего патрубка, мм	До 150	150...300	300...600	600...1200

На насосных станциях, где установлено небольшое число (до 3 агрегатов) насосов, подлежащих заливке, предусматривают индивидуальный для каждого агрегата вакуум-насос без резерва. При большем числе агрегатов и при использовании вакуум-котлов рекомендуют предусматривать централизованную систему заливки насосов, имеющую не менее двух вакуум-насосов (один резервный). Внутренние диаметры вакуумных магистралей, мм,

$$D_{\text{у}} = (35...45)\sqrt{Q},$$

где Q — подача вакуум-насоса при атмосферном давлении, м³/мин.

Пример. Подобрать вакуум-насос для заливки водой насоса Д800-57 с подачей $Q = 0{,}2$ м³/с, установленного в насосной станции, изображенной на рисунке 5.1 (см. главу 5).

Исходные данные: $d_{\text{в}} = 0{,}4$ м и $l_{\text{в}} = 8$ м — соответственно диаметр и длина всасывающего трубопровода до минимального уровня воды в источнике; $W_{\text{н}} = 0{,}6$ м³ — объем внутренних полостей насоса и напорного трубопровода до задвижки; $h_{\text{в max}} = 5{,}2$ м — высота всасывания (ей соответствует вакуум — 52 %); $H_{\text{а}} = 10$ м — напор, соответствующий атмосферному давлению; $K = 1{,}1$ — коэффициент запаса; $T = 8$ мин — расчетное время пуска агрегата.

Определяют объем воздушной полости в трубопроводах и насосе

$$W = \left(\pi d_{\text{в}}^2 / 4\right) l_{\text{в}} + W_{\text{н}} = \left(3{,}14 \cdot 0{,}4^2 / 4\right) 8 + 0{,}6 = 1{,}6 \text{ м}^3.$$

Вычисляют расчетную подачу вакуум-насоса

$$Q_{\text{р}} = H_{\text{а}} WK / T(H_{\text{а}} - h_{\text{в max}}) = 10 \cdot 1{,}6 \cdot 1{,}1 / 8(10 - 5{,}2) = 0{,}46 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

Исходя из расчетной подачи $Q_р = 0{,}46$ м^3/мин и номинального вакуума — 52 % по таблице 4.11 подбирают вакуум-насос с ближайшими равными или бо́льшими соответствующими параметрами. Это будет насос с маркой ВВН1-0,75. Он обеспечит заливку насоса Д800-57 менее чем за 8 мин.

4.9. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Потребность в технически чистой воде для охлаждения и смазки технологического оборудования насосных станций принимают по данным заводов — изготовителей оборудования.

В зависимости от числа, подачи и мощности основных агрегатов на насосных станциях можно применять три схемы технического водоснабжения (ТВС): централизованную, групповую и блочную.

Централизованную схему ТВС, как правило, применяют на средних и крупных насосных станциях при числе основных агрегатов до четырех с подачей воды в эту систему специальными насосами. Кроме того, эту схему используют на насосных станциях любой мощности с любым числом агрегатов, подающих воду в систему из внешнего водопровода или водонапорной башни.

Групповую систему ТВС используют на насосных станциях при числе агрегатов более пяти. В этом случае, чтобы повысить надежность системы и уменьшить неравномерность расходов, систему ТВС разделяют на несколько групп исходя из расчета, что каждая группа обслуживает не более четырех основных агрегатов. Все группы автономны, но имеют общее водозаборное устройство.

Блочную (поагрегатную) систему ТВС применяют на насосных станциях, оборудованных любым числом основных агрегатов с подачей основного насоса более 5 м^3/с.

Системы ТВС, как правило, состоят из водозаборных устройств, фильтров и отстойников, насосов, трубопроводов, запорной арматуры и контрольно-измерительных приборов.

На крупных насосных станциях предусматривают не менее двух независимых водозаборных устройств, доступных для очистки и оборудованных сороудерживающими решетками или крупноячеистыми сетками. Сетчатые фильтры для очистки воды от водорослей и травы устанавливают в легкодоступных местах вблизи водозаборов так, чтобы можно было очищать и заменять любой из них, не нарушая работы всей системы.

При наличии в воде значительного количества наносов на насосных станциях необходимы отстойники. Для системы ТВС применяют центробежные насосы типов К, КМ и Д или при специальном обосновании — вертикальные погружные. Число насосов должно быть не менее двух (один из них резервный с автоматическим переключением при аварии) для централизованной или групповой схемы. При большом числе основных агрегатов (пять и более) число насосов увеличивают до трех. При блочной схеме ТВС допускается

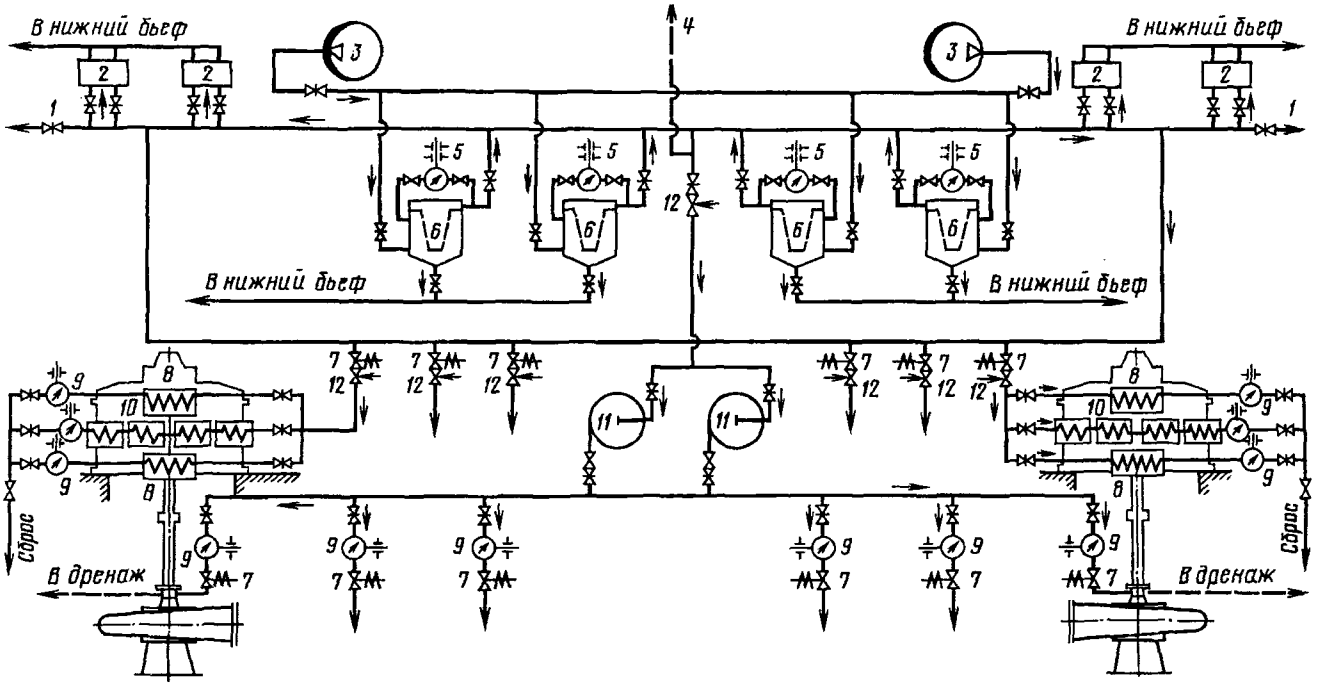


Рис. 4.10. Схема ТВС для крупной насосной станции:

1 — трубопровод к компрессорам; *2* — воздухоохладители кондиционеров; *3* — водозабор из напорных трубопроводов; *4* — трубопровод от очистных сооружений (возможный вариант); *5* — измерение перепада давления в фильтре; *6* — сетчатые фильтры грубой очистки; *7* — задвижка с электроприводом; *8* — маслоохладитель; *9* — струйное реле (реле протока); *10* — воздухоохладители основных электродвигателей; *11* — насос подкачки; *12* — клапан регулирующий

устанавливать один насос на агрегат при условии, что на станции предусмотрен склад с резервом (1...2 комплекта). Устанавливают насосы ТВС ниже минимального уровня воды в источнике или в крайнем случае предусматривают надежное устройство для автоматического залива насоса.

Для системы ТВС применяют стальные трубы с антикоррозийным покрытием, диаметры которых подбирают по допустимым скоростям трубопроводов: 0,8...3 м/с для напорных и 0,6...1,5 м/с для всасывающих. Централизованная схема ТВС для крупной насосной станции с насосами типа В показана на рисунке 4.10. Вода забирается из напорных трубопроводов основных насосов, очищается в двух независимых группах сетчатых фильтров, подключенных к общей магистрали. От этой магистрали предусмотрены отводы, оборудованные задвижками с электроприводом, по которым вода подается к воздухо- и маслоохладителям основных электродвигателей, кондиционерам, компрессорам и др. От этой же магистрали вода специальными насосами закачивается во второй высоконапорный водовод, откуда подается к подшипникам основных насосов.

По данной схеме возможны различные модификации. Например, поставив на магистральном трубопроводе задвижки, вместо централизованной системы ТВС можно получить групповую. При перекачке загрязненной воды технически чистую воду для смазки подшипников основных насосов следует брать или из постороннего источника, или из отдельного отстойника. Воду можно забирать не из напорных трубопроводов, а из нижнего бьефа. В этом случае будет иметь место раздельная система ТВС. Оптимальный вариант ТВС должен быть выбран на основе сравнения нескольких возможных решений.

4.10. СИСТЕМА МАСЛОСНАБЖЕНИЯ

В зависимости от высотной компоновки основного оборудования система маслоснабжения может быть самотечной, принудительной и смешанной. Наиболее рациональна смешанная система, когда масло в маслоочистительные системы и агрегаты подается специальными насосами, а отработанное масло в операционный бак сливается самотеком. В качестве примера на рисунке 4.11 приведена схема системы маслоснабжения крупной насосной станции, оборудованной центробежными насосами и дисковыми затворами с гидроприводом. Она состоит из маслонасосной установки (два насоса и бак), масловоздушного аккумулятора давления (масловоздушный бак на давление 4 МПа) и лекажного агрегата, который должен обеспечить возврат в бак профильтровавшегося из сервомоторов масла. Принцип работы системы регулирования следующий: при получении импульса на закрытие дисковых

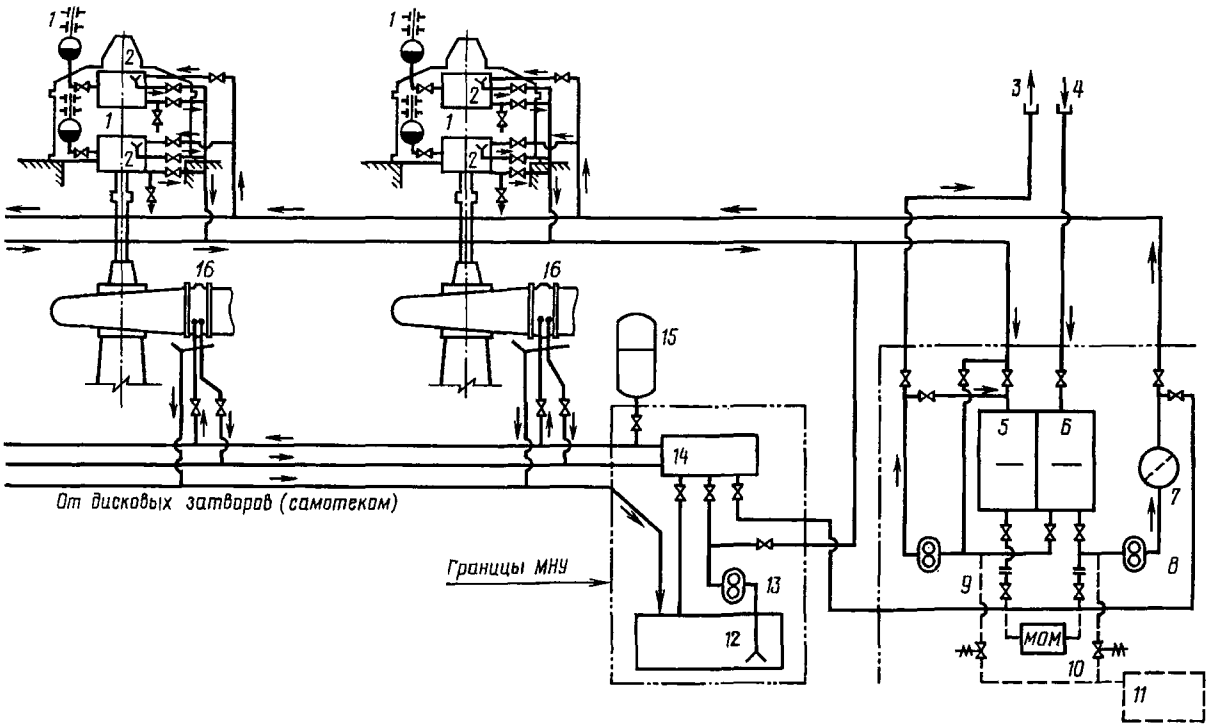


Рис. 4.11. Схема маслоснабжения крупной иасосной станции, оборудованиой центробежными насосами и дисковыми затворами с гидроприводом:

1 — поплавковое реле; *2* — ванны электродвигателя; *3* — отправка отработанного масла; *4* — подача чистого масла; *5* и *6* — операционные баки отработанного масла и чистого масла; *7* — масляный фильтр; *8* и *9* — насосы чистого и отработанного масла; *10* — маслоочистительная машина; *11* — сливной бак; *12* — бак лекажного агрегата; *13* — насос лекажного агрегата; *14* — бак маслонасосной установки; *15* — аккумулятор маслонасосной установки; *16* — дисковый затвор с гидроприводом

затворов открываются вентили на соответствующих маслопроводах; масло подается в цилиндры сервомоторов, которые и разворачивают диски затворов в положение «закрыто». На насосных станциях, как правило, употребляют несколько марок масел, в том числе турбинное и трансформаторное. Системы маслопроводов, маслонасосов и баков должны быть раздельными для каждого сорта масла. Объем маслонаполненной аппаратуры и оборудования принимают по данным заводов — изготовителей оборудования с учетом наличия потерь масла, которые у центробежных насосов достигают 4...10 %, а у поворотно-лопастных осевых насосов — 15 % общей емкости системы в год. Срок службы масла в системе регулирования 12...15 тыс. ч, в системе смазки подшипников скольжения 500...1000 ч, в подшипниках качения 9 тыс. ч.

На насосных станциях, имеющих масляные системы, необходимо предусматривать два операционных бака (или один двухсекционный) для чистого и отработанного масла, маслонасосы, маслопроводы, оборудование для очистки масла, запасные емкости для хранения чистого и отработанного масла. Объем операционных баков для чистого и отработанного масла должен быть не менее 110 % наибольшего объема масла в маслонаполненном агрегате плюс 15-суточный расход масла на доливку (потери) всех работающих агрегатов, если на станции есть баки для хранения масла, или составлять трехмесячный расход, если баки для хранения масла на станции не предусмотрены.

Для перекачки масла на насосных станциях применяют шестеренные насосы: по два насоса на каждый сорт масла (один для чистого масла, другой для отработанного). Резервные насосы не предусматривают. Подачу маслонасосов подбирают исходя из условия наполнения транспортной цистерны вместимостью до 20 т в течение 2 ч. Для периодической подкачки масла в маслонаполненную аппаратуру вместимостью до 0,3 м^3 разрешается применять ручные насосы или насосы фильтр-прессов. Основные технические характеристики шестеренных насосов для перекачки масла приведены в таблице 4.12.

4.12. Техническая характеристика шестеренных насосов

Показатель	Ш5-25	Ш8-25	Ш40-6-18/4Б	Ш80-6-22/3Б	Ш80-6-36/3Б-5
Подача, м^3/ч	3,6	5,8	18	22	36
Напор, м	40	25	40	30	30
Мощность электродвигателя, кВт	1,5...3	1,5...3	5,5...7,5	13	10...13
Частота вращения мин$^{-1}$	1450	1450	980	730	980
$\Delta h_{доп}$	5	5	—	—	—

Для очистки масла от влаги, механических примесей и некоторых продуктов старения применяют сетчатые фильтры и специальные фильтры для осушки воздуха, а также периодически очи-

щают масло при помощи фильтр-прессов или маслоочистных машин.

Диаметры маслопроводов, изготовляемых из бесшовных стальных труб, определяют по допустимым скоростям (табл. 4.13), но они должны быть не менее диаметров патрубков применяемой аппаратуры и не менее 20 мм.

4.13. Допустимые скорости, м/с, в маслопроводах при различной вязкости масла

Маслопровод	Вязкость масла, °ВУ				
	2...4	4...10	10...20	20...60	60...120
Всасывающий и самотечный	1,3	1,2	1,1	1,0	0,8
Напорный	2,0	1,5	1,2	1,1	1,0

Помещения маслохозяйства компонуют с учетом противопожарных требований:

операционные баки, маслонасосы и маслоочистные машины, как правило, устанавливают в изолированном помещении (аппаратной), которое должно иметь два выхода, если вместимость баков превышает 10 м^3 или его площадь более 100 м^2;

стены аппаратной делают из огнестойких материалов, вентиляцию — вытяжной, независимой, она должна обеспечивать трехкратный обмен воздуха в час.

4.11. СИСТЕМА СНАБЖЕНИЯ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ

Основные потребители сжатого воздуха:

система регулирования (давление 4 МПа, воздух расходуют в соответствии с данными заводов — поставщиков оборудования);

пневматический инструмент (давление 0,3...0,8 МПа, расход воздуха, потребляемого различными инструментами, изменяется от 0,7 до 2,6 м^3/мин);

обдувка оборудования от пыли (давление 0,3...0,8 МПа, расход воздуха 1...3 м^3/мин);

поддув воздухом двигателей капсульных насосов.

На крупных насосных станциях сжатый воздух применяют для следующих целей:

торможения электродвигателей (давление 0,8 МПа, расход воздуха при мощности электродвигателя до 50 МВт 5 л/с при времени торможения 1,5 мин);

отжатия воды из камер рабочих колес насосов (давление 0,6...0,8 МПа, объем воздуха рассчитывают);

образования незамерзающей полыньи по фронту затворов (давление до 0,8 МПа, расход воздуха 60 л/мин на 1 м фронта затвора и 200 л/мин на каждый паз).

Конструктивное исполнение системы снабжения сжатым воздухом зависит главным образом от типа основного оборудования и назначения станции. Так, на средних и крупных насосных станциях, где не предусмотрены системы регулирования и пневмогидропривода, можно применить упрощенную систему, состоящую из компрессоров и воздуховодов со штуцерами для присоединения пневмоинструмента и сопл для обдувки обмоток электродвигателей и другого электрооборудования. На мощных насосных станциях, оборудованных низконапорными насосами большой подачи, работающих круглый год в условиях суровой зимы, может быть сооружена объединенная компрессорная система, обслуживающая нескольких потребителей: осушение камер рабочих колес насосов, торможение электродвигателей, регулирование разворота лопастей рабочих колес насосов, создание полыньи перед сороудерживающими решетками и др.

Если потребность в сжатом воздухе низкого давления выше подачи компрессора высокого давления более чем в 5 раз, то предусматривают вторую компрессорную систему, оборудованную одним или двумя рабочими компрессорами низкого давления и резервируемую через редукционный клапан на воздухосборнике компрессорной системы высокого давления.

Пневмосистемы уникальных насосных станций, как правило, оборудуют двумя группами компрессоров высокого и низкого давления, двумя группами ресиверов и соответствующей контрольно-измерительной аппаратурой.

Система снабжения сжатым воздухом, как правило, должна работать в автоматическом режиме. Системы воздуховодов переключают вручную.

Подачу компрессоров высокого давления при атмосферном давлении воздуха определяют по следующим формулам, м^3/мин:

для зарядки систем маслоснабжения

$$Q = 10KVp/T,$$

для отжатия воды из камер рабочего колеса насоса

$$Q = Zq + 10V_{\text{р}}\,p_{\text{р}}/t,$$

где K — коэффициент заполнения аккумулятора воздухом, $K = 0{,}6...0{,}7$; V — объем аккумулятора маслонасосной установки, м^3; p — давление в аккумуляторе, МПа; T — время зарядки, $T = 20...120$ мин; Z — число агрегатов, в которых можно одновременно отжимать воду; q — расход воздуха для поддержания пониженного уровня воды в одной камере рабочего колеса, м^3/мин, $q = 0{,}25D^3(1 + 0{,}03D)$ (D — диаметр рабочего колеса насоса, м); $V_{\text{р}}$ — вместимость ресивера, м^3; $p_{\text{р}}$ — рабочее давление в ресивере, МПа; t — время восстановления рабочего давления в ресивере, $t = 20...60$ мин.

Подачу компрессора низкого давления определяют по наибольшему расходу воздуха, потребляемого двумя-тремя пневмоинструментами, работающими одновременно. Обычно этой подачи хватает для системы торможения электродвигателей. В последнем слу-

чае необходимо устанавливать ресивер, объем которого должен обеспечивать двукратное торможение агрегата без пуска в ход компрессора. При этом давление в ресивере должно быть не менее 0,3 МПа. Вместимость ресиверов $V_р$, используемых для отжатия воды из камер рабочего колеса насоса, должна быть не менее, м^3,

$$V = 0{,}5D^3(1 + 0{,}03D)Z/(10p_р - 0{,}03D).$$

Внутренние диаметры магистральных воздуховодов к компрессору и от компрессора находят по следующим формулам, мм:

для всасывающих воздуховодов

$$d_у = (35...45)\sqrt{Q};$$

для напорных воздуховодов

$$d_у = (25...35)\sqrt{Q},$$

где Q — подача компрессора при атмосферном давлении, м^3/мин.

4.12. МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

К механическому оборудованию насосных станций относят подвижные конструкции затворов и сороудерживающих решеток, их закладные части, решеткоочистные машины, подъемно-транспортные средства, захватные балки, штанги, тележки для транспортировки мусора и др.

Затворы. На мелиоративных станциях применяют глубинные и реже поверхностные затворы. По назначению их подразделяют на основные (создание напорного фронта), ремонтные, аварийные (быстропадающие затворы водовыпускных сооружений), аварийно-ремонтные и строительные (в качестве строительных могут быть использованы как основные, так и ремонтные затворы).

Рекомендуемые типы затворов: ремонтные и строительные — плоские, скользящие; аварийно-ремонтные — плоские, колесные; основные — плоские, колесные и сегментные. Схема плоского колесного затвора в качестве примера дана на рисунке 4.12.

Сороудерживающие решетки. Ими оборудуют входные отверстия всасывающих труб насосов или водоприемные камеры независимо от наличия отдельно стоящего сороудерживающего сооружения.

Сороудерживающие решетки выполняют цельносварными для установки в пазы (рис. 4.13) или секционными с вертикальной или горизонтальной разрезкой. Поверхностные наклонные решетки высотой до 2,5 м применяют при ручной очистке, высотой до 10 м — при механической (угол наклона решеток 70...80°). Верти-

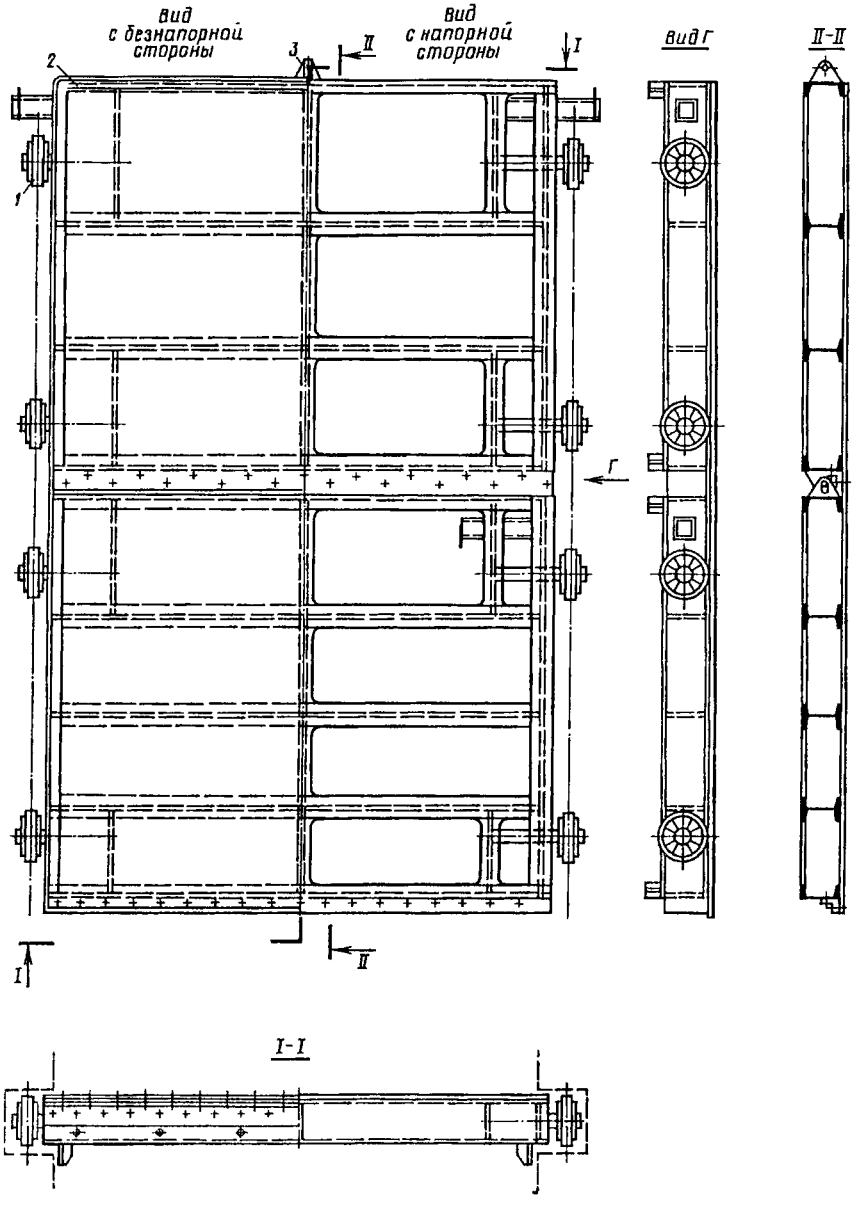


Рис. 4.12. Схема плоского ремонтного колесного затвора:

1 — колесо; *2* — каркас; *3* — подвеска

кальные решетки используют только при механической очистке решеток. При работе в зимнее время верх сороудерживающих решеток должен быть затоплен на 0,5...0,7 м, а при наличии шуги предусмотрен их обогрев.

Расстояния (просветы) между стержнями решеток с механической и ручной очисткой следующие: для осевых и диагональных насосов не более $0{,}05D_{р.к}$, но не менее 35 и не более 150 мм; для центробежных насосов не более $0{,}03D_{р.к}$, но не менее 20 и не более 100 мм, $D_{р.к}$ — наружный диаметр рабочего колеса.

Для решеток с ручной очисткой максимальный просвет принимают не более 60 мм. Сороудерживающие решетки очищают вручную, если очистка требуется не чаще трех раз в сутки. В остальных случаях применяют специальные решеткоочистные машины (рис. 4.14), механические грабли, пневматические ковши. На крупных

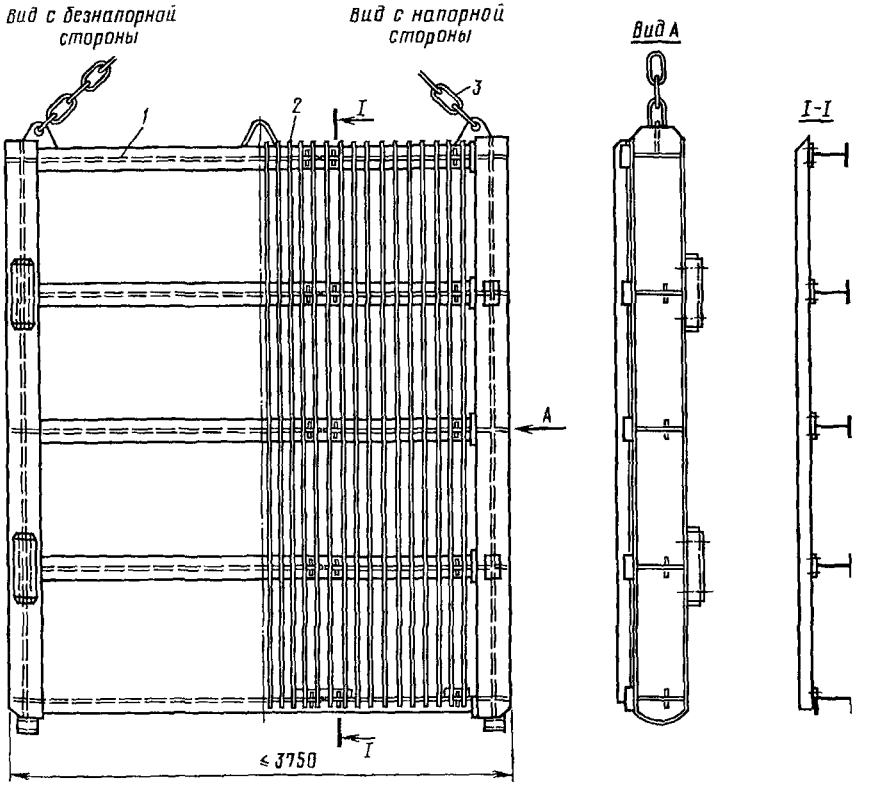


Рис. 4.13. Схема сороудерживающей решетки:

1 — рама; *2* — плоские стержни; *3* — подвеска

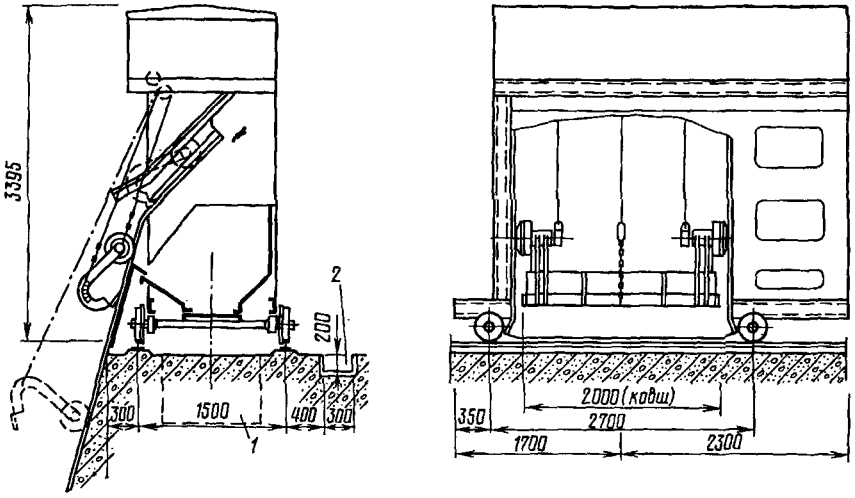


Рис. 4.14. Схема решеткоочистительной машины РН-2000:

1 — мусоросбросной колодец; *2* — лоток для укладки кабеля

насосных станциях для очистки предрешеточной зоны и самих решеток можно использовать грейферы двухчелюстные пневматические, грейферы четырехчелюстные электрогидравлические, бульдозеры (будьдозер-борона) и грейферы типа «полип».

Закладные части затворов и решеток. Они состоят из порогов (прокатные профили), пазовых конструкций (прокатные профили и листовая сталь) и закладных козырьков (листовая сталь). Для предварительных проработок габариты вертикальных пазов для установки плоских затворов или решеток могут быть приняты по нижеприведенным данным.

Пролет (ширина камеры), м	1,25	1,25	2	2,5	3	4	6	8	10
Высота, м	2,1	2,5	До 5	2,1	3	5	5...10	5...10	5...15
Глубина паза, м	0,16	0,16	0,25	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65
Ширина паза, м	0,32	0,32	0,5	0,32	0,32	0,7	0,9	1,1	1,2

Подъемно-транспортное оборудование. Для машинных залов насосных станций его выбирают в зависимости от габаритов зданий и массы монтируемых агрегатов.

При массе груза до 1 т устанавливают неподвижные балки с талями (рис. 4.15). Размеры тали, мм: $A = 190$, $B = 130$, $C = 135$, $H = 350$, $L = 220$, $L_1 = 90$. Для рельсового пути используют двутавр № 16-33.

Техническая характеристика тали: радиус закругления 1,6 м; тя-

говое усилие на цепях подъемного механизма 300 Н, передвижного 100 Н; высота подъема 3 м; масса 39 кг.

При массе груза до 5 т устанавливают краны подвесные ручные (рис. 4.16, *а* и табл. 4.14), более 5 т — мостовые ручные. В помещениях длиной более 18 м при подъеме груза на высоту более 6 м и наличии на насосной станции более четырех насосных агрегатов используют краны с электроприводом (см. рис. 4.16, *б*, табл. 4.15 и рис. 4.17, табл. 4.16), при массе груза более 250 т — спаренные мос-

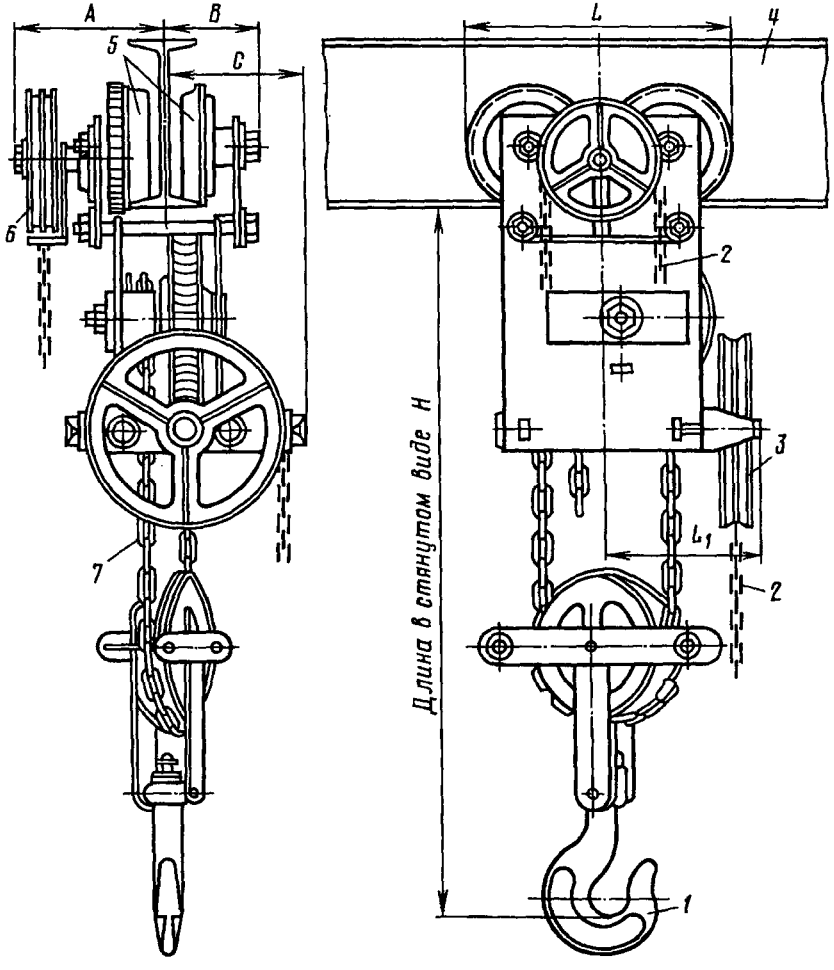


Рис. 4.15. Схема ручной тали грузоподъемностью 1 т:

1 — грузовой крюк; *2* — тяговые цепи; *3* —тяговое колесо подъемного механизма; *4* — двутавровая балка; *5* — ходовое колесо; *6* — колеса механизма передвижения; *7* — грузовая цепь

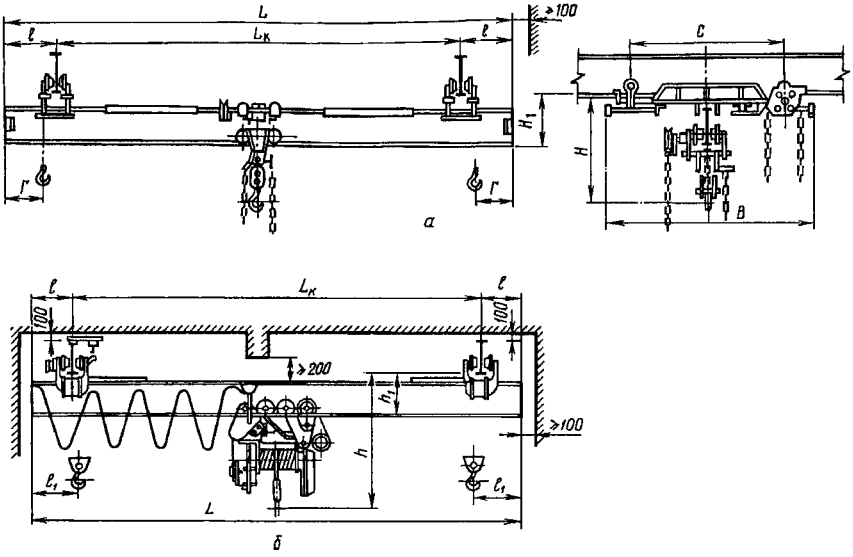


Рис. 4.16. Схемы подвесных кранов однобалочных:

а — ручных грузоподъемностью 0,5...5 т с высотой подъема от 3 до 12 м; *б* — электрических грузоподъемностью 1...5 т с высотой подъема 6...18 м. *L* может изменяться в зависимости от ширины здания

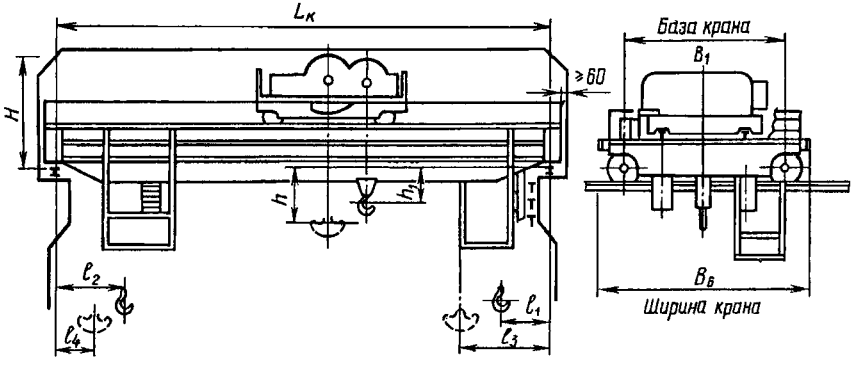
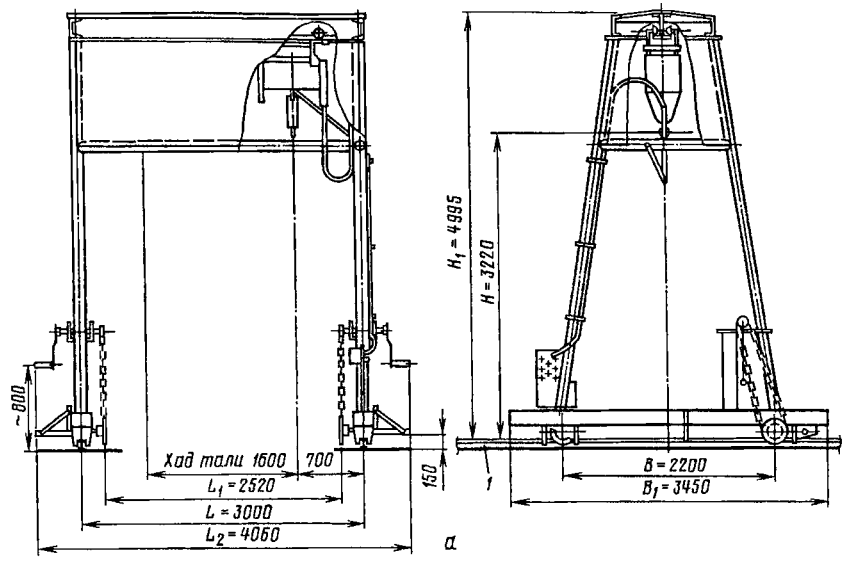
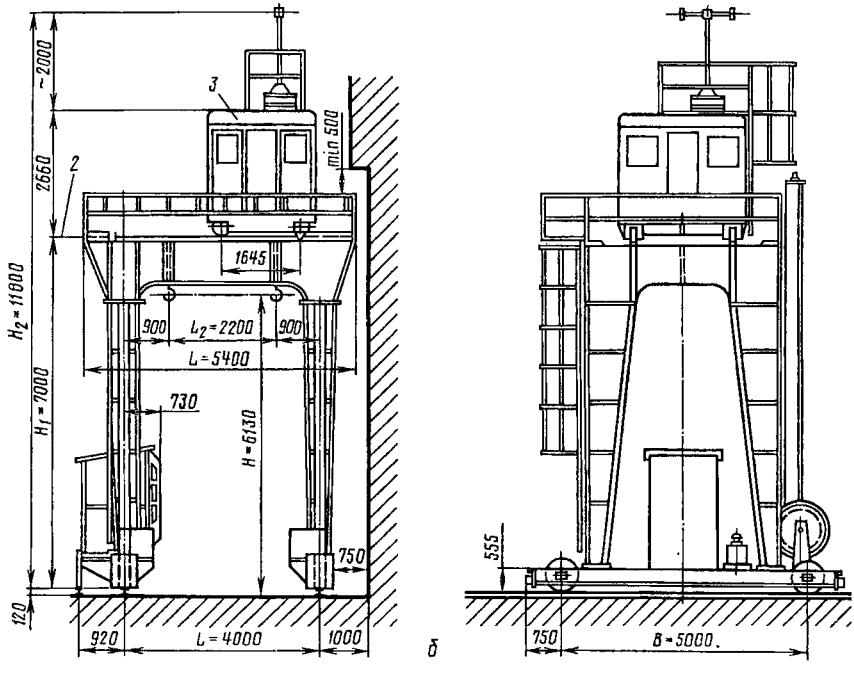


Рис. 4.17. Схема электрического мостового крана

Рис. 4.18. Схемы козловых кранов:

а — ручного грузоподъемностью до 3,2 т; *б* — электрического грузоподъемностью до 20 т; козловые краны изготавливают по специальному заказу необходимой грузоподъемности, любого пролета и высоты; *1* — рельс железнодорожный; *2* — головка рельса; *3* — кабина оператора


~800
Ход тали 1600
700
150
L_1 = 2520
L = 3000
L_2 = 4060
H_1 = 4995
H = 3220
1
B = 2200
B_1 = 3450
а


~2000
2660
H_2 = 11800
H_1 = 7000
120
3
2
min 500
1645
900
L_2 = 2200
900
L = 5400
730
H = 6130
750
920
L = 4000
1000
555
750
B = 5000
б

4.14. Технические характеристики подвесных ручных кранов

L, м	Грузоподъемность, т	$L_к$, м	Размер, мм						Тяговое усилие, Н			Скорость передвижения, м/мин		Номер двутавра для подкранового пути	Масса, кг
			i	B_1	h	h_1	B	l_1	подъема груза	передвижения		тали	крана		
										тали	крана				
3,6	0,5	3	300	1000 для L = 3,6... 5,7 м	590	220	1300 для L = 3,6...5,7 м	150	300	100	60	9,2	2,9	18	274
	1				590	220		150	300	100	60	9,2	2,9	18	274
	2				890	280		200	600	150	150	5,3	3,6	24	460
	3,2				950	280		200	600	150	150	5,3	3,6	24	469
	5				1095	340		220	750	200	200	5,5	3,6	30	633
6,6	0,5	6	300	1500 для L = 6,6... 9,3 м	590	220	1800 для L = 6,6...9,3 м	150	300	100	60	9,2	2,9	18	372
	1				590	220		150	300	100	60	9,2	2,9	18	372
	2				950	340		200	600	150	150	5,3	3,6	30	663
	3,2				950	340		200	600	150	150	5,3	3,6	30	679
	5				1155	400		220	750	200	200	5,5	3,6	36	889
10,2	0,5	9	600	1800 для L = 10,2... 11,4 м	650	280	2100 для L = 10,2... 11,4 м	150	300	100	60	9,2	2,9	24	562
	1				650	280		150	300	100	60	9,2	2,9	24	562
	2				1010	400		200	600	150	150	5,3	3,6	36	940
	3,2				1010	400		200	600	150	150	5,3	3,6	36	961
	5				1245	490		220	750	200	200	5,5	3,6	45	1271

4.15. Технические характеристики подвесных кранов с электроприводом

L, м	Грузоподъемность, т	$L_к$, м	Размер, мм				Размер тележки, мм		Мощность электродвигателя, кВт			Номер двутавра для подкранового пути	Масса, кг
			h	h_1	l	l_1	база	ширина	подъема	передвижения			
										тали	крана		
3,6	1	3	1120	260	660	300	1000	1350	1,7	0,18	0,36	18	590
	2		1360	320	710		1000	1350	2,8	0,4	0,54	24	785
	3,2		1635	325	750		1000	1365	4,5	0,7	0,8	30	1060
	5		1910	390	900		1500	2095	7	1,2	1,2	30	1470
5,1	1	4,5	1125	265	660	300	1000	1350	1,7	0,18	0,36	18	695
	2		1360	330	710		1000	1350	2,8	0,4	0,54	24	895
	3,2		1645	335	750		1000	1365	4,5	0,4	0,8	30	1180
	5		2010	490	900		1500	2095	7	1,2	1,2	30	1745
7,8	1	6	1125	265	660	900	1500	1850	1,7	0,18	0,36	24	860
	2		1360	330	710		1500	1850	2,8	0,4	0,54	30	1100
	3,2		1705	395	750		1500	1865	4,5	0,4	0,8	36	1460
	5		2010	490	900		1800	2395	7	1,2	1,2	36	2070
10,8	1	9	1125	265	660	900	1800	2150	1,7	0,18	0,36	24	1045
	2		1420	390	710		1800	2150	2,8	0,4	0,54	30	1425
	3,2		1795	485	750		1800	2165	4,5	0,4	0,8	36	1945
	5		2160	640	900		2100	2695	7	1,2	1,2	36	2480

4.16. Технические характеристики мостовых кранов с электроприводом

Грузоподъемность, т	$L_к$,м	Размер, мм									Масса крана, т
		H	h	h_1	l_1	l_2	l_3	l_4	B	B_1	
5	11...32	1650	50	—	—	—	1100	800	5000...6500	3500...5000	13,6...33,3
10	10,5...34,5	1900	500	—	—	—	1200	1100	5508...5802	4400...5000	11...34,9
12,5	10,5...34,5	1410	500	—	—	—	1330	1300	6200...7200	4500...5500	16,3...40,8
15	11...26	2300	600	—	—	—	1300	1100	5600	4400	20,5...34,4
15/3	11...26	2300	600	100	1300	1950	2250	1000	5600	4400	20,5...34,4
20/5	10,5...25,5	2400	600	50	1120	2000	1280	1280	5600	4400	23...40,5
30/5	10,5...31,5	2750	400	300	1600	1910	2560	950	6300	5100	33,5...66
50/12,5	19,5...31,5	3060	370	40	1900	1970	3000	870	6855	5600	45,5...82,5
80/20	10...34	3700	1300	200	3200	1400	1900	2700	—	—	80...150
100/20	10...34	3700	1500	200	3200	1400	1900	2700	—	—	80...160
125/20	10...34	3700	1600	200	3200	1400	1900	2700	—	—	90...170
160/32	9,5...33,5	4600	1450	250	3900	1800	2500	3200	10200...10500	—	110...215
200/32	9,5...33,5	4800	1500	0	3900	1800	2500	3200	10500	—	135...225
250/32	9,5...33,5	4800	1500	0	3900	1800	2500	3200	11200	—	160...235
320/32	9,5...33,5	3900	2250	850	3900	1800	2500	3200	13400	—	195...320

Примечание. Числитель — грузоподъемность основного крюка, знаменатель — вспомогательного. По специальным заказам краны могут быть изготовлены с меньшим пролетом $L_к$.

товые краны. Для маневрирования затворами и сороудерживающими решетками крупных насосных станций применяют козловые краны (рис. 4.18), а при автоматическом управлении затворами или при необходимости дополнительного дожимного усилия — стационарные подъемники в виде гидроподъемников, лебедок и винтовых подъемников.

Грузоподъемность подъемно-транспортного оборудования принимают по массе наиболее тяжелой монтажной единицы с учетом 10%-ной надбавки, массы траверс и строп. За монтажную единицу можно принимать: ротор вертикального электродвигателя, если его поставляют в разобранном виде; горизонтальный агрегат в сборе при наличии заводской фундаментной плиты; в остальных случаях отдельно насос, электродвигатель, задвижку.

Тяговое усилие механизма, или его грузоподъемность, при подъеме сороудерживающей решетки, $Н \cdot 10^{-4}$,

$$P \geq K(Gn_g + G_м + P_н + P_п + P_т),$$

где K — коэффициент запаса, $K = 1{,}15...1{,}25$; G — вес решетки, $Н \cdot 10^{-4}$; n_g — коэффициент перегрузки, $n_g = 1{,}1$; $G_м$ — вес мусора (при отсутствии данных может быть принят равным весу решетки), $Н \cdot 10^{-4}$; $P_н$ — усилие, которое необходимо приложить для извлечения нижнего ригеля, закрытого наносами, $Н \cdot 10^{-4}$; $P_п$ — усилие, возникающее при заклинивании решетки в пазах, $Н \cdot 10^{-4}$; $P_т$ — усилие, необходимое для преодоления сил трения в полозьях и уплотнениях, $Н \cdot 10^{-4}$ (учитывают только в тех случаях, когда решетка поднимается при наличии перепада уровней воды; расчет выполняют по формулам для подъема затворов).

Тяговое усилие механизма при подъеме затвора, $Н \cdot 10^{-4}$,

$$P \geq n_g G_з + n_{тр}(T_{уп} + T_х),$$

где $G_з$ — вес затвора, балласта и тяговых органов в воздухе; $n_{тр}$ — коэффициент запаса на трение, $n_{тр} = 1{,}15...1{,}25$; $T_{уп}$ — сила трения в боковых уплотнениях, $Н \cdot 10^{-4}$; $T_х$ — сила трения в опорно-ходовых частях, $Н \cdot 10^{-4}$.

Сила трения в боковых уплотнениях, $Н \cdot 10^{-4}$,

$$T_{уп} = 2l_{уп}b_{уп}P_{уп}f_{уп},$$

где $l_{уп}$ — длина вертикального уплотнения на одной стороне затвора, м; $b_{уп}$ — ширина уплотнения, подверженного давлению воды, м; $P_{уп}$ — средняя гидростатическая нагрузка на затвор, $Н \cdot 10^{-4}$; $f_{уп}$ — наибольший коэффициент трения уплотнения по закладной части (сталь по стали — 0,5, резина по нержавеющей стали — 0,7...0,9, маслянит графитизированный по стали — 0,15).

Сила трения в опорно-ходовых частях, $Н \cdot 10^{-4}$:
плоского скользящего затвора

$$T_х = f_2 P;$$

колесных затворов со скользящими подшипниками

$$T_х = \pm (P/R)(\mu + f_1 r),$$

где f_2 — коэффициент трения полоза по рабочему пути (см. $f_{уп}$); P — полная гидростатическая нагрузка на затвор, Н·10^{-4}; R — радиус колеса, см; μ — коэффициент трения качения колеса по рельсу, $\mu = 0{,}1$; f_1 — коэффициент трения колеса о втулку в воде с учетом возможного загрязнения: для бронзы $f_1 = 0{,}3$, для баббита $f_1 = 0{,}2$; r — радиус оси колеса, см.

Массу подвижной части затвора или решетки определяют по проектам-аналогам или по приближенным формулам:

колесных поверхностных затворов

$$M = (PL_{от}/20)^{0,71};$$

колесных глубинных затворов

$$M = (PL_{от}/39)^{0,73};$$

скользящих поверхностных затворов

$$M = (PL_{ст}/27)^{0,7};$$

скользящих глубинных затворов

$$M = (PL_{от}/40)^{0,7};$$

сороудерживающих решеток

$$M = kF(th/a_0),$$

где P — полное гидростатическое усилие на затвор, Н·10^{-4}; $L_{от}$ — ширина отверстия, закрываемого затвором, в свету, м; $k = 10{,}5$; F — площадь сороудерживающей решетки по внешнему обмеру, м^2; t — толщина стержня, м; h — высота стержня, м; a_0 —расстояние между стержнями решетки (в осях), м.

4.13. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НУЖД СТАНЦИИ

Хозяйственно-питьевая система и канализация. Ее предусматривают в зданиях, где одновременно могут находиться более 5 чел.

Источником воды питьевой могут служить: ближайший водопровод, подземные воды и при специальном обосновании и согласовании с органами санитарно-эпидемиологической службы воды из каналов или из специальной копани. Допускается использование привозной воды.

При водозаборе из канала необходимы очистка ее с помощью песчано-гравийных фильтров и дополнительное обеззараживание — бактерицидное облучение и кипячение. При водозаборах из копаней для предупреждения цветения воду ежедневно обрабатывают раствором медного купороса (1 кг медного купороса на 100 м^3 воды). Расчетный расход хозяйственно-питьевой системы, л/с,

$$q = mS,$$

где m — коэффициент, зависящий от суточного расхода воды в здании S, м^3/сут, определяемый нормой водопотребления и числом обслуживающего персонала,

S, м³/сут	≤ 5	5...10	10...25	> 25
m	0,0232	0,0116	0,007	0,0047

Рекомендуемые нормы потребления воды на насосных станциях — 25 л в смену на 1 чел.

В систему хозяйственно-питьевого водоснабжения воду подают пневмонасосными установками, а при наличии водонапорных башен — обычными центробежными насосами. Гидростатический напор в системе не должен превышать 60 м. Водоводы системы выполняют из оцинкованных труб.

Для поливки зеленых насаждений и проезжей части пристанционной площадки предусматривают водоводы, рассчитанные на ежесуточную подачу воды из напорных трубопроводов станции 0,5 л/м² проезжей части и 4...6 л/м² газонов. При наличии системы хозяйственно-питьевого водоснабжения предусматривают и канализацию. Нормы отведения бытовых сточных вод для насосных станций — W = 25 л в смену на 1 чел. при $K_{сут} = 3$. Расходы отвода бытовых сточных вод рассчитывают по смене с максимальным числом рабочих, л/с,

$$q = K_{сут} W n/(t \cdot 3600),$$

где $K_{сут}$ — коэффициент суточной неравномерности; W — норма водоотведения, л; n — число рабочих в смену; t — число часов в смене, ч.

Сети внутренней и наружной канализации выполняют из пластмассовых, чугунных или асбестоцементных труб. Возможна как открытая, так и закрытая прокладка. Смотровые колодцы делают на горизонтальных участках на расстоянии 8...20 м друг от друга, на вертикальных стояках — не реже чем через 15 м. Сточные воды на средних насосных станциях сбрасывают в открытый канал на 20...30 м ниже забора воды на хозяйственно-питьевое водоснабжение— условно чистые воды (от душа и умывальника), а в специальный резервуар, откуда вывозят машинами 1...2 раза в год, — фекальные воды. Проект канализации согласовывают с районной санитарно-эпидемиологической станцией.

Вентиляция. Должна обеспечивать условия для нормальной работы обслуживающего персонала и сохранности оборудования. Наиболее проста естественная система вентиляции — проветривание помещений через открытые окна, но этот вид вентиляции можно применять только для служебных помещений, складов и зданий насосных станций малой мощности.

Для помещений насосных станций, в которых отношение объема воздуха, м³, к потерям мощности электродвигателей, кВт, менее 12, предусматривают принудительную систему вентиляции, раздельную для электродвигателей и помещений. При специальном обосновании вместо раздельной системы вентиляции предусматривают совмещенную приточно-вытяжную, если на 1 кВт теряемой мощности приходится 3...12 м³ объема помещения. Потери

мощности электродвигателей, кВт,

$$\Delta N = nN(1 - \eta_{дв})/\eta_{дв},$$

где n — число двигателей; N — мощность, потребляемая двигателями, кВт; $\eta_{дв}$ — КПД двигателя.

В местностях с запыленным воздухом (более 2 мг/м^3) вентиляцию выполняют так, чтобы поддерживать в помещениях избыточное давление — 260...400 Па. В помещениях, где возможно длительное пребывание обслуживающего персонала (пульт управления, комнаты отдыха), при температуре воздуха более 45 °С предусматривают кондиционеры.

Расход воздуха, необходимый для отвода тепла от потерь мощности электрических машин, м^3/с,

$$Q = 10m\Delta N/\gamma\Delta t,$$

где m — коэффициент, учитывающий долю тепла, уносимого вверх, минуя рабочую зону; при вентиляции по схеме «снизу вверх» $m = 0{,}85$, а по замкнутой схеме $m = 1$; γ — удельный вес воздуха при $t_{ср} = 0{,}5(t_в + t_п)$:

$t_{ср}$, °С	20	25	30	35	40	45	50
γ, Н/м^3	12	11,8	11,6	11,5	11,3	11,1	10,9

Δt — разность между максимально допустимой температурой воздуха в помещении либо в отводящем канале при вентиляции по замкнутой схеме $t_в$ и температурой поступающего (охлаждающего) воздуха $t_п$ (по замкнутой схеме $\Delta t = 15...18$ °С).

Необходимо иметь в виду, что тепло в зданиях насосных станций выделяется от двух источников: электрооборудования и солнечной радиации через ограждающие конструкции.

Система вентиляции в общем случае состоит из воздухоохладителей, осевых или центробежных вентиляторов, фильтров, воздуховодов, запорной арматуры, контрольно-измерительных приборов. При специальном обосновании применяют увлажнители и кондиционеры. Воздухоохладители выбирают с запасом 10 % к их охлаждающей способности. Воздухоохладители потребляют в среднем для отвода 1 кВт потерь мощности 0,25...0,4 м^3/ч воды при температуре 25 °С. Для вентиляционных установок электрических машин, как правило, принимают центробежные вентиляторы, а для помещений — осевые, в том числе крышные вентиляторы.

Для очистки воздуха от пыли, как правило, применяют для малых расходов воздуха масляные кассетные (сетчатые) фильтры, а при расходе более 10 тыс. м^3/ч — масляные самоочищающиеся.

Воздуховоды желательно проектировать круглого сечения, что позволяет максимально упростить проведение работ. Поперечная площадь воздуховода, м^2,

$$S = Q/(3600v),$$

где Q — расход воздуха, м^3/ч; v — допустимая скорость воздуха, м/с:

в жалюзийных решетках	2,5...3
во всасывающих воздуховодах	10
в нагорных »	До 25

Скорость воздуха на выходе из труб в машинные помещения не должна превышать 12 м/с.

Отопление. Для отопления зданий насосных станций, как правило, применяют электропечи и электрокалориферы, а на крупных станциях — водяное отопление. Если отсутствует централизованное теплоснабжение и нецелесообразно сооружать местную котельную для нагрева воды до 95 °С, то можно использовать электрокотлы низкого или высокого напряжения.

Отапливают помещения, где в зимнее время находятся люди ($t_{расч}$ = 18 °С), размещено электрооборудование, не допускающее опускания температуры ниже 5 °С, а также помещения, расположенные ниже уровня воды, замерзание воды в которых может вызвать аварию.

Противопожарные системы. Объемы противопожарных средств защиты для внутреннего пожаротушения зависят от крупности сооружений и их назначения.

Согласно СНиП 2.04.02—84 и СНиП 2.04.01—85 первичными средствами противопожарной защиты (огнетушители, ящики с песком и т. д.) оборудуют здания насосных станций I и II степени огнестойкости независимо от их объема, III и IV степени огнестойкости при объеме до 5000 м^3 и здания, для которых предусмотрено тушение пожаров из специальных резервуаров или каналов, а также кабельные сооружения объемом до 100 м^3, в которых отсутствуют маслонаполненные кабели. Сосуды маслонаполненных установок и другие сосуды, входящие в системы регулирования и смазывания агрегатов, стационарными установками пожаротушения не оборудуют.

В остальных случаях (здания насосных станций III и IV степени огнестойкости объемом более 5000 м^3, кабельные сооружения объемом более 100 м^3 или до 100 м^3, если в них использованы маслонаполненные кабели, помещения, где установлены аппараты, содержащие более 60 кг масла в единице оборудования, закрытые склады для хранения сгораемых материалов) для внутреннего пожаротушения предусматривают стационарные противопожарные водоводы.

Наружного пожаротушения можно не предусматривать для зданий I и II степени огнестойкости объемом до 1000 м^3. Оно не требуется также при расходе воды на наружное пожаротушение до 10 л/с при условии, что будет обеспечена возможность подачи воды при помощи передвижных автонасосов из специальных резервуаров. По аналогии с гидроэлектростанциями кабельные помещения с силовыми и контрольными кабелями (более 50), закрытые склады масла, помещения регенерации масла и аппаратные (помещения категории В) необходимо оборудовать устройствами

для автоматического обнаружения пожара, а при мощности насосной станции более 100 МВт — и для автоматического тушения пожара. На насосных станциях для тушения пожара используют воду, хотя при специальном обосновании для крупных и уникальных станций могут быть применены автоматические установки пенного пожаротушения.

Расчетные расходы воды на наружное пожаротушение принимают не менее 10 л/с при объеме здания до 5 тыс. м^3 и 15 л/с при объеме 5...20 тыс. м^3. На тушение пожара внутри здания учитывают дополнительный расход, равный 5 л/с (две струи по 2,5 л/с). Если применяют спринкерные установки, то дополнительно требуется расход 10 л/с.

Расход воды на дренчерные установки рассчитывают в соответствии с рекомендациями Тяжпромэлектропроекта им. Ф. Б. Якубовского (г. Москва).

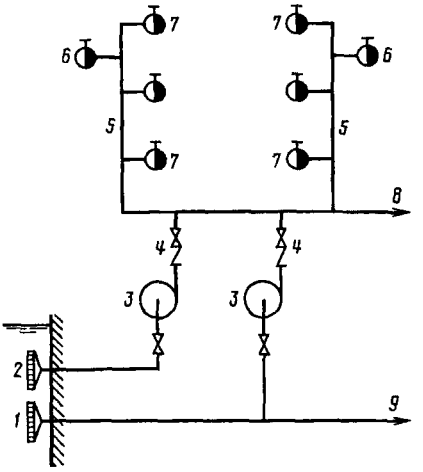
В качестве водоисточника разрешается использование открытых каналов и специальных емкостей объемом не менее 50 м^3 при продолжительности пожара не более 2 ч. Противопожарный водопровод в зданиях насосных станций принимают высокого давления, которое должно обеспечить высоту компактной струи не менее 10 м при полном пожарном расходе воды, расположении ствола на уровне наивысшей точки самого высокого здания и подаче воды по непрорезиненным пожарным рукавам длиной 120 м, диаметром 66 мм и расчетным расходом каждой струи 5 л/с. Потери напора на 1 м рукава при расходе 5 л/с ΔH=0,096 м. Для обслуживания противопожарной системы устанавливают не менее двух насосов (один резервный). Если подачу воды можно дублировать подключением системы к внешнему водопроводу или к напорному трубопроводу, то резервный насос можно не предусматривать. Пожарные насосы устанавливают под заливом. Если это условие невыполнимо, то предусматривают установку, обеспечивающую пуск системы не более чем через 5 мин после получения сигнала о пожаре. Пожарные насосы должны иметь ручное управление, а на насосных станциях II и III класса — и дистанционное.

Типовая схема противопожарной системы для средних и крупных станций показана на рисунке 4.19. Система состоит из водозаборного оголовка, двух насосов, запорной арматуры и магистральных трубопроводов, уложенных вдоль здания. В торцах здания, на лестничных клетках предусмотрены вертикальные стояки с пожарными гидрантами на каждом этаже. Наружные гидранты устанавливают в торцах здания при длине его до 80 м или через 100 м по всему периметру здания.

Дренажные и осушительные системы. В период эксплуатации насосных станций на практике установлено, что для заглубленных зданий насосных станций, оборудованных насосами с подачей до 3 м^3/с, принимают совмещенные дренажно-осушительные систе-

Рис. 4.19. Схема противопожарной системы:

1 — резервный водозабор системы ТВС; *2* — водозабор; *3* — насос; *4* — обратный клапан и задвижка с электроприводом; *5* — пожарный стояк на лестничной клетке; *6* и *7* — пожарные гидранты наружный и внутренний; *8* и *9* — водоводы на промывку фильтров и системы ТВС



мы (рис. 4.20), а при более крупных насосах — раздельные системы дренажа и осушения.

Если есть специальное обоснование, то для осушения проточной части насосов допускается использовать переносные самовсасывающие и погружные насосы. Дренажно-осушительные системы, как правило, состоят из приемных колодцев, сбросных и напорных трубопроводов, насосов, запорной трубопроводной арматуры и контрольно-измерительных приборов.

Приемные колодцы дренажно-осушительной системы размещают на самых низких отметках здания, чтобы обеспечить само-

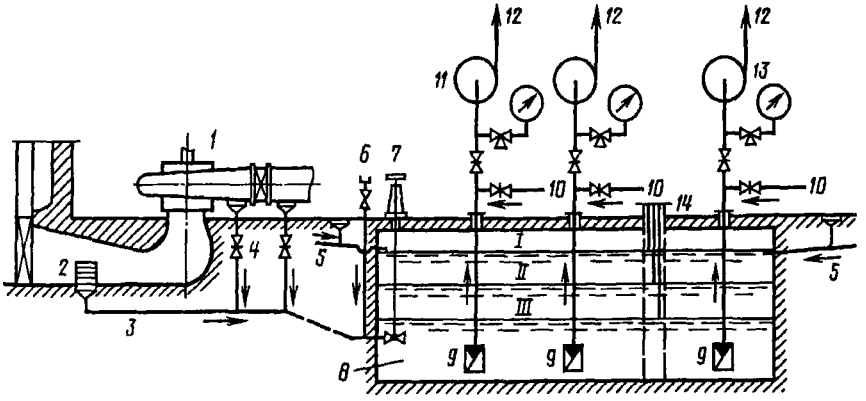


Рис. 4.20. Схема осушения и дренажа здания насосной станции:

1 — основной насос; *2* — решетка на водоприемном устройстве; *3* — сливные трубопроводы; *4* — задвижки на водоводах для опорожнения корпуса насоса и напорных трубопроводов; *5* — труба-коллектор для отвода дренажных вод; *6* — штуцер и задвижка для продувки или промывки водоприемных устройств и сливных труб; *7* — колонки управления задвижками; *8* — приемный колодец; *9* — приемный клапан; *10* — подпитка дренажных насосов со стороны нижнего бьефа; *11* — дренажный насос; *12* — напорные водоводы; *13* — резервный дренажный насос с независимым приводом; *14* — сигнализаторы уровня

течный слив воды из всех помещений. При этом колодец осушительной системы должен быть запроектирован так, чтобы исключить возможность затопления здания станции при непредвиденной остановке насосов откачки. Рабочая емкость приемных колодцев V, л, и подача дренажных насосов $Q_д$, л/с,

$$V = \Sigma q T_1;$$

$$Q_д = (1{,}5...2)\Sigma q,$$

где Σq — суммарный фильтрационный расход, л/с, $\Sigma_q = q_1 + q_2 + q_3$; T_1 — время наполнения колодца (не менее 600 с для камерных станций и 1200 с для блочных насосных станций).

Суммарный фильтрационный расход определяют или по проектам-аналогам, или исходя из следующих условий:

фильтрационный расход q_1 через сальники насосов типов О и В принимают равным расчетному расходу воды, подаваемому на смазывание подшипников согласно данным каталога на насос;

фильтрационный расход для горизонтальных насосов $q_2 = 0{,}05...0{,}1$ л/с на каждое сальниковое уплотнение;

фильтрационный расход через стены и фундамент здания, фланцевые соединения, л/с,

$$q_3 = 1{,}5 + kW,$$

где k — коэффициент качества строительно-монтажных работ:

k	0,0005	0,001	0,002
Качество работ	Хорошее	Нормальное	Плохое

W — объем подземной части здания (по наружным размерам), расположенной ниже максимального уровня воды, м^3.

Подачу насосов системы осушения определяют по суммарному объему воды, подлежащему удалению из проточной части основного насоса, всасывающей трубы, водозаборной камеры и др., л/с,

$$\Sigma Q_0 = W_0/(T \cdot 3600) + qLn,$$

где W_0 — начальный объем воды, подлежащий удалению, л; T — время откачки (принимают 2...4 ч для основных насосов с подачей до 25 м^3/с, 4...8 ч при подаче 25...100 м^3/с и 8...16 ч для более крупных насосов); q — фильтрационный расход через неплотности ремонтных затворов, л/с на 1 м длины (при наличии нерегулируемых резиновых уплотнений принимают $q = 1{,}5$ л/с и при деревянных и металлических уплотнениях $q = 2{,}5$ л/с); L — периметр затвора, по которому возможна фильтрация, м; n — число осушаемых объектов.

Для объединенной дренажно-осушительной системы подача насосов откачки должна быть не менее $Q = Q_д + \Sigma Q_0$.

Систему дренажа обычно обслуживают не менее двух насосов (один резервный), систему осушения — не менее двух насосов (без резервного), а объединенную дренажно-осушительную систему —

не менее трех насосов (один резервный). Для дренажных и осушительных систем желательно применять самовсасывающие или обычные насосы типа К или Д при гарантированном их заливе. При специальном обосновании на уникальных насосных станциях могут быть применены артезианские насосы. Дренажные и осушительные насосы устанавливают на незатопляемых отметках, если это невозможно — то в специальных незатопляемых отсеках или на высоких фундаментах.

Включение и отключение насосов дренажной системы должно быть автоматическим в зависимости от уровня воды в дренажном колодце.

Трубопроводы дренажно-осушительных систем должны быть стальными. Диаметры труб принимают по допустимым скоростям: 2...3 м/с для напорных и 1,2...1,5 м/с для всасывающих трубопроводов.

4.14. ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ЗАКРЫТЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Воду в закрытые оросительные сети подают стационарными и передвижными насосными станциями. Для стационарных станций характерно применение двух—пяти однотипных основных насосов, параллельно соединенных через обратные клапаны и задвижки с напорным трубопроводом. Все основные насосы—рабочие, резервных насосов не предусматривают.

Насосная станция должна обеспечивать подачу воды с необходимым напором в закрытую оросительную сеть при любых, предусмотренных проектом комбинациях работы дождевальных машин. Число насосов и их тип должны быть подобраны так, чтобы каждый насос работал в допустимом диапазоне подач, а сама насосная станция путем изменения числа работающих насосов обеспечивала любые требуемые подачи — от максимальной до минимальной. При этом насосная станция должна потреблять минимальное количество электроэнергии.

Кроме основных насосов на насосных станциях должны быть еще и бустерные насосы (обычно два), которые компенсируют утечки воды из закрытой оросительной сети и поддерживают в ней необходимое давление при отключенных дождевальных машинах и основных насосах. Бустерные насосы используют также для первоначального заполнения водой закрытой оросительной сети до включения в работу дождевальных машин.

Суммарная максимальная подача их должна составлять до 3...5 % расчетного максимального водопотребления из закрытой сети.

Если применяемые основные насосы имеют характеристику

$H=f(Q)$ с перегибом (H_{max} при $Q \neq 0$), то работа насосов на режимах левой — восходящей ветви характеристики $H=f(Q)$ обычно недопустима, так как в трубопроводной системе насосной станции могут возникнуть низкочастотные колебания расходов, снижающие надежность работы агрегатов и системы автоматики станции. В этом случае суммарную подачу бустерных насосов значительно увеличивают. Они должны компенсировать не только утечки воды из закрытой оросительной сети, но и в ряде случаев обеспечивать работу одной дождевальной машины, то есть выполнять функции разменных насосов. В качестве бустерных могут быть использованы насосы типов К, Д, ЦНС.

Подбор основных насосов может быть сделан с использованием каталогов и с учетом изложенных выше соображений по максимальным расчетным подачам $Q_{p\,max}$ и минимальным расчетным напорам $H_{p\,min}$ как отдельного насоса, так и насосной станции в целом (см. раздел 4.6). При этом должны быть учтены потери напора во внутристанционных коммуникациях насосных станций. На практике целесообразнее использовать опыт подбора насосов для насосных станций, которые уже спроектированы и прошли проверку в эксплуатационных условиях.

Номенклатура основных насосов и двигателей к ним для ряда стационарных насосных станций закрытых оросительных систем по проектам Союзгипроводхоза приведена в таблице 4.17, а на рисунке

4.17. Технические характеристики насосных станций для закрытых оросительных систем

Подача, л/с	Напор, м	Марка основного насоса	Марка электродвигателя	Число агрегатов	Установленная мощность, кВт
660	59,5	Д800-57 (12Д-9)	АО3-315М-4	3	600
880	59,5			4	800
1100	59,5			5	1000
525	91,5	Д630-90 (8НДв)	АО3-355-4	3	750
700	91,5			4	1000
850	91,5			5	1250
450	77	Д630-90 (8НДв)	АО3-315М-4	3	600
600	77			4	800
750	77			5	1000
500	115	ЦН400-105 (3В-200×2)	АО3-315М-4	5	1250
1010	120	Д1250-125 (14Д-6)	СДI2-52/4	3	1890
1350	120			4	2520
1010	120	Д1250-125 (14Д-6)	СДI2-52/4	3	1890
1350	120			4	2520
1150	94,5	Д1600-90 (14НДс)	СДI2-42-4	3	1500
1540	94,5			4	2000
1150	94,5	Д1600-90 (14НДс)	СДI2-42/2	3	1500
1540	94,5			4	2000
950	66	Д1250-65 (12НДс)	А114-4М	3	960

Примечание. В скобках старая марка насоса.

4.21, *а* — сводные характеристики по Q и H для большинства из них. Варьируя марками и числом насосов, а также наружным диаметром рабочих колес D_2, можно подобрать сочетание насосов, удовлетворяющее требованиям, предъявляемым к насосным станциям с довольно широкими диапазонами подач Q и напоров H (см. рис. 4.21, *а*). Следует отметить, что значительное число насосных станций в нашей стране оснащено чешским оборудованием.

Основные технические характеристики выпускаемых промышленностью блочно-комплектных насосных станций (БКНС) приведены в таблице 4.18, а конструктивная особенность этих станций заключается в том, что каждая станция состоит из нескольких транспортабельных блоков, изготовляемых в заводских условиях. На подготовленной площадке эти блоки можно собирать в единую конструкцию в течение сравнительно короткого времени (1,5...2 недели).

Такие насосные станции широко распространены в мелиорации.

4.18. Основные технические характеристики отечественных блочно-комплектных насосных станций

Марка насосной станции	Подача, м³/с	Напор, м
БКНС-2 х Д630-90-Э1	0,276...0,380	92...86
БКНС-2 х 200Д-90-Э1	0,300...0,400	94...90
БКНС-2 х Д800-57-Э1	0,320...0,500	62...50
БКНС-3 х Д630-90-Э1	0,414...0,590	92...86
БКНС-3 х 200Д-90-Э1	0,450...0,600	94...90
БКНС-3 х Д800-57-Э1	0,480...0,750	62...50
БКНС-3 х Д500-65-Э1	0,282...0,459	73...61
БКНС-3 х ЦН400-105-Э1	0,252...0,426	120...92
БКНС-4 х Д630-90-Э1	0,552...0,572	92...86
БКНС-4 х 200Д-90-Э1	0,60...0,800	94...90
БКНС-4 х Д800-57-Э1	0,64...1,000	62...50
БКНС-4 х Д500-65-Э1	0,376...0,612	73...61
БКНС-4 х ЦН400-105-Э1	0,336...0,568	120...92
БКНС-5 х Д630-90-Э1	0,69...0,965	92...86
БКНС-5 х 200Д-90-Э1	0,75...1,000	94...90
БКНС-5 х Д800-57-Э1	0,80...1,250	62...50
БКНС-5 х Д500-65-Э1	0,47...0,755	73...61
БКНС-5 х ЦН400-105-Э1	0,42...0,710	120...92
БКНС-201	0,40...0,150	89...94
БКНС-301	0,60...0,150	89...94
БКНС-401	0,80...0,150	89...94
БКНС-202	0,20...0,057	104...130
БКНС-302	0,30...0,057	104...130
БКНС-402	0,40...0,057	104...130
БКНС-2 х Д320-70-В1	0,12...0,170	79...64
БКНС-2 х Д500-65-В1	0,188...0,306	73...61
БКНС-2 х Д630-90-В1	0,276...0,336	92...86
БКНС-2 х ЦН400-105-В1	0,138...0,234	120...92

Продолжение

Марка насосной станции	Подача, м³/с	Напор, м
БКНС-3 х Д320-70-В1	0,18...0,225	79...68
БКНС-3 х Д500-65-В1	0,282...0,459	73...61
БКНС-3 х Д630-90-В1	0,414...0,579	92...85
БКНС3 х ЦН400-105-В1	0,252...0,426	120...92
БКНС-4 х Д320-70-В1	0,24...0,340	79...64
БКНС-4 х Д500-65-В1	0,375...0,612	79...61
БКНС-4 х Д630-90-В1	0,552...0,772	92...86
БКНС-4 х ЦН400-105-В1	0,336...0,558	120...92

Примечания: 1. Расшифровка марки насосной станции: БКНС — число агрегатов — марка насосов — завод, выпускающий БКНС: Э — Энгельсский, В — Виноградовский, последняя цифра 1 относится к нормальному диаметру рабочего колеса. 2. На БКНС, выпускаемых Энгельсским заводом, могут быть установлены насосы с уменьшенными диаметрами рабочих колес: Д630-90а, Д630-90б, 200Д-90а, 200Д-90б, Д500-65а, ЦН400-105а, а производимых Виноградовским заводом — Д320-70а, Д500-65а, Д630-90а, Д630-90б, ЦН400-105а , ЦН400-105б . 3. БКНС 201, 301, 401, 202, 302 и 402 делает Батайский РМЗ. 4. Не приводятся и должны уточняться при заказе в связи с возможными изменениями комплектации марки приводных электродвигателей насосов и при изменении систем автоматизации БКНС данные о вспомогательном оборудовании, устанавливаемом на них.

Передвижные насосные станции для закрытых оросительных систем изготовляют на заводах. Их используют в тех случаях, когда участки орошения имеют небольшие (обычно до 300 га) площади. Благодаря возможности быстрого перемещения в течение поливного сезона они могут обслуживать несколько отдаленных друг от друга участков.

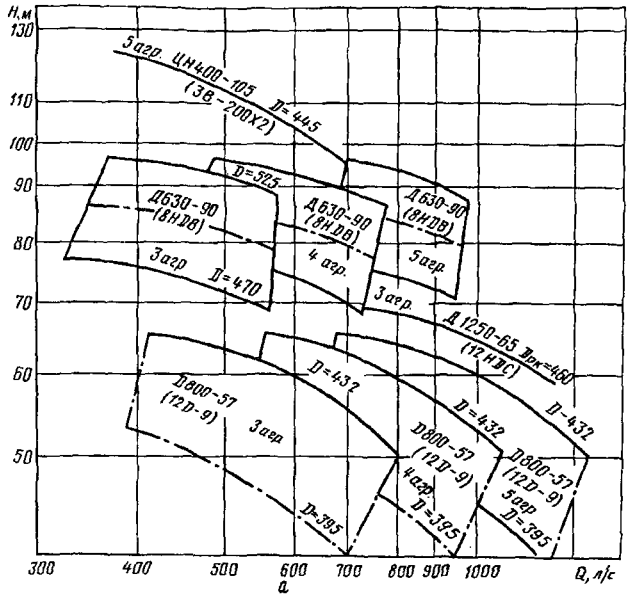
Технические характеристики передвижных наземных насосных станций, которые наиболее часто применяют для подачи воды в закрытые оросительные сети, даны в таблицах 4.19 и 4.20.

При больших колебаниях уровней в источнике воду подают в закрытые оросительные сети передвижными плавучими насосными станциями заводского изготовления (табл. 4.21).

Для предотвращения непрерывной работы бустерных агрегатов при отключенных дождевальных машинах, сглаживания колебаний давлений в сети при включении и выключении дождевальных машин и насосов, ослабления действия гидравлических ударов в напорном трубопроводе вблизи здания насосной станции в непосредственной близости от последнего устанавливают водовоздушные емкости (рис. 4.22). Во время работы насосной

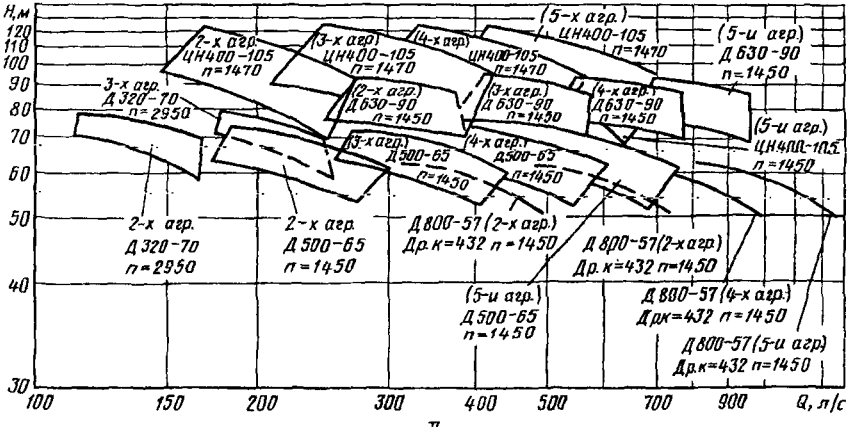
Рис. 4.21. Сводные характеристики $H = f(Q)$:

а — стационарных насосных станций с водозабором из каналов; *б* — ряда блочно-комплектных насосных станций закрытых оросительных систем: *I* — с насосами типа Д; *II* — ЦНС300-120 и 200Д90

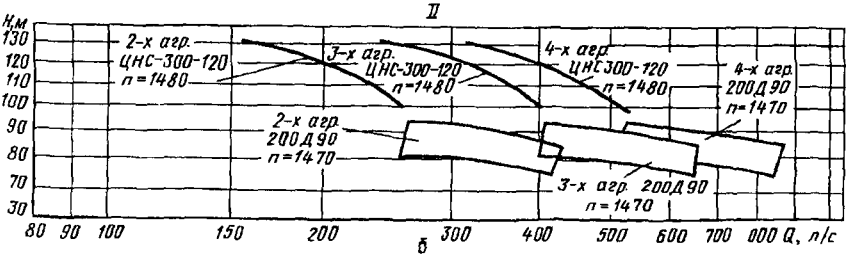

H,м
130
110
100
90
80
70
60
50
300
400
500
600
700
800
900
1000
Q, л/с
5 агр. ЦН400-105 (36-200Х2) D=445
D=525
Д630-90 (8НДВ)
3 агр D=470
4 агр.
5 агр.
3 агр.
Д1250-65 (12НДС) Дрк=460
D=432
D800-57 (12Д-9)
3 агр
4 агр
5 агр
D=395

а

I


H,м
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
100
150
200
300
400
500
700
900
Q, л/с
2-х агр. ЦН400-105 n=1470
3-х агр. ЦН400-105 n=1470
4-х агр. ЦН400-105 n=1470
(5-х агр.) ЦН400-105 n=1470
(5-и агр.) Д630-90 n=1450
3-х агр. Д320-70 n=2950
2-х агр. Д630-90 n=1450
3-х агр.) Д630-90 n=1450
4-х агр.) Д630-90 n=1450
(5-и агр.) ЦН400-105 n=1450
3-х агр.) Д500-65 n=1450
4-х агр.) Д500-65 n=1450
2-х агр. Д320-70 n=2950
2-х агр. Д500-65 n=1450
Д800-57 (2-х агр.) Др.к=432 n=1450
Д800-57(2-х агр) Др.к=432 n=1450
(5-и агр.) Д500-65 n=1450
Д800-57 (4-х агр.) Дрк=432 n=1450
Д800-57 (5-и агр.) Др.к=432 n=1450

II


H,м
130
120
110
100
90
80
70
30
80
90
100
150
200
300
400
500
600
700
800
Q, л/с
2-х агр. ЦНС-300-120 n=1480
3-х агр. ЦНС-300-120 n=1480
4-х агр. ЦНС300-120 n=1480
4-х агр. 200Д90 n=1470
2-х агр. 200Д90 n=1470
3-х агр. 200Д90 n=1470

б

4.19. Технические характеристики передвижных насосных станций с приводом от двигателей внутреннего сгорания

Насосная станция	Марка насоса	Подача, л/с	Напор, м	Высота всасывания, м	Мощность, кВт	Частота вращения, $мин^{-1}$	Масса, кг
СНП-25/60А	4К -90/87	20...36	75...55	3,5	36,7	2650	1310
СНП-50/40	Д320-50	30...50	50...45	5,0	39,6	1300	2300
СНП-50/80	8М-9 × 2	30...140	45...25	До 3,5	69,0	1750	2680
СНП-50/80А	8М-9 × 2	35...140	100...85	До 3,0	88,3	1850	2680
СНП-75/100	ЦНМ Э-360-55/75	70...150	100...50	До 3,0	117,6	1700	3800
СНП-100/80	Д320-70	70...130	90...78	3,3	117,6	1840	2560
СНП-120/100	9К-14	100...135	105...95	3,0	180	1800	2800
СНП-120/30	9К-14	80...175	40...25	3,0	66,2	1750	2600
СНП-240/30	14К-13	160...340	28...18	3,0	95,4	1100	3360
СНП-120/70	Д500-65	70...140	75...55	3,0	121,0	1500	3100

4.20. Технические характеристики передвижных насосных станций с приводом от электродвигателей

Насосная станция	Марка насоса	Электродвигатель	Подача, л/с	Напор, м	Высота всасывания, м	Мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, $мин^{-1}$	Масса, кг
СНПЭ-100/100	8К-6	4А315-4	90...135	100...85	3	160	380	1480	2430
СНПЭ-120/30	9К-14	АО2-82-4	90...160	32...21	3	55	380	1450	2400
СНПЭ-240/30	14К-13	АО3-315-6УЗ	170...360	33...21	3	110	380	1450	3500

4.21. Технические характеристики плавучих насосных станций для подачи воды в закрытые оросительные системы

Индекс	Модификация	Подача, $м^3/с$	Напор, м	Число агрегатов
«Роса»	34.08.02	1,12...1,76	45...33	4
	34.08.03	0,84...1,60	58...43	4
	34.08.04	0,92...1,60	67...54	4
	34.08.05	1,00...1,60	76...65	4
	34.08.06	0,96...1,80	86...70	4
	34.08.07	1,04...1,80	98...83	4
	34.08.08	1,08...1,80	109...96	4
	34.08.09	0,88...1,44	121...108	4
	34.08.10	0,92...1,44	132...119	4
	34.08.11	0,96...1,44	133...137	4

Продолжение

Индекс	Модификация	Подача, м³/с	Напор, м	Число агрегатов
НП-13		0,075...0,108	104...82	2
		0,108...0,184	79...58	2
НП-16		0,112...0,162	104...82	3
НП-19		0,162...0,276	79...58	3
		0,150...0,216	104...82	4
		0,216...0,368	79...58	4

Примечание. Все понтоны насосных станций имеют одинаковую ширину 5,5 м и высоту 1,6 м, а длина их определена индексом: НП-13 — 13 м, ПН-16 — 16 м, НП-19— 19 м.

станции их заполняют примерно на $^1/_3$ сжатым воздухом и на $^2/_3$ водой. Емкости оборудованы предохранительными клапанами, мерными стеклами, датчиками уровней воды, манометрами и другими устройствами. Основные размеры выпускаемых промышленностью емкостей показаны на рисунке 4.22 и в таблице 4.22.

Вместимость емкости (или емкостей) рассчитывают в такой пос-

4.22. Основные размеры водовоздушных емкостей

Вместимость бака, м³	P_y, МПа	Размер, мм									Масса, т
		D	H	h_1	h_2	h_3	L_1	L_2	D_2	δ	
6,3	1	1600	4108	3400	450	235	1708	1970	1410	10	1,91
10	1	2000	4260	3628	564	154	2190	2380	1810	14	2,99
10	1,6	2000	4270	3632	566	154	2195	2400	1810	16	3,81

ледовательности.

Вычисляют регулирующий объем для поддержания давления в сети при выключении и включении дождевальной машины, м³,

$$W_{\text{рег}} = kq_{\text{д.м}}t,$$

где k — коэффициент, учитывающий интенсивность роста подачи воды в дождевальную машину при открытии гидранта, $k = 0{,}7$; $q_{\text{д.м}}$ — расчетная подача воды дождевальной машины л/с:

Дождевальная машина	«Волжанка»	«Фрегат»	«Днепр»
$q_{\text{д.м}}$, л/с	24...64	50...100	120

t — время исполнения сигнала при автоматическом пуске или остановке насоса, с, $t = 7...10$ с.

Находят вместимость водовоздушной емкости, м³,

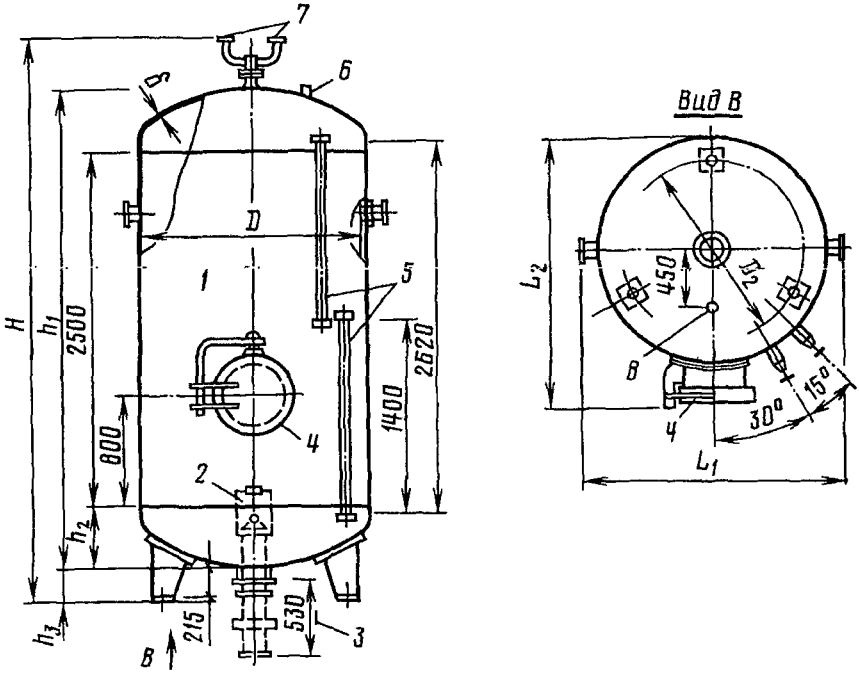


Рис. 4.22. Водовоздушный бак:

1 — корпус бака; *2* — поплавковый клапан; *3* — минимальный размер для вывода клапана из бака со снятым поплавком; *4* — люк (лаз); *5* — указатели уровня; *6, 7, 8* — патрубки соответственно для установки сигнализатора уровня, присоединения предохранительного клапана, манометра и подключения магистрали сжатого воздуха, для спуска остатка

$$W_{в.е} = \frac{W_{рег}\left(H_{вкл} + 10\right)}{0{,}9\left(H_{вкл} - H_{min}\right)},$$

где $H_{вкл}$ — напор воды в напорном коллекторе насосной станции, при котором включаются или отключаются насосы, м; H_{min} — минимально допустимый напор воды в напорном коллекторе, м.

Обычно для насосных станций с максимальной подачей до 500 л/с требуется одна емкость вместимостью до 10 м^3, более 500 л/с — две емкости вместимостью до 10 м^3 каждая.

Так как сжатый воздух растворяется в воде, количество его в водовоздушной емкости постепенно уменьшается. Чтобы поддержать необходимый объем сжатого воздуха в заданных пределах, на насосной станции устанавливают автоматически включающийся компрессор, периодически подающий сжатый воздух в емкость.

Так как насосные станции с числом основных насосов два и более проектируют автоматическими «по спросу», то все насосы дол-

жны быть постоянно залиты водой, то есть всегда быть готовыми к немедленному включению в работу. При наземном расположении насосов это требует наличия специальных систем (см. разд. 8).

Наибольшее распространение на практике получили единые для всех насосов станции вакуум-системы с вакуум-котлами (см. разд. 4.8 и рис. 4.9).

Водозаборные сооружения насосных станций должны быть оборудованы мелкими сетками или фильтрами, которые могли бы обеспечить задержание плавающего мусора, рыбной молоди и наносов диаметром более 0,5 мм для закрытых сетей с дождевальными машинами «Фрегат» и 2 мм — с дождевальными машинами «Волжанка» и «Днепр».

4.15. АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И ОБОРУДОВАНИЕ ИХ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ

Степень автоматизации мелиоративных насосных станций зависит от их назначения. Оросительные насосные станции, работающие на открытые водоприемники, должны иметь программный пуск основного оборудования от команды, поданной оператором. Оросительные насосные станции, подающие воду в закрытую сеть, и осушительные должны быть автоматическими, работающими или в режиме «по потребности» (закрытая сеть), или в зависимости от уровня воды в подводящем канале (осушительные станции).

Автоматизация технологического процесса особо важное значение имеет для насосных станций, подающих воду в закрытые оросительные сети. Это обусловлено не только массовым распространением станций, для которых требуется многочисленный обслуживающий персонал, но и ограниченными возможностями человека, не позволяющими полностью заменить автоматизацию управления технологическими процессами. Автоматические станции работают совместно с сетью «по спросу», то есть их подачи и напоры зависят от числа и сочетаний различных дождевальных машин, осуществляющих орошение в данный момент времени. Наиболее распространенный принцип автоматизации — ступенчатый, при котором в зависимости от водопотребления из закрытой оросительной сети включается в работу то или иное число параллельно соединенных с напорным трубопроводом насосных агрегатов. Управляющие электрические сигналы на включение или выключение агрегатов, поступающие в систему автоматики насосной станции, могут подаваться от датчиков давлений, расходомерного устройства, установленного в начале напорного трубопровода, датчиков тока или потребляемой мощности насосной станции.

Для насосных станций, у которых основные насосы имеют крутопадающие характеристики $H=f(Q)$, можно использовать управ-

ляющие сигналы от датчиков давлений; при пологих характеристиках насосов $H = f(Q)$ — от датчиков расхода воды в начале напорного трубопровода или от датчиков потребляемого тока.

Существует и так называемый плавно-ступенчатый принцип автоматизации насосных станций закрытых оросительных систем. В этом случае один из насосных агрегатов может плавно менять свои характеристики путем изменения частоты вращения или степени прикрытия задвижки, установленной на напорном трубопроводе насоса. Применяя плавно-ступенчатый принцип автоматизации, можно снизить потребление электроэнергии, но при этом существенно увеличивается стоимость оборудования насосной станции. Поэтому реализация принципа должна быть обоснована технико-экономическими расчетами.

Характеристики автоматической насосной станции с максимальной подачей $Q_{\text{н.с max}} = 630$ л/с, работающей совместно с закрытой оросительной сетью, показаны на рисунке 4.23. При этом напор насосной станции H при работе дождевальных машин не должен быть ниже $H_{\min} = 80$ м. Станция оборудована тремя основными насосами типа Д630-90 и двумя бустерными насосами типа К-90/85. Характеристики насосов скорректированы — из них вычтены потери напора во внутристанционных коммуникациях. Все насосы под-

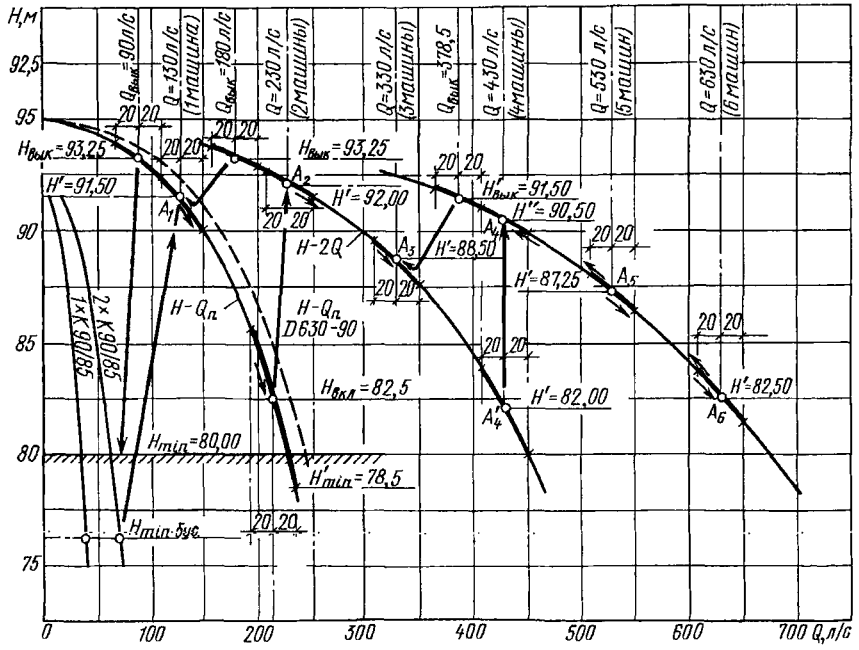


Рис. 4.23. График совместной работы насосов и закрытой сети

ключены параллельно через обратные клапаны и задвижки к общему напорному коллектору насосной станции. При работе станции все задвижки открыты. Устройство для измерения подачи имеет погрешность $q_п = \pm 20$ л/с.

Судя по виду напорных характеристик насосной станции $H = f(Q)$ при одном, двух или трех работающих насосах (на рис. 4.23 слева направо), в качестве управляющих параметров можно принять давление воды в коллекторе насосной станции и расход воды в начале напорного трубопровода (в данном случае давление в коллекторе соответствует напору насосной станции H). Первоначальное заполнение водой бустерными насосами закрытой оросительной сети и водовоздушной емкости, заполнение последней сжатым воздухом и выведение станции на «дежурный» режим ($H > 80$ м) проводят вручную. Далее станция работает в автоматическом режиме без участия оператора. При включении первой дождевальной машины напор насосной станции падает, так как оба бустерных насоса не способны поддержать его. При напоре насосной станции $H = 76{,}2$ м подается сигнал в систему автоматики на включение первого основного насоса и выключение обоих бустерных насосов. Станция переходит в режим работы основных насосов в точке A_1 и далее — в рабочую точку, соответствующую подаче первой дождевальной машины плюс утечки из сети. Дальнейшее включение в работу дождевальных машин и изменение режима работы станции можно проследить по графикам, показанным на рисунке 4.23. При отключении дождевальных машин режим работы станции изменяется в обратном порядке. При назначении командных параметров, при которых включаются или выключаются насосные агрегаты, необходимо учитывать не только неточность подачи командного сигнала из-за погрешности измерительных средств, но и возможность работы насосов в допустимом диапазоне подач, который указан в каталогах.

Сооружения и оборудование насосных станций должны быть снабжены контрольно-измерительными приборами (КИП), способными зафиксировать и подать сигнал о неисправности при отклонении от нормальной работы как оборудования, так и отдельных сооружений, а в случае опасных перегрузок, которые могут вызвать аварию, отключить неисправные агрегаты или всю станцию.

Сигнал о неисправности следует подавать:

при понижении или повышении уровня воды больше допустимого в нижнем и верхнем бьефах насосной станции, а также в дренажном колодце;

повышенном засорении сороудерживающих решеток и фильтров системы технического водоснабжения;

ненормальном уровне масла в ваннах электродвигателей;

прекращении подачи воды в системы охлаждения;

снижении давления больше допустимого в ресиверах и маслонапорных установках;

перегреве подшипников насосов с подачей более 0,5 $м^3/с$ или электродвигателей мощностью более 320 кВт;

неисправности цепей управления (обрыв, короткое замыкание и др.) на насосных станциях любой мощности.

Автоматическое отключение агрегатов предусматривают в следующих случаях:

при аварийном перегреве подшипников насосов подачей более 0,5 $м^3/с$ или электродвигателей мощностью более 320 кВт и при прекращении подачи воды на охлаждение или смазку;

незавершенном пуске или остановке одного из агрегатов (отключаются все агрегаты, работающие на тот же трубопровод, что и аварийный);

обратном токе воды или обратном вращении агрегата;

аварийном понижении давления в системе регулирования;

аварийном повышении уровня воды в верхнем бьефе;

снижении уровня воды в нижнем бьефе ниже допустимого или при засорении сороудерживающих решеток, что может привести к работе агрегатов в предаварийном режиме;

затоплении машинного зала (подается импульс на отключение всех агрегатов и закрытие всех основных затворов);

сработке электрических защит.

Для предупреждения аварий на крупных и уникальных насосных станциях рекомендуют предусматривать:

наблюдение за перемещениями земляных сооружений высотой более 5 м, каменных и бетонных сооружений II и III классов, речных водозаборов, зданий и трубопроводов при установке насосов с подачей более 5 $м^3/с$. Контролируют все сооружения, построенные на косогорах и оползневых участках. Методика наблюдений: нивелировка I класса и визирование по створам;

наблюдение за деформациями; такому наблюдению подлежат подкрановые балки кранов грузоподъемностью более 30 т, балки покрытий и перекрытий длиной более 12 м, перекрытия машинного зала при насосах и электродвигателях массой более 50 т, наиболее нагруженные сечения камерных и блочных зданий, напорные трубопроводы, подпорные стенки высотой более 5 м; для наблюдений следует использовать струнно-тензометрические датчики;

наблюдение за напряжением грунтов основания и давлением грунта на сооружения II и III классов; для наблюдения используют грунтовые динамометры, которые устанавливают по всей площади основного сооружения;

наблюдение за давлением воды на подошву сооружения, за кривой депрессии, фильтрационным расходом и фильтрацией воды в обход напорных сооружений II и III классов, а также основных сооружений крупных насосных станций IV класса; для наблюдения используют точечные или шахтные пьезометры, которые закладывают в сооружение, и обратную засыпку.

Глава 5
ЗДАНИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

●

5.1. ТИПЫ ЗДАНИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И УСЛОВИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Здания насосных станций предназначены для размещения основного и вспомогательного гидромеханического (насосы, трубопроводы с установленной на них арматурой), силового (двигатели, аппаратура, распределительные устройства), механического (грузоподъемные устройства, плоские затворы, сороудерживающие решетки) оборудования, служебных помещений и для защиты оборудования и обслуживающего персонала от воздействия осадков и прямых солнечных лучей.

Конструкция здания насосной станции зависит от ее назначения, типа и размера основных агрегатов, климата, рельефа местности, геологии, гидрогеологии, гидрологии, строительных материалов.

Стационарные здания насосных станций применяют трех типов: наземного, камерного и блочного. При большой высоте подземной части два последних типа здания называют шахтно-камерными и шахтно-блочными.

К отдельным типам зданий можно отнести передвижные и плавучие насосные станции. На этих станциях функции здания выполняет корпус понтона или облегченный кожух.

Ниже будут рассмотрены области применения каждого из перечисленных типов зданий при водозаборе из поверхностных источников.

Наземный тип здания применяют в случае установки в нем горизонтальных насосов, работающих с положительной высотой всасывания при колебаниях уровней воды в водоисточнике в пределах допустимой высоты всасывания и устойчивых берегах (рис. 5.1).

Основные агрегаты устанавливают на отдельно стоящих фундаментах; фундамент стен здания ленточный.

Пол здания располагают на 15...20 см выше уровня земли пристанционной площадки.

Для заполнения водой насосов перед пуском предусматривают специальные устройства (см. гл. 4 и 6).

При размещении здания станции за дамбой канала или в ниж-

15,2 Ось насоса
14,0
13,0 УВ max
10,0 УВ min
14,2
δст
δст
lфс
lк
lмв
lн
lмв
lвс
lвк
lкс
lз
lу
lфс
hзм
hмон
hкр
hстр
hдет max
hзап
hагр max
hзаг
hв max ≤ hв доп
h'зап
ΔH
1
2
3
4
5
6
7
8
9
а
Bнч
lмп
lагр
lпр
lнч
б

нем бьефе плотины пол насосного помещения должен быть ниже минимального уровня воды в водоисточнике, а вода подводится к насосам по самотечным трубопроводам.

Водозаборные и водовыпускные сооружения располагают всегда отдельно от здания насосной станции наземного типа.

Камерный тип здания предназначен для установки в нем насосов как горизонтального, так и вертикального исполнения, когда колебания уровней воды в водоисточнике превышают допустимую высоту всасывания основных насосов или она отрицательна. При этом насосное помещение здания располагают ниже уровня земли пристанционной площадки, и оно имеет сплошную фундаментную плиту. Насосы с вертикальным валом устанавливают всегда ниже минимального уровня воды в источнике, а с горизонтальным — как ниже, так и выше минимального уровня воды в источнике. В последнем случае, так же как и для насосных станций наземного типа, предусматривают устройства для заполнения насосов водой перед пуском.

Здания камерного типа могут быть: с сухой камерой, с мокрой камерой и сухим помещением для насосов и с мокрой камерой и затопленными насосами.

При установке в зданиях *с сухой камерой* насосов с горизонтальным валом (рис. 5.2) подземную часть здания перекрывают не полностью; по периметру здания предусматривают лишь проходы.

Водозаборные сооружения можно располагать раздельно от здания, или они примыкают к нему; в последнем случае для уменьшения длины здания и соответственно фронта водозабора насосные агрегаты устанавливают в шахматном порядке (см. рис. 5.2, *в, г*).

При вертикальном оборудовании подземную часть здания насосной станции с сухой камерой перекрывают полностью (рис. 5.3). Водозаборное сооружение совмещают со зданием насосной станции.

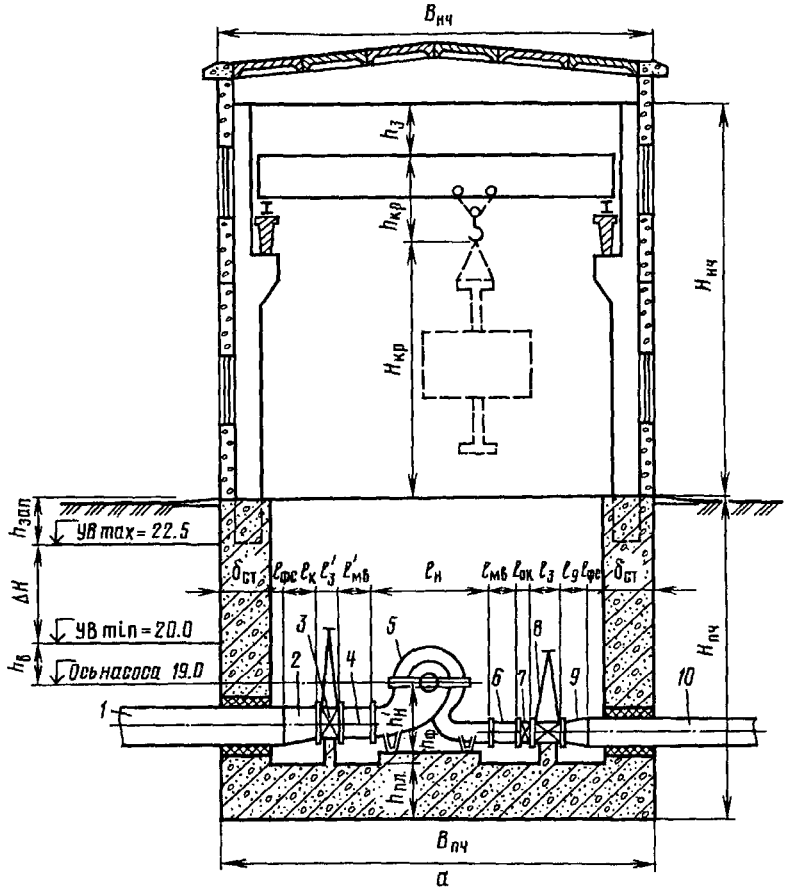
В зданиях с *мокрой камерой и сухим помещением для насосов* водоприемные камеры водозаборного сооружения располагают под насосным помещением, что сокращает площадь, занимаемую этими сооружениями, но увеличивает глубину подземной части здания и создает некоторые неудобства в эксплуатации насосной станции.

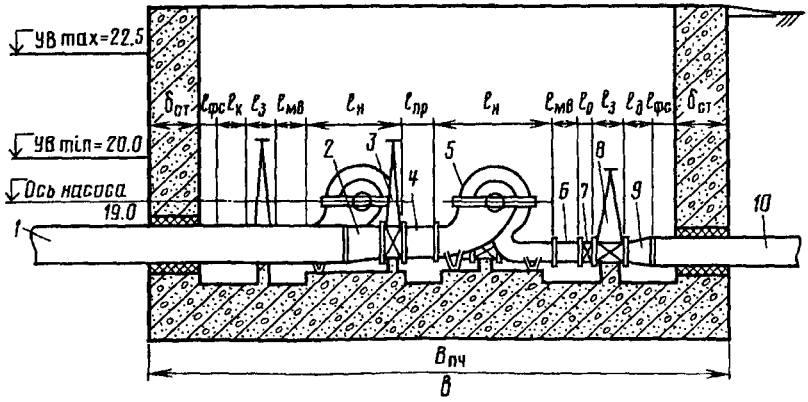
В зданиях с *мокрой камерой и затопленными насосами* (рис. 5.4) устанавливают осевые и диагональные вертикальные насосы, причем максимальный уровень воды в источнике не должен затапли-

---

Рис. 5.1. Здание насосной станции наземного типа:

а — поперечный разрез; *б* — план; *1* — всасывающая линия; *2* — стена здания станции; *3* — переходный односторонний конус (конфузор); *4* — горизонтальный центробежный насос; *5* — монтажная вставка; *6* — обратный клапан; *7* — задвижка; *8* — диффузор; *9* — напорная линия насоса. (Буквенные обозначения см. с. 205)


$B_{нч}$
$h_з$
$h_{кр}$
$H_{кр}$
$H_{нч}$
$h_{зап}$
УВ max = 22.5
ΔH
УВ min = 20.0
$h_в$
Ось насоса 19.0
$\delta_{ст}$
$l_{фс}$ $l_к$ $l'_з$ $l'_{мв}$ $l_н$ $l_{мв}$ $l_{ок}$ $l_з$ $l_д$ $l_{фс}$ $\delta_{ст}$
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
$h_н$
$h_ф$
$h_{пл}$
$H_{пч}$
$B_{пч}$
а


УВ max = 22.5
УВ min = 20.0
Ось насоса 19.0
$\delta_{ст}$ $l_{фс}$ $l_к$ $l_з$ $l_{мв}$ $l_н$ $l_{пр}$ $l_н$ $l_{мв}$ l_0 $l_з$ $l_д$ $l_{фс}$ $\delta_{ст}$
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
$B_{пч}$
б

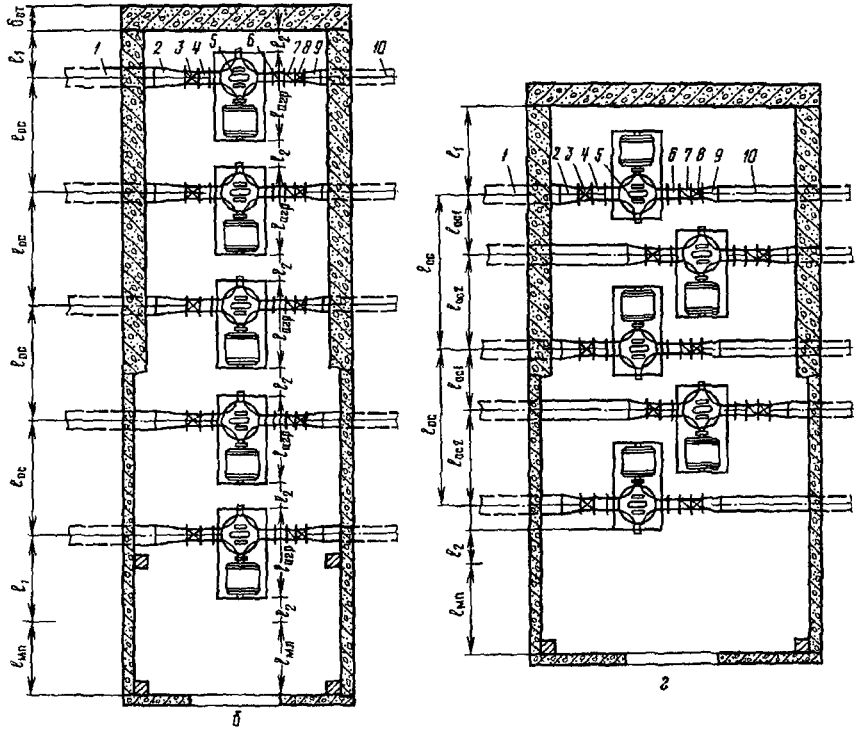


Рис. 5.2. Здание насосной станции камерного типа при установке в нем горизонтальных центробежных насосов:

а — поперечный разрез; *б, г* — планы при однорядной и двухрядной установке насосов; *в* — поперечный разрез подземной части здания; *1* — подводящая (всасывающая) линия; *2* — конфузор; *3, 8* — задвижки; *4, 6* — монтажные вставки; *5* — горизонтальный центробежный насос; *7* — обратный клапан; *9* — диффузор; *10* — напорная линия насоса. (Буквенные обозначения см. с. 208, 210)

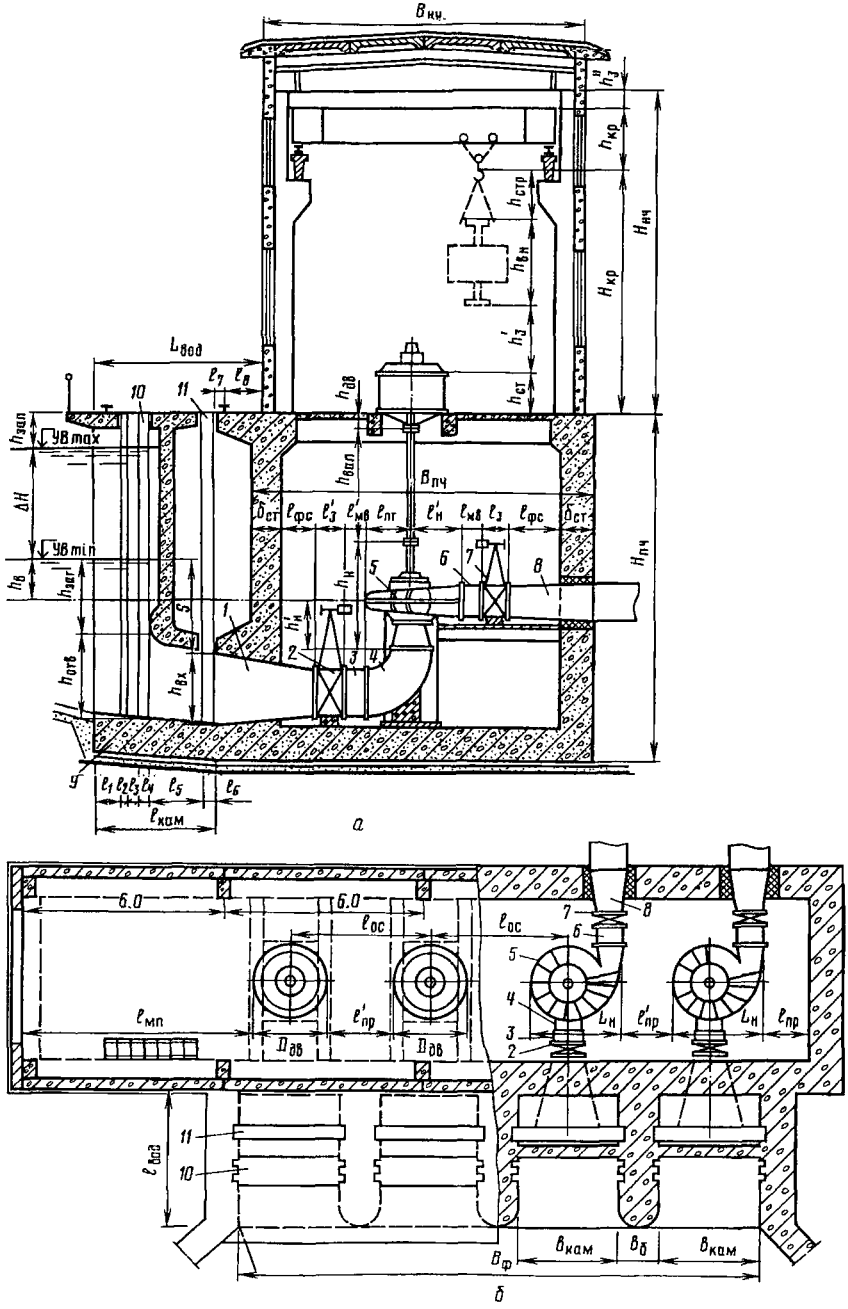

Bкр
h''з
hкр
hстр
hвн
Hкр
Hнч
h'з
hст
Lвод
ℓ7
ℓв
10
11
hдв
hзап
УВmax
hбап
Bпч
ΔH
Бст
ℓфс
ℓ'з
ℓ'мв
ℓпг
ℓ'н
ℓмв
ℓз
ℓфс
Бст
УВmin
hв
hзаг
hн
5
6
7
8
Hпч
h'н
1
2
3
4
hотв
hвх
У
ℓ1
ℓ2
ℓ3
ℓ4
ℓ5
ℓб
ℓкам
а
6.0
6.0
ℓос
ℓос
7
8
б
5
4
3
2
ℓмп
ℓ'пр
Lн
ℓ'пр
Lн
ℓпр
Dдв
Dдв
11
10
ℓвод
Bф
Bкам
Bб
Bкам
б

Рис. 5.3. Здание насосной станции камерного типа при установке в нем вертикальных центробежных насосов:

а — поперечный разрез; *б* — план; *1* — конфузор; *2, 7* — запорная арматура; *3, 6* — монтажные вставки; *4* — переходный конический патрубок; *5* — вертикальный центробежный насос; *8* — диффузор; *9* — фундаментная плита; *10* — паз сороудерживающей решетки; *11* — паз для ремонтного затвора. (Буквенные обозначения см. с. 214).

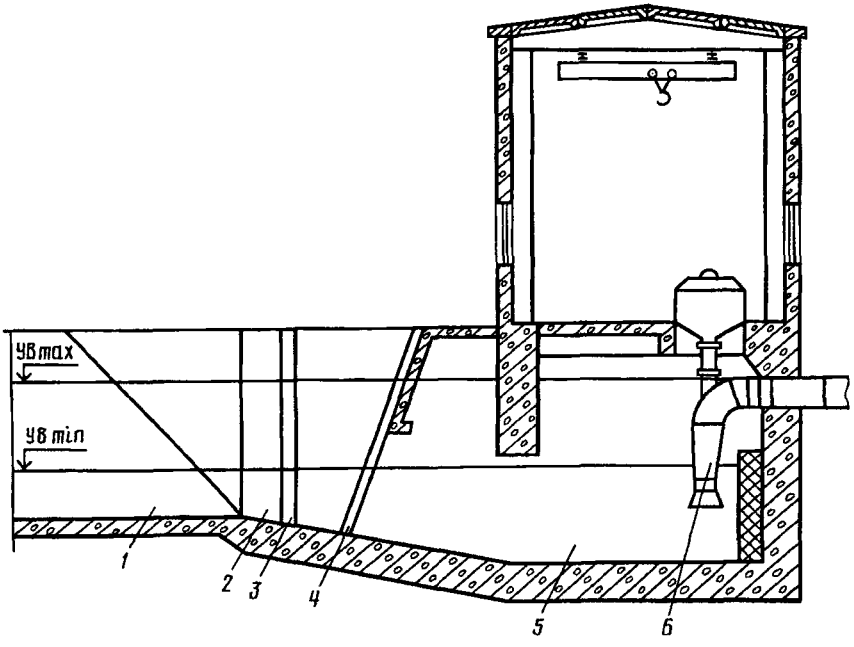
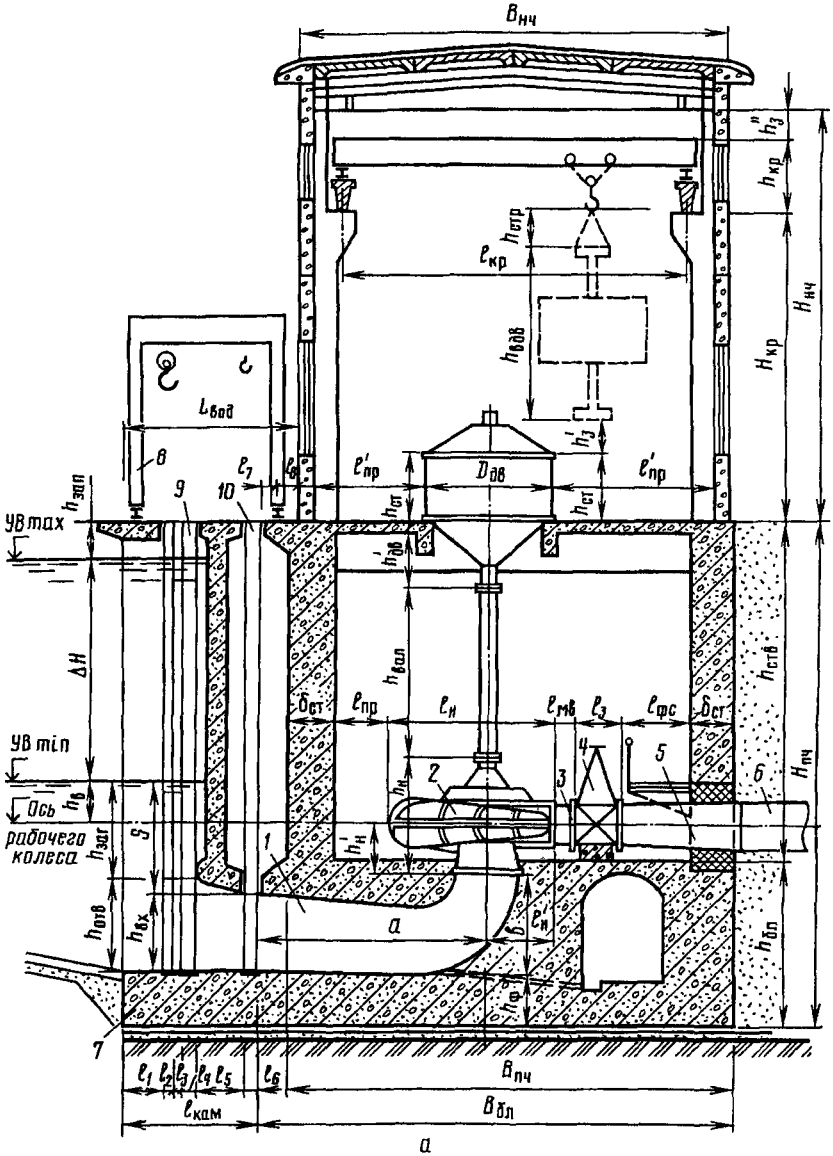


Рис. 5.4. Здание насосной станции с мокрой камерой и затопленным насосом:

1 — аванкамера; *2* — водозаборное устройство; *3* — паз для шандор; *4* — сороудерживающие решетки; *5* — мокрая камера; *6* — осевой вертикальный насос


$B_{нч}$
h_3''
$h_{кр}$
$h_{стр}$
$l_{кр}$
$h_{вав}$
$H_{кр}$
$H_{нч}$
$L_{вав}$
h_3'
$l_{пр}'$
$D_{вв}$
$l_{пр}'$
$h_{ст}$
$h_{ст}$
$h_{вв}'$
$h_{вал}$
$h_{ств}$
$h_{зап}$
УВ max
УВ min
ΔH
l_7
l_8
8
9
10
$\delta_{ст}$
$l_{пр}$
$l_н$
$l_{мв}$
$l_з$
$l_{рс}$
$\delta_{ст}$
$H_{пч}$
Ось рабочего колеса
$h_в$
$h_{заг}$
S
$h_н$
$h_н'$
1
2
3
4
5
6
$h_{отв}$
$h_{вх}$
a
b
$l_н'$
$h_{бл}$
7
l_1 l_2 l_3 l_4 l_5
l_6
$B_{пч}$
$l_{кам}$
$B_{бл}$

а

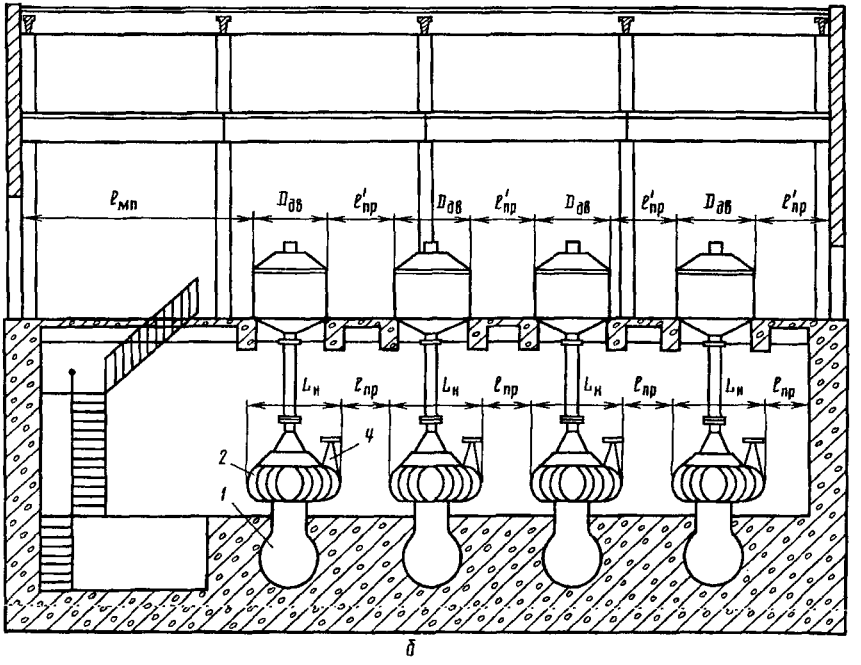


Рис. 5.5. Здание насосной станции блочного типа при установке в нем вертикальных центробежных насосов:

а и *б* — поперечный и продольный разрезы: *1* — подводящая труба; *2* — вертикальный центробежный насос; *3* — монтажная вставка; *4* — запорная арматура; *5* — диффузор; *6* — напорная линия насоса; *7* — фундаментная плита здания; *8* — козловый кран; *9* — паз для сороудерживающей решетки; *10* — паз для ремонтного затвора. (Буквенные обозначения см. с. 80, 211)

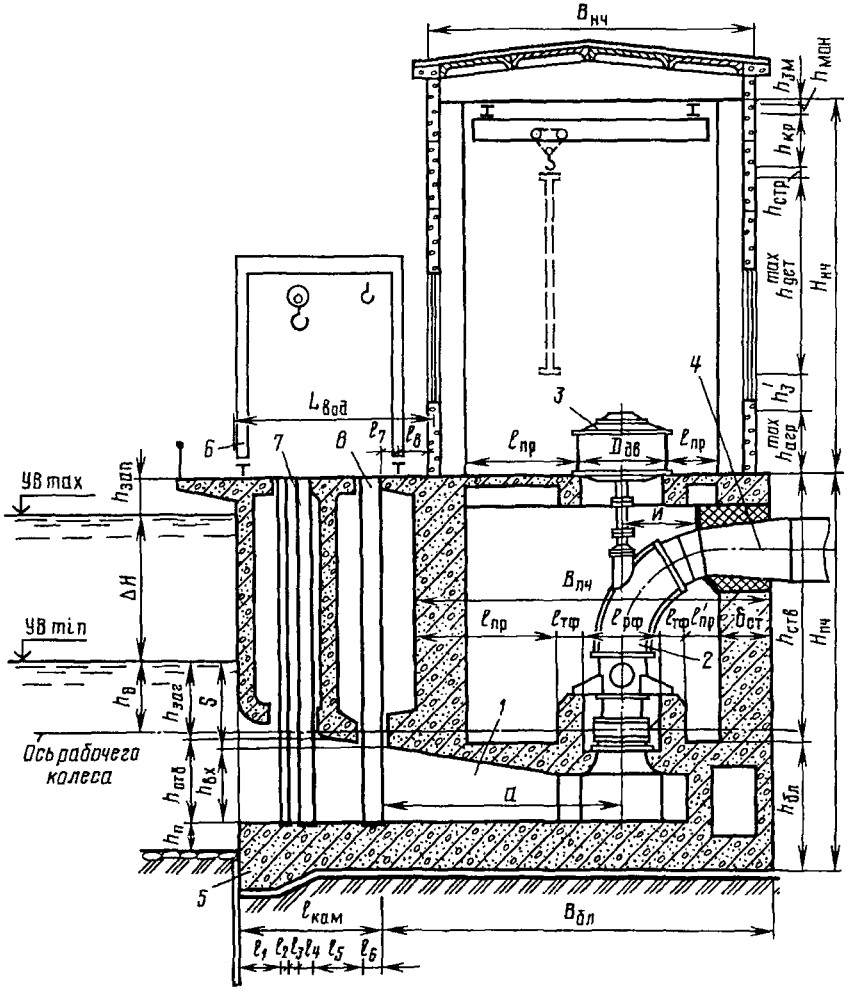


Рис. 5.6. Здание насосной станции блочного типа при установке в ием вертикальных осевых насосов:

1 — подводящая труба; *2* — вертикальный осевой насос; *3* — электродвигатель; *4* — диффузор; *5* — фундаментная плита здания; *6* — козловый кран; *7* — паз для установки сороудерживающей решетки; *8* — паз ремонтного затвора. (Буквенные обозначения см. с. 51, 215)

вать верхние подшипники насосов. Поэтому такой тип здания применяют только при относительно небольших колебаниях уровней воды в источнике.

Недостаток таких зданий — наличие воды непосредственно в здании насосной станции, что приводит к сырости в помещении и усложняет эксплуатацию.

Блочный тип здания применяют при установке вертикальных центробежных, диагональных, осевых, а иногда и горизонтальных осевых насосов при любых колебаниях уровней воды в источнике (рис. 5.5 и 5.6). Свое название этот тип здания получил потому, что в основании здания находится массивный железобетонный блок, в котором размещают подводящие трубы с коленчатым (см. рис. 5.5) или камерным (см. рис. 5.6) подводом.

Водозаборное сооружение совмещено со зданием насосной станции. При установке низконапорных осевых насосов здания станций могут быть совмещены с водовыпускными сооружениями.

Область применения плавучих и передвижных насосных станций рассмотрена в разделе 5.6.

5.2. ОСОБЕННОСТИ ЗДАНИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ОРОШЕНИЯ, ОСУШЕНИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Оросительные насосные станции, примеры которых показаны на рисунках 5.1...5.6, работают в оросительный период, допускают перерывы в работе; требования к очистке воды от плавающих предметов относительно невысоки (задерживаются только предметы, которые могут поломать рабочее колесо насоса). Работают такие станции лишь в теплое время, поэтому требования к теплостойкости ограждающих конструкций зданий снижены; требуется меньшая площадь служебных помещений; напорные трубопроводы можно прокладывать на небольшой глубине, а иногда и открыто; мероприятия по борьбе с шугой и против обмерзания сороудерживающих решеток не требуются.

Однако при сезонной работе насосные станции при одном и том же объеме перекачиваемой воды должны иметь бóльшую подачу, чем станции, работающие круглый год. В связи с этим целесообразно увеличивать продолжительность работы оросительных насосных станций подачей воды в наливные водохранилища: например, насосные станции, построенные на каналах Иртыш—Караганда, Каршинской оросительной системы, Комсомольской насосной станции на Волге.

Возможность кратковременных перерывов в работе насосных станций позволяет уменьшить число резервных агрегатов, а в отдельных случаях предусматривать лишь резерв на складе или вообще их не устанавливать, применять одноагрегатные станции, ис-

ключать переключения на напорных трубопроводах, упрощать внутристанционные коммуникации.

Осушительные насосные станции по конструкции аналогичны оросительным (рис. 5.7). От оросительной они отличаются наличием самотечных труб, по которым воду сбрасывают в периоды, когда уровень воды в нижнем бьефе выше, чем в верхнем.

Трубы самотечного сброса совмещают со зданием станции, когда подача насосной станции соизмерима со сбрасываемым расходом, и располагают отдельно, когда расход сброса значительно превышает подачу станции.

Верх подземных частей зданий осушительных насосных станций камерного и блочного типов и пол зданий наземного типа должны находиться на незатопляемых отметках, не менее чем на 0,5 м выше средней отметки поверхности местности, прилегающей к зданию насосной станции.

Осушительные насосные станции вертикального дренажа могут быть одиночными, оборудованными погружными насосами, и групповыми, когда несколько скважин обслуживает одна насосная

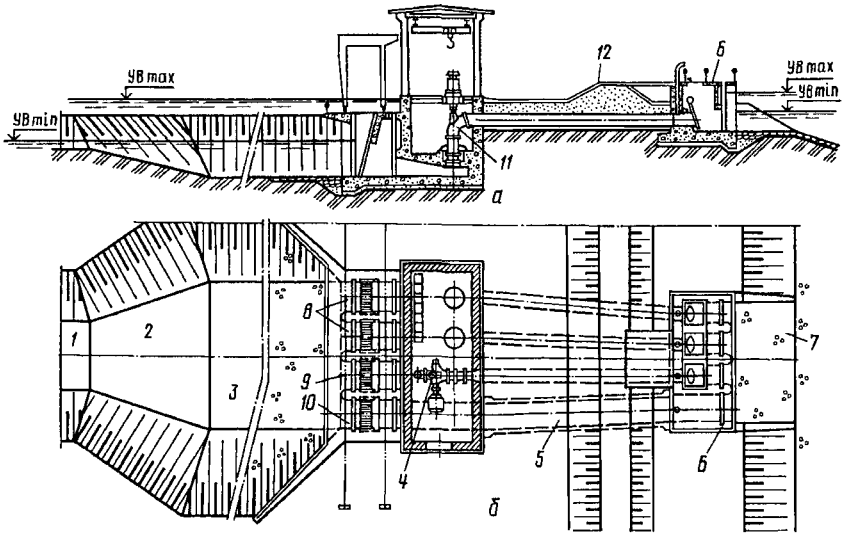


Рис. 5.7. Осушительная насосная станция на коллекторе:

а — разрез; *б* — план; *1* — коллектор; *2* — аванкамера; *3* — регулирующая емкость; *4* — центробежный насос для откачки бытовых вод; *5* — труба самотечного сброса; *6* — водовыпускное сооружение; *7* — канал; *8* — водоприемники насосов для откачки ливневых вод; *9* — то же, для откачки бытовых вод; *10* — то же, самотечного сброса; *11* — осевые насосы для откачки ливневых вод; *12* — дамба обвалования

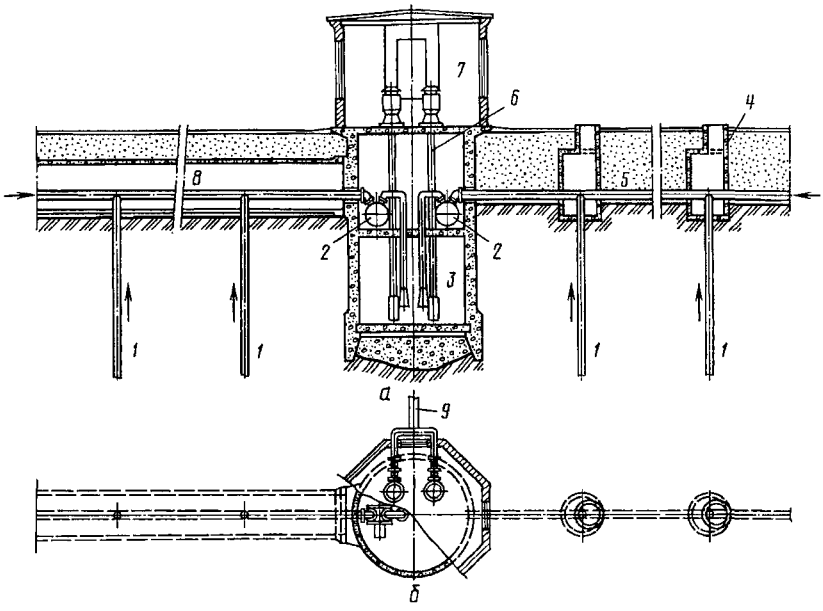


Рис. 5.8. Осушительная насосная станция с групповым расположением скважин:

а — разрез; *б* — план; *1* — скважина; *2* — вакуум-насос; *3* — водоприемный резервуар; *4* — колодец смотровой; *5* — сифонный водовод, уложенный в группе; *6* — вертикальные артезианские насосы; *7* — помещение для установки вспомогательного оборудования; *8* — сифонный водовод, уложенный в штольне; *9* — напорный трубопровод

станция (рис. 5.8). В этом случае скважины объединяют горизонтальными трубопроводами, работающими по принципу сифона. Воду откачивают вакуум-насосами со сбросом воды в общий резервуар, из которого насосами ее (на рис. 5.8 погружными) подают в водоприемник или к потребителю. Расстояние между скважинами, зависящее от гидрологических условий, составляет 20...100 м, а длина объединяющего трубопровода может достигать 5 км. Число лучей (один или несколько) определяют в зависимости от топографии водоносного пласта и направления движения грунтовых вод.

Насосные станции сельскохозяйственного водоснабжения работают круглый год. Требования к надежности их работы более высокие, чем к мелиоративным насосным станциям, что обеспечивается бóльшим числом резервных агрегатов, трубопроводов (см. раздел СНиП 2.04.02—84) и схемой внутристанционных коммуникаций для обеспечения бесперебойной подачи воды.

Насосные станции водоснабжения делят на станции I подъема, которые подают воду от водозаборных сооружений на очистные, и

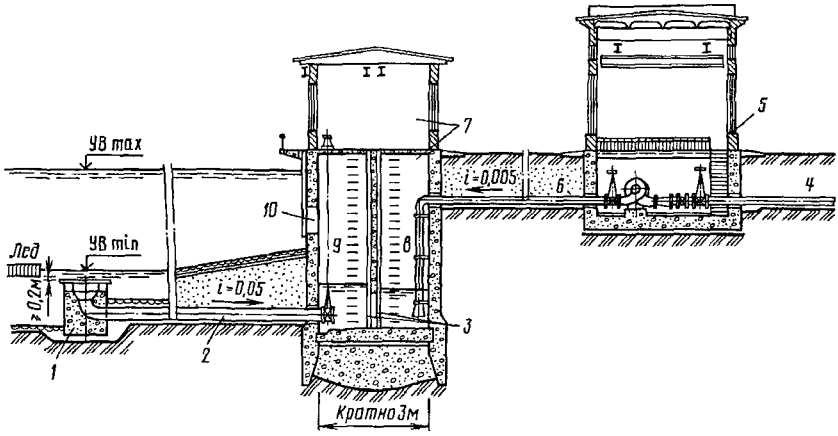


Рис. 5.9. Насосная станция сельскохозяйственного водоснабжения I подъема:
1 — затопленный водозаборный оголовок; *2* — самотечная труба; *3* — два ряда плоских сеток; *4* — напорный трубопровод; *5* — здание насосной станции; *6* — всасывающая труба; *7* — водоприемный колодец; *8* и *9* — всасывающая и водоприемная камеры; *10* — водоприемное отверстие

станции II подъема, подающие воду после ее очистки к потребителю.

В узел сооружений насосной станции I подъема, забирающей воду из поверхностного источника (рис. 5.9), входят: водозаборные оголовки *1* и водоприемный колодец *7*, соединенные самотечными трубами *2*; здание насосной станции *5*, соединенное с колодцем всасывающей трубой *6*; напорный трубопровод *4*.

Особо сложно сооружать такие станции в поймах рек и по берегам водохранилищ на слабых водонасыщенных грунтах. Строительство сооружений при этом связано с подводными и кессонными работами, глубинным водопонижением, спуском под воду крупных затопленных оголовков, каменным мощением. Поэтому при проектировании желательна проработка вариантов, позволяющих сократить число сооружений, особенно русловых, возводимых в сложных природных условиях, а также и их габариты. Здания насосных станций I подъема и береговые колодцы в основном выполняют в виде опускных колодцев.

Узел сооружений насосной станции II подъема состоит из всасывающих трубопроводов, по которым вода поступает из резервуара чистой воды к насосам, здания насосной станции и напорных трубопроводов, по которым воду подают в водопроводную сеть. Строительство этих станций, возводимых, как правило, на коренных породах, значительно проще, и в основном для этого используют типовые проекты.

5.3. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Компоновочные решения. При компоновке зданий насосных станций учитывают следующие условия:

здание насосной станции должно обеспечивать оптимальный режим работы оборудования, наибольшие удобства эксплуатации при наименьших капитальных вложениях;

проектную отметку установки насосов назначают из условий допустимой высоты всасывания;

габариты подземной части здания станции должны быть наименьшими при условии размещения и удобства эксплуатации оборудования, а также прочности и устойчивости сооружения и увязаны с габаритами верхнего строения, принимаемыми в соответствии с нормами строительства промышленных зданий.

Оптимальную компоновку здания насосной станции принимают на основании сравнения нескольких вариантов (наземный, камерный, блочный), которые зависят от типа выбранных насосов. Высота верхнего строения также зависит от типа насосов, причем в некоторых случаях здание может и не иметь верхнего строения.

Подземную часть здания выполняют из монолитного, сборного и сборно-монолитного железобетона, а верхнее строение — из сборных панелей, кирпича, железобетона, пластмассы.

При выборе оптимального решения на основании технико-экономического сравнения вариантов пользуются следующими основными правилами:

при числе насосных агрегатов до четырех применяют однорядную схему установки; при большем числе возможна двухрядная установка в отдельных случаях с использованием насосов правого и левого вращения;

распределительные устройства и служебные помещения располагают в торцах машинного зала или в отдельно стоящих зданиях; при большом числе агрегатов для зданий со сложной технологической схемой (наличие системы технического водоснабжения, маслоснабжения и других вспомогательных систем) — в пристройке, расположенной вдоль основного здания;

в зданиях со сложным кабельным хозяйством при числе основных агрегатов не менее четырех мощностью более 1000 кВт предусматривают кабельный этаж высотой не менее 1,6 м;

оборудование массой более 100 кг располагают в зоне действия крана или предусматривают специальные приспособления для монтажа и демонтажа;

основные агрегаты устанавливают открыто только на малых и временных насосных станциях, при использовании погружных или других специальных насосов;

здание с низкими машинными залами или установку оборудования под колпаками применяют в районах с мягким климатом,

при этом для монтажа оборудования используют козловые или автокраны, для подачи оборудования к месту установки предусматривают люки со съемными крышками или раздвижные перекрытия.

Высотная компоновка зданий насосных станций. В значительной степени зависит от допустимой высоты всасывания насосов. Практически с положительной высотой всасывания могут быть установлены лишь горизонтальные центробежные насосы с относительно небольшой (до 1,5 $м^3/с$) подачей. Все остальные насосы устанавливают под заливом, то есть с отрицательной высотой всасывания. Установка насосов с положительной высотой всасывания в здании наземного типа всегда дешевле и проще в строительстве, не требует устройства дренажной системы, однако при этом необходимо предусматривать систему для заполнения насосов перед пуском. Окончательное решение по выбору типа здания насосной станции принимают с учетом не только экономических, но и технических показателей — категории надежности станции, частоты и продолжительности пусков, возможности автоматизации, технической подготовки кадров.

Здания оросительных насосных станций при работе насосов с положительной высотой всасывания принимают в большинстве случаев наземного типа, здания насосных станций водоснабжения — чаще камерного типа.

Подготовка оснований. Производственные здания и гидротехнические сооружения насосных станций рассчитывают по двум группам предельных состояний: по несущей способности и по деформациям (осадки, прогибы, наклон сооружения). В случаях, когда при проектировании установлено, что сооружение недостаточно прочно, принимают другие варианты, позволяющие уменьшить деформацию основания или увеличить его несущую способность.

В этих вариантах могут быть увеличены габариты фундаментов, в том числе глубина их заложения, или предусмотрена специальная подготовка основания с целью улучшения физико-механических свойств грунтов.

Рекомендуют следующие виды специальных подготовок для укрепления оснований:

поверхностное уплотнение просадочных или насыпных грунтов трамбованием, гидровиброуплотнением или вибраторами;

глубинное (до 15 м) уплотнение просадочных грунтов грунтовыми сваями;

уплотнение просадочных грунтов предварительным замачиванием;

уплотнение водонасыщенных грунтов при помощи водопонижения, в том числе глубинного вакуумирования;

уплотнение песчаных и просадочных лёссовидных грунтов с использованием энергии взрыва;

полную или частичную замену грунтов основания с неудовлетворительными строительными свойствами «подушками» из песка, гравия, щебня или иного грунта;

искусственное закрепление грунтов химическим, электрохимическим или термическим способом;

защита основания и фундаментов сооружений от воздействия напорных грунтовых вод путем строительства самоизливающихся разгрузочных скважин, колодцев или траншей.

При специальном обосновании разрешено применять свайные основания и опускные колодцы. Подошвы фундаментов сооружений располагают ниже глубины промерзания.

Под гидротехнические сооружения из монолитного железобетона, как правило, укладывают специальную подготовку.

При сухих грунтах основания подготовка под сооружение состоит из бетона класса В7,5 толщиной 8...20 см с гидроизоляцией — два слоя асфальтовой мастики толщиной по 0,5...1 см или асфальт слоем 2...3 см. Чтобы исключить выдавливание, асфальт армируют стальной сеткой. Для предотвращения скольжения сооружения по слою гидроизоляции поверхность бетонной подготовки выполняют уступами глубиной 5...10 см, шириной уступов 50...70 см поперек возможного скольжения сооружения. По гидроизоляции укладывают защитную цементную стяжку толщиной 2...3 см, на которую укладывают арматуру сооружения и бетон.

При мокрых, особенно разжиженных, грунтах основания под бетонную подготовку укладывают гравий или щебень слоем 10...25 см, который втрамбовывают в разжиженный грунт основания. При наличии агрессивной среды гравийную отсыпку обрабатывают раствором битума.

Подземная часть здания. При проектировании подземной части зданий, необходимой для размещения основного и вспомогательного оборудования, пользуются следующими правилами:

объем подземной части должен быть минимально возможным;

вспомогательные системы, которые могут быть размещены вне подземного блока, следует вынести за его пределы;

габариты подземного блока с целью размещения на нем верхнего строения большей площади увеличивать не рекомендуется;

устойчивость здания станции должна быть достигнута не за счет увеличения габаритов и массы подземного блока, а за счет использования грунтовых пригрузок, анкерных понуров, наклонного основания (уклон в сторону засыпки) и т. д.;

вертикальные электродвигатели желательно устанавливать на незатопляемых отметках, используя при необходимости валы-проставки;

в зданиях камерного и блочного типов не рекомендуется применять разделительные поперечные стены для повышения прочности подземной конструкции, а следует использовать горизонтальные перекрытия и местные ребра жесткости;

толщину стен и днища подземной части в первом приближении следует принимать $0,1H_{ст}$, где $H_{ст}$ — максимально возможный напор воды на конструкцию в рассматриваемом сечении, м. Толщину сборных элементов, подверженных непосредственному воздействию воды, а также монолитных железобетонных конструкций, имеющих специальные гидроизоляционные покрытия, назначают из условия прочности;

подземная часть здания станции длиной более 18 м должна иметь не менее двух выходов.

Подземную часть зданий насосных станций выполняют из сборного или монолитного железобетона. Класс бетона устанавливают расчетом в зависимости от напряженного состояния конструкции, градиента напора и климатических условий. Монолитные конструкции зданий насосных станций, как правило, выполняют из бетона класса В12,5...В15. Марка гидротехнического бетона по водонепроницаемости для напорных конструкций зависит от напорного градиента

$$I = H_{ст}/\delta.$$

Напорный градиент I	≤ 5	5...10	10...12	≥ 12
Водопроницаемость W	4	6	8	12

Марку гидротехнического бетона по морозостойкости зоны переменного уровня воды назначают по таблице 5.1.

5.1. Марка бетона по морозостойкости при числе циклов попеременного замораживания и оттаивания

Климатические условия	Число циклов попеременного замораживания и оттаивания				
	от 50	50...75	75...100	100...150	150...200
Умеренные	F50	F100	F150	F200	F300
Суровые	F100	F150	F200	F300	F400

Примечание. В особо суровых условиях (ниже −20 °С) марку бетона по морозостойкости назначают на основе специальных исследований. Для подводных зон сооружений учитывают также атмосферные осадки и число переходов через нуль температуры воздуха в зимнее время, но не ниже F50 для умеренных, F100 для суровых и F200 для особо суровых климатических условий.

Бетон конструкций, подверженных воздействию воды или грунта, обладающих сульфатной агрессией, приготовляют на сульфатостойких цементах.

Бетонные гидротехнические сооружения выполняют в высококачественной опалубке: дополнительная штукатурка или облицовка бетонных поверхностей запрещена.

При компоновке подземной части здания станции необходимо добиваться максимальной простоты конструкций. При этом не предусматривают помещений, не требующихся для эксплуатации станции, не применяют без крайней необходимости лекальных поверхностей, особенно в монолитном железобетоне, ребристых и кессонных перекрытий, не разделяют машинные залы на отдельные камеры, если этого не требуют технология или условия прочности.

Армирование гидротехнических сооружений выполняют армоконструкциями, габариты которых зависят от наличия кранового оборудования и транспорта. Если в районе строительства есть база для изготовления сборного железобетона, то применяют сборно-монолитные конструкции.

Верхнее строение. При проектировании верхнего строения, служащего для размещения основных электродвигателей в зданиях блочного типа, основных агрегатов в зданиях наземного типа, подъемно-транспортного оборудования, распределительных устройств и других служебных помещений учитывают следующие рекомендации:

верхнее строение проектируют прямоугольной формы с одноэтажным машинным залом с пролетом одного направления. При высоте машинного зала более 4,8 м служебные помещения и распределительные устройства выносят в пристройку, этажность которой не нормируют;

верхнее строение проектируют из облегченных или сборных железобетонных конструкций заводского изготовления;

высоту помещений $H_{н.и}$ (от отметки чистого пола до низа несущих конструкций на опоре) назначают 3; 3,6; 4,2; 4,8; 5,4 и 6 м, в зданиях с мостовыми кранами 8,4; 9,6; 10,8; 12,6; 14,4; 16,2 и 18 м (рис. 5.10);

пролеты зданий B (рис. 5.11) назначают 6, 9, 12, 15, 18, 21 и 24 м при шаге колонн 6 и 12 м. В бескаркасных зданиях при пролете 6 м длина здания может быть кратна 1,5 м, в зданиях с пролетом 12 м — 3 м. При высоте здания 12,6 м и более, оборудованных мостовыми кранами, шаг средних колонн 12 м, крайних — 6 м;

привязка колонн и наружных стен к разбивочным осям показана на рисунке 5.12; нулевую привязку используют в зданиях без мостовых кранов и в зданиях, оборудованных мостовыми кранами грузоподъемностью до 30 т включительно при шаге колонн 6 м и высоте здания менее 16,2 м;

наружные грани колонн (см. рис. 5.10) смещают с продольных осей на 250 мм наружу при мостовых кранах грузоподъемностью до 50 т включительно при шаге колонн 6 м и высоте здания 16,2 и 18 м, а также при шаге колонн 12 м и высоте здания 8,4...18 м;

привязку колонн к поперечным разбивочным осям выполняют так, чтобы геометрические оси сечений колонн совпадали с поперечными разбивочными. Оси колонн, примыкающих к деформа-

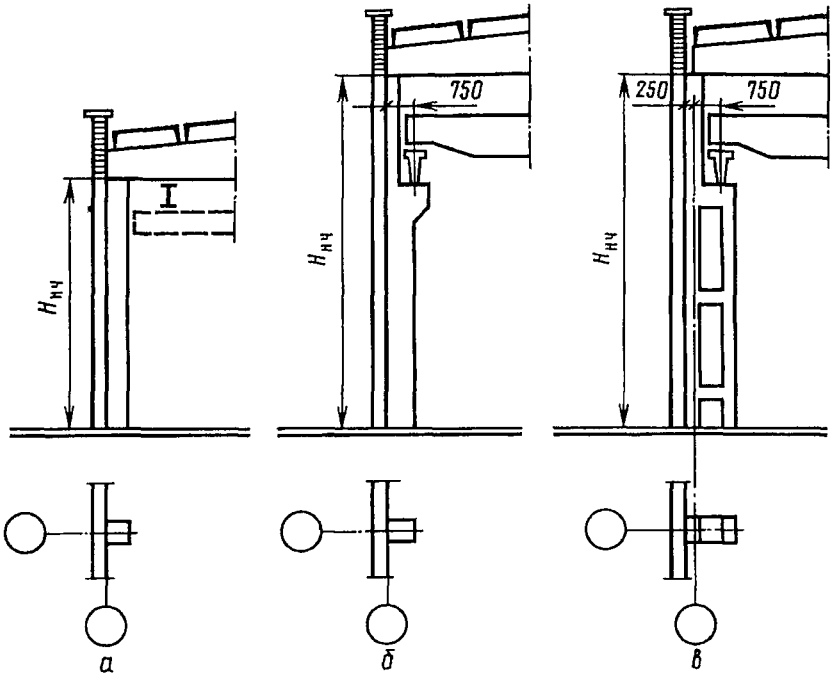


Рис. 5.10. Схема привязки колонн и стен к продольным разбивочным осям:

а — «нулевая» в зданиях, оборудованных кран-балками грузоподъемностью до 5 т; *б* — «нулевая» в зданиях с мостовыми кранами грузоподъемностью до 30 т; *в* — смещение на 250 мм наружу в зданиях с мостовыми кранами грузоподъемностью более 30 т

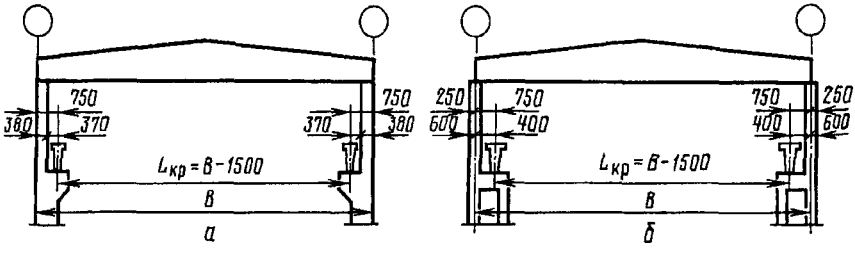


Рис. 5.11. Схема привязки подкрановых балок к продольным разбивочным осям:

а — при «нулевой» привязке колонн; *б* — при привязке колонн со смещением на 250 мм; $L_{кр}$ — пролет крана; B — пролет здания

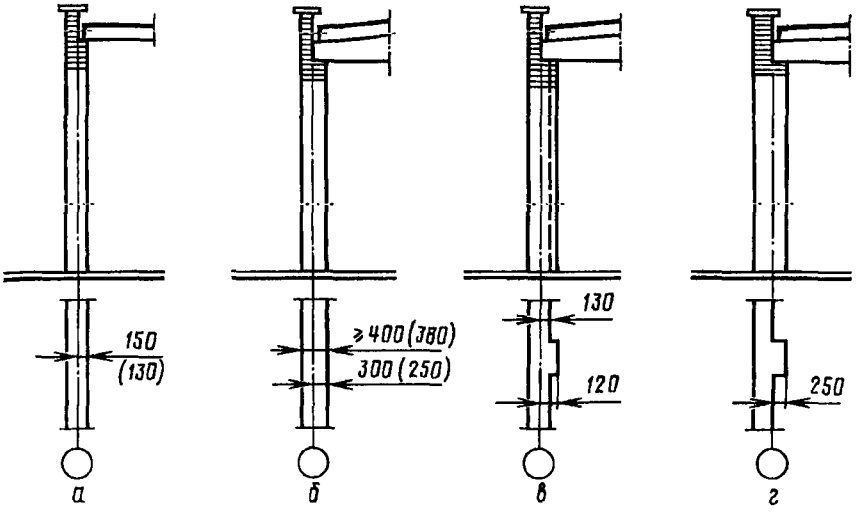


Рис. 5.12. Схемы привязки несущей наружной стены к продольной разбивочной оси:

а и *б* — стены без пилястр; *в* и *г* — стены с пилястрами

ционным швам, смещают на 500 мм внутрь здания (рис. 5.13). Внутренние поверхности торцовых стен должны совпадать с поперечными осями, то есть иметь нулевую привязку; расстояние от продольных разбивочных осей здания до оси подкранового рельса (см. рис. 5.11) принимают 750 мм для кранов грузоподъемностью не более 50 т. Каркасы машинных залов, оборудованных кранами грузоподъемностью 75 т и более, разрешается выполнять стальными;

длина верхнего строения здания насосной станции должна быть кратной 6 м при наличии каркаса и кратной 1,5 м для бескаркасных зданий, в которых плиты покрытий опираются на продольные несущие стены.

Здания и другие гидротехни-

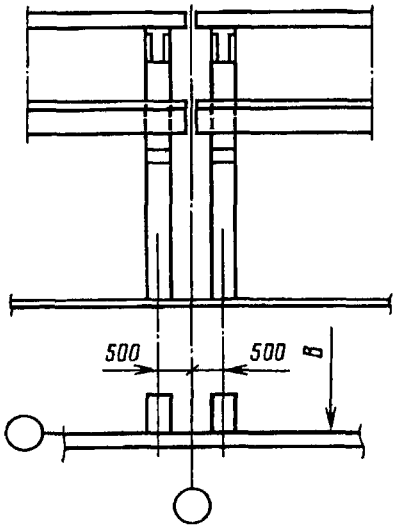


Рис. 5.13. Схема привязки колонн к поперечной разбивочной оси в месте поперечного температурного шва

ческие сооружения насосных станций должны быть разрезаны на отдельные секции деформационными швами, если их длина превышает 6...25 м при размещении сооружения на скальном основании, 60 м при размещении на несвязных грунтах (пески, супеси) и 80 м при размещении на связных грунтах (суглинки, глины). Число деформационных швов должно быть минимальным. Деформационные швы верхнего строения совмещают со швами подземного блока.

Верхние строения стационарных насосных станций проектируют, как обычные промышленные здания. Если они оборудованы подвесными кранами грузоподъемностью не более 5 т, их выполняют как бескаркасными, так и каркасными, а мостовыми кранами — только каркасными.

Бескаркасные здания насосных станций, как правило, состоят из ленточных фундаментов, несущих стен и покрытий. Ленточные фундаменты, уложенные ниже глубины промерзания, могут быть выполнены из бутобетона, монолитного бетона или из специальных бетонных блоков. Несущие стены высотой до 6 м могут быть выложены из штучного кирпича или пиленого естественного камня, из кирпичных или бетонных блоков. При необходимости несущую способность стен увеличивают за счет применения пилястр или их армирования. Толщину несущих стен и их конструкцию определяют расчетом на прочность, и если здание отапливаемое — на теплоустойчивость.

Для покрытий зданий рекомендуют применять сборные железобетонные ребристые плиты размером 3×6, 3×12 м с использованием доборных плит $1{,}5 \times 6$ и $1{,}5 \times 12$ м, которые устанавливают на сборные железобетонные балки покрытий или на несущие стены верхнего строения. Покрытия над служебными помещениями, особенно над аккумуляторной, кислотной, и над служебными кабинетами желательно выполнять из гладких многопустотных железобетонных плит (или из специальных плит ребрами вверх). Декоративные подвесные потолки применяют только на уникальных насосных станциях в помещениях, где постоянно находятся люди.

Кровли верхних строений покрывают рулонными материалами (3...4 слоя), непроветриваемыми, по слою утеплителя (засыпка шлаком или сборные пенобетонные плиты), толщину которого рассчитывают. Уклон кровли не более 1:12. Для защиты рулонных кровель от прямых лучей солнца предусматривают засыпку их небольшим слоем мелкого гравия светлых тонов.

Организованный отвод воды с кровель предусматривают только в том случае, если количество осадков превышает 1000 мм в год, и для зданий I, II и III классов. В остальных случаях специального водоотвода не делают, но вылет карниза принимают не менее 600 мм и только в сейсмических районах — 300 мм.

Большинство зданий насосных станций строят каркасного типа из сборных железобетонных элементов промышленного изготов-

ления. Каркас верхнего строения выполняют в виде рам, колонны (стойки) которого защемлены в отдельно стоящих фундаментах или в массивных конструкциях подземной части здания, а балки (ригели) шарнирно опираются на верх колонн. Для увеличения продольной жесткости каркаса предусматривают специальные ветровые связи.

Стены верхнего строения желательно выполнять из сборных панелей. Для отапливаемых зданий применяют однослойные панели из легких бетонов или многослойные толщиной 160 мм и более, для неотапливаемых — ребристые железобетонные панели. Как правило, стеновые панели, поступающие с заводов, имеют фактурный слой и не нуждаются в дополнительной отделке. Кирпич и керамические камни для кладки стен каркасных зданий иногда применяют для уникальных зданий. Самонесущие стены должны быть надежно заанкерены к каркасу.

Строительство зданий насосных станций из общепромышленных железобетонных элементов, рассчитанных для больших пролетов и более тяжелых крановых нагрузок, экономически не всегда эффективно, поэтому отдельными организациями созданы более легкие и экономичные строительные конструкции. Так, была разработана серия так называемых блочно-комплексных насосных станций (БКНС). Каждая такая станция состоит из одной или нескольких агрегатных секций и секций для установки электрооборудования. Ограждающие конструкции выполняют из трехслойных панелей (несущая рама, слой утеплителя и два алюминиевых листа облицовки), которые могут быть собраны в пространственную конструкцию.

Гидроизоляция. Для защиты бетонных конструкций от воздействия агрессивной среды и для повышения их водонепроницаемости поверхности гидротехнических сооружений покрывают гидроизоляцией. В водохозяйственном строительстве наиболее часто применяют следующие виды гидроизоляции:

окрасочную наносят механическим способом или вручную на бетонную поверхность со стороны гидростатического давления. При засыпке стен мягким грунтом защитных ограждений не требуется. В зависимости от напора H и толщины слоя δ применяют следующую окрасочную гидроизоляцию:

	δ, мм	H, м
Битумная	4	≤ 2
Битумно-латексная	6	≤ 8
Битумно-наиритовая	3	≤ 20
С эластином	5...6	≤ 10

штукатурная цементная (торкрет) предназначена для защиты массивных бетонных конструкций, не засыпанных грунтом. В случаях, когда слой торкрета работает на отрыв, предусматривают его

армирование стальной сеткой. Торкрет, подлежащий засыпке грунтом, покрывают окрасочной гидроизоляцией. При напоре до 10 м на бетонную поверхность наносят два слоя торкрета толщиной $\delta = 25$ мм, а при напоре до 20 м — три слоя толщиной $\delta = 30$ мм;

литую асфальтовую толщиной 10...15 мм наносят в расплавленном состоянии, разливая по горизонтальной плоскости или заливая в полости между сооружением и защитной стенкой;

оклеечную битумную используют только при защемлении ее грунтом (давление не менее 0,01 МПа) и устройстве защитных стен.

В зависимости от напора H применяют гидроизоляцию:

Материал гидроизоляции	Стеклорубероид	Слой изола и слой ЛГД-1	3...4 слоя гидроизола	Слой фольгоизола и слой битумной рулонной изоляции или полиэтилен листовой на битумной мастике, или поливинилхлоридный пластикат
H, м	2...4	≤ 8	≤ 30	≤ 50

пластмассовую, для защиты конструкций от воздействия агрессивных сред окрашивают в несколько слоев лакокрасочными составами (при $H \leq 5$ м) или наклеивают листовую или рулонную пластмассу (при $H \leq 30$ м);

металлическую, в виде сплошного ограждения из стальных листов только при специальном обосновании для защиты от напорных вод помещений, где не допускается появление воды, а также в качестве облицовки проточной части гидротехнических сооружений, где скорость потока превышает 6 м/с или поддерживается вакуум. Металлическую гидроизоляцию, установленную со стороны засыпки или воды, защищают торкретом по стальной сетке, а в помещении покрывают антикоррозионным лаком.

Наибольшее распространение в водохозяйственном строительстве получили окрасочная и оклеечная гидроизоляции, выполненные на основе битумных материалов.

Монтажная площадка. Для ремонтных работ и разгрузки оборудования с транспортных платформ предназначена монтажная площадка. Ее обычно располагают в торце машинного зала со стороны подъездных путей. В машинных залах длиной более 60 м и при большом объеме ремонтных работ, проводимых в сжатые сроки, предусматривают две площадки; в случаях, когда для монтажа и ремонта оборудования можно использовать проходы между агрегатами, специальные монтажные площадки не устраивают.

В *зданиях станций наземного типа* в качестве монтажной площадки используют участок пола машинного зала, размеры которого должны быть достаточными для въезда на площадку транспортной платформы с целью разгрузки или погрузки агрегата.

В *зданиях насосных станций камерного типа* монтажную площадку обычно предусматривают на уровне земли. Площадка перекрывает часть подземной камеры, в пределах которой обычно размещают вспомогательное оборудование: насосы дренажа, противопожарные и технического водоснабжения (ТВС), фильтры, небольшие склады материалов. Если высота подземной части камеры менее 2,4 м, то объем под перекрытием может быть засыпан гравелистым грунтом, так как необслуживаемое помещение будет источником сырости.

В *зданиях насосных станций, оборудованных вертикальными агрегатами*, обычно предусматривают две монтажные площадки на уровнях полов насосного помещения и машинного зала. Монтажную площадку насосного помещения используют как перевалочный пункт для эвакуации через монтажный люк ремонтируемого оборудования, реже — для выполнения ремонтов. В зоне монтажной площадки размещают шахты контрольных грузов для испытания талей и кранов грузоподъемностью до 20 т, а также устанавливают вспомогательное оборудование.

Размеры монтажной площадки машинного зала должны обеспечить возможность раскладки в зоне действия крана одного или двух монтируемых агрегатов (согласно календарному графику монтажных работ или ремонтов), состоящих из ротора, статора, верхней и нижней крестовин электродвигателя, воздухоохладителей, вала и рабочего колеса насоса, элементов корпуса насоса, транспортной платформы (большегрузный автомобиль или трейлер) и монтажного люка. При этом учитывают возможность использования гнезд немонтируемых агрегатов и проходов в качестве временных монтажных площадок. Проходы между разложенным оборудованием не должны быть менее 700 мм. Кроме того, на монтажной площадке таких станций предусматривают анкерные петли для закрепления гидродинамометров (для испытания мостовых кранов грузоподъемностью более 20 т), стальные контрольные плиты, заделанные в пол (для монтажа рабочего колеса поворотно-лопастного насоса), отверстие в полу для установки в вертикальном положении ротора электродвигателя, а также подвод сжатого воздуха на давление 0,6...0,8 МПа, электроэнергии, масла, технически чистой воды и др.

Ширину монтажной площадки обычно принимают равной ширине машинного зала, а длину — полуторному расстоянию между осями агрегатов.

Монтажные люки. Для подъема оборудования из заглубленных насосных помещений на монтажную площадку в междуэтажных перекрытиях предусматривают специальные монтажные люки, форма и размеры которых зависят от габаритов проносимого оборудования с учетом запаса (не менее 300 мм).

Проем монтажного люка желательно закрывать специальными

съемными плитами, поэтому его площадь можно использовать для ремонта оборудования.

Перекрытия. Конструкции перекрытий зависят от пролета и расчетных нагрузок, которые должны быть определены на основании принятой схемы монтажа и раскладки монтируемого оборудования. Перекрытия монтажных площадок, машинных залов и служебных помещений могут быть из монолитного железобетона, сборными или сборно-монолитными с применением типовых железобетонных элементов заводского изготовления.

Наименьшую материалоемкость имеют балочные перекрытия, состоящие из главных и второстепенных балок и относительно тонкой плиты. Главные балки высотой (0,1...0,12) l, где l — пролет балки, на который опираются электродвигатели основных вертикальных агрегатов, устанавливают поперек здания с защемлением в стенах подземной части здания. Второстепенные балки высотой (0,07...0,1) l укладывают перпендикулярно главным балкам. Толщина плиты перекрытия зависит от пролета и нагрузки, обычно ее принимают равной 1/20 пролета, но не менее 10 см при массе насоса или электродвигателя до 5 т, 12...15 — до 15 т и 15...20 см — при массе более 15 т. Балочное перекрытие неэкономично при установке на нем вертикальных электродвигателей мощностью более 7,5 МВт и весьма трудоемко для проведения работ. Поэтому в последнее десятилетие все чаще стали применять безбалочные сборно-монолитные перекрытия. Наиболее простое конструктивное решение такого перекрытия заключается в следующем. На несущие балки или стены здания укладывают сборные железобетонные плиты. В швы между ними (ширина 10...20 см) устанавливают арматурные каркасы и, если нужно, — горизонтальные армированные сетки, после чего конструкцию замоноличивают. По такой схеме выполняют перекрытия пролетом до 6 м.

Сборно-монолитные перекрытия сложнее: на несущие балки или стены здания устанавливают несущие армированные фермы высотой (0,12...0,15) l с забетонированным нижним поясом, способные выдержать не только собственную массу, но и свежеуложенный бетон. При изготовлении армированной ферме придают обратный прогиб, чтобы при загружении ее получить плоский потолок. Обычно армированные фермы применяют для перекрытия пролетов до 18 м.

Использование междуэтажных перекрытий в качестве фундаментов под вертикальные электродвигатели допускается в том случае, если их мощность не превышает 5 МВт, а длина перекрытия не более 9 м. При установке на перекрытие электродвигателей мощностью более 8 МВт или пролете более 9 м предусматривают специальные поддерживающие колонны (по 4...6 на агрегат), а при большей мощности — специальные цилиндрические фундаменты.

Служебные мостики. Для прохода через трубопроводы, обслуживания верхних подшипников вертикальных насосов и приводов

задвижек, расположенных на высоте более 1,4 м, а также для прокладки кабелей и других целей необходимы служебные мостики. Минимальная ширина мостика, используемого только для прохода, должна быть не менее 800 мм. При установке на служебном мостике шкафов с электрооборудованием, вспомогательных насосов, маслонапорной установки (МНУ), вентиляторов и другого оборудования ширина мостика определяется габаритами оборудования и допустимыми проходами. Служебные мостики должны иметь удобные выходы на монтажные площадки или в лестничные клетки, а также спуски к основным и вспомогательным агрегатам.

Конструкция служебных мостиков зависит от их назначения. Мостики, предназначенные только для прохода обслуживающего персонала и прокладки кабелей, обычно изготовляют из стальных прокатных профилей: стойки, замоноличенные в бетон перекрытия, прогоны из швеллеров или двутавров, между которыми могут быть уложены кабели, и съемное покрытие из рифленой листовой стали. Служебные мостики для установки оборудования, особенно тяжелых МНУ, как правило, представлены сборными или сборно-монолитными конструкциями.

Проходы. В насосных станциях должны быть обеспечены следующие минимально допустимые проходы: между рядами агрегатов (фундаментами или корпусами машин) и между рядами агрегатов и строительными конструкциями — не менее 1 м при напряжении электродвигателей до 1000 В и 1,2 м — более 1000 В. Допускаются местные сужения проходов:

между выступающими частями машин и строительными конструкциями — до 0,6 м;

между компрессорами — не менее 1,5 м;

между агрегатами и фасадом (лицевая сторона обслуживания) пульта управления или щита управления — не менее 2 м;

между торцом щита и агрегатами — не менее 1 м;

между подвижными частями тепловых двигателей — не менее 1,2 м;

между рядами шкафов с электрооборудованием и частями здания — не менее 1 м при однорядном расположении шкафов и не менее 1,2 м при двухрядном. Ширину коридоров управления, где находятся приводы выключателей или разъединителей, соответственно увеличивают до 1,5...2 м.

При установке электрораспределительных устройств и трансформаторов в отдельных помещениях проходы должны быть не менее 0,6 м плюс длина выкатной тележки для однорядного исполнения и 0,8 м плюс длина выкатной тележки для двухрядного. При этом должен быть сохранен проход между щитом и выкаченной тележкой. Во всех случаях ширина прохода не должна быть менее размера тележки по диагонали.

При специальном обосновании (возможность ремонта и обслуживания) проходы между рядами агрегатов, а также между рядами

агрегатов и строительными конструкциями здания могут быть сокращены до 0,3 м при высоте машин до 1 м от уровня пола и не менее 0,6 м при высоте машин более 1 м при наличии прохода с другой стороны машины.

Агрегаты мощностью до 10 кВт можно размещать у стен здания или на кронштейнах.

На одном фундаменте разрешено устанавливать два агрегата малой мощности (напряжением до 500 В и диаметром нагревательного патрубка до 100 мм) при условии, что вокруг фундамента будет оставлен проход не менее 1 м, а расстояние между выступающими частями агрегатов будет не менее 0,3 м.

Проходы между насосными агрегатами увеличивают: для горизонтальных агрегатов — по условию демонтажа ротора электродвигателя без разборки статора (если это требуется по техническим условиям на ремонт электродвигателя), для вертикальных агрегатов — по условию компоновки изогнутых подводящих труб или камерных подводов с учетом минимально допустимых толщин разделительных быков. При длине зданий насосных станций более 100 м предусматривают проезды для электрокар или транспортных тележек.

Высоту машинного зала, оборудованного подъемно-транспортными механизмами, определяют с учетом возможности погрузки оборудования на транспортную платформу. При этом должны быть соблюдены следующие запасы: при проносе груза над оборудованием с помощью гибких строп 0,5...0,7 м (длину строп определяют исходя из условия, что угол охвата детали гибкими стропами равен 60°); то же, при использовании жесткого крепления 0,25...0,35 м (так проносят длинные валы вертикальных насосов); при проносе оборудования над перекрытиями и при установке на транспортную платформу 0,3 м; между проносимым оборудованием и выступающими частями здания 0,3...0,5 м.

В случаях, когда верхняя отметка фундаментной плиты машины находится выше или ниже отметки пола более чем на 400 мм, вокруг машины предусматривают несгораемую площадку шириной не менее 0,6 м. Если ее располагают на высоте 0,4...2 м над уровнем пола, то устраивают перила, а при большей высоте — перила и бортовые барьеры. Для входа на площадку обслуживания предусматривают лестницы.

Лестницы, трапы, стремянки. Основные лестницы, расположенные в лестничных клетках, проектируют из стандартных сборных железобетонных маршей или отдельных ступеней, укладываемых по стальным косоурам. Уклон марша принимают 1 : 2, но допускаются и более крутые лестницы с уклоном 1:1,75 и 1:1,15. Этим уклонам соответствует высота ступеней 15, 16 и 17,3 см шириной 30, 29 и 26 см. Ширина марша может быть 90...220 см, площадки — не менее ширины марша.

Лестницы для подъема на оборудование и служебные мостики

изготавливают из сборного железобетона или из стального проката. При этом допустимые углы наклона лестниц $\alpha = 20...50°$, ширина не менее 700 мм, высота ступеней 170...190 мм (для внутренних) и 125...165 мм (для наружных).

Для обслуживания редко посещаемых помещений вместо лестниц устанавливают трапы ($\alpha = 50...75°$) или трапы-стремянки ($\alpha = 75...90°$).

Пандусы, или наклонные плоскости, применяют при угле наклона до 15°. Минимальная ширина их 750 мм при одностороннем движении и 1100 мм при двустороннем. Высота проема 2200 мм, уклон пандусов для съезда транспорта не круче 1 : 10.

Лифты. В заглубленных (более 12 м) зданиях насосных станций предусматривают грузопассажирские лифты. Шахты лифтов, как правило, блокируют с лестничными клетками. На каждом этаже перед лифтом предусматривают грузовые площадки. Выход из лифта на лестничную площадку запрещен. Шахту лифта и его машинное помещение выполняют из несгораемых конструкций.

Ворота, двери, окна. Для подачи оборудования на монтажные площадки зданий насосных станций устанавливают раздвижные или распашные ворота размером $3 \times 3,3$; $6 \times 3,6$; 4×3; $4 \times 4,2$; $4,8 \times 5,4$ и $4,7 \times 5,6$, определяемым габаритами оборудования и транспортной платформы. Кроме того, предусматривают специальные входные двери в помещения, в служебные помещения и на лестничные клетки.

Машинный зал и служебные помещения, как правило, имеют естественное дневное освещение через оконные проемы, площадь которых составляет не менее 12,5 % площади пола, а на лестничных клетках и в других служебных помещениях — не менее 8 %. Для оконных переплетов рекомендуют использовать стальные гнутые или прокатные профили. Деревянные переплеты применяют только на мелких станциях. Окна должны иметь двойное остекление, если средняя наружная температура наиболее холодной пятидневки ниже –6 °С; во всех остальных случаях, а также в помещениях с ненормируемыми температурным и влажностным режимами — одинарное. При специальном обосновании допускается применение в качестве заполнителя оконных проемов стеклопрофилита и стекложелезобетона.

Переплеты могут быть глухими, если проектом не предусмотрена естественная вентиляция помещений. При использовании окон для проветривания помещений на высоко расположенных открывающихся окнах ставят механизмы для открытия их с пола.

В помещениях, где расположены распределительные устройства (РУ), оконные проемы не предусматривают.

Противопожарные требования. Все помещения стационарных насосных станций должны иметь не менее чем II степень огнестойкости.

Строительные конструкции зданий выполняют из несгораемых

или трудносгораемых материалов, предел огнестойкости которых должен быть не менее: несущих и самонесущих стен — 2 ч; междуэтажных покрытий — 0,75 ч. Кровли покрытий, окна, двери, полы и отделку стен можно выполнять из сгораемых материалов.

Заглубленные здания насосных станций, особенно с междуэтажным перекрытием на уровне земли, должны иметь не менее двух эвакуационных выходов при длине здания более 18 м. За эвакуационный выход можно считать всякую лестницу шириной более 700 мм при угле наклона менее 45° или более крутую лестницу, если число работающих в заглубленном помещении не превышает 10 чел.

Помещение РУ должно иметь один выход при длине помещения до 7 м и два — от 7 до 60 м. Двери из РУ должны открываться наружу или в другие помещения, если они выполнены из несгораемых материалов и не содержат огне- и взрывоопасных предметов.

В помещениях, где работают с жидким топливом и маслами, устанавливают пенные огнетушители или пеногонные установки, а также пожарные гидранты для тушения пожара распыленной струей.

Отделочные работы. В производственных помещениях зданий насосных станций в зависимости от их назначения и класса сооружений выполняют следующие отделочные работы. Внутренние поверхности кирпичных стен штукатурят, кроме трансформаторных камер; бетонные поверхности шпаклюют; швы панельных стен затирают при монтаже. После выполнения подготовительных работ потолки и верхнюю часть стен окрашивают клеевой краской, а панели стен на высоту до 2 м — влагостойкой краской. Стены и потолки электротехнических помещений окрашивают клеевыми красками светлых тонов, а диспетчерский пункт — масляными красками. В санузлах стены облицовывают плиткой на высоту не менее 2 м.

Полы на монтажной площадке бетонные, в машинном зале и насосном помещении керамическая плитка, в камерах трансформаторов и РУ полы цементные с железнением, в диспетчерском пункте и кабинетах линолеум или паркет. В помещениях, где расположены насосы или возможно систематическое попадание воды, например при мытье, полы делают водонепроницаемыми с уклоном 0,001...0,005 к водосливным лоткам или трапам. Полы в камерах трансформаторов должны иметь уклон 0,02 в сторону маслоприемников.

Фасады из штучного материала (кирпич, пильный камень), как правило, не штукатурят, но выполняют с подбором лицевой поверхности и расшивкой швов. Штукатурить разрешено только цоколь здания, откосы оконных и дверных проемов, а также небольшие участки стен (недоборы) при выполнении стен из стеновых панелей.

Расчеты зданий насосных станций. Наземную часть зданий станций рассчитывают аналогично обычному промышленному зда-

нию, а подземную — гидротехническому сооружению. Нагрузки и воздействия на здания насосных станций принимают в соответствии с действующими нормативными документами.

Здания насосных станций, как правило, рассчитывают на устойчивость (сдвиг и опрокидывание), общую прочность вдоль и поперек потока, местную прочность отдельных элементов здания, в том числе определяют прогибы и раскрытие трещин, а также возможные осадки сооружений.

Расчеты выполняют отдельно для эксплуатационного и строительного периодов.

5.4. СЛУЖЕБНЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ

Состав служебных помещений зависит от подачи насосной станции, мощности двигателей, степени автоматизации технологических процессов и др. Ориентировочно площадь служебных помещений можно принимать по таблице 5.2.

5.2. Размеры и состав служебных помещений насосной станции

Помещение	Высота, м	Ориентировочная площадь помещений станции, м²		
		средней	крупной	уникальной
Кабинет начальника станции	3	12	15	20
Общая комната	3	15	20	25
Служебное помещение (комната для рабочих, ИТР, технический архив, библиотека и т. д.)	3	—	30	40
Узел связи	3	—	20	25
РУ напряжением 6...10 кВ	3,6...4	—	20 (по проекту)	25
Кабельный полуэтаж	2,5	—	—	—
Электротехническая лаборатория	3	—	30...40	40...60
Механическая мастерская	3	—	25...30	30...40
Склад электротехнической аппаратуры	3	7	15	25
Склад гидроцеха	3	—	20	35
Кислотная	3...3,6	—	3	5
Аккумуляторная	3...3,6	—	20...40	70
Гардеробная	2,5...3	—	6	Две по 9
Душевая	2,5...3	—	Две по 4	Две по 6
Туалет	2,5...3	3	Два по 3	Два по 3

Помещения для аккумуляторных батарей. На крупных насосных станциях, где имеются системы регулирования, например при установке дисковых затворов, закрывающихся при отключении электроэнергии, предусматривают помещения аккумулятор-

ных батарей, которые желательно устанавливать на первом этаже в помещениях с естественным освещением. Двери тамбура должны открываться наружу. В помещениях для аккумуляторных установок поддерживают температуру не менее 10 °С, отопление осуществляют при помощи калориферных устройств, при электроподогреве необходимо предупреждать попадание искр через канал.

Распределительное устройство. На предварительных стадиях проектирования для определения габаритов помещений, занимаемых распределительным устройством и щитом управления основным и вспомогательным оборудованием, пользуются следующими рекомендациями:

в зданиях насосных станций, оборудованных низковольтными электродвигателями мощностью до 250 кВт, как правило, принимают одно помещение для РУ напряжением 0,4 кВт, а при высоковольтных электродвигателях мощностью более 250 кВт — 2 кВт и более;

в зависимости от схемы электрических соединений, и главное от категории надежности подачи насосной станции, РУ напряжением 6...10 кВ может состоять из одной, двух или четырех секций, а каждая секция — из шкафов ввода, трансформатора собственных нужд, разрядников, трансформаторов напряжения (ТН) (в случае применения ТВУ — по два ТН), агрегатных шкафов и шкафов тиристорных возбудительных устройств (ТВУ) — по одному шкафу на агрегат. Если на насосной станции несколько секций, то предусматривают дополнительные шкафы секционных выключателей и разъединителей;

в зависимости от схемы электрических соединений РУ напряжением 0,4 кВ состоит из одного или двух шкафов ввода, распределительных шкафов, шкафа секционного автомата, шкафов автоматики и управления основными насосными агрегатами;

размеры щита управления вспомогательным оборудованием определяют в зависимости от числа агрегатов, имеющих электропривод (вентиляторы, краны, задвижки, компрессоры, насосные агрегаты вспомогательных систем).

Число вводов (от одного до четырех) зависит от категории надежности подачи воды, числа трансформаторов на подстанции, динамической устойчивости системы электроснабжения, допустимой силы тока, пусковых режимов и др. Подробно этот вопрос рассмотрен в специальных курсах. На практике можно пользоваться следующими рекомендациями:

на трансформаторных подстанциях устанавливают, как правило, один силовой трансформатор, и только для потребителей I категории надежности подачи (см. гл. 1) разрешено устанавливать два трансформатора;

один ввод принимают при наличии одного силового трансформатора при условии, что сила тока не превысит 1000 А при низковольтных электродвигателях мощностью до 5 МВт включительно и 3200 А при мощности электродвигателей 7,5 МВт и более.

Сила тока, А,

$$I = \Sigma N / \sqrt{3} U \cos\varphi,$$

где ΣN — суммарная мощность агрегатов, подсоединенных к одной секции шин, кВт; U — напряжение, кВ; $\cos\varphi$ — коэффициент мощности, равный 0,8...0,92 для асинхронных электродвигателей (см. каталоги асинхронных электродвигателей) и 0,93...0,95 для синхронных;

два ввода принимают при наличии двух или одного силового трансформатора с расщепленной обмоткой, если по какой-либо причине один недостаточен;

четыре ввода допускается принимать при наличии двух силовых трансформаторов с расщепленной обмоткой.

Схемы компоновок электромашинных помещений для насосных станций с агрегатами различной мощности показаны на рисунках 5.14 и 5.15.

Механические мастерские. Площадь ремонтной мастерской приближенно определяют по таблице 5.2. Площадь механической мастерской может быть сокращена, если в районе насосной станции организован централизованный ремонт оборудования. В этом случае средние и крупные насосные станции должны иметь один-два верстака, комплект слесарного инструмента, сварочный агрегат, небольшие токарный и сверлильный станки и комплект специальных приспособлений, необходимых для монтажа и демонтажа основного и вспомогательного оборудования.

Помещения маслохозяйства. На станциях, оборудованных вертикальными центробежными насосами типа ВЦ и осевыми насосами типа ОПВ при подаче более 2,5 м^3/с, предусматривают специальные помещения: в зданиях насосных станций — для размещения операционных баков, маслонасосов, передвижных или стационарных маслоочистных машин (аппаратная); на открытом воздухе рядом со зданием станции — склады масла и при специальном обосновании специальные здания маслохозяйства, где размещают лабораторию, оборудование по очистке масла от влаги и механических примесей и, если это необходимо, оборудование по регенерации (восстановлению) масла.

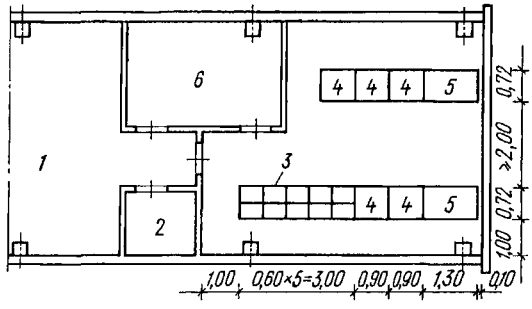


Рис. 5.14. Схема компоновки электромашинных помещений насосных стаиций, оборудованных горизонтальиыми насосами с электродвигателем мощностью до 250 кВт (размеры в м):

1 — машинный зал; *2* — склад; *3* — щит управления; *4* — шкаф основного агрегата; *5* — шкаф ввода; *6* — комната дежурного персонала

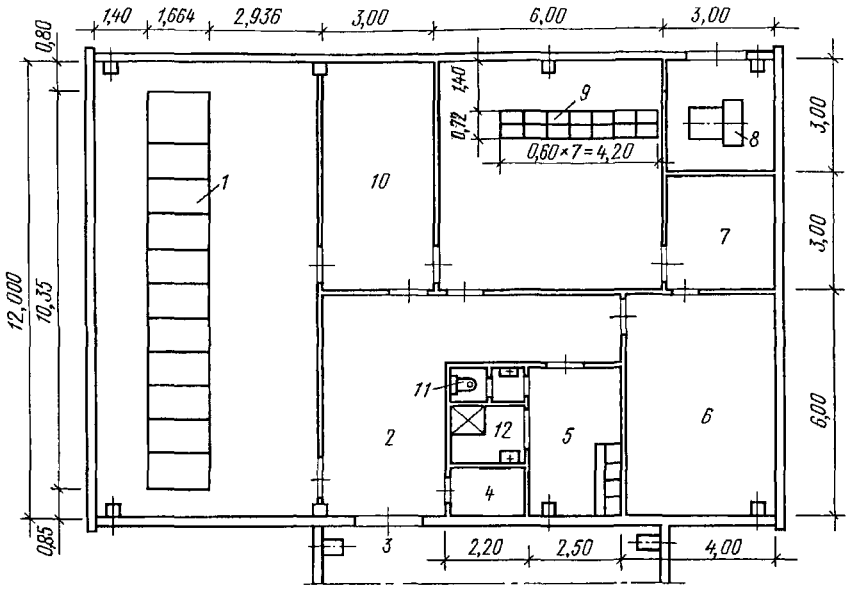


Рис. 5.15. Схема компоновки электромашинных помещений насосных станций, оборудованных шестью насосами Д6300-27 с электродвигателями мощностью 630 кВт (размеры в м):

1 — КРУ (комплектное распределительное устройство); *2* — коридор; *3* — машинный зал; *4* — склад; *5* — гардероб; *6* — комната дежурного персонала; *7* — служебное помещение; *8* — трансформатор собственных нужд; *9* — щит управления; *10* — диспетчерская; *11* — туалет; *12* — душевая

Наружный склад масла располагают на открытой площадке не ближе 20 м от производственных зданий при открытой установке баков и не ближе 10 м при подземной. Предельные объемы масла, допускаемые для хранения в наземных резервуарах, — до 200 т, в подземных — до 500 т, в зданиях станций — до 100 т.

Складские помещения. Для хранения запасных частей оборудования, приборов и строительных материалов, необходимых для проведения планово-предупредительных ремонтов и быстрейшей ликвидации аварий, предусматривают складские помещения.

На малых и средних насосных станциях, оборудованных насосами типа К и Д, желательно предусматривать небольшие кладовые размером до 12 м^2, а на крупных станциях, оборудованных насосами типа ОПВ и В, складские помещения должны состоять из навеса для хранения металла, металлоконструкций и строительных материалов, неотапливаемого помещения для хранения механических и электротехнических изделий, которым не требуется отопление, и отапливаемого помещения для хранения приборов и электрооборудования.

5.5. ПРИМЕРЫ КОМПОНОВКИ ЗДАНИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ РАЗМЕРОВ

Компонуют здания насосных станций и определяют их размеры из условий, обеспечивающих нормальную эксплуатацию оборудования и надежность его работы при минимальных капитальных вложениях и сроках строительства.

При использовании сборных промышленных конструкций габариты зданий принимают соответствующими размерам этих конструкций, и поэтому расчетные габариты в общем случае несколько увеличиваются.

Выбираемые в приведенных ниже расчетах конструктивные размеры оборудования и его размещение находят в соответствующих каталогах или по рекомендациям, изложенным в предыдущих разделах.

Последовательность компоновки зданий насосных станций и определения их размеров показана на четырех наиболее характерных примерах.

1. Здание насосной станции наземного типа при установке в нем центробежных насосов. Воду забирают из реки. Водозаборное сооружение принято в виде берегового колодца (см. разд. 2.6). При использовании здания наземного типа водозаборное сооружение располагают раздельно от здания станции.

В соответствии с графиком водопотребления максимальная подача насосной станции составляет 0,8 м^3/с, а минимальная — 0,2 м^3/с при средней геодезической высоте подъема $H_г = 52$ м. К установке приняты четыре горизонтальных центробежных насоса Д800-57 с частотой вращения 1450 мин$^{-1}$ и диаметром рабочего колеса 432 мм. Все они являются рабочими; резервный насос не предусматривают, поскольку подача насосной станции меньше 1 м^3/с.

Расчетная подача каждого насоса $Q_р = 200$ л/с при напоре 60 м. Для привода насосов приняты асинхронные электродвигатели марки АОЗ-315М-4 мощностью $N = 200$ кВт.

Компоновать здание насосной станции начинают с определения отметки установки насосов (их горизонтальных осей) и возможности реализации наземного типа здания.

Допустимая геометрическая высота всасывания (см. гл. 4)

$$h_{в.доп} = H_а - H_{п.ж} - \Delta h_{доп} - h_{т.в} = 10{,}2 - 0{,}2 - 4 - 0{,}3 = 5{,}7 \text{ м},$$

где $H_а$ — напор воды, соответствующий атмосферному давлению, м; $H_{п.ж}$ — напор насыщенных паров жидкости, м; $\Delta h_{доп}$ — максимальный допустимый кавитационный запас в пределах изменения подачи насоса в эксплуатационных условиях, м; $h_{т.в}$ — потери напора во всасывающем трубопроводе насоса, м.

Допустимая отметка установки оси насоса

$$\text{▽ оси насоса} = \text{▽ УВ}_{min} + h_{в.доп} - h_{б.к} = 10 + 5{,}7 - 0{,}2 = 15{,}5 \text{ м},$$

где $h_{б.к}$ — потери напора в береговом колодце с сороудерживающим устройством, м.

Конструктивная отметка установки оси насоса для использования наземного типа здания должна быть не ниже, чем

$$\nabla \text{оси насоса} = \nabla \text{УВ}_{max} + h'_{зап} + h_{пол} + h_{ф} + h'_{н} =$$
$$= 13 + 1 + 0{,}2 + 0{,}3 + 0{,}7 = 15{,}2 \text{ м},$$

где $\nabla \text{УВ}_{max}$ — максимальная отметка уровня воды в источнике, м; $h'_{зап}$ — превышение уровня земли пристанционной площадки над $\nabla \text{УВ}_{max}$ (с учетом нагона волн), м; $h_{пол}$ — превышение пола здания над уровнем земли, м; $h_{ф}$ — высота фундамента насоса над полом здания, м; $h'_{н}$ — расстояние от оси насоса до фундамента, м.

Так как допустимая отметка установки насосов выше конструктивной, то выбирают здание насосной станции наземного типа. При этом расстояния от пола до низа всасывающих и напорных трубопроводов насоса не должны быть менее 0,3 м.

Итак, окончательно принимают отметку установки насоса, равную конструктивной отметке установки насоса. Ширину здания определяют из условия размещения насосных агрегатов и внутристанционных коммуникаций с учетом необходимости наличия монтажных проходов между агрегатами, между стенами и агрегатами, а также возможности удобного монтажа и демонтажа оборудования с соблюдением правил техники безопасности.

В данном случае расчетная ширина здания насосной станции

$$B_{н.ч} = 2\delta_{ст} + l_{ф.с} + l_{к} + l_{н} + l_{м.в} + l_{вс} + l_{о.к} + l_{вс} + l_{з} + l_{д} + l_{ф.с} =$$
$$= 2 \cdot 0{,}38 + 0{,}4 + 0{,}4 + 1{,}155 + 0{,}55 + 0{,}4 + 0{,}19 + 0{,}4 +$$
$$+ 0{,}45 + 0{,}3 + 0{,}4 = 5{,}405 \text{ м},$$

где $\delta_{ст}$ — толщина стен здания (боковые стены здания из стеновых панелей толщиной 0,3 м, нижняя часть стен из кирпича толщиной 0,38 м), м; $l_{ф.с}$ — расстояние от стены здания до фланцевого соединения, м; $l_{к}$ — длина переходного косого конфузора (с горизонтальной верхней образующей) от всасывающего трубопровода ($D_{в} = 0{,}4$ м) к всасывающему патрубку насоса ($d_{в} = 0{,}3$ м), $l_{к} = 3...4\ (D_{в} - d_{в})$, м; $l_{н}$ — расстояние между фланцами всасывающего и напорного патрубков насоса Д800-57, м; $l_{м.в}$ —длина монтажной вставки, м; $l_{вс}$ — длина вставки для присоединения обводной линии к обратному клапану, используемой в качестве средства защиты от гидравлического удара (см. раздел 7.7), а также для свободного открытия диска обратного клапана с эксцентрично расположенной осью, м; $l_{о.к}$ — длина обратного клапана, м; $l_{з}$ — длина задвижки, м; $l_{д}$ — длина диффузора от диаметра напорного патрубка насоса ($d_{н} = 0{,}25$ м) к диаметру напорной линии ($D_{н} = 0{,}3$ м), $l_{д} = 6...7(D_{н} - d_{н})$.

Определение диаметров всасывающих и напорных трубопроводов $D_{в}$ и $D_{н}$ рассмотрено в главе 6.

Расчетную ширину здания $B_{р} = 5{,}405$ м увязывают со стандартной длиной балки перекрытия, равной 6 м. Тогда окончательная ширина здания (см. рис. 5.1)

$$B_{н.ч} = 6 + 2 \cdot 0{,}38 = 6{,}76 \text{ м}.$$

За счет увеличения монтажных проходов и монтажных расстояний расчетная ширина здания увеличится на 6,76 – 5,405 = 1,355 м.

Необходимо иметь в виду, что расстояния от стен до насоса и до двигателя должны быть не менее 1 м (для высоковольтного двигателя 1,2 м). Расчетную высоту здания насосной станции определяют из условий возможностей монтажа и демонтажа оборудования с соблюдением правил техники безопасности. При этом определяющими являются габариты переносимого с помощью грузоподъемных устройств оборудования, размеры самих грузоподъемных устройств и высоты уже смонтированного оборудования.

В данном случае расчетная высота здания

$$H_{н.ч} = h_{агр}^{max} + h_з + h_{дет}^{max} + h_{стр} + h_{кр} + h_{мон} + h_{з.м} = \\ = 1{,}45 + 0{,}7 + 1{,}15 + 0{,}3 + 1{,}635 + 0{,}3 + 0{,}1 = 5{,}635 \text{ м},$$

где $h_{агр}^{max}$ — расстояние от чистого пола до верха насосного агрегата, м; $h_з$ — запас на пронос детали над установленным оборудованием, м; $h_{дет}^{max}$ — максимальная высота проносимого оборудования, м; $h_{стр}$ — размер строп для захвата поднимаемой детали или узла, м; $h_{кр}$ — высота подвесного крана при стянутой тали от крюка до низа монорельса (подвесной электрический кран выбран грузоподъемностью 3,2 т с пролетом $L = 4{,}2$ м при максимальной массе груза 2,6 т), м; $h_{мон}$ — высота монорельса, м; $h_{з.м}$ —запас монорельса — расстояние от его верха до низа балки перекрытия, м.

Выбирают стандартную колонну для каркасной конструкции здания с минимальной высотой, удовлетворяющей расчетной высоте здания $H_{н.ч}$. Этому требованию соответствует колонна высотой 6,8 м, заделанная на 0,8 м в фундамент от отметки чистого пола. Таким образом, окончательная высота здания насосной станции составит 6 м.

Расчетная длина внутренней части здания насосной станции, м,

$$L_р = l'_{пр} + n_н l_{агр} + (n_н - 1) l_{пр} + l_{м.п} = \\ = 1{,}0 + 4 \cdot 2{,}48 + 3 \cdot 1{,}0 + 3{,}15 = 17{,}07 \text{ м},$$

где $l'_{пр}$ — расстояние между торцовой стеной здания и насосным агрегатом, м; $n_н$ — число установленных насосных агрегатов; $l_{агр}$ — осевые размеры насосного агрегата, м; $l_{пр}$ — расстояние между агрегатами, м; $l_{м.п}$ — длина монтажной площадки, $l_{м.п} = b_{агр} + l'_{пр} + l_{пр} = 1{,}15 + 1{,}0 + 1{,}0 = 3{,}15$ м ($b_{агр}$ — ширина агрегата, м).

В связи с тем что длина внутренней части здания должна быть кратна шагу колонн, равному 6 м, принимают ее ближайшее большее по сравнению с расчетным стандартным значением $L' = 3 \cdot 6 = 18$ м. С учетом толщины торцовых кирпичных стен окончательная общая длина здания насосной станции

$$L_{н.ч} = L' + 2\delta_{ст} = 18 + 2 \cdot 0{,}38 = 18{,}76 \text{ м}.$$

Учитывая дополнительный запас по длине помещения станции, равный $18 - 17{,}07 = 0{,}93$ м, увеличивают, если это необходимо, раз-

меры монтажного прохода между агрегатами $l_{пр}$ (или $l'_{пр}$) с таким расчетом, чтобы внутристанционные трубопроводные коммуникации не пересекали колонны. В данном случае $l'_{пр}$ увеличивают на 0,2 м, а длину монтажной площадки — на 0,73 м.

2. Здание насосной станции камерного типа при установке в нем горизонтальных центробежных насосов. Воду забирают из водохранилища и подводят к зданию насосной станции по каналу. Рассмотрим два варианта компоновки здания: раздельная с водозабором и совмещенная с ним (см. разд. 2.6). Максимальная подача воды составляет 2,8 м^3/с, минимальная — 0,7 м^3/с при средней геодезической высоте подъема 42 м. В здании насосной станции установлены 5 насосов (4 рабочих и 1 резервный) марки Д3200-75 с частотой вращения вала 730^{-1} и диаметром рабочего колеса 755 мм. Расчетная подача каждого насоса 0,7 м^3/с при напоре 47 м. Для привода насосов используют асинхронные электродвигатели А13-42-8 мощностью 400 кВт. Допустимая геометрическая высота всасывания (обозначение параметров см. пример 1)

$$h_{в.доп} = H_а - H_{п.ж} - \Delta h_{доп} - h_{т.в} = 10{,}2 - 0{,}2 - 10 - 0{,}4 = -0{,}4 \text{ м}.$$

Здесь в потери $h_{т.в}$ входят потери и в сороудерживающей решетке.

Допустимая отметка установки оси насоса

$$\nabla \text{ оси насоса} = \nabla \text{УВ}_{min} + h_{в.доп} - h_i = 20 - 0{,}4 - 0{,}1 = 19{,}5 \text{ м},$$

где h_i — потери напора в подводящем канале, $h_i = iL_{п.к}$ [см. формулу (4.11), гл. 4], м.

Для того чтобы насосы при любом уровне воды в источнике находились под заливом, отметку их установки по сравнению с расчетной снижают на 0,5 м. Таким образом, отметка установки насосов составит 19 м, то есть будет ниже на 1 м минимального уровня воды в источнике.

Раздельная компоновка. Расчетная ширина подземной части здания насосной станции (обозначение параметров см. пример 1), см. рис. 5.2, *а*.

$$B_{п.ч} = 2\delta_{ст} + l_{ф.с} + l_к + l'_з + l'_{м.в} + l_н + l_{м.в} + l_{о.к} + l_з + l_д + l_{ф.с} = 2 \cdot 1 + 0{,}4 + 0{,}8 + 0{,}39 + 0{,}6 + 2{,}32 + 0{,}6 + 0{,}2 + 0{,}7 + 0{,}6 + 0{,}4 = 9{,}01 \text{ м},$$

где $l_к$ и $l_д$ — длины конфузора и диффузора исходя из диаметров: $D_в = 0{,}8$ м, $d_в = 0{,}6$ м, $D_н = 0{,}6$ м, $d_н = 0{,}5$ м; $l'_з$ и $l'_{м.в}$ — длины задвижки и монтажной вставки на всасывающей линии насоса, м.

Принимают пролет надземной части здания 9 м. Тогда окончательно ширина подземной части по согласованию с надземной частью должна быть:

$$B_{\text{п.ч}} = 9 + 2\delta_{\text{ст}} = 9 + 2 \cdot 0{,}3 = 9{,}6 \text{ м},$$

где $\delta_{\text{ст}}$ — толщина стеновых панелей надземной части здания, м.

Разницу 9,6 – 9,01 = 0,59 м используют для увеличения монтажных проходов и расстояний, а также для устройства мостиков, с которых обслуживают задвижки. При этом необходимо иметь в виду, что расстояние от стены до насоса должно быть не менее 1 м, а до двигателя — 1,2 м при высоковольтном электродвигателе. Если эти требования не будут удовлетворены, то пролет верхнего строения здания насосной станции увеличивают до следующего стандартного значения.

Высота подземной части здания

$$H_{\text{п.ч}} = h_{\text{пл}} + h_{\text{пф}} + h'_{\text{н}} + h_{\text{в}} + \Delta H + h_{\text{зап}} = \\ = 1{,}2 + 0{,}3 + 0{,}95 + 1 + 2{,}5 + 1{,}15 = 7{,}1 \text{ м},$$

где $h_{\text{пл}}$ — толщина плиты основания здания, м; $h_{\text{пф}}$ — высота верха фундамента насоса над полом подземной части, м; $h'_{\text{н}}$ — расстояние от оси насоса Д3200-75 до его фундамента, м; $h_{\text{в}}$ — превышение минимального уровня воды в источнике над осью насоса, м; ΔH — разность максимального и минимального уровней воды в источнике, м; $h_{\text{зап}}$ — превышение пола надземной части здания над максимальным уровнем воды в источнике, м.

При назначении $h_{\text{пф}}$ следует иметь в виду, что расстояние от пола до низа всасывающих и напорных трубопроводов должно быть больше или равно допускаемому значению, равному 0,3 м.

Высоту верхнего строения определяют из условия возможностей разгрузки оборудования с транспортной платформы и погрузки на нее. Монтажную площадку располагают на полу верхнего строения. Расчетная длина монтажной площадки

$$l_{\text{м.п}} = 2{,}328 + 1 + 1 = 4{,}328 \text{ м},$$

где 2,328 — наибольший размер оборудования (насоса), м.

Здесь монтажный проход может быть 1 м от ограждающих перил, так как двигатели располагают в нижнем строении. Установленное оборудование не мешает проносу деталей и узлов, так как в остальной части здания насосной станции нет перекрытия между верхним и нижним строениями. Высоту верхнего строения рассчитывают аналогично тому, как это было выполнено в примере 1, но с учетом сказанного выше.

В соответствии с массами насоса (8766 кг) и двигателя (6500 кг) в качестве подъемно-транспортного оборудования принимают мостовой электрический кран грузоподъемностью 10 т с пролетом 7,5 м*. Подкрановые балки высотой 0,8 м устанавливают на колон-

*Горизонтальные двигатели поднимают и транспортируют в собранном виде.

нах высотой 9,4 м с заделкой их на 1 м в стены подземной части. Таким образом, окончательная высота надземной части составит 8,4 м. Расчетная длина внутренней части здания насосной станции

$$L_{\text{р}} = l'_{\text{пр}} + n_{\text{н}} l_{\text{агр}} + (n_{\text{н}} - 1) l_{\text{пр}} + l_{\text{м.п}} =$$
$$= 1 + 5 \cdot 3{,}745 + 4 \cdot 1{,}2 + 4{,}328 = 28{,}853 \text{ м},$$

где $l_{\text{агр}} = l_{\text{н}} + l_{\text{дв}} = 2{,}328 + 1{,}417 = 3{,}745$ м.

Окончательная длина надземной части здания с учетом строительных стандартов

$$L_{\text{н.ч}} = 5 \cdot 6 + 2 \cdot 0{,}38 = 30{,}76 \text{ м}.$$

Подземная часть здания имеет толщину торцовых стен больше, чем надземная. Поэтому при согласовании верхнего строения с нижним внутренняя часть ее будет короче, чем надземная. При размещении в подземной части здания насосно-силового оборудования сокращают, если это необходимо, длину внутренней части здания, расположенную под монтажной площадкой.

Совмещеная компоновка. При совмещенной компоновке здания насосной станции с водозаборным сооружением насосные агрегаты целесообразно располагать в два ряда в шахматном порядке, причем в каждом из рядов устанавливают агрегаты с различным направлением вращения роторов (см. рис. 5.2, *в*).

Расчетная ширина подземной части здания

$$B_{\text{п.ч}} = 2\delta_{\text{ст}} + l_{\text{ф.с}} + l_{\text{к}} + l'_{\text{з}} + l'_{\text{м.в}} + l_{\text{н}} + l_{\text{пр}} +$$
$$+ l_{\text{н}} + l_{\text{м.в}} + l_{\text{о.к}} + l_{\text{з}} + l_{\text{д}} + l_{\text{ф.с}} = 2 \cdot 1 + 0{,}4 + 0{,}8 + 0{,}39 +$$
$$+ 0{,}6 + 2{,}328 + 1{,}2 + 2{,}328 + 0{,}6 + 0{,}2 + 0{,}7 + 0{,}6 + 0{,}4 = 12{,}546 \text{ м}.$$

С учетом стандартных строительных деталей верхнего строения окончательная ширина подземной части равна $12 + 2 \cdot 0{,}3 = 12{,}6$ м. Высота надземной и подземной частей здания насосной станции принята такой же, как и при однорядном расположении насосных агрегатов, то есть $H_{\text{н.ч}} = 8{,}4$ м и $H_{\text{п.ч}} = 7{,}1$ м.

Расчетная длина внутренней подземной части здания насосной станции

$$L = l'_{\text{пр}} + n'_{\text{н}} l_{\text{агр}} + (n'_{\text{н}} - 1)(l''_{\text{пр}} + D_{\text{в}} + l''_{\text{пр}}) + l_{\text{м.п}} =$$
$$= 1{,}2 + 3 \cdot 3{,}745 + 2\,(1{,}2 + 0{,}8 + 1) + 4{,}328 = 20{,}96 \text{ м},$$

где $n'_{\text{н}}$ — наибольшее число агрегатов в одном ряду; $l''_{\text{пр}}$ — монтажные проходы между всасывающим трубопроводом и двигателем или насосом, м.

В соответствии со строительными стандартами для верхнего строения окончательная длина подземной части здания

$$L = 6 \cdot 4 + 2 \cdot 0{,}3 = 24{,}6 \text{ м}.$$

В данном случае общая площадь здания насосной станции при двухрядном расположении агрегатов получилась несколько большей, чем при однорядном: $24 \cdot 12 = 288$ м^2, по сравнению с $30 \cdot 9 = 270$ м^2. Оптимальный вариант из двух рассмотренных выбирают в результате технико-экономических расчетов.

3. Здания блочного и камерного типов при установке в них вертикальных центробежных насосов. Воду забирают из водохранилища, и по подводящему каналу она поступает к водозаборному сооружению насосной станции. Максимальная подача насосной станции 6,3 м^3/с, минимальная — 2,1 м^3/с. На станции установлены 4 насоса марки 80ВЦ-25/40 (из которых один резервный) с частотами вращения 500 мин$^{-1}$ и обточенными до диаметров 979,5 мм рабочими колесами. При расчетных подачах $Q_р = 2{,}1$ м^3/с они имеют расчетные напоры $H_р = 25{,}6$ м (см. с. 96). Максимальный допустимый кавитационный запас принят $\Delta h_{доп} = 9$ м. Для привода насосов использованы высоковольтные электродвигатели марки СДВ-16-36-12 мощностью 800 кВт (см. разд. 7.4). В расчетах используют те же обозначения параметров, которые были в примерах 1 и 2. Допустимая геометрическая высота всасывания

$$h_{в.доп} = H_а - H_{п.ж} - \Delta h_{доп} - h_{т.в} = 10 - 0{,}2 - 9{,}0 = 0{,}8 \text{ м}.$$

Здесь $h_{т.в} = 0$, так как характеристики насосов получены при испытаниях их вместе со стандартными всасывающими трубами (см. гл. 4).

Допустимая отметка оси рабочего колеса (оси р.к) насосов

$$\nabla \text{оси р.к} = \nabla \text{УВ}_{min} + h_{в.доп} - h_{с.р} - h_i = 27 + 0{,}8 - 0{,}2 - 0{,}1 = 27{,}5 \text{ м},$$

где $h_{с.р}$ — потери напора в сороудерживающих решетках, м; h_i — потери напора в подводящем канале, м.

Крупные вертикальные насосы всегда должны быть залиты водой. Поэтому принимают, что оси насосов должны быть расположены ниже минимального уровня воды перед станцией на 0,65 м. Тогда окончательная отметка установки насосов $27 - 0{,}1 - 0{,}65 = 26{,}25$ м. Так как эта отметка ниже допустимой ($\nabla \text{УН}_{доп} = 27{,}5$ м), то бескавитационная работа насосов обеспечена.

В данном примере рассматривают два варианта решения: с блочными и камерными типами зданий насосной станции.

Здание блочного типа. Расчетная ширина подземной части здания

$$B_{п.ч} = 2\delta_{ст} + l_{пр} + l_н + l_{м.в} + l_з + l_{ф.с} = 2 \cdot 1 + 1 + 2{,}35 + 0{,}65 + 0{,}4 + 0{,}4 = 6{,}8 \text{ м}.$$

Длину диффузора на напорной линии $l_д$ не учитывают, так как

диффузор замоноличивают в стену подземной части с целью сокращения ширины здания (см. рис. 5.5, *а*). Расчетная ширина блока подземной части здания с учетом размещения стандартной замоноличенной в блоке всасывающей трубы длиной $a = 4,1D$, где диаметр всасывающего патрубка насоса $D = 0,9$ м,

$$B'_{\text{бл}} = a + l'_{\text{н}} + l_{\text{м.в}} + l_{\text{з}} + l_{\text{фс}} + \delta_{\text{ст}} =$$
$$= 3,69 + 1,05 + 0,65 + 0,4 + 0,4 + 1 = 7,19 \text{ м},$$

где $l'_{\text{н}}$ — расстояние от оси насоса до выходной плоскости напорного патрубка насоса, м.

Расчетная ширина надземной части здания с учетом размещения там двигателя

$$B''_{\text{нч}} = D_{\text{дв}} + 2l''_{\text{пр}} + 2\delta_{\text{ст}} = 2,2 + 2 \cdot 1,2 + 2 \cdot 0,3 = 5,2 \text{ м},$$

где $D_{\text{дв}}$ — диаметр электродвигателя, м.

Ширина надземной части здания с учетом строительных стандартов

$$B''_{\text{н.ч}} = 6 + 2 \cdot 0,3 = 6,6 \text{ м}.$$

Сравнивая расчетные значения ширины надземной и подземной частей здания насосной станции, можно сделать вывод, что при строительном пролете надземной части здания, равном 6 м, можно согласовать сооружение обеих частей здания. В этом случае ширина блока $B_{\text{бл}}$ будет больше ширины подземной части здания. Итак, окончательно принимают ширину подземной части здания $B = 6,8$ м, а ширину блока $B_{\text{бл}}$ увеличивают на 0,87 м для размещения козлового крана на водозаборном сооружении. Тогда $B_{\text{бл}} = 7,19 + 0,87 = 8,06$ м.

Высота подземной части здания складывается из высоты блока $h_{\text{бл}}$ и высоты ствола $h_{\text{ств}}$ (см. рис. 5.5, *а*):

высота блока

$$h_{\text{бл}} = h_{\text{пл}} + b + h_{\text{зад}} = 1,2 + 1,575 + 0,2 = 2,975 \text{ м},$$

где $h_{\text{пл}}$ — толщина фундаментной плиты здания, м; b — высота подводящей всасывающей трубы, м (по каталогу — форма 2), $b = 1,75D$ (D — диаметр всасывающего патрубка насоса, $D = 0,9$); $h_{\text{зад}}$ — глубина заделки всасывающего переходного конуса в блок, м;

высота ствола

$$h_{\text{ств}} = \downarrow\text{УВ}_{\max} - \downarrow\text{оси р.к} + h_{\text{зап}} + h'_{\text{н}} - h_{\text{зад}} =$$
$$= 30 - 26,25 + 1,15 + 1,165 - 0,2 = 5,865 \text{ м}.$$

Длина промежуточного вала, расположенного между валами двигателя и насоса,

$$h_{\text{вал}} = \text{У В}_{\max} - \text{оси р.к} + h_{\text{зап}} + h''_{\text{н}} - h'_{\text{дв}} = \\ = 30 - 26{,}25 + 1{,}15 - 1{,}71 - 0{,}8 = 2{,}39 \text{ м}.$$

Таким образом, общая высота подземной части здания насосной станции

$$H_{\text{п.ч}} = h_{\text{бл}} + h_{\text{ств}} = 2{,}975 + 5{,}865 = 8{,}84 \text{ м}.$$

Отметка подошвы здания

$$\text{подошвы} = \text{пола} - H_{\text{п.ч}} = 31{,}15 - 8{,}84 = 22{,}31 \text{ м}.$$

Расчетная высота надземной части здания

$$H_{\text{н.ч}} = h_{\text{ст}} + h_{\text{в.дв}} + h_{\text{стр}} + h'_{\text{з}} + h_{\text{кр}} + h''_{\text{з}} = \\ = 1{,}3 + 2{,}8 + 0{,}3 + 0{,}5 + 2{,}4 + 0{,}5 = 7{,}8 \text{ м},$$

где $h_{\text{ст}}$ — высота статора электродвигателя от пола до верхней кромки, м; $h_{\text{в.дв}}$ — длина вала двигателя как детали с наибольшими габаритами по высоте, м; $h_{\text{стр}}$ — размер жестких строп для поднимаемой детали, м; $h'_{\text{з}}$ — запас при проносе детали над статором, м; $h_{\text{кр}}$ — высота крана (по каталогу), м; $h''_{\text{з}}$ — запас между балкой перекрытия и верхней частью крана, м.

В качестве подъемно-транспортного устройства принят мостовой электрический кран грузоподъемностью 10 т с пролетом 4,5 м. При этом учитывают, что насос и двигатель разборные, а максимальные массы деталей или неразборных узлов у них составляют (с некоторым запасом) около 60 % массы насоса и 50 % двигателя, которые соответственно равны 11,57 и 8,6 т*. Тогда максимальная масса поднимаемого груза $11{,}57 \cdot 0{,}6 = 6{,}94$ т. Подбирают ближайшую по высоте стандартную колонну с учетом установки на ней мостового крана, удовлетворяющую расчетной высоте надземной части здания $H_{\text{н.ч.р}}$. Высота принятой колонны 9,4 м при заделке ее ниже чистого пола на 1 м. Таким образом, окончательно принимают высоту надземной части здания 8,4 м.

Для расчета длины здания насосной станции необходимо прежде всего определить расстояние между осями агрегатов $L_{\text{ос}}$, используя следующие соотношения:

$$L'_{\text{ос}} = L_{\text{н}} + l_{\text{п р}} = 2{,}8 + 1 = 3{,}8 \text{ м};$$

*Если в каталогах нет сведений о массах отдельных частей насоса или двигателя.

$$L''_{\text{ос}} = D_{\text{дв}} + l_{\text{п р}} = 2{,}22 + 1{,}2 = 3{,}42 \text{ м};$$

$$L'''_{\text{ос}} = L_{\text{ок}} + \delta_{\text{быч}} = 2{,}9 + 1 = 3{,}9 \text{ м},$$

где $L_{\text{н}}$ — ширина насоса вдоль здания, м; $L_{\text{ок}}$ — ширина входного окна всасывающей трубы насоса (принимают по каталогу), м; $\delta_{\text{быч}}$ — толщина бычков водозаборных камер, м.

Принимают наибольшее значение $L_{\text{ос}} = L'''_{\text{ос}} = 3{,}9$ м.

Расчетная длина надземной части здания насосной станции

$$L_{\text{р}} = L_{\text{ос}} n_{\text{н}} + l_{\text{м.п}} + 2\delta_{\text{ст}} = 3{,}9 \cdot 4 + 5 + 2 \cdot 0{,}51 = 21{,}62 \text{ м},$$

где $l_{\text{м.п}}$ — длина монтажной площадки, м, ее рассчитывают с учетом размещения детали с наибольшими габаритными размерами (в данном случае $l_{\text{м.п}} = 2{,}8 + 1 + 1{,}2 = 5$ м); $\delta_{\text{ст}}$ — толщина торцовых кирпичных стен надземной части здания, м.

С учетом строительных стандартов окончательная длина надземной части

$$L = 6 \cdot 4 + 2 \cdot 0{,}51 = 25{,}02 \text{ м}.$$

Учитывая разницу между расчетной и окончательной длиной здания $25{,}02 - 21{,}62 = 3{,}4$ м, можно увеличить, например, значение $L_{\text{ос}}$, чтобы соорудить между двигателями люки для проноса через них деталей оборудования, размещенного в подземной части здания, или увеличить длину монтажной площадки $l'_{\text{м.п}}$ и т. д.

Здание камерного типа. Исходные данные те же. В подземной части здания камерного типа необходимо разместить кроме насосов и напорной линии с арматурой стандартную металлическую подводящую трубу, монтажную вставку, задвижку и переходный конус. Длина подводящей трубы с переходом от диаметра 900 мм к диаметру 1200 мм — от насоса до фланца, к которому присоединяют монтажную вставку, $l_{\text{п.т}} = 1{,}3$ м. Длина монтажной вставки $l'_{\text{МВ}} = 0{,}65$ м, длина задвижки $l'_{\text{з}} = 0{,}63$ м, длина переходного конуса от диаметра входного отверстия до диаметра 1200 мм — 1,4 м. Последний замоноличивают в стену здания. Обычно внутри здания находится лишь часть конуса длиной 0,4 м. Значения всех перечисленных выше величин берут из соответствующих каталогов. Таким образом, общая длина, необходимая для размещения арматуры и переходов, составит $1{,}3 + 0{,}65 + 0{,}63 + 0{,}4 = 2{,}98$ м. Этот размер больше, чем аналогичный размер в здании насосной станции блочного типа. Поскольку напорные коммуникации остаются те же, то необходимо увеличить ширину подземной части здания. Расчеты показали, что ширина здания должна быть 7,1 м. При такой ширине возможно согласование сооружений стандартной надземной и подземной частей здания, устроив в верхней части подземной

части консоли (см. рис. 5.3). Увеличится и высота подземной части здания за счет изменения расстояния от отметки низа подводящей трубы до отметки горизонтальной оси насоса. У блочного типа здания расстояние от основания здания до оси насоса равно 26,25 — — 22,31 = 3,94 м, у камерного — 3,03 + 0,3 + 1,2 = 4,53 м (где 3,03 м — расстояние от оси насоса до низа подводящей трубы; 0,3 м — превышение низа подводящей трубы над полом; 1,2 м — толщина фундаментной плиты).

Принимают надземную часть здания такой же, как и в случае устройства здания блочного типа.

4. Здание блочного типа при установке в нем вертикальных осевых насосов. Воду забирают из реки. Максимальная подача станции 9 м^3/с, минимальная — 3 м^3/с. Максимальный уровень воды в реке $\downarrow УВ_{max} = 54{,}0$ м, минимальный — $\downarrow УВ_{min} = 50{,}0$ м. На станции установлено 4 вертикальных осевых насоса марки ОПВ2-87 (3 насоса рабочих и 1 резервный). Частота вращения вала насоса 585 мин$^{-1}$ (см. разд. 4.6). При угле установки лопастей 0° подача каждого насоса составляет 3 м^3/с при напоре 13,7 м. Геодезическая высота подъема 12,2 м. Для привода насосов приняты асинхронные электродвигатели марки ВАН118-41-10УЗ мощностью 630 кВт (см. разд. 4.7). Максимальное значение допустимого кавитационного запаса в диапазоне эксплуатационных подач $\Delta h_{доп} = 11{,}8$ м.

Допустимая геометрическая высота всасывания (обозначения параметров см. пример 1)

$$h_{в.доп} = H_а - H_{п.ж} - \Delta h_{доп} - h_{т.в} = 10{,}2 - 0{,}2 - 11{,}8 - 0{,}2 = -2 \text{ м},$$

где $h_{т.в}$ — потери напора в сороудерживающей решетке водозаборной камеры, м.

Допустимая отметка установки насоса (горизонтальной оси рабочего колеса)

$$\downarrow оси\ р.к = \downarrow УВ_{min} + h_{в.доп} = 50 + (-2) = 48 \text{ м}.$$

Эта отметка установки насоса будет окончательной. Расчетная ширина подземной части здания из условия размещения в нем насосного оборудования (см. рис. 5.6).

$$B_{п.ч} = 2\delta_{ст} + l_{пр} + 2l_{т.ф} + l_{р.ф} + l'_{пр} =$$
$$= 2 \cdot 1 + 1{,}3 + 2 \cdot 0{,}65 + 1{,}36 + 0{,}6 = 6{,}56 \text{ м},$$

где $\delta_{ст}$ — толщина стены подземной части здания, м; $l_{пр}$ — ширина прохода вдоль здания, м; принимают не менее 1 м. Ширина прохода должна быть также достаточна для перемещения колеса насоса ОПВ2-87 диаметром 0,87 м под монтажный люк в перекрытии подземной части здания, $l_{пр} = D_{р.к} + 2 \cdot 0{,}2 = 0{,}87 + 2 \cdot 0{,}2 = 1{,}3$ м; $l_{т.ф}$ — толщина фундаментной опоры насоса, м; $l_{р.ф}$ — расстояние между внутренними гранями фундаментных опор, м; $l'_{пр}$ — проход между стеной и фундаментными опорами, м.

Проверяют расстояние между стеной здания и осью насоса, которое не должно превышать 1,5 м (задано в каталоге)

$$И = l_{р.ф} / 2 + l_{т.ф} + l'_{пр} = 1{,}36 / 2 + 0{,}65 + 0{,}6 = 1{,}93 \text{ м},$$

что превышает допустимые 1,5 м. Чтобы сохранить $l'_{пр} = 0{,}6$ м и обеспечить $И = 1{,}5$ м, стену здания в месте прохода напорного трубопровода делают в форме выступа толщиной 0,43 м, сократив $И$ до 1,5 м (см. рис. 5.6).

Ширину блока подземной части определяют из условия размещения подводящей трубы (камерный подвод) длиной a (от оси насоса до входного отверстия всасывающей трубы)

$$a = (3...3{,}5) D_{р.к} = (3...3{,}5) 0{,}87 = 2{,}61...3{,}05 \text{ м},$$

где $D_{р.к}$ — диаметр рабочего колеса насоса, м.

Тогда расчетная ширина блока

$$B_{бл.р} = a + l_{р.ф} / 2 + l_{т.ф} + l'_{пр} + \delta_{ст} =$$
$$= (2{,}61...3{,}05) + 1{,}36 / 2 + 0{,}65 +$$
$$+ 0{,}6 + 1{,}0 = 5{,}54...5{,}98 \text{ м}.$$

Расчетная ширина надземной части здания насосной станции

$$B_{н.ч} = D_{дв} + 2 l'_{пр} + 2\delta_{ст} = 1{,}87 + 2 \cdot 1{,}2 + 2 \cdot 0{,}3 = 4{,}87 \text{ м},$$

где $D_{дв}$ — диаметр электродвигателя ВАН118-41-10УЗ, м; $l'_{пр}$ — ширина прохода между стеной и высоковольтным электродвигателем ВАН118-41-10УЗ, м; $\delta_{ст}$ — толщина стены надземной части здания, м.

Надземную часть здания выполняют как одноэтажное промышленное здание каркасного типа со стандартным пролетом 6 м. Тогда окончательную ширину надземной части здания $B_{н.ч} = 6 + 2 \cdot 0{,}3 = 6{,}6$ м увязывают с шириной подземной части, так как фундаментом надземной части здания являются стены его подземной части. Принимают $B_{п.ч} = 6{,}6$ м, а ширину блока увеличивают до $B_{бл} = 8{,}0$ м за счет удлинения подводящей трубы на 2,02 м ($a = 5{,}07$ м). Это необходимо для размещения пазов ремонтных затворов и рельсов козлового крана на водозаборном сооружении.

Высота подземной части здания насосной станции

$$H_{п.ч} = ▽\text{верха п.ч} - ▽\text{подошвы п.ч} = 55{,}1 - 45{,}3 = 9{,}8 \text{ м},$$

где $▽\text{верха п.ч} = ▽УВ_{max} + h_{зап} = 54 + 1{,}1 = 55{,}1$ м [$h_{зап}$ — *превышение верха сооружения* (пола надземной части) над максимальным уровнем воды в источнике, м]; $▽\text{подошвы п.ч} = ▽\text{оси р.к} - h_{в.к} - h_{пл} = 48 - 1{,}5 - 1{,}2 = 45{,}3$ м ($h_{в.к}$ — высота от низа подводящей трубы до оси насоса, м, $h_{в.к} = 1{,}73 D_{р.к} = 1{,}73 \cdot 0{,}87 = 1{,}5$ м, данные из ката-

лога; $D_{р.к}$ — диаметр рабочего колеса насоса, м; $h_{пл}$ — толщина днищевой плиты, м).

Насос ОПВ2-87 выпускают в двух вариантах: с электроприводом поворота лопастей и без электропривода. Принимают второй вариант — без электропривода. Тогда длина промежуточного вала, расположенного между валами двигателя и насоса (см. каталог),

$$h_{вал} = \downarrow УВ_{max} - \downarrow оси\ р.к + h_{зап} - h''_{н} - h'_{дв} =$$
$$= 54 - 48 - 1{,}1 - 3{,}85 - 0{,}6 = 2{,}65\ м.$$

Если расчетную длину промежуточного вала $h_{вал}$ получают отрицательной, то валы насоса и двигателя стыкуют непосредственно, а отметку верха подземной части здания (пола надземной части) повышают на полученное значение по модулю.

В качестве подъемно-транспортного оборудования принимают подвесной электрический кран грузоподъемностью 5 т, пролетом 4,2 м, высотой от крюка крана в стянутом положении до низа монорельса $h_{кр} = 1{,}91$ м. Высота монорельса $h_{мон} = 0{,}3$ м, расстояние от верха монорельса до балки перекрытия $h_{з.м} = 0{,}1$ м. Два монорельса подвешивают вдоль надземной части здания к двускатным балкам покрытия. Насос и двигатель доставляют к местам установки по частям. Масса насоса ОПВ2-87 в сборе 5 т, а электродвигателя ВАН118-41-10УЗ 5,8 т. По аналогии с примером 3 деталь с наибольшей массой составит $5 \cdot 0{,}6 = 3$ т. Таким образом, грузоподъемность крана вполне достаточна.

Расчетная высота крюка подвесного крана

$$H_{кр.р} = h_{ст} + h_{в.н} + h_{стр} + h'_{з} = 1{,}04 + 4 + 0{,}3 + 0{,}5 = 5{,}84\ м,$$

где $h_{ст}$ — высота статора электродвигателя, м; $h_{в.н}$ — длина вала насоса, м; $h_{стр}$ — размер жестких строп, м; $h'_{з}$ — запас по высоте между статором и проносимой деталью, м.

Расчетная высота надземной части здания

$$H_{н.ч} = H_{кр.р} + h_{кр} + h_{мон} + h_{з.м} = 5{,}84 + 1{,}91 + 0{,}3 + 0{,}1 = 8{,}15\ м.$$

При стандартной колонне высотой 9,3 м с заделкой ее в стену подземной части на 0,8 м окончательная высота надземной части составит 8,5 м. Надземную часть здания станции проектируют сборной каркасной, а стены — панельными. Используемые элементы здания: колонны железобетонные высотой 9,3 м; балки двускатные с пролетом 6 м; плиты покрытия $1{,}5 \times 6{,}0$ м; стеновые панели длиной 6,0 м, толщиной 0,3 м; карнизные панели длиной 6,0 м.

Расчетная длина надземной части здания станции

$$L_{н.ч} = l_{ос}(n_{н} - 1) + D_{дв} + l_{пр} + l_{м.п} + 2\delta_{ст} =$$
$$= 4{,}2(4 - 1) + 1{,}87 + 1{,}2 + 4{,}07 + 2 \cdot 0{,}5 = 20{,}74\ м,$$

где $l_{ос}$ — расстояние в плане между насосными агрегатами; для осевых насосов выбирают наибольшее значение из двух условий:

$$l'_{ос} = D_{дв} + l_{пр} = 1{,}87 + 1{,}2 = 3{,}07 \text{ м}$$

и

$$l''_{ос} = b_{кам} + в_{б} = 3{,}0 + 1{,}2 = 4{,}2 \text{ м},$$

$D_{дв}$ — диаметр электродвигателя, м; $l_{пр}$ — ширина прохода между электродвигателями, м; $b_{кам}$ — ширина водоприемной камеры, м; $в_{б}$ — толщина бычков водоприемника, м; $n_{н}$ — число насосов на станции; $l_{м.п}$ — длина монтажной площадки, м, $l_{м.п} = l_{пр} + D_{дв} + l'_{пр} = 1{,}2 + 1{,}87 + 1{,}0 = 4{,}07$ м; $\delta_{ст}$ — толщина торцовой стены здания, м.

Окончательная длина надземной части здания

$$L_{н.ч} = 6 \cdot 4 + 2\delta_{ст} = 6 \cdot 4 + 2 \cdot 0{,}5 = 25{,}0 \text{ м}.$$

Длину подземной части здания принимаем такую же. В боковых стенах надземной части здания устраиваем окна в форме ленточного остекления, площадь которого примерно равна $^1/_4$ площади пола. Торцовые стены устраиваем кирпичные, чаще всего толщиной 0,5 м (два кирпича). В торцовой стене со стороны монтажной площадки устанавливаем двустворчатые ворота для въезда на монтажную площадку. В междуэтажном перекрытии на монтажной площадке делаем монтажный люк размером 1,5 × 2,5 м (для монтажа и демонтажа насосов) и лестничный проем для устройства лестницы в подземную часть здания.

5.6. ПЛАВУЧИЕ И ПЕРЕДВИЖНЫЕ НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

Плавучей насосной станцией считают установку, в которую входят понтон с оборудованием, соединительные напорные трубопроводы и служебный мостик. При проектировании плавучих насосных станций необходимо учитывать следующее.

1. Корпус понтона проектируют как несамоходное сухогрузное судно.

2. Понтон компонуют в соответствии со следующими условиями: принимают отношение длины понтона L к высоте борта H от 9 до 28, а ширины понтона B к высоте борта H не более 4...5 в зависимости от разряда судна.

3. Размеры элементов понтона обосновывают расчетом как на местную, так и на общую прочность в продольном и поперечном направлениях. Кроме того, проверяют плавучесть и остойчивость понтона при всех возможных комбинациях внешних воздействий.

4. На понтонах устанавливают только центробежные и осевые насосы горизонтального исполнения. Основное оборудование размещают в трюме на днищевом наборе понтона. Фундаменты под

насосы и двигатели должны быть достаточно жесткими, чтобы деформации их при любых возможных режимах работы не могли вызвать расцентровки агрегатов. Для повышения жесткости фундаментов агрегатов мощностью более 500 кВт продольные и поперечные балки фундаментных рам желательно совмещать с днищевым набором. Конструкции фундаментов должны быть сквозными и не должны препятствовать ремонту обшивки и вентиляционных устройств электродвигателя.

Для предотвращения расцентровки агрегатов при деформациях корпуса понтона на всасывающих и напорных трубопроводах предусматривают надежные компенсаторы.

Оборудование судовых систем (насосы осушительной и балластной систем, противопожарные устройства, вентиляция) желательно устанавливать на служебных мостиках или кронштейнах не ниже 0,6 м над настилом трюма, оборудование распределительного устройства и щит управления — на уровне палубы.

5. Водонепроницаемые перегородки применяют только в многоагрегатных понтонах, да и то только в тех случаях, если это не влечет за собой увеличения габаритов понтона и не снижает качества эксплуатации.

6. По конструкции и форме корпус понтона должен быть простейшим: прямолинейного сечения с небольшими скосами днища в области кормы и носа. Длину носа и кормы принимают от 2,5 до 4 м. В плане нос и корму лучше всего выполнять прямоугольными, а днище в пределах носа и кормы — наклонным под углом до 15°, что облегчает транспортировку понтонов к месту установки и зимовки. Ширина надстройки должна быть несколько уже корпуса понтона, чтобы обеспечить проход вдоль бортов. Ширину прохода в зависимости от крупности понтона принимают 1...1,4 м.

Корпус понтона обшивают стальным листом толщиной 4...20 мм. Снаружи корпуса на уровне грузовой ватерлинии устанавливают деревянный привальный брус для смягчения ударов при столкновении с причалами или с другими судами.

Борта понтона, кормовой и носовой отсеки делают двойными, используя это пространство для размещения балласта, водоприемных коробок и шаровых шарниров соединительных трубопроводов. Объем балластных камер выбирают таким, чтобы при их помощи (заливая их водой или осушая) можно было полностью исключить крен или дифферент понтона. Для уменьшения объема балластных камер иногда допускают размещение наиболее тяжелого оборудования у борта, противоположного соединительным трубопроводам. Максимально допустимый крен понтона не должен превышать 3°.

Воду целесообразнее забирать со стороны днища. При этом водозаборные коробки оборудуют сороудерживающими решетками или рыбозащитными устройствами, герметичными люками, горловины которых выводят на уровень бортов (но не менее 0,3 м над

уровнем воды при максимальной осадке), и затворами для прекращения доступа воды в коробки при ремонтах насосов или при зимней консервации.

Надстройку понтона выполняют облегченной конструкции: стальной каркас для установки подкрановых балок и балок покрытия, обрешетка и стеновое заполнение из пенопласта с обшивкой листовой сталью под масляную краску или листовым пластиком. В проектах последних лет на плавучих насосных станциях предусматривают служебные помещения для обслуживающего персонала: каюту, небольшой камбуз с необходимым оборудованием, туалет.

Осушительная система понтона должна состоять из системы сигнализации, дренажных насосов (не менее двух) и кольцевой магистрали трубопровода с установленными по четырем углам каждого отсека водозаборными воронками. Выброс воды — выше уровня воды при максимальной осадке понтона.

Для заполнения балластных камер водой предусматривают специальные насосы. Если понтон разделен водонепроницаемыми перегородками на отдельные отсеки, то каждый из них должен иметь самостоятельные балластные и дренажные системы.

Для проведения монтажных работ понтоны оборудуют ручными кран-балками или мостовыми кранами грузоподъемностью до 10 т. При монтаже более тяжелого оборудования допускается применять спаренные мостовые краны.

При выборе места установки понтона необходимо иметь в виду следующее:

понтоны плавучих насосных станций желательно располагать у крутого вогнутого берега в зоне наибольших глубин;

при установке понтона на реке в зоне возможного ледохода предусматривают льдозадерживающие сооружения или демонтаж понтона и отвод его в специальный затон на зимовку (возможен подъем на стапель);

понтоны не следует устанавливать в зоне интенсивной переработки берегов или сильного волнения (более 0,8 м). При установке понтонов в естественных заливах или искусственных ковшах принимают меры по защите залива (ковша) от наносов;

на месте работы понтон закрепляют не менее чем на трех якорях.

При легких условиях работы (отсутствие течения, волн, слабый ветер) понтоны могут быть закреплены при помощи однопролетных соединительных трубопроводов, имеющих шаровые соединения. В этом случае статически неизменяемая система может быть получена за счет стяжек, установленных крест-накрест снизу и сверху соединительных труб. Впервые такое устройство было применено на Самгарской и Ходжа-Бакирганской плавучих насосных станциях.

При проектировании соединительных трубопроводов (рис. 5.16) необходимо учитывать следующее:

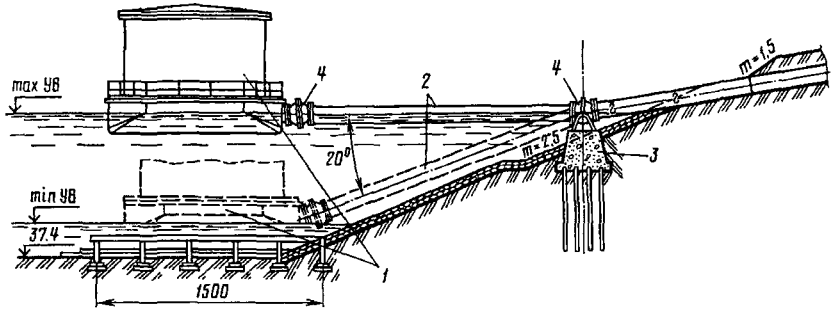


Рис. 5.16. Плавучая насосная станция:

1 — понтон; *2* — соединительный трубопровод; *3* — анкерная опора берегового шарового шарнира; *4* — шаровые шарниры

трубопроводы должны быть стальными. При прочих равных условиях предпочтение отдают однопролетным трубопроводам, длина которых должна быть ограничена прочностью подвижного соединения и допустимой нагрузкой на борт понтона. Многопролетные трубопроводы проектируют наплавного типа с установкой промежуточных шарниров на специальных понтонах. Для правильной посадки промежуточных понтонов на дно предусматривают искусственные основания;

число соединительных трубопроводов принимают равным числу основных насосов. Допускается работа двух насосов с подачей менее 500 л/с и работа одного насоса на два трубопровода в случае, если нельзя изготовить шарнирное соединение нужного размера;

соединительные трубопроводы должны обеспечить перемещение понтона во всем диапазоне колебаний уровня воды с учетом максимальных кренов на оба борта, а также надлежащую прочность при всевозможных комбинациях нагрузок: собственная масса, масса воды, гидродинамическое давление воды, навал понтона, заклинивание шаровых шарниров нагрузки при переносе по трубопроводу грузов и т. д.;

в качестве гибких стыков трубопроводов диаметром 300...1000 мм рекомендуют применять шаровые соединения и диаметром до 500 мм — гибкие резиновые шланги, армированные стальной проволокой. Гибкие стыки должны допускать люфт по длине трубопровода, способный компенсировать все неточности, допущенные при монтаже опорных конструкций и подвижных частей соединительных трубопроводов.

Сообщение между понтоном и берегом следует предусматривать или по специальному служебному мостику, или по одному из соединительных трубопроводов, на котором устанавливают на-

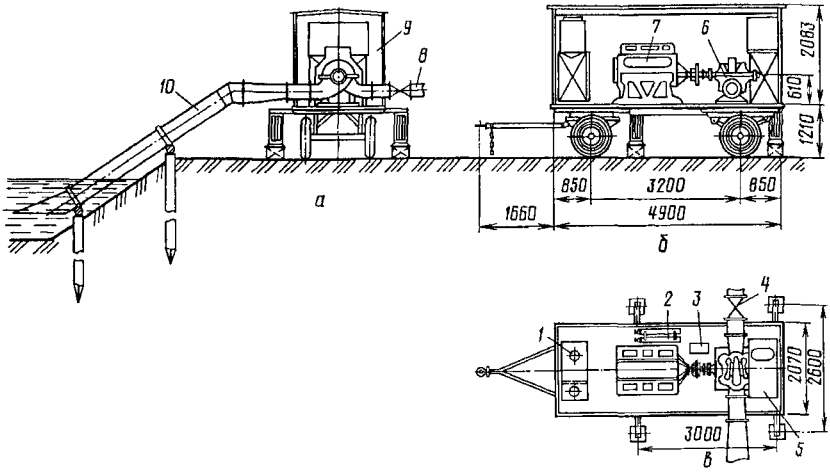


Рис. 5.17. Передвижная иасосиая устаиовка:

а, б — поперечный и продольный разрезы; *в* — план;
1 — баки для топлива и масла; *2* — баллон сжатого воздуха; *3* — вакуум-насос; *4* — задвижка; *5* — бак для воды; *6* — центробежный насос; *7* — дизель; *8* — напорный трубопровод; *9* — кузов; *10* — всасывающий трубопровод

стил и ограждение. Служебные мостики иногда используют для прокладки кабелей.

Для доставки на понтон грузов более 5 т обычно используют плавучие средства (плоты, баржи) и специальное подъемно-транспортное оборудование для погрузки-разгрузки. В некоторых проектах предусматривают причалы, к которым подтаскивают понтон для погрузки тяжелого оборудования и зимнего отстоя. Оптимальное техническое решение находят сравнением нескольких вариантов.

Выпускают самоходные (СПНС) и несамоходные плавучие насосные станции подачей от 0,1 до 20 м^3/с и напором от 6 до 125 м.

Передвижные насосные станции широко применяют в мелиорации. Они имеют следующие преимущества перед стационарными станциями: заводское серийное изготовление, что обеспечивает высокое качество и меньшую стоимость по сравнению со стационарными, быстроту установки, не требующую специальных строительно-монтажных работ, возможность в течение короткого времени менять места установки (по мере изменения уровней воды в источнике или перехода с одного объекта на другой).

Применяют следующие типы передвижных насосных станций:

СНП — станция насосная передвижная, оборудованная горизонтальным насосом с приводом от специального двигателя внутреннего сгорания. Оборудование устанавливают на специальной

раме (салазках) или на автоприцепе (рис. 5.17); подача передвижных станций 0,02...0,7 м^3/с при напоре 5...110 м;

СНПЭ — то же, но в качестве привода используют электродвигатель;

ПНСТ — передвижная насосная станция, в которой в качестве привода используют двигатель трактора, соединяемый с насосом специальным валом; в этом случае на салазках монтируют только насос и редуктор, который применяют, если частота вращения рабочего колеса насоса не совпадает с частотой вращения карданного вала трактора;

СНН — станция насосная навесная (насос монтируют на раме, установленной на тракторе). Подача станции 0,02...0,12 м^3/с при напоре 22...93 м.

Наиболее удобны и экономичны передвижные насосные станции с индивидуальными двигателями, не зависящими от наличия трактора.

Данные о передвижных насосных станциях можно взять из соответствующих справочников и каталогов.

Глава 6

ВНУТРИСТАНЦИОННЫЕ ВСАСЫВАЮЩИЕ И НАПОРНЫЕ КОММУНИКАЦИИ

●

6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Всасывающие коммуникации, служащие для подвода воды от водоприемных камер водозаборных сооружений к всасывающим патрубкам насосов, разделяют на собственно всасывающие и подводящие.

В первых давление может быть ниже атмосферного, во вторых — всегда выше атмосферного.

Напорные коммуникации транспортируют воду от напорных патрубков насосов к напорным трубопроводам.

Для нормальной эксплуатации насосных станций на всасывающих, подводящих и особенно напорных коммуникациях устанавливают соответствующую трубопроводную арматуру.

Внутристанционные всасывающие и напорные коммуникации мелиоративных насосных станций в отличие от коммуникаций станций водоснабжения, как правило, выходят за пределы зданий насосных станций.

В связи с этим необходимо рассмотреть условия прохода трубопроводов всасывающих, подводящих и напорных коммуникаций через стены зданий насосных станций.

Заделка труб в стены здания может быть жесткой и гибкой.

Жесткую заделку применяют при установке всех вертикальных центробежных и осевых насосов при подаче каждого более 4 $м^3/с$, иногда и при меньшей подаче, а в отдельных случаях при установке горизонтальных насосов.

Анкерными опорами служат стены подземных частей зданий насосных станций блочного и камерного типов из монолитного железобетона.

При жесткой заделке трубопроводов в стены применяют ребристые патрубки (рис. 6.1). Ребро посередине патрубка приваривают для более прочного замоноличивания и уменьшения просачивания воды. Концы патрубка могут быть гладкими или с приварными фланцами, в зависимости от местных условий.

При проходе трубопроводов через стены из кирпича или из бетонных блоков осуществить жесткую заделку затруднительно, поэтому применяют гибкую. Она предохраняет стальные трубопро-

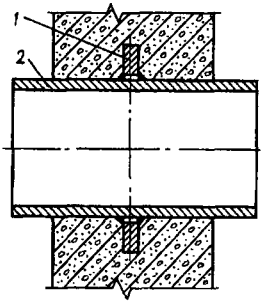


Рис. 6.1. Жесткая заделка трубопровода с применением ребристого патрубка:

1 — ребро; *2* — патрубок

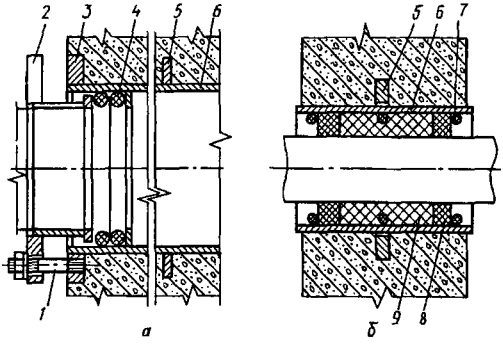


Рис. 6.2. Гибкая заделка трубопровода с сальниковыми уплотнителями:

а — с нажимным устройством; *б* — без нажимного устройства; *1* — шпилька с гайкой; *2* — разъемный нажимной фланцевый патрубок; *3* — фланец; *4* — резиновое кольцо; *5* — кольцевое ребро; *6* — корпус; *7* — упорное кольцо; *8* — зачеканка; *9* — сальниковая набивка

воды от повреждений при осадке зданий, при тепловых расширениях труб, при строительстве в районах с повышенной сейсмичностью. В этих случаях обычно используют стальные сварные сальниковые уплотнения, предохраняющие также от возможного просачивания воды вдоль трубопровода через стену. Эти уплотнения могут быть с нажимным устройством и без него.

Корпус сальникового уплотнения с нажимным устройством (рис. 6.2, *а*) бетонируют в стене сооружения до пропуска через нее трубы. Кольцевые ребра *5* корпуса *6* служат для прочного соединения его со стеной. Уплотнения выполняют в виде резиновых колец *4* или из просмоленного пенькового жгута. Затягивают сальник, а также периодически его подтягивают с помощью нажимного фланцевого патрубка *2*, располагаемого со стороны сухого помещения, шпилек и гаек. Сальниковое уплотнение с нажимным устройством обладает хорошей эластичностью, надежностью и водонепроницаемостью, но несколько сложно в изготовлении. Поэтому применяют его в наиболее трудных условиях.

Значительно проще по конструкции сальниковое уплотнение без нажимного устройства (рис. 6.2, *б*). Его корпус *6* — обрезок трубы с приваренным кольцевым ребром *5*. Внутри корпуса установлено упорное кольцо *7*. Между упорным кольцом и буртом помещают сальниковую набивку *9* из просмоленной пеньковой пряди. Концы сальникового уплотнения закрыты зачеканкой *8* из цементного раствора и заделаны мастикой.

6.2. ВСАСЫВАЮЩИЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Давление во всасывающих трубопроводах может быть ниже атмосферного, поэтому необходимо, чтобы они были герметичны. При недостаточной герметичности в них проникает воздух, уменьшающий вакуум, что приводит к снижению подачи воды насосами, уменьшению их КПД, а иногда и к срыву работы насосов.

Поэтому основное требование, предъявляемое к всасывающим трубопроводам, — это их воздухонепроницаемость.

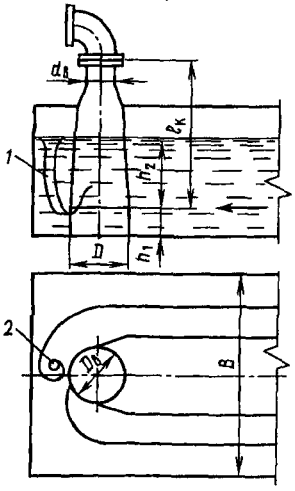
Воздух может попасть во всасывающие трубопроводы не только через неплотности стенок труб и их соединений, но и при его прорыве через входное отверстие при образовании воронок из-за недостаточного заглубления этого отверстия под уровень воды и неблагоприятных условий подвода воды к входу трубы (рис. 6.3), при уменьшении давления ниже расчетного и вследствие скопления воздуха в виде воздушных мешков во всасывающих трубопроводах при их неправильной прокладке.

При проектировании всасывающих трубопроводов необходимо соблюдать следующие условия:

1. Всасывающие трубопроводы выполняют только из стальных труб. Вне здания трубы соединяют только сваркой, а в пределах зданий — сваркой и с помощью фланцев.

На всасывающих трубопроводах могут быть установлены лишь компенсаторы, сохраняющие герметичность в условиях расчетного вакуума.

2. Всасывающие трубопроводы во избежание образования воздушных мешков прокладывают без каких-либо переломов в вертикальной плоскости с непрерывным подъемом к насосу с уклоном не менее 0,005 (исключение см. п. 5 рассматриваемых условий).



В случае уменьшения диаметра всасывающего трубопровода переход для присоединения к всасывающему патрубку насоса делают в виде одностороннего конуса с горизонтальной верхней образующей (рис. 6.4). Длину конуса (конфузора) принимают $l_к = (3{,}5...4)(D_в - d_в)$, где $D_в$ и $d_в$ — диаметры всасывающих трубопровода и патрубка насоса, м.

3. Всасывающие трубопроводы долж-

Рис. 6.3. Схема вихреобразования:

1 — вихрь; *2* — зона вихреобразования; h_1 — расстояние входного отверстия всасывающей трубы от дна камеры; h_2 — заглубление входного отверстия под уровень воды; *B* — ширина камеры

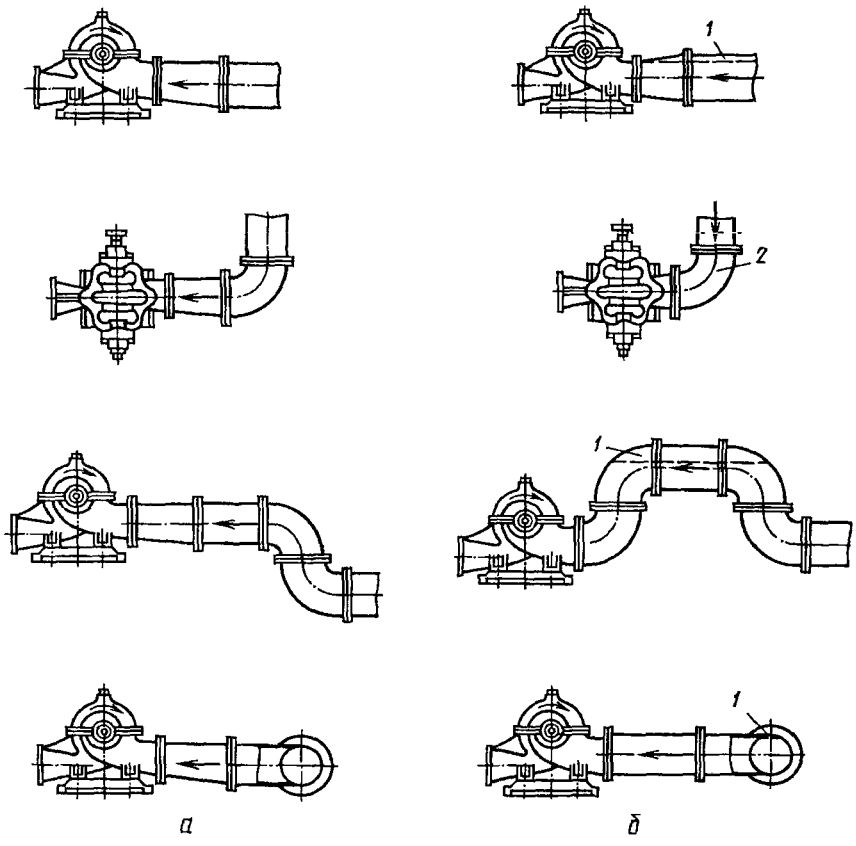


Рис. 6.4. Примеры правильного (*а*) и неправильного (*б*) устройства всасывающих трубопроводов:

1 — воздушный мешок; *2* — отжим потока

ны быть по возможности короткими (до 50 м), с минимальным числом соединений, особенно фланцевых, и поворотов. Перед насосом предусматривают прямолинейный участок длиной не менее $2D_в$.

4. Диаметры всасывающих трубопроводов длиной до 50 м принимают в соответствии со скоростями движения воды в них: $v_в = 0{,}7...1$ м/с для $D_в \le 250$ мм, $v_в = 1...1{,}5$ м/с для $250 < D_в < 800$ мм, $v_в = 1{,}5...1{,}8$ м/с для $D_в \ge 800$ мм. В любом случае диаметр всасывающего трубопровода $D_в$ не должен быть меньше диаметра входного патрубка насоса $d_в$.

5. Для насосных станций малой и средней подачи допускается устройство всасывающих трубопроводов по типу приподнятого колена (рис. 6.5). В этих случаях, несмотря на относительно небольшую длину всасывающих трубопроводов, их диаметр не может быть принят согласно рекомендациям п. 4 рассматриваемых условий. Его определяют по формуле, используемой для сифонных водовыпусков (см. гл. 8). Недостаток такого всасывающего трубопровода — скапливание воздуха в его верхней части при эксплуатации, что требует для удаления воздуха специального устройства, например эжектора (см. рис. 6.5).

6. Диаметр всасывающих трубопроводов, длина которых превышает 50 м, назначают на основании расчетов переходных процессов, возникающих при пуске насосов и открытии запорной арматуры на их напорных линиях.

Изменение частоты вращения n при пуске насосного агрегата определяют из выражения

$$Idn/dt = M_д - M_н,$$

где I — момент инерции вращающихся масс ротора насосного агрегата; $M_д$ — момент, развиваемый двигателем, зависящий от частоты вращения; $M_н$ — момент, потребляемый насосом (момент сопротивления), являющийся функцией частоты вращения и подачи насоса.

В связи с тем что момент сопротивления насоса с увеличением подачи возрастает при не заполненном водой напорном трубопроводе, насос пускают только при закрытой запорной арматуре на его напорной линии.

Запорную арматуру открывают после того, как частота вращения ротора насосного агрегата достигает номинальной, то есть при условии $M_д = M_н$.

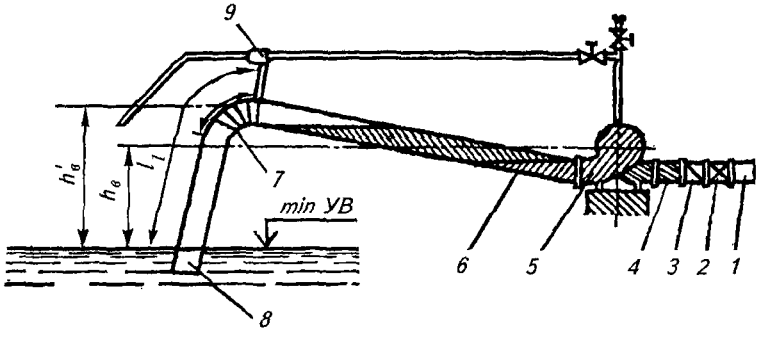


Рис. 6.5. Схема всасывающего трубопровода с приподнятым колеиом:

1 — напорная линия; *2* — задвижка; *3* — обратный клапан; *4* — монтажная вставка; *5* — насос; *6* — всасывающая труба; *7* — колено; *8* — вход в трубу; *9* — эжектор

При значительной длине всасывающего трубопровода относительно быстрое открытие запорной арматуры может привести к существенному различию скоростей движения воды в его начале и в конце, что может привести к образованию в трубопроводе кавитационного разрыва сплошности потока и срыву работы насоса. Во избежание этого необходимо предусмотреть замедление открытия запорной арматуры.

Учитывая то, что гидравлическое сопротивление арматуры изменяется при ее открытии очень неравномерно, можно для сокращения общего времени открытия начинать его в начальной стадии медленно, а затем более быстро.

Расчеты режима пуска насосов с приемлемой степенью точности могут быть выполнены по методике, разработанной К. П. Вишневским (см. раздел 7.7).

Оптимальный режим открытия принимают на основании сопоставления результатов расчетов различных вариантов.

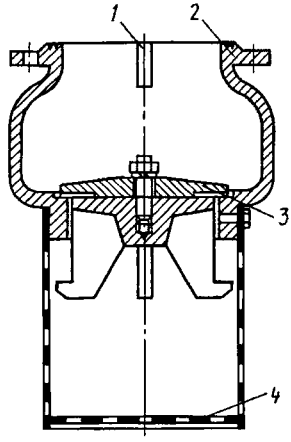


Рис. 6.6. Схема приемного клапана с сеткой:

1 — ограничитель; *2* — фланец; *3* — тарель; *4* — съемная сетка

7. Число всасывающих трубопроводов, как правило, принимают равным числу насосов. Уменьшение числа всасывающих трубопроводов, обычно до двух, с устройством коллектора и присоединением к нему каждого насоса короткими линиями с установленной на них запорной арматурой обычно необходимо при их значительной протяженности.

8. Всасывающие трубопроводы вне здания устанавливают на опорах. Для проведения осмотра, окраски и других работ оставляют расстояние до низа всасывающего трубопровода, которое принимают 0,3 м при диаметрах до 0,5 м и до 0,6 м при бóльших диаметрах.

9. В случаях, когда отметка уровня воды в источнике может быть выше низа всасывающих трубопроводов, на них устанавливают запорную арматуру.

10. Для заполнения водой перед пуском насосов, работающих с положительной высотой всасывания, всасывающих трубопроводов в основном используют вакуум-системы (см. раздел 4.8). Исключение составляют трубопроводы, выполненные с приподнятым коленом (см. п. 5 рассматриваемых условий), так как после отключения насосов их оставляют заполненными водой, и трубопроводы диаметром до 400 мм, на которых допускают установку приемных клапанов (рис. 6.6). На трубопроводах бóльших диаметров установка этих клапанов нецелесообразна, поскольку их гидравлическое сопротивление значительно и приводит к большим потерям напора.

6.3. ПОДВОДЯЩИЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Уровень воды в источнике всегда выше верха подводящих трубопроводов, поэтому давление в них выше атмосферного и требования к их герметичности не такие жесткие, как к всасывающим. Подводящие трубопроводы могут быть как стальными, так и железобетонными (монолитными и сборными).

В отличие от всасывающих подводящие трубопроводы могут быть проложены с понижением к насосам.

При установке в здании насосной станции горизонтальных насосов подводящие трубопроводы прокладывают выше пола.

При подходе к насосу обычно вначале устанавливают конфузор, затем запорную арматуру (задвижку или дисковый затвор) и монтажную вставку (рис. 6.7, *а*). В отдельных случаях для уменьшения потерь напора в трубопроводной арматуре вначале устанавливают задвижку (затвор), затем переход к диаметру всасывающего патрубка насоса; в этих случаях обычно переход (конфузор) совмещают с монтажной вставкой (рис. 6.7, *б*).

При совмещенной компоновке здания насосной станции и водозаборного сооружения вода от водоприемной камеры поступает в здание насосной станции по стальному конфузору, к которому присоединена задвижка (дисковый затвор), между ней и насосом устанавливают монтажную вставку (см. рис. 5.2, *в, г*).

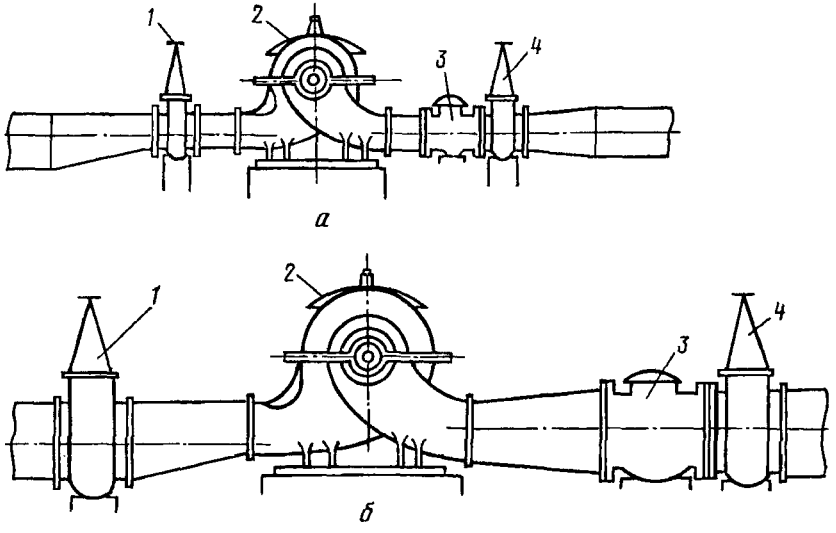


Рис. 6.7. Схемы установки трубопроводной арматуры на всасывающей (подводящей) и напорной линиях насоса:

а — при диаметрах арматуры, равных диаметрам всасывающего и напорного патрубков насоса; *б* — то же, при больших диаметрах; *1, 4* — задвижки; *2* — насос; *3* — обратный клапан

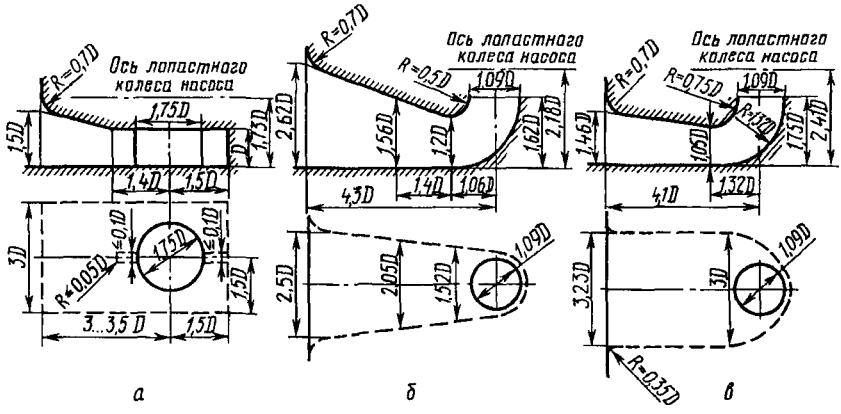


Рис. 6.8. Схемы подводящих труб с камериым (*а*) и колеичатым (*б* — форма 1, сужеииая в плане, *в* — форма 2, расширеиная в плане) подводом воды (D — диаметр входного патрубка центробежного насоса или диаметр рабочего колеса осевого насоса)

При установке вертикальных центробежных насосов в зданиях камерного типа подводящая линия состоит из стального сварного конфузора, жестко заделанного в стену, запорной арматуры, монтажной вставки и колена переменного сечения.

При установке вертикальных центробежных, осевых и диагональных насосов в зданиях насосных станций блочного типа (см. гл. 5) подводящие трубы устраивают в бетонном армированном блоке, находящемся в основании здания станции.

Устанавливаемые в зданиях блочного типа вертикальные насосы, как правило, большой подачи, поэтому особенно необходимо, чтобы потери напора в подводящих трубах были незначительными. Для уменьшения гидравлического сопротивления подводящих труб их устраивают криволинейными (с коленчатым подводом). Форму и размеры подводящих труб дает завод — изготовитель насосов.

Применение труб с коленчатым подводом суженной (рис. 6.8, *б*) и расширенной (рис. 6.8, *в*) в плане форм зависит от конкретных условий проектирования здания насосной станции блочного типа. Размеры подводящих труб назначают согласно значению диаметра *D* входного патрубка центробежного насоса или диаметра рабочего колеса осевого насоса.

При относительно небольших диаметрах входного патрубка, соответствующих небольшим подачам (осевые насосы типа О), изготовление опалубки криволинейного очертания при бетонировании блока насосной станции затруднительно. В этих случаях применяют подводящие трубы с камерным подводом (рис. 6.8, *а*). Гидравлическое сопротивление подводящей трубы при этом несколь-

ко возрастает (для труб с коленчатым подводом коэффициент гидравлического сопротивления ξ составляет около 0,5, а для труб с камерным подводом — около 0,6).

Здание насосной станции блочного типа с коленчатым подводом к насосу показано на рисунке 5.5, а с камерным — на рисунке 5.6 (см. гл. 5).

В случаях, когда отметки дна водоприемных камер водозаборных сооружений могут быть приняты меньше отметки пола подземной части здания насосной станции, допускается устройство подводящей трубы с коленчатым подводом с наклонным (до 12°) днищем.

6.4. ВНУТРИСТАНЦИОННЫЕ НАПОРНЫЕ КОММУНИКАЦИИ

Внутристанционные напорные коммуникации служат для подачи воды от насосов к напорным трубопроводам, число которых может быть равно числу насосов или быть меньше его. В последнем случае схема внутристанционных напорных коммуникаций в значительной степени зависит от целевого назначения насосной станции и связанных с этим условий бесперебойности подачи воды.

На мелиоративных насосных станциях, допускающих временную остановку отдельных и даже всех насосов, возможно упрощение напорных коммуникаций, что, в свою очередь, уменьшит потери напора в них. В связи с тем что подача мелиоративных станций в общем случае больше, чем у станций водоснабжения, снижение потерь напора и напора насоса и соответствующее увеличение подачи особенно важно. Практически гидравлическое сопротивление напорных коммуникаций можно уменьшить, исключив резкие повороты, соединения в виде тройников и крестовин с углами 90°. Однако это приводит к увеличению длины коммуникаций и частичному вынесению их за пределы зданий насосных станций.

Требования к надежности работы насосных станций водоснабжения, работающих круглый год, выше, чем к мелиоративным насосным станциям. Напорные коммуникации насосных станций водоснабжения должны обеспечить подачу воды каждым насосом в любой напорный трубопровод, и размещают их в пределах здания насосной станции. Поэтому на таких коммуникациях возможны наличие резких поворотов и установка тройников и крестовин с углами 90°.

Рекомендуемые схемы внутристанционных напорных коммуникаций показаны на рисунке 6.9. Схему на рисунке 6.9, *а* чаще используют при установке на насосной станции осевых насосов. Запорную арматуру на напорных линиях осевых насосов в этом случае не устанавливают, так как пуск осуществляют при не заполненных водой трубопроводах.

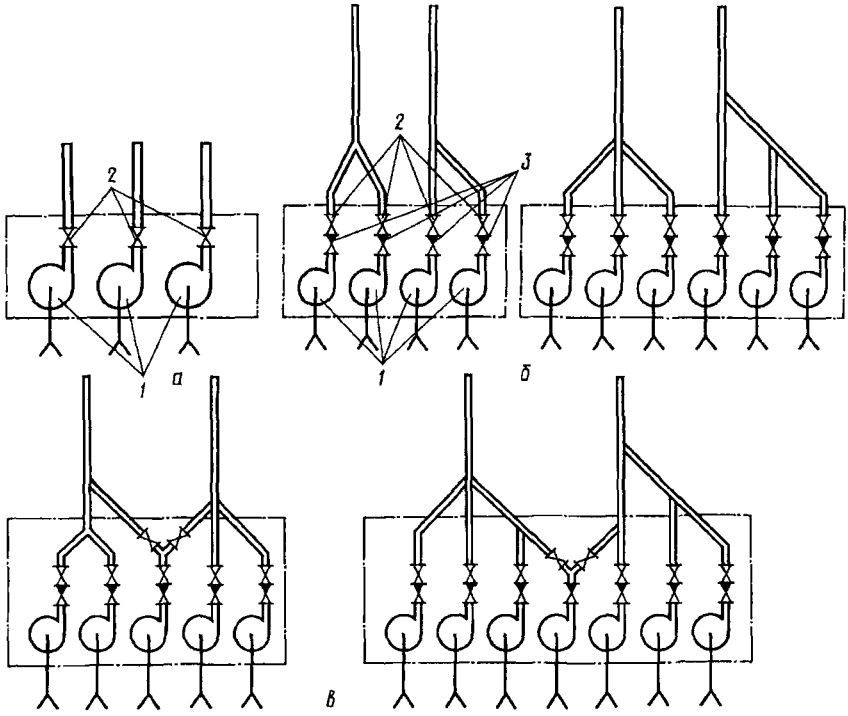


Рис. 6.9. Схема напорных коммуникаций насосных станций:

а — при работе насосов на индивидуальные трубопроводы; *б* — при числе насосов, кратном числу трубопроводов; *в* — при числе насосов, некратном числу трубопроводов; *1* — насосы; *2* — задвижки; *3* — обратные клапаны

При использовании на насосной станции центробежных насосов запорную арматуру на напорных линиях насосов устанавливают обязательно, поскольку без нее невозможен пуск насосов при не заполненных водой напорных трубопроводах (первоначальный пуск).

Пример напорных коммуникаций при работе осевых насосов показан на рисунке 5.6 (см. гл. 5).

При коленчатом отводе насоса под углом 60° напорная коммуникация может включать отвод с углом 30° и диффузор (см. рис. 5.6); в этом случае проход через стену горизонтальный. В других случаях отвод может отсутствовать, и тогда коммуникация состоит из одного диффузора. Тип коммуникации зависит от глубины подземной части здания.

При коленчатом отводе насоса под углом 90° коммуникация будет состоять из одного диффузора. Последний жестко заделывают

в стену подземной части здания (жесткая заделка, см. рис. 6.1); его длину принимают $l_д = 6...7\ (D_н - d_н)$, где $D_н$ — диаметр напорного трубопровода; $d_н$ — диаметр напорного патрубка насоса. Расстояние между осью насоса и стеной здания назначает завод-изготовитель, и оно не должно превышать $2d_н$.

При установке на насосной станции центробежных насосов и их работе на индивидуальные трубопроводы на напорных коммуникациях устанавливают монтажную вставку, обратный клапан, запорную арматуру, диффузор (см. рис. 6.7, *а*).

Для уменьшения потерь напора в коммуникациях возможна и другая последовательность установки арматуры: диффузор (наиболее часто совмещенный с монтажной вставкой), обратный клапан, запорная арматура (см. рис. 6.7, *б*).

В отдельных случаях при небольшой протяженности напорных трубопроводов обратные клапаны не устанавливают, поскольку опорожняются трубопроводы при отключении насосов относительно быстро и объем сбрасываемой воды невелик.

Однако в этих условиях необходимо согласовать максимальную реверсивную частоту вращения $n_{рев}^{max}$ (частоту вращения в обратном направлении) и ее продолжительность $t_{рев}$ с заводом — изготовителем насосов и двигателей. Значения $n_{рев}^{max}$ и $t_{рев}$ определяют на основании расчетов переходных процессов (см. гл. 7).

Схемы напорных коммуникаций при параллельной работе нескольких насосов на напорный трубопровод и числе насосов, кратном числу напорных трубопроводов, показаны на рисунке 6.9, *б*. На один трубопровод подключают два, три и редко четыре насоса. В большинстве случаев насосы центробежные, поскольку параллельная работа осевых насосов затрудняется условиями их пуска.

При работе двух насосов на трубопровод рекомендуется соединение напорных линий под углом 60°, а при работе трех насосов — под углом 45°. При больших углах существенно увеличивается гидравлическое сопротивление соединения, а при меньших углах усложняется изготовление таких соединений.

На каждой напорной линии насоса при этом в общем случае устанавливают монтажную вставку, обратный клапан, запорную арматуру и диффузор.

Так же как и при работе насосов на индивидуальные трубопроводы, расположение арматуры может быть и другое: диффузор, обратный клапан, запорная арматура.

Обратные клапаны не устанавливают, когда подачи насосов относительно большие (насосы типа В). Это связано, во-первых, с тем, что большим подачам соответствуют и большие диаметры напорных линий, а обратные клапаны диаметром более 1000 мм серийно не выпускают, а во-вторых, закрытие их значительно повысит давление, которое обычными противоударными средствами снизить трудно (см. раздел 7.7).

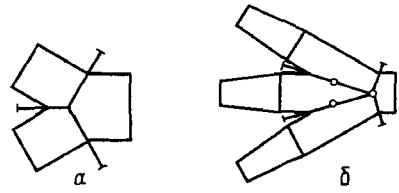


Рис. 6.10. Схемы соединения напорных линий насосов с напорными трубопроводами:

а — двух линий; *б* — трех линий

Диаметры $D_н$ напорных линий принимают в зависимости от скорости движения воды в них: $v_н = 1{,}5...2$ м/с для $D_н \le 250$ мм и $v_н = 2{,}0...2{,}5$ м/с для $D_н > 250$ мм.

Соединения напорных линий с напорными трубопроводами показаны на рисунке 6.10.

Примеры напорных коммуникаций при параллельной работе нескольких насосов на напорный трубопровод и числе насосов, кратном числу напорных трубопроводов, показаны на рисунке 5.1.

При параллельной работе осевых насосов на напорный трубопровод в большинстве случаев напорные линии насосов оборудуют обводными линиями диаметром $d_{обв} = (1/3...1/4)D_н$ с запорной арматурой. При нормальном режиме работы эта арматура закрыта, а запорная арматура на напорной линии насоса открыта. Перед пуском насоса запорную арматуру на его напорной линии закрывают, а запорную арматуру на обводной линии открывают. В процессе пуска вода сбрасывается через обводную линию в водоисточник. После того как частота вращения насоса становится номинальной, запорная арматура на напорной линии открывается, а на обводной — закрывается. В связи с тем что расстояние от оси насоса до жесткой заделки трубопровода в подземной части здания лимитировано заводом-изготовителем, для установки запорной арматуры на напорной линии насоса, как правило, предусматривают специальное помещение.

В случаях, когда число насосов некратно числу напорных трубопроводов, насос, находящийся в середине, переключают на обе нитки трубопроводов (см. рис. 6.9, *в*). В этих случаях переключающие трубопроводы с запорной арматурой и монтажными вставками, как правило, выносят за пределы здания насосной станции и устанавливают в специальном колодце.

Примеры напорных коммуникаций при параллельной работе нескольких насосов на напорный трубопровод и числе насосов, некратном числу трубопроводов, показаны на рисунке 5.2.

Во всех приведенных примерах напорных коммуникаций с обратными клапанами они были установлены между монтажными вставками и запорной арматурой. Поскольку клапаны выходят из строя чаще, чем задвижки, это дает возможность заменять их, не опорожняя напорные трубопроводы. Однако, в особенности при использовании обратных клапанов с верхней подвеской диска (см. разд. 6.5), длины которых значительны, требуется увеличение ши-

рины здания насосной станции, поэтому в отдельных случаях их устанавливают в специальных колодцах после запорной арматуры за пределами здания.

Для насосных станций закрытых оросительных систем, подающих воду в разветвленные сети, длина напорных трубопроводов обычно незначительна, и для них допускается параллельная работа до пяти насосов на трубопровод. На напорных линиях насосов всегда устанавливают монтажные вставки, обратные клапаны и запорную арматуру (см. рис. 5.1, 5.2, гл. 5).

С помощью напорных коммуникаций любой насос можно переключать на любую нитку трубопровода. Для этого каждую напорную линию насоса с установленными на ней монтажной вставкой, обратным клапаном и запорной арматурой присоединяют к коллектору (см. рис. 5.9), диаметр которого принимают не менее диаметра напорного трубопровода. Для обеспечения надежности работы на коллекторе устанавливают две задвижки (два затвора) и, кроме того, запорную арматуру в начале каждого напорного трубопровода.

Напорные коммуникации размещают в пределах здания насосной станции. Пример напорных коммуникаций насосной станции сельскохозяйственного водоснабжения показан на рисунке 5.9 (см. гл. 5).

6.5. ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА

Трубопроводную арматуру подразделяют на запорную, запорно-предохранительную, предохранительную, регулирующую, аэрационную, монтажную.

Запорная арматура: задвижки, дисковые поворотные затворы, вентили, пробковые и шаровые краны; *запорно-предохранительная* — обратные клапаны; *предохранительная* — устройства, ограничивающие давление в трубопроводах в определенных пределах; *регулирующая* — регуляторы давления и расхода; *аэрационная* — вантузы и клапаны для впуска воздуха; *монтажная* — монтажные вставки и сальниковые компенсаторы.

Вантузы и клапаны для впуска воздуха устанавливают на напорных трубопроводах, поэтому они рассмотрены в главе 7. Там же дано описание предохранительной арматуры, предназначенной в основном для уменьшения давления при гидравлических ударах в напорных трубопроводах.

Основные параметры трубопроводной арматуры — это условное давление рабочей среды p_y и диаметр условного прохода D_y.

Условным давлением называют наибольшее избыточное давление при температуре рабочей среды 20 °С. Кроме условного давления в каталогах арматуры указывают рабочее и пробное.

Рабочее давление — это наибольшее избыточное давление, при

котором обеспечивается длительная работа арматуры при рабочей температуре жидкости. Таким образом, при температуре рабочей среды 20 °С рабочее давление равно условному.

Пробным давлением называют избыточное давление, при котором арматуру и соединительные части трубопроводов подвергают гидравлическим испытаниям на прочность и плотность.

Трубопроводную арматуру изготовляют для следующих условных давлений: 0,1; 0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6,4; 10 и 16 МПа.

При определении условного давления для подбора необходимой арматуры допускается превышение до 5 % фактического рабочего давления над указанным выше.

Максимальное рабочее давление, МПа, для подбора трубопроводной арматуры в напорных коммуникациях насосной станции

$$p_{\text{н}}^{\max} = (H_{\text{н}}^{\max} + \text{УВ}_{\max} - \text{НЛ})/100,$$

где $H_{\text{н}}^{\max}$ — максимальный напор насоса по его характеристике, м; $\text{УВ}_{\max}$ — максимальная отметка уровня воды в источнике, м; НЛ — отметка напорной линии, м.

Максимальное давление в подводящих (всасывающих) трубопроводах, МПа,

$$p_{\text{в}}^{\max} = (\text{УВ}_{\max} - \text{ПЛ})/100,$$

где ПЛ — отметка, на которой проложены подводящие трубопроводы, м.

Обычно это значение очень невелико.

Для трубопроводной арматуры приняты обозначения, состоящие из цифр и букв. Первые две цифры означают тип арматуры (задвижки 30, 31, затвор 32, обратный клапан 19 и т. д.). Буква или две буквы за цифрами — материал для корпуса арматуры (углеродистая сталь — с, серый чугун — ч, ковкий чугун — кч). Цифры после букв — конструктивные особенности изделия в пределах данного типа и вид привода. Одна или две цифры после букв — номер модели, при наличии трех цифр первая обозначает вид привода (механический привод с червячной передачей — 3, механический привод с конической передачей — 4 и 5, гидравлический привод — 7, электрический привод — 9), а две последующие — номер модели. Последняя буква означает материал уплотнительных поверхностей или способ нанесения внутреннего покрытия корпуса (латунь или бронза — бр, кожа — к, резина — р, эбонит — э, пластмасса — п, гумирование — гм, свинцование — св, эмалирование — эм). Например, 30ч515бр — условное обозначение задвижки (30), с корпусом из серого чугуна (ч), с механическим приводом, с конической передачей (5), параллельной с невыдвижным шпинделем (модель 15), с материалом уплотнительных поверхностей из латуни (бронзы) (бр).

Задвижки. В зависимости от конструкции запорной части их делят на параллельные и клиновые.

В *параллельных задвижках* проход корпуса перекрывается двумя подвижно соединенными между собой дисками, которые раздвигаются одним или двумя расположенными между ними клиньями. В клиновых задвижках проход корпуса перекрывается одним клинообразным круглым диском.

Параллельные задвижки имеют некоторые преимущества по сравнению с клиновыми. Уплотняющие кольца у них обрабатывать проще и легче, чем у клиновых. Последние изнашиваются быстрее, а при резком открытии и закрытии запорный орган этих задвижек иногда заклинивается.

Задвижки обоих типов изготавливают с выдвижным и невыдвижным шпинделем. Выдвижной шпиндель совершает поступательное или вращательно-поступательное движение; его резьбовая часть находится вне корпуса задвижки, поэтому легко доступна для осмотра, очистки, смазывания. Однако требуются относительно большие размеры в высоту для размещения шпинделя задвижки. Невыдвижной шпиндель совершает только вращательное движение и находится внутри корпуса, поэтому такие задвижки требуют меньших размеров для их размещения.

Форма корпуса задвижек может быть плоской, овальной и круглой. Плоские применяют при низких давлениях, овальные — при средних и круглые — при высоких. При давлении до 1 МПа задвижки изготавливают из чугуна, а при большем — из стали.

Для задвижек небольших диаметров и при небольших давлениях шпиндели приводят во вращение с помощью маховика или ключом с квадратным отверстием. Для задвижек бóльших диаметров или рассчитанных на высокое давление применяют редукторы с червячной или конической передачей. Для задвижек значительных диаметров, а также в случаях, когда требуется довольно частое их закрытие и открытие, используют электрические и гидравлические приводы. Наиболее часто применяют электрические приводы, однако они имеют ряд недостатков: ненадежность работы в сырых помещениях, невозможность их закрытия при аварийных отключениях электропитания. Этих недостатков нет у задвижек с гидравлическим приводом, но они громоздки.

Различные типы параллельных задвижек показаны на рисунках 6.11...6.13.

Основные размеры параллельных задвижек для различных диаметров условных проходов с разными приводами даны в таблице 6.1.

Для небольших значений $p_y = 0{,}25...0{,}6$ МПа выпускают клиновые задвижки с укороченной строительной длиной (рис. 6.14 и табл. 6.2).

Значение коэффициента гидравлического сопротивления полностью открытых задвижек невелико и составляет 0,06...0,1 поэто-

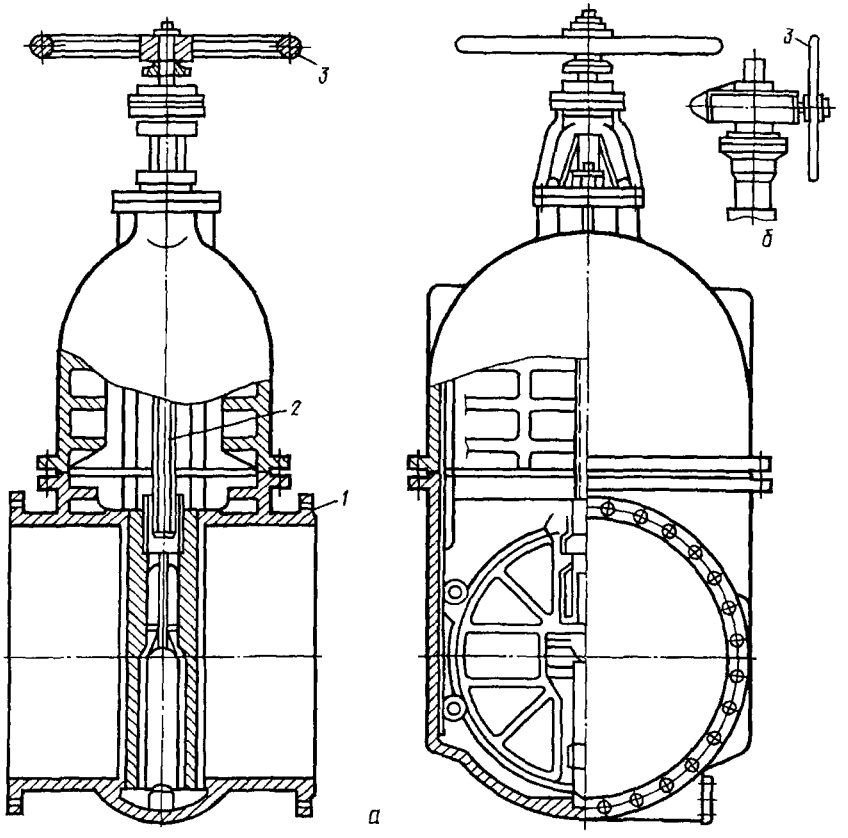


Рис. 6.11. Параллельные задвижки с невыдвижным шпинделем на давленне p_y = 1 МПа:

а — без редуктора; *б* — с редуктором; *1* — корпус; *2* — шпиндель; *3* — штурвал

му потери напора в них незначительны. Например, при скорости движения воды $v = 5$ м/с и $\xi = 0{,}08$ потери напора $h = \xi v^2/2g = 0{,}08 \cdot 25/19{,}6 \approx 0{,}1$ м.

При закрытии задвижек гидравлическое сопротивление увеличивается неравномерно — мало изменяется в начальной стадии и резко возрастает в конце закрытия. Это приводит в отдельных случаях к значительным повышениям давления — гидравлическим ударам (см. разд. 7.7). Поэтому приходится или увеличивать время закрытия задвижек, или закрывать их неравномерно, что осложняет схему механического привода.

Задвижки не рассчитаны на работу в положении частичного от-

6.1. Основные размеры и масса параллельных задвижек для различных диаметров условных проходов

Размер и масса	D_y, мм												
	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600	800	1000	1200
L, м	230	255	280	330	450	500	550	600	700	800	1000	1200	1400
H, м:													
с ручным приводом	517	630	715	897	1084	1265	1290	1660	1205	1695	2250	—	—
с электрическим приводом	685	—	870	1095	1285	1465	—	1890	—	—	—	—	—
с гидравлическим приводом	685	—	805	1050	1185	1340	—	1690	1690	1700	2215	1600	3295
Масса, кг:													
с ручным приводом	39,5	58,4	77	125	179	253	444	360	821	1255	2650	—	—
с электрическим приводом	49,7	—	82	164	216	305	—	520	—	—	—	—	—
с гидравлическим приводом	75	—	112	183	242	310	—	500	899	1233	2880	4329	7810

Примечание. Задвижки диаметрами 100...400 и 500...1200 мм соответственно с выдвижным и невыдвижным шпинделями.

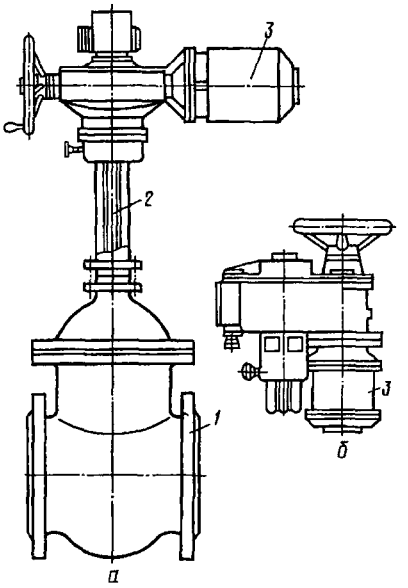


Рис. 6.12. Параллельная задвижка с электроприводом на давление p_y = 0,25... 6,4 МПа (диаметр 100...1200 мм):

а — на диаметр 100...1200 мм; *б* — 100...150 мм; *1* — корпус; *2* — шпиндель; *3* — электропривод

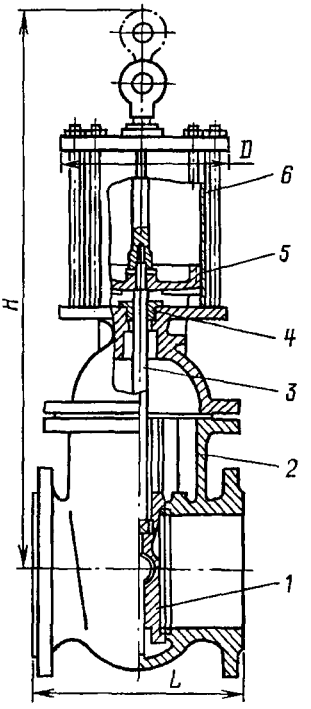


Рис. 6.13. Параллельная задвижка с гидравлическим приводом на давление 1 МПа:

1 — запорный диск; *2* — корпус; *3* — шпиндель; *4* — сальник; *5* — поршень; *6* — цилиндр

6.2. Осиовные размеры и масса клиновых задвижек с укороченной строительиой длиной для различных диаметров условных проходов

Размер и масса	D_y, мм							
	200	300	400	500	600	800	1000	1200
L, мм	230	270	310	310	350	390	470	630
H, мм	1020	1425	1711	2190	2515	3290	3980	4670
Масса, кг	89	173	237	406	535	991	1252	1800

Примечание. Задвижки диаметром 200...600 и 800...1200 мм выпускают на давление соответственно 0,6 и 0,25 МПа.

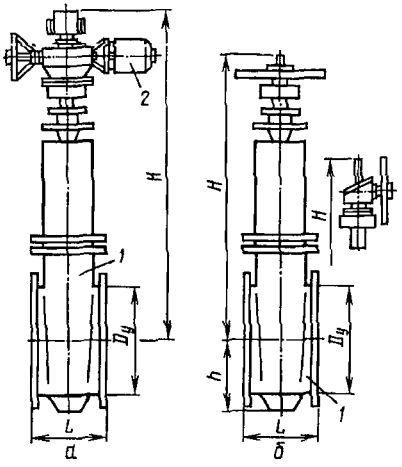


Рис. 6.14. Клиновая задвижка с невыдвижным шпинделем фланцевая укороченной длины на давление 0,25 МПа:

а — с электроприводом; *б* — с ручным управлением; *1* — корпус; *2* — электропривод

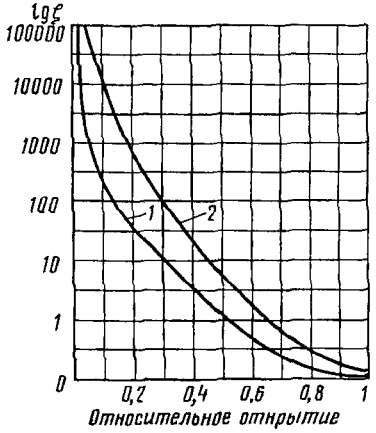


Рис. 6.15. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления ξ от степени открытия задвижки (*1*) и дискового затвора (*2*) диаметром 200 мм

крытия, поэтому их не следует использовать для регулирования насосов.

Дисковые поворотные затворы. В последние годы они получили широкое распространение ввиду меньших размеров, массы и стоимости по сравнению с задвижками. Гидравлическое сопротивление затворов при их закрытии изменяется значительно равномернее, чем у задвижек (рис. 6.15). В положении полного открытия коэффициент гидравлического сопротивления затворов несколько больше, чем у задвижек, и составляет 0,1...0,2.

Испытания затворов показали, что надежность их не ниже, чем у задвижек. Поэтому, если ранее рекомендовали использование затворов лишь при больших диаметрах труб (более 1000 мм), то теперь рекомендуют устанавливать их и при значительно меньших диаметрах.

Поворотные затворы выпускают двух типов: с уплотнением по диску и по корпусу. В затворах с уплотнением по диску герметизации достигают, прижимая резиновое уплотнительное кольцо, закрепленное в канавке диска, к седлу корпуса, а в затворах с уплотнением по корпусу — вдавливая диск в резиновую манжету, закрепленную в корпусе затвора.

Затворы с уплотнением по корпусу, так же как и задвижки, обеспечивают двустороннюю герметизацию, а затворы с уплотнением по диску (существующие конструкции) — лишь односто-

роннюю при направлении потока к диску со стороны вала. При направлении потока воды в противоположную сторону уплотнительное кольцо отжимается от уплотнительного седла, и между ними образуется кольцевой зазор. Однако, с одной стороны, протечка незначительная, а с другой — затворы внутристанционных коммуникаций используют для отключения насосов лишь при направлении движения воды в одну сторону (во всасывающих — от водоисточника к насосу, а в напорных — в направлении, противоположном нормальному).

Дисковые поворотные затворы (табл. 6.3) выпускают диаметром от 100 до 2800 мм в двух исполнениях: фланцевые и бесфланцевые (с концами под приварку). Затворы больших диаметров изготавливают только с уплотнением по диску (рис. 6.16, *а*).

6.3. Основные размеры и масса дисковых фланцевых затворов для различных диаметров условного прохода

Основные размеры и масса	D_y, мм					
	100	150	200	300	400	500
L, мм	52	62	90	220	240	270
H, мм	2/325	—/312	465/395	600/500	600/515	600/—
Масса, кг	—/31	—/38	71/57	145/180	350/228,5	470/—

Продолжение

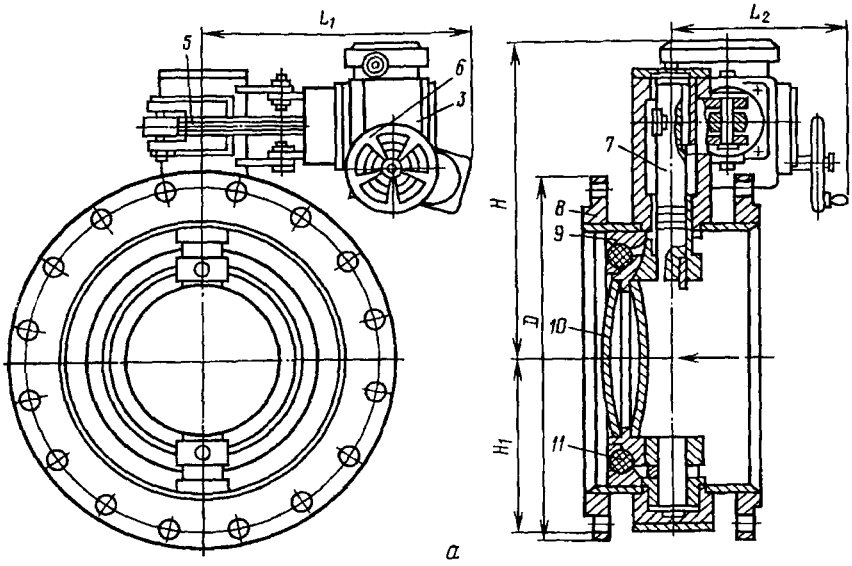
Основные размеры и масса	D_y, мм					
	600	800	1000	1200	1400	1600
	300	400	450	500	500	675
	600/815	750/883	750/1023	—/1686	—/2015	—/2100
Масса, кг	520/445,5	920/943	1830/1338	—/2235	—/3793	—/4987

Примечания: 1. Числитель — дисковые фланцы с гидравлическим приводом, знаменатель — с ручным и электрическим. 2. Масса затворов с D_y = 300...1600 мм указана с электрическим приводом. Гидравлический привод затворов p_y = 0,25 МПа.

Как у задвижек с электрическим приводом, у затворов предусмотрена возможность их открытия и закрытия вручную.

Для закрытия дисковых затворов на напорных линиях насосов при аварийных отключениях электропитания для предотвращения опорожнения трубопроводов и длительного реверсивного вращения роторов насосных агрегатов используют гидравлический привод.

Затворы с гидравлическим приводом (масляным), действующим от масляной напорной установки, выпускают весьма больших диаметров (до 2800 мм). Открытие таких затворов может быть



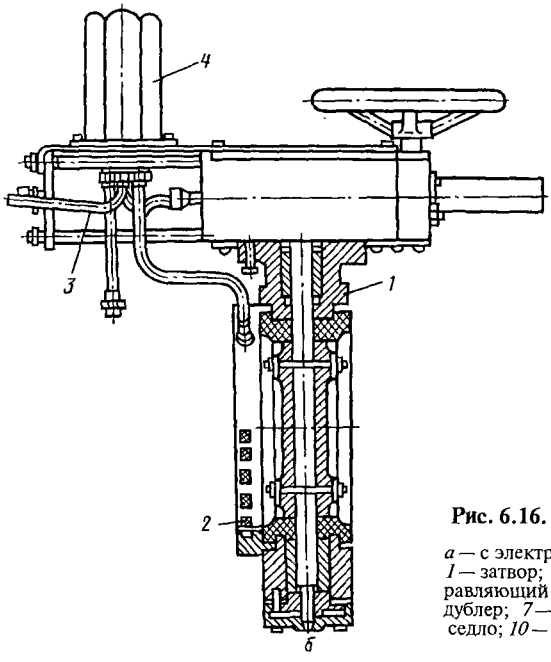


Рис. 6.16. Дисковый поворотный затвор:

а — с электроприводом; *б* — с гидроприводом; *1* — затвор; *2* — фильтр; *3* — привод; *4* — управляющий орган; *5* — шпиндель; *6* — ручной дублер; *7* — приводной вал; *8* — корпус; *9* — седло; *10* — диск; *11* — уплотнительное кольцо

затруднено из-за значительной разности давлений с обеих сторон. Для выравнивания давления перед открытием эти затворы оборудуют обводными линиями относительно небольшого диаметра.

Затворы с гидравлическим приводом новой конструкции изготавливают и относительно небольших диаметров: 150, 200, 300 мм (рис. 6.16, *б*). Эти затворы используют в качестве запорной, а также регулирующей арматуры закрытых оросительных систем.

Обратные клапаны. Предназначены для исключения движения воды по трубопроводам в направлении, противоположном нормальному, то есть для предотвращения опорожнения трубопроводов при отключении насосов и реверсивного вращения роторов насосных агрегатов.

Поток в обратном клапане перекрывается при закрытии диска (дисков) клапана, шарнирно закрепленного (закрепленных) в его корпусе.

В основном используют однодисковые обратные клапаны двух модификаций: с верхней подвеской диска (рис. 6.17, *а*) и с эксцентрично расположенной осью (рис. 6.17, *б*). Многодисковые обратные клапаны применяют редко ввиду ненадежности их работы (отрыв дисков).

По размерам обратные клапаны с эксцентрично расположенной осью (табл. 6.4) значительно меньше клапанов с верхней подвеской диска и практически не выходят за пределы наружного диа-

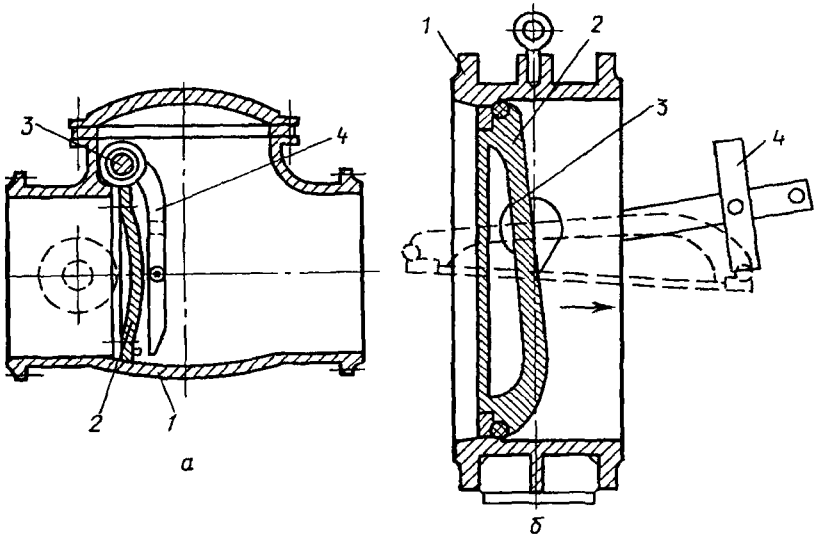


Рис. 6.17. Обратный клапан:

а — с верхней подвеской диска; *б* — с эксцентрично расположенной осью; *1* — корпус; *2* — тарель; *3* — ось; *4* — рычаг

6.4. Длина и масса обратных клапанов с эксцентричной подвеской дисков для различных диаметров условного прохода

Длина н масса	D_y, мм				
	100	150	200	250	300
L, мм	80	100	110	120	130
Масса, кг	17,7	31,2	41,4	52,5	45

Продолжение

Длина н масса	D_y, мм				
	400	500	600	800	1000
L, мм	170	200	240	350	400
Масса, кг	128	183	237	808	1176

метра трубопровода; их длина меньше диаметра, поэтому такие клапаны легче и дешевле клапанов с верхней подвеской. Производство последних значительно сокращено. Однако обратные клапаны с эксцентрично расположенной осью работают менее надежно, что объясняется следующим. При скоростях движения воды до 3...3,5 м/с диски обратных клапанов обеих модификаций открываются не полностью и при работе диск постоянно колеблется вокруг оси, вызывая пульсацию потока. У обратных клапанов с эксцентрично расположенной осью при таких колебаниях диск многократно ударяется об ограничитель его открытия, в результате чего срезаются стопорные болты, разрушаются цапфы и диск отрывается от полуосей.

При частичном открытии дисков обратных клапанов значительно увеличивается их гидравлическое сопротивление, причем для некоторых клапанов в определенном интервале скоростей потери напора с увеличением скорости даже уменьшаются (рис. 6.18). Поэтому при определении потерь напора во внутристанционных напорных коммуникациях надо в каждом конкретном случае учитывать степень открытия дисков обратных клапанов в зависимости от скорости движения воды в них.

При относительно небольших

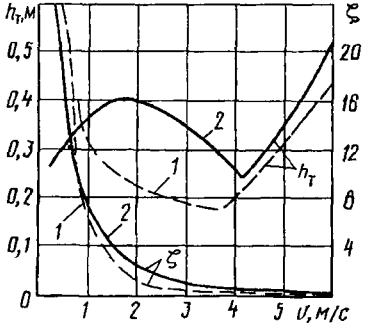


Рис. 6.18. Зависимость потерь напора $h_т$ и коэффициента гидравлического сопротивления ξ от скорости потока в обратном клапане (по А. Н. Рожкову):

1 — с эксцентрично расположенной осью; *2* — с верхней подвеской диска

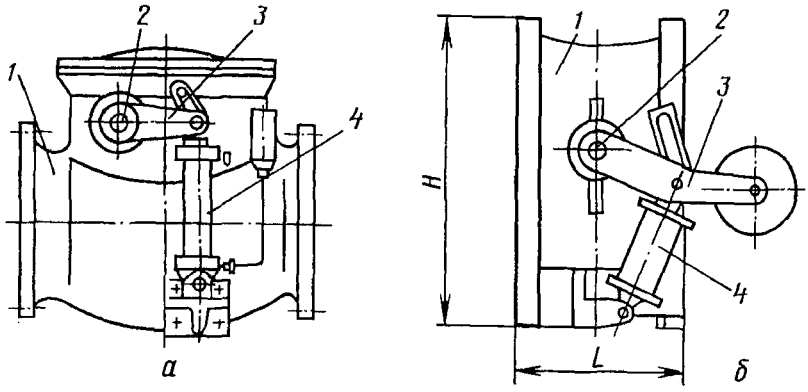


Рис. 6.19. Обратные клапаны с регулируемым закрытием диска:

а — с верхней подвеской диска; *б* — с эксцентрично расположенной осью; *1* — корпус; *2* — вал; *3* — рычаг; *4* – гидроцилиндр-демпфер

скоростях движения воды потери напора в обратных клапанах с верхней подвеской диска меньше, чем в клапанах с эксцентрично расположенной осью, что нужно помнить при выборе типа обратного клапана.

При установке обратных клапанов необходимо учитывать некоторое запаздывание закрытия их дисков при образовании движения потока воды в обратном направлении. При быстром изменении направления потока диск закрывается уже при движении воды в противоположном направлении, что приводит к возникновению механических и гидравлических ударов. В этих случаях воду частично сбрасывают через насосы, но для этого обратные клапаны необходимо оборудовать обводными линиями, диаметр которых составляет $^1/_3$...$^1/_5$ диаметра клапана, или устанавливать специальные обратные клапаны с регулируемым закрытием (рис. 6.19).

Регулирующая арматура. Предназначена для регулирования давления и расхода воды.

Практически используют лишь регуляторы давления «после себя» и «до себя». На насосных станциях применяют регуляторы «после себя», принцип работы которых заключается в увеличении гидравлического сопротивления устройства при возрастании давления до него сверх заданного значения.

Как уже было указано выше, отдельные виды регулирующих устройств выполняют на базе дисковых поворотных затворов, для чего последние оснащают регулирующими клапанами.

Монтажная арматура. Применяют при монтаже и демонтаже внутристанционных коммуникаций. В качестве монтажных вста-

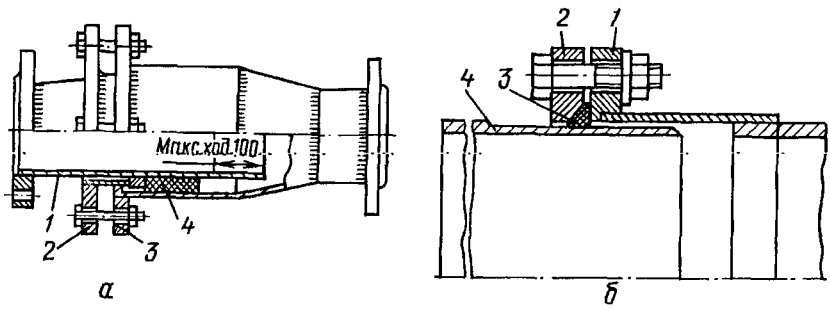


Рис. 6.20. Моитажные вставки:

а — типа сальникового компенсатора: *1, 3* — внутренний и наружный патрубки; *2* — фланец; *4* — сальниковая набивка; *б* — специальная конструкция, стальная, сварная: *1* — наружный патрубок; *2* — фланец; *3* — уплотнение; *4* — внутренняя труба

вок используют как сальниковые компенсаторы, так и специально изготовленную арматуру (рис. 6.20, табл. 6.5).

6.5. Среднее значение длины и масса сальниковых компеисаторов для различных диаметров условиого прохода

Среднее значение длины и масса	D_y, мм														
	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000	1200
L, мм	550	550	550	550	550	550	550	600	600	600	600	650	650	650	650
Масса, кг:															
при p_y = 0,6 МПа	40	40	74	97	114	136	159	202	223	274	334	423	479	528	626
» p_y = 1 МПа	44	53	76	103	120	148	179	222	245	312	388	496	552	649	897

6.6. ПРИМЕРЫ ВНУТРИСТАНЦИОННЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Компоновка зданий насосных станций четырех различных типов и определение их габаритов с учетом размеров трубопроводной арматуры были описаны в разделе 5.5. В данном параграфе в основном рассматривают подбор трубопроводной арматуры на конкретных примерах.

Пример 1. РАССЧИТАТЬ ВНУТРИСТАНЦИОННЫЕ КОММУНИКАЦИИ В ЗДАНИИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ НАЗЕМНОГО ТИПА С ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ

Исходные данные: внутристанционные коммуникации с четырьмя всасывающими линиями (по числу устанавливаемых насосов марки Д800-57), на которых трубопроводная арматура отсутствует, и четырьмя напорными линиями, на каждой из которых установлены в следующей последовательности: монтажная вставка, обратный

клапан и задвижка. Эти линии попарно присоединяют к двум напорным трубопроводам.

Порядок расчета. Принимают диаметр всасывающих стальных трубопроводов $D_в = 400$ мм; при расчетном расходе $Q_р = 200$ л/с скорость движения воды в них $v_в = 1{,}5$ м/с.

Диаметр всасывающих патрубков, устанавливаемых на станции насосов Д800-57, $d_в = 300$ мм, поэтому предусматривают переход в виде одностороннего конуса (конфузора), длина которого принята $l_к = 4(D_в - d_в) = 4(0{,}4 - 0{,}3) = 0{,}4$ м. Всасывающие трубопроводы прокладывают к насосам с подъемом (уклон 0,01).

Диаметр напорного патрубка насоса Д800-57 $d_н = 250$ мм. При расчетном расходе скорость движения воды в нем относительно невелика и составляет 3,76 м/с, поэтому трубопроводную арматуру принимают такого же диаметра.

Расчетное давление в соответствии со значениями: максимального напора насоса $H_н^{max} = 68$ м, отметки максимального уровня воды в источнике, равной 3 м, и отметки напорной линии, равной 4,8 м, $p_н = 0{,}01(68 + 3 - 4{,}8) = 0{,}66$ МПа.

В качестве монтажной вставки используют сальниковый компенсатор на условное давление 1 МПа. При диаметре 250 мм его наибольшая длина 0,6 м, наименьшая — 0,5 м; для расчетов принимают среднюю длину — 0,55 м.

Обратный клапан принимают на условное давление $p_у = 1$ МПа, однодисковый с эксцентрично расположенной осью длиной $l_{ок} = 0{,}19$ м; условное обозначение 19ч16р.

В данном случае в качестве средства защиты от гидравлического удара, возникающего при аварийном отключении электропитания двигателей насосов, воду частично сбрасывают через насосы при использовании обводной линии диаметром $d_{обв} = 75$ мм к обратному клапану. Для присоединения обводной линии к напорной предусматривают два патрубка с фланцами, которые устанавливают до и после обратного клапана; длину патрубков принимают 0,4 м.

В качестве запорной арматуры устанавливают параллельную задвижку с выдвижным шпинделем с электроприводом на давление 1 МПа длиной $l_з = 0{,}45$; условное обозначение 30ч906бр.

Диаметр напорной линии принят $D_н = 300$ мм. При расчетном расходе скорость движения в ней $v_н = 2{,}63$ м/с. От диаметра 250 мм к диаметру 300 мм переходят с помощью диффузора длиной $l_д = 6(0{,}3 - 0{,}25) = 0{,}3$ м.

Напорные линии к напорному трубопроводу присоединяют за пределами здания насосной станции.

Для прохода напорных и всасывающих линий через стены здания насосной станции используют сальниковые уплотнения без нажимного устройства.

Пример 2. РАССЧИТАТЬ ВНУТРИСТАНЦИОННЫЕ КОММУНИКАЦИИ В ЗДАНИИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ КАМЕРНОГО ТИПА С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ

Исходные данные: внутристанционные коммуникации те же, что и в примере 1, состоящие из всасывающих (подводящих) линий, на которых в этом случае необходимо установить запорную арматуру и монтажные вставки, и напорных линий, на которых устанавливают монтажные вставки, обратные клапаны и задвижки.

В примере 2 рассмотрены два вида компоновок узла насосной станции — раздельная и совмещенная. Внутристанционные коммуникации (см. рис. 5.2) для этих двух вариантов компоновок отличаются только длинами всасывающих и напорных линий, которые для совмещенной компоновки различны.

Порядок расчета. Принимают диаметр всасывающих стальных трубопроводов $D_в = 1800$ мм. При расчетном расходе 0,7 м^3/с скорость движения воды в них $v_в = 1{,}38$ м/с.

Диаметр всасывающих патрубков, устанавливаемых на станции насосов, Д3200-75, $d_в = 600$ мм; скорость движения воды в них при расчетном расходе $v_в = 2{,}35$ м/с, поэтому диаметр запорной арматуры также равен 600 мм.

В связи с этим на всасывающем трубопроводе до установки арматуры предусматривают стальной сварной переход (конфузор) длиной $l_к = 4(D_в - d_в) = 4(0,8 - 0,6) = 0,8$ м.

В качестве запорной арматуры принимают клиновую задвижку с укороченной длиной на давление $p_у = 0,25$ МПа. Задвижка с выдвижным шпинделем с конической передачей; длина ее при диаметре $d = 600$ мм составляет $l_з = 0,39$ м; условное обозначение 30с14нж1 (фактически давление во всасывающей линии не будет превышать 0,02 МПа).

Монтажная вставка принята в виде сальникового компенсатора на давление 0,6 МПа; при диаметре 600 мм ее средняя длина 0,6 м.

Расчетное давление в напорной линии насоса в соответствии со значениями: максимального напора насоса $H_н^{max} = 54$ м, отметки максимального уровня в водоисточнике, равной 2,5 м, и отметки напорной линии, равной 1,692, $p_н = 0,01(54 + 2,5 + 1,692) = 0,58$ МПа.

Диаметр напорного патрубка насоса Д3200-75 $d_н = 500$ мм; при расчетном расходе 0,7 м^3/с скорость движения воды в нем 3,34 м/с, поэтому трубопроводную арматуру принимают также диаметром 500 мм.

В качестве монтажной вставки используют сальниковый компенсатор на условное давление 0,6 МПа средней длиной 0,6 м при диаметре 500 мм.

Обратный клапан принимают на условное давление 0,6 МПа однодисковым; его длина при диаметре 500 мм составляет 0,2 м; условное обозначение 19ч16р5.

В качестве запорной арматуры устанавливают параллельную задвижку с невыдвижным шпинделем с электроприводом на давление 1 МПа; ее длина при диаметре 500 мм равна 0,7 м; условное обозначение 30ч915бр.

Диаметр напорных линий насосов принимают 600 мм; при расчетном расходе скорость движения воды в них 2,35 м/с. От диаметра 500 мм к диаметру 600 мм переходят с помощью диффузора длиной $l_д = 0,6(0,6 - 0,5) = 0,6$ м.

К напорным трубопроводам напорные линии присоединяют за пределами насосной станции.

Пример 3. РАССЧИТАТЬ ВНУТРИСТАНЦИОННЫЕ КОММУНИКАЦИИ В ЗДАНИИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ

Исходные данные: даны два варианта здания насосной станции — камерного и блочного типов (см. разд. 5.6).

Внутристанционные коммуникации включают подводящие и напорные линии, причем последние для обоих вариантов одинаковые.

Для здания камерного типа подводящая линия состоит из стального сварного перехода (конуса) от диаметра входного отверстия всасывающей (подводящей) линии $D_{вх} = 1600$ мм к диаметру $D_в = 1200$ мм, запорной арматуры, монтажной вставки и стандартного колена, диаметр которого изменяется от 1200 до 900 мм (диаметр входа в насос 80ВЦ-2,5/40).

Длину перехода от $D_{вх} = 1600$ мм к $D_в = 1200$ мм принимаем $l_д = 4(D_{вх} - D_в) = 4(1,6 - 1,2) = 1,6$ м.

В качестве запорной арматуры устанавливают клиновую задвижку на давление 0,25 МПа укороченной длины с выдвижным шпинделем и конической передачей; длина ее при диаметре 1200 мм — 0,63 м, условное обозначение 30с514нж1.

Монтажной вставкой служит сальниковый компенсатор на давление 0,6 МПа, средняя длина которого при диаметре 1200 мм равна 0,65 м.

Для здания насосной станции блочного типа подводящие трубы принимают с коленчатым подводом, расширенным в плане, а размеры в зависимости от диаметра входного патрубка насоса 80ВЦ-25/40, равного 900 мм.

Диаметр напорного патрубка насосов 80ВЦ-25/40 $d_н = 800$ мм; при расчетном расходе 2,1 м^3/с скорость движения воды в нем $v_н = 4,14$ м/с, поэтому трубопроводную арматуру принимают также диаметром 800 мм.

Расчетное давление в напорной линии насоса в соответствии со значениями: мак-

симального напора насоса $H_{н}^{max} = 35$ м, отметки максимального уровня в водоисточнике 30,00 и отметки напорной линии 26,00 $p_{н} = 0{,}01(35 + 30 - 26) = 0{,}39$ МПа.

Монтажной вставкой служит сальниковый компенсатор на давление 0,6 МПа, средняя длина которого 0,65 м.

Обратные клапаны в данном случае не устанавливают.

В качестве запорной арматуры принимают дисковые поворотные затворы на давление 0,6 МПа с электроприводом при диаметре 800 мм, длиной $l_{з} = 0{,}4$ м, условное обозначение которых 32с908р.

Диаметр напорных линий насосов принимают $D_{н} = 1000$ мм; при расчетном расходе $Q_{р} = 2{,}1$ м^3/с скорость движения воды в них $v_{н} = 2{,}67$ м/с.

От диаметра $d_{н} = 800$ мм к диаметру $D_{н} = 1000$ мм переходят с помощью диффузора, длину которого принимают $l_{д} = 6(D_{н} - d_{н}) = 6(1{,}0 - 0{,}8) = 1{,}2$ м.

Напорные линии к напорным трубопроводам присоединяют за пределами здания насосной станции.

Пример 4. РАССЧИТАТЬ ВНУТРИСТАНЦИОННЫЕ КОММУНИКАЦИИ В ЗДАНИИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ БЛОЧНОГО ТИПА С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ОСЕВЫМИ НАСОСАМИ

В этом случае внутристанционные коммуникации наиболее просты.

Подводящие линии принимают с камерным подводом; размеры их определяют в соответствии с диаметром рабочего колеса насоса ОПВ2-87, равным 870 мм.

Напорные коммуникации включают отвод с углом 30° (отвод насоса под углом 60°) и переход от напорного патрубка насоса 1010 мм к диаметру напорного трубопровода 1400 мм, выполненного в виде диффузора, длину которого принимают $l_{д} = 6(1{,}4 - 1{,}0) = 2{,}4$ м.

Глава 7
НАПОРНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

●

7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Напорные трубопроводы предназначены для подачи воды от насосных станций до водовыпускных сооружений или до мест отбора воды из системы водоподачи. Протяженность напорных трубопроводов может составлять от нескольких десятков метров до десятков километров. При большой протяженности напорных трубопроводов их стоимость может превышать стоимость насосной станции со всем оборудованием, поэтому особенно важен правильный выбор прочностных показателей трубопроводов, зависящих от материала и толщины стенок труб (см. также разд. 7.7). Напорные трубопроводы проектируют в соответствии со СНиП 2.04.02—84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» и ВСН «Мелиоративные системы и сооружения. Насосные станции. Нормы проектирования».

Напорные трубопроводы мелиоративных насосных станций прокладывают в основном из железобетонных (сборных и монолитных), стальных и асбестоцементных труб. Чугунные трубы применяют в мелиорации относительно редко из-за высокой их стоимости и значительной массы. Не получили широкого распространения пока и пластмассовые трубы.

Сборные железобетонные трубы применяют при диаметрах 500...1600 мм и давлении до 1,5 МПа (при использовании труб со стальным сердечником давление может быть увеличено до 3 МПа). Монолитные железобетонные трубы применяют при давлении до 0,5 МПа и практически при любых диаметрах (обычно значительных).

Асбестоцементные трубы используют при диаметрах 100...500 мм и давлении в них до 1,5 МПа (практически при более низких давлениях, см. разд. 7.4).

Стальные трубы можно использовать для любых диаметров и давлений, но в связи с дефицитностью стали их применяют лишь в тех случаях, когда другие трубы использовать нельзя. Все трубопроводы, кроме стальных, прокладывают только в грунте. Стальные трубопроводы могут быть проложены как в грунте, так и открыто.

Первый этап проектирования — выбор трассы напорного тру-

бопровода. При этом необходимо соблюдать следующие условия:

трасса должна проходить на устойчивых к оползанию участках местности;

трубопровод целесообразно прокладывать с непрерывным подъемом, участки с обратным уклоном допускаются как исключение;

для опорожнения напорных трубопроводов их необходимо прокладывать с уклоном не менее 0,001 по направлению к выпуску;

желательно избегать поворотов трассы трубопровода в плане и вертикальной плоскости.

В переломных точках профиля трубопроводов во избежание скопления воздуха устанавливают вантузы. Конструкции вантузов для выпуска воздуха показаны на рисунке 7.1.

Земляные работы по рытью и засыпке траншей и котлованов проводят в соответствии с требованиями СНиП IV-5—82 «Земляные сооружения» и СНиП 2.04.02—84 (см. выше).

Каждую трубу при укладке на естественное основание во избежание неравномерной осадки опирают по всей длине, кроме ее части в приемках, на ненарушенный грунт, поэтому при рытье траншей грунт с их дна недобирают до проектной отметки. Недоборы грунта зачищают непосредственно перед укладкой труб, как правило, механизированным способом. При переборах грунта перед укладкой труб в траншею его подсыпают до проектной отметки, однородного с основанием траншеи с соответствующим уплотнением. При прокладке подземных трубопроводов на естественном основании применение каких-либо подкладок под трубы для их выравнивания не допускается. Приямки для монтажа и заделки

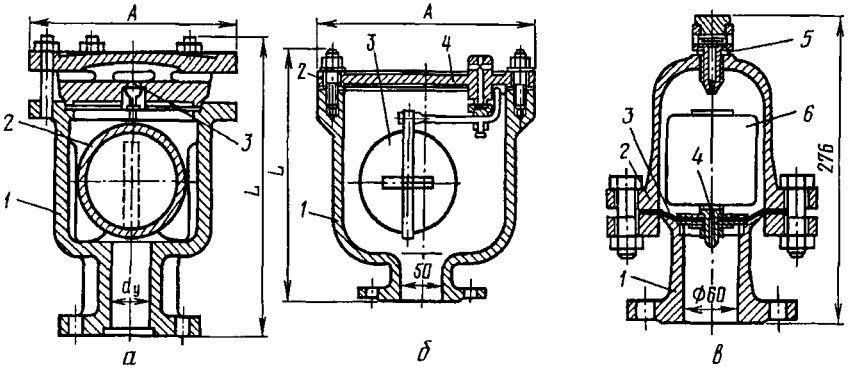


Рис. 7.1. Вантузы для выпуска воздуха:

а — шаровой: *1* — корпус; *2* — шар; *3* — втулка; *б* — рычажный: *1* — корпус; *2* — крышка; *3* — шар-поплавок; *4* — тарель; *в* — мембранный: *1* — подводящий патрубок; *2* — корпус; *3* — мембрана; *4* — дроссель; *5* — отверстие клапана; *6* — поплавок

стыковых соединений труб диаметром до 300 мм допускается отрывать перед установкой каждой трубы, а более 300 мм — за 1...2 сут до укладки труб в траншею с учетом фактической длины труб. Размеры приямков: для железобетонных труб длина 1 м, ширина и глубина при D до 600 мм — $D + 0{,}5$ м и 0,3 м, а при D более 600 мм — $D + 1$ м и 0,4 м; для асбестоцементных труб длина 0,5 м, ширина $D + 0{,}2$ м и глубина 0,3...0,6 м — при соединении с помощью чугунных муфт и 0,2 м — с помощью муфт САМ (см. раздел 7.4).

Крутизна откосов траншей, а также крепление вертикальных бортов зависят от гидрогеологических условий. При глубине траншей до 5 м крутизну откосов принимают по таблице 7.1.

7.1. Рекомендуемая крутизна откосов траншей глубиной до 5 м для различных грунтов

Грунт	Глубина выемки	
	более 3 м	менее 3 м
Насыпной песок, гравий	1 : 1,25/1 : 1,5	1 : 1,5/1 : 2
Супесь	1 : 0,67/1 : 1	1 : 1/1 : 1,5
Суглинок	1 : 0,67/1 : 1	1 : 0,75/1 : 1,5
Глина	1 : 0,5/1 : 0,75	1 : 0,67/1 : 1,25
Лёсс	1 : 0/1 : 0,5	1 : 0/1 : 0,5

Примечание. Числитель — для засыпаемых трубопроводов, знаменатель — для открытых.

Для отвода ливневых и фильтрационных вод вдоль трассы трубопроводов предусматривают дренаж: открытый для стальных незасыпных трубопроводов и трубчатый в каменной отсыпке для трубопроводов, укладываемых в грунте.

Траншеи засыпают слоем 0,15...0,2 м с поливом и тщательным трамбованием пазух. Высота утрамбованной части засыпки должна быть не менее 0,2...0,25 м над верхом трубы. Минимальная высота засыпки над верхом трубы 0,8 м (стальные трубопроводы диаметром до 500 мм можно засыпать без трамбования; в местах пересечения дорог трубопроводы засыпают с трамбованием до поверхности земли).

Смещение трубопроводов в результате односторонней засыпки или неравномерного трамбования недопустимо.

Монтируют трубопроводы из укрупненных, предварительно заготовленных звеньев, массу которых согласовывают с грузоподъемностью подъемно-транспортного оборудования.

При открытой прокладке стальных трубопроводов на катках отклонение от прямолинейной оси между неподвижными опорами не должно превышать 5 мм на каждые 10 м длины трубопровода, а на весь участок — не более 50 мм в горизонтальной плоскости и не более 10 мм в вертикальной.

Асбестоцементные и железобетонные сборные трубы должны допускать поворот в стыках при диаметрах труб до 500 мм до 2°, а при больших диаметрах — до 1°.

Прокладку трубопроводов, как правило, начинают с участков пониженных и наиболее удаленных от склада труб. В первую очередь на тех участках, где поблизости расположены действующие напорные трубопроводы, чтобы использовать первые уложенные участки трубопроводов для испытания следующих участков. При этом испытуемые участки подключают к таким действующим напорным трубопроводам, которые могут обеспечить необходимый напор для испытания трубопровода.

При прокладке трубопроводов раструбного типа (чугунных и железобетонных сборных, см. раздел 7.3) трубы укладывают в траншею по ходу укладки трубопровода раструбами вперед.

При параллельной прокладке нескольких напорных трубопроводов расстояние между наружными поверхностями труб принимают из условий проведения работ. Расстояние между трубопроводами принимают таким, чтобы не было подмыва соседнего с ним трубопровода при аварии, а именно: 0,7 м при диаметре труб до 400 мм, 1 — при диаметре 400...1000, 1,5 м при диаметре более 1000 мм.

При подземной прокладке расстояние в плане от трубопроводов до зданий и сооружений принимают не менее: до фундаментов зданий, сооружений, путепроводов — 5 м; до ограничения опор контактной сети и связи — 1,5 м; до оси крайнего пути железной дороги — 4 м, но не менее глубины траншеи от подошвы насыпи до бровки выемки; до фундаментов опор воздушных линий электропередачи напряжением до 1 кВ и наружного освещения — 1 м; то же, от 1 до 35 кВ — 2 м; то же, более 110 кВ — 3 м.

Лазы для периодического осмотра внутренних поверхностей трубопроводов, как правило, не предусматривают, за исключением открытых стальных трубопроводов бóльших диаметров, но при наличии специального обоснования.

После выбора трассы напорных трубопроводов назначают число ниток. При протяженности напорных трубопроводов до 100 м число ниток принимают равным числу установленных на станции насосов. При протяженности трубопроводов от 100 до 300 м объединение нескольких ниток в одну должно быть обосновано технико-экономическим расчетом (для осевых насосов такое объединение обычно нецелесообразно). При протяженности трубопроводов более 300 м объединение обязательно. На напорных трубопроводах мелиоративных насосных станций переключение между нитками не предусматривают.

Экономический диаметр трубопроводов принимают на основании технико-экономических расчетов (см. гл. 9). Расчет совместной работы насосов и трубопроводов проводят не менее чем для трех случаев:

при максимальной подаче воды насосами при наибольшем возможном геометрическом подъеме воды;

при среднекубическом расходе воды в трубопроводах;

при подаче воды одним насосом при самом неблагоприятном сочетании уровней воды в водоисточнике и водоприемнике.

7.2. ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Железобетонные трубопроводы могут быть сборными и монолитными. Наиболее часто напорные трубопроводы прокладывают из сборных железобетонных труб, которые изготавливают методами виброгидропрессования на рабочее давление 1...1,5 МПа и центрифугирования на рабочее давление до 1 МПа.

Сборные железобетонные трубы подразделяют на три класса: I, II, III. Трубы I класса предназначены для прокладки трубопроводов с расчетным внутренним давлением до 1,5 МПа, II — до 1, III — до 0,5 МПа. На заводах-изготовителях трубы I класса испытывают давлением 1,8 МПа, II — 1,3, III — 0,8 МПа. Диаметр сборных железобетонных труб 500...1600 мм, длина 5000 мм.

Соединение железобетонных труб раструбное. Стыки уплотняют резиновыми кольцами круглого сечения (рис. 7.2). Упор *3* препятствует выдавливанию уплотнительного резинового кольца *4* и раструбной щели при воздействии на него внутреннего гидравлического давления. Гибкий стык допускает взаимное смещение труб в продольном направлении до 5 мм и прогиб в стыке до 1,5°.

Железобетонные трубы с фланцевой арматурой и фасонными частями соединяют с помощью стальных вставок. Для соединения с фланцевой арматурой предназначены втулка-фланец (ВВФ) и

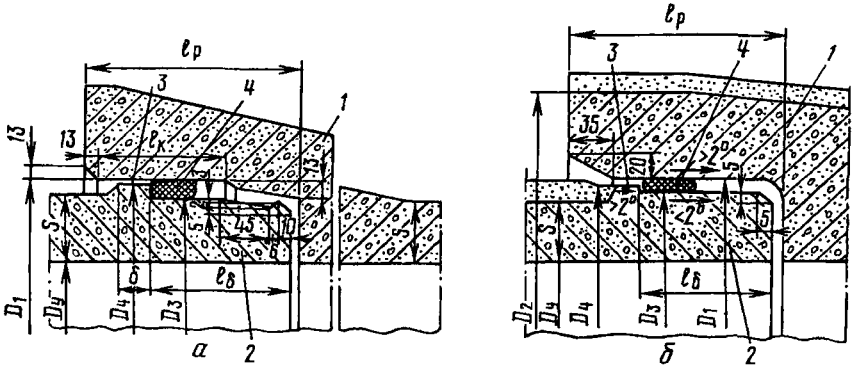


Рис. 7.2. Раструбные соединения железобетонных сборных труб:

а — виброгидропрессованных; б — центрифугированных; 1, 2 — раструбный и цилиндрический концы труб; 3 — упор; 4 — уплотнительное кольцо

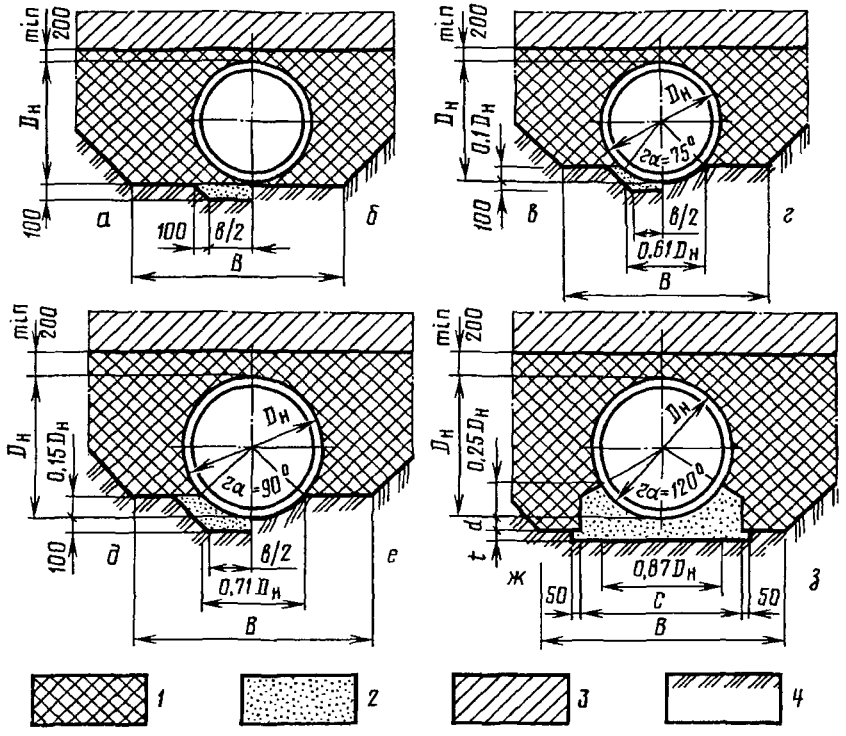


Рис. 7.3. Способы опирания железобетонных труб на грунт:
а, б — плоское основание с песчаной подушкой и без нее; *в, г* — спрофилированное грунтовое основание с песчаной подушкой и без нее; *д, е* — спрофилированное грунтовое основание с углом охвата 90° с песчаной подушкой и без нее; *ж, з* — бетонный фундамент с углом охвата 120° с песчаной подушкой и без нее; *1* — засыпка местным грунтом с нормальной и повышенной степенью уплотнения; *2* — песчаная подушка; *3* — засыпка местным грунтом без уплотнения; *4* — естественный грунт

раструб-фланец (ВРФ), а для соединения с чугунными раструбами фасонными частями, стальными фасонными частями и чугунными трубами — втулка-гладкий конец (ВВГ) и раструб-гладкий конец (ВРГ).

При прокладке сборных железобетонных трубопроводов в зимнее время траншеи засыпают сразу же после укладки труб талым грунтом на высоту не менее 0,5 м над верхом трубы. Возможны различные виды опирания сборных железобетонных трубопроводов на грунт (рис. 7.3). Монолитные железобетонные трубопроводы могут быть трех типов: из обычного монолитного железобетона, с предварительно напряженной арматурой и со стальным сердечником.

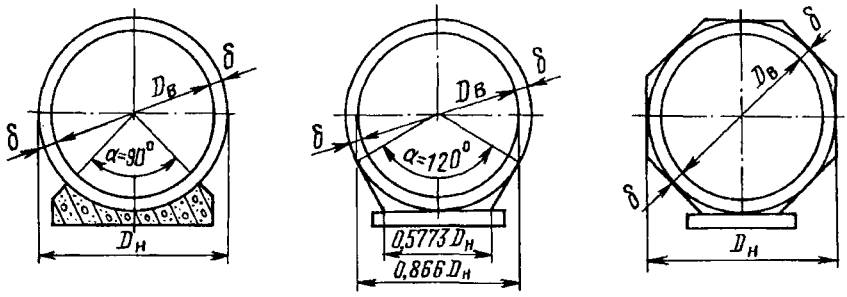


Рис. 7.4. Рекомендуемые сечения труб из монолитного железобетона

Поперечное сечение монолитных железобетонных трубопроводов, как правило, принимают круглым.

Для упрощения опалубки и удобства бетонирования наружную поверхность труб делают с уширением в нижней части трубы (рис. 7.4).

Толщину стенок труб, см, ориентировочно можно определить по формуле

$$\delta = 5 + 0{,}08D_в + 0{,}2H_р, \qquad (7.1)$$

где $D_в$ — внутренний диаметр трубы, см; $H_р$ — расчетный напор, м.

Монолитные железобетонные трубы изготавливают из гидротехнического бетона класса 15; 20; 22; 25; 30. При наличии агрессивной среды применяют бетоны повышенной плотности на специальных цементах. Водонепроницаемость бетона принимают в зависимости от отношения максимального напора к толщине конструкции (от напорного градиента). При напорном градиенте до 5 марку бетона по водонепроницаемости принимают W-4, при 5...10 — W-6, при 10...12 — W-8 и при напорном градиенте более 12 — W-12. Для монолитных труб используют высокопрочную арматуру периодического профиля с расчетным пределом прочности не менее 350 МПа. Минимальный процент армирования для кольцевой арматуры 0,4 %, а для продольной распределительной —0,2 % от сечения бетона. Защитный слой принимают не менее 3 см.

Трубы армируют сварными каркасами, кольцевую рабочую арматуру выполняют одиночной при толщине стенок до 8 см и двойной при большей толщине. Внешнюю и внутреннюю кольцевую арматуру рекомендуют монтировать в общий каркас. Рабочую арматуру диаметром менее 12 мм делают в виде непрерывной спирали.

Диаметры спиральной и кольцевой арматуры определяют из условия расстояния между стержнями внутренней арматуры не более чем толщина стенки трубопровода (до 20 см). Расстояние меж-

ду стержнями внешней арматуры можно увеличивать на 10...30 % по сравнению с внутренней.

Как правило, стенки железобетонных монолитных трубопроводов не должны допускать образования трещин. В качестве гидроизоляции внутренних поверхностей может быть рекомендовано торкретирование с дополнительной затиркой и покрытием водонепроницаемыми шпаклевками на основе эпоксидных смол.

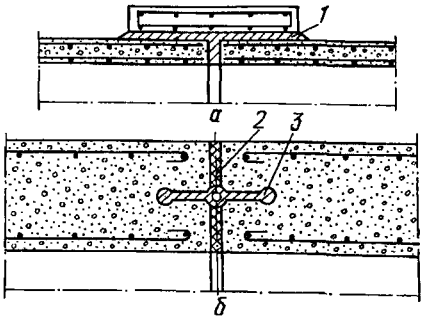


Рис. 7.5. Стыки монолитные железобетонных труб:

а — глухая железобетонная муфта; *б* — гибкий стык с помощью трехкулачковой резиновой шпонки; *1* — цементный раствор; *2* — битумные маты; *3* — профилированная резина

Подготовка под трубы сплошная из монолитного железобетона марки 100 толщиной не менее 100 мм или из асфальтобетона толщиной 50 мм. Для снижения напряжений, вызываемых температурно-усадочными деформациями и неравномерностью осадок основания, в железобетонных монолитных трубах предусматривают деформационные швы, конструкция которых должна обеспечить свободное перемещение торцов труб, соединяя секции без нарушения прочности и плотности соединения. Рекомендуемые конструкции деформационных швов показаны на рисунке 7.5. Причем глухую железобетонную муфту применяют также и для сборных железобетонных труб большого диаметра.

7.3. СТАЛЬНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Стальные трубопроводы, как уже было указано выше, можно прокладывать как в грунте, так и открыто. Засыпные стальные трубопроводы выполняют цельносварными без анкерных и промежуточных опор и компенсаторов. Однако для прокладки трубопроводов без анкерных и промежуточных опор необходимо, чтобы суммарные осевые усилия не превышали силы трения трубопровода о грунт. Для этого должно выполняться условие

$$\operatorname{tg}\alpha = f/k \text{ или } \operatorname{tg}\alpha < \operatorname{tg}\varphi,$$

где α — угол заложения основания трубопровода к горизонту, град; f — коэффициент трения материала труб о грунт основания, смоченного водой; k — коэффициент запаса устойчивости на скольжение (1,25...1,35); φ — угол внутреннего трения основания грунта.

Если трубопроводы с анкерными и промежуточными опорами

проектируют в грунте, их рассчитывают по методике открытых трубопроводов (см. далее).

Компенсаторы на стальных засыпных трубопроводах, уложенных в грунте, устанавливают практически только в местах резких изменений температуры и грунтовых условий, в местах их примыкания к массивным железобетонным конструкциям и в местах, определяемых требованиями проведения работ. В последнем случае после завершения строительства компенсаторы заваривают.

При проходе трубопроводов через стены сооружений предусматривают сальниковые уплотнения, которые должны обеспечивать возможность продольных и поперечных перемещений трубы не менее чем на ±4 мм за счет снятия уплотнения. Места врезок в напорные трубопроводы, тройники, развилки усиливают эллиптическими и круговыми кольцами, полукольцами, стежками. Необходимость увеличения толщины оболочки на поворотах и в тройниках определяют расчетом. Наружную поверхность стальных трубопроводов, проложенных в грунте, защищают от коррозии. Тип противокоррозийной защиты зависит от степени коррозийной активности грунта и наличия блуждающих токов в зоне прокладки трубопроводов. Для защиты от воздействия блуждающих токов, а также от почвенной коррозии рекомендуют использовать электрохимический способ — катодную поляризацию. Однако в связи с отдаленным расположением мест прокладки напорных трубопроводов мелиоративных систем от крупных населенных пунктов и промышленных объектов защита от блуждающих токов практически не требуется.

Трубы диаметром 1200 мм и более нуждаются в защите и внутренних поверхностей.

Открытые стальные трубопроводы чаще всего проектируют разрезными; при этом на каждом прямолинейном участке трубопровода, опирающемся на промежуточные опоры между двумя анкерными опорами, должен быть компенсатор (рис. 7.6).

Значительно реже открытые трубопроводы проектируют неразрезными — с гибким коленом и криволинейной осью. Неразрезные трубопроводы с гибким коленом применяют только там, где участок трубопровода используют в качестве коллектора для присоединения отводов к насосам. Неразрезные трубопроводы с криволинейной осью прокладывают при пересечении железных дорог, оврагов и рек шириной до 100 м.

Анкерные опоры предусматривают не реже чем через 200 м по длине открытых трубопроводов, а также во всех местах изменения направления трубопровода (рис. 7.7). В отдельных случаях при малых углах наклона трубопроводов расстояние между анкерными опорами может быть принято более 200 м; в этих случаях компенсатор располагают в середине пролета.

Минимальную длину заделки трубопровода в анкерную опору определяют из условия работы бетона на скалывание под действием

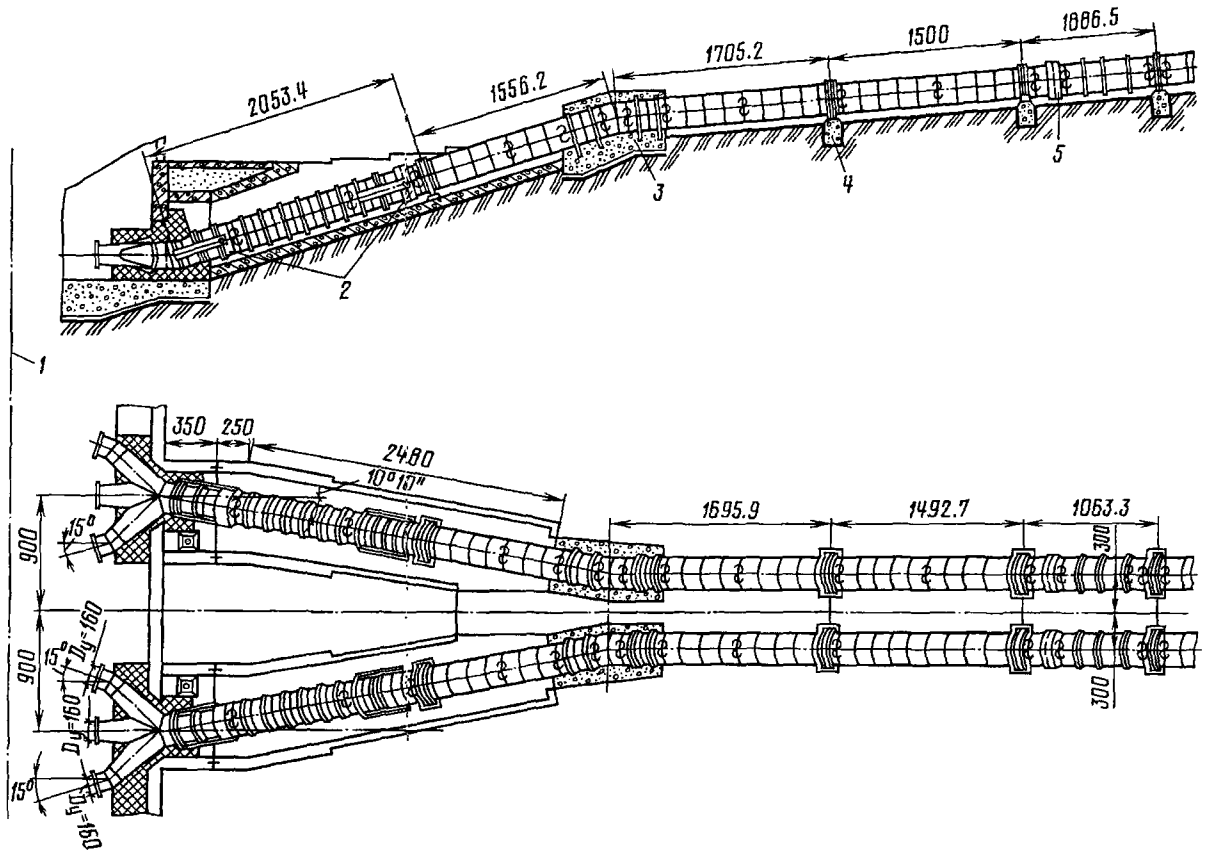


Рис. 7.6. Компоновка узла напорных стальных открытых трубопроводов насосной станции большой подачи (размеры в см):

1 — ось насосных агрегатов; *2* — температурно-осадочные компенсаторы; *3* — анкерная опора; *4* — промежуточная опора каткового типа; *5* — температурный компенсатор

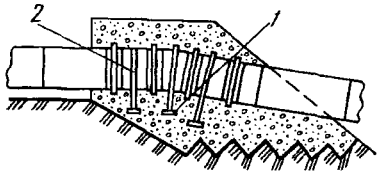


Рис. 7.7. Анкерная опора:

1 — анкер; *2* — хомут

осевых сил. Анкерные опоры рассчитывают на сумму сил, возникающих в результате воздействия на трубопровод температуры, трения воды о стенки трубопровода, гидростатического и гидродинамического воздействия воды в местах изменения сечения и на поворотах трубопровода, действующих одновременно в самом невыгодном сочетании для загружения опоры. Расчетные нагрузки на опору определяют для участка трубопровода длиной, равной анкерному пролету. При разрезной системе трубопровода фундамент опоры воспринимает нагрузку с верхнего участка от компенсатора до оси анкерной опоры и с нижнего участка от оси опоры до компенсатора.

На участках между анкерными опорами устраивают промежуточные, воспринимающие поперечные силы, действующие на трубопровод, и силы трения, возникающие при температурных перемещениях трубопровода. Расстояние между промежуточными опорами рассчитывают. Промежуточные опоры могут быть трех типов: седловые для трубопроводов диаметром до 1000 мм (рис. 7.8), кольцевые со скользящими опорными устройствами для

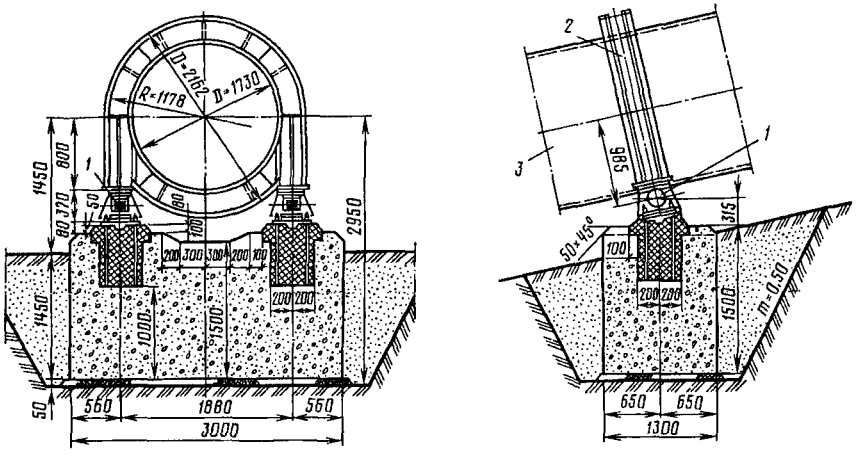


Рис. 7.8. Промежуточная опора каткового типа:

1 — катковая опора; *2* — опорное кольцо; *3* — напорный трубопровод

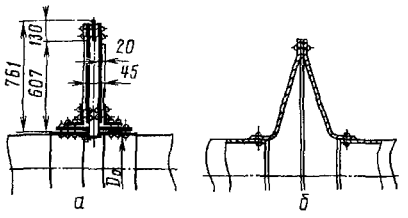


Рис. 7.9. Компенсаторы:

а — тарельчатый; *б* — линзовый

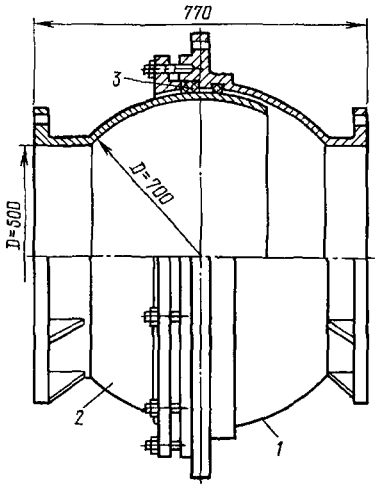


Рис. 7.10. Шаровой шарнир для соединения трубопроводов плавучей насосной станции:

1 — неподвижная часть; *2* — подвижная часть; *3* — сальниковая набивка

трубопроводов диаметром до 1600 мм и кольцевые с катковыми опорными устройствами для трубопроводов диаметром более 1600 мм (см. рис. 7.8). В конструкции промежуточной опоры предусматривают возможность регулирования положения трубопровода с помощью прокладок и клиновых устройств. Опорные кольца промежуточных опор должны опираться в двух точках. В катковых опорах обязательны промежуточные устройства для катков и упоры против перемещения трубопроводов в поперечном направлении. Компенсаторы могут быть сальникового типа (см. рис. 6.20, *а*), а при специальном обосновании — тарельчатые или линзовые (рис. 7.9, *а, б*); оболочку трубопровода при необходимости усиливают кольцами жесткости, расстояние между которыми рассчитывают. Кольца жесткости выполняют таврового сечения из листовой стали. Для проведения монтажных работ и возможности осмотра открытые трубопроводы прокладывают так, чтобы между низом трубы и поверхностью земли было не менее 0,6 м.

К стальным открытым трубопроводам могут быть отнесены также соединительные линии плавучих насосных станций. Их обычно выполняют однопролетными с шаровыми шарнирами (рис. 7.10). Такое соединение обеспечивает возможность перемещения плавучих насосных станций по высоте в значительных пределах.

7.4. АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Асбестоцементные трубы подразделяют на три класса: ВТ9, ВТ12 и ВТ15 для рабочих давлений соответственно 0,9; 1,2 и 1,5 МПа.

Рабочим давлением является максимальное гидравлическое давление, при котором может быть использована труба данного класса при отсутствии внешней нагрузки. Класс труб определяют расчетом с учетом условий эксплуатации. Трубы каждого класса в зависимости от внешнего диаметра и длины разделяют на три типа.

Тип трубы	I	II	III
Диаметр внешний, мм	100...500	200...500	200...300
Длина, м	3...4	5	6

На заводах-изготовителях асбестоцементные трубы класса ВТ9, ВТ12 и ВТ15 испытывают на стендах давлением соответственно 1,8; 2,4; 3 МПа.

Асбестоцементные трубы соединяют с помощью муфт, которые разделяют на самоуплотняющиеся асбестоцементные САМ-9, САМ-12, САМ-15 и чугунные фланцевые или муфты «Жибо» (рис. 7.11, *а, б*). В качестве уплотняющих материалов используют резиновые кольца. При соединении с помощью муфт САМ используют резиновые уплотняющие кольца фигурного, а при соединении с помощью муфт «Жибо» круглого сечения. Асбестоцементные трубы с помощью муфт САМ соединяют следующим образом. В пазы муфты вставляют резиновые уплотнительные кольца. Муфту надвигают на конец присоединяемой трубы, которую опускают в траншею, и центрируют с ранее уложенной трубой. Надвигают муфту на трубу винтовым домкратом, который закрепляют на ранее уложенной трубе.

При соединении труб чугунными фланцевыми муфтами на конец ранее уложенной трубы надевают фланец, резиновое кольцо и втулку-муфту, а на конец присоединяемой трубы — фланец и резиновое кольцо. Затем центрируют трубы точно по середине стыка, устанавливают втулку-муфту и к ней придвигают резиновые

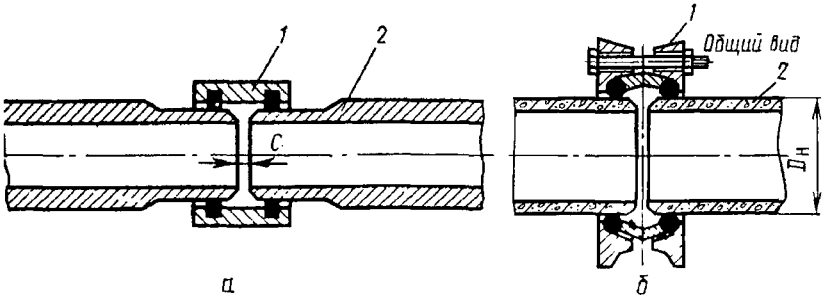


Рис. 7.11. Соединение асбестоцементных труб муфтами:

а — асбестоцементной САМ; *б* — чугунной; *1* — муфта; *2* — труба

кольца и фланцы, которые затем стягивают болтами. Чугунная муфта допускает некоторое отклонение трубопровода от прямой линии (до 5°).

Присоединяют к асбестоцементным трубам ответвления или трубопроводную арматуру с помощью чугунных фасонных частей или сварных стальных деталей.

Достоинства асбестоцементных труб: небольшая масса, малая теплопроводность, достаточно хорошая коррозионная стойкость и относительно небольшое гидравлическое сопротивление. Недостаток — хрупкость, причем при ударах в стенках асбестоцементных труб могут образовываться незаметные на глаз трещины, которые значительно снижают прочностные показатели труб. Поэтому при транспортировке, разгрузке и монтаже асбестоцементных труб необходимо соблюдать меры предосторожности.

7.5. ЧУГУННЫЕ И ПЛАСТМАССОВЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Чугунные и пластмассовые трубы в мелиорации применяют редко. Использование первых ограничено их высокой стоимостью и значительной массой. Соединение труб раструбное. Чугунные трубы промышленность выпускает двух типов: с уплотнением стыков пеньковой прядью с заделкой асбестоцементным раствором и с уплотнением резиновыми манжетами диаметрами 65...300 мм.

Чугунные трубы диаметром 65...300 мм выпускают длиной 2...6 м, а диаметром 400...1000 мм — 5...10 м. Соединения с использованием резиновых манжет более удобно, поскольку обеспечивают бóльшую гибкость стыка, допускают угловую (до 4°) деформацию трубопроводов. Монтаж в этом случае полностью механизирован.

Чугунные трубы по сравнению со стальными более устойчивы к коррозии, поэтому более долговечны, и в процессе эксплуатации их гидравлическое сопротивление практически не изменяется.

Пластмассовые трубы изготавливают в основном из полиэтилена и винилпласта. Промышленность выпускает трубы диаметром 10...630 мм. Соединяют трубы сваркой.

Пластмассовые трубы не подвержены электрохимической коррозии, потери напора в них на 30 % меньше, чем в стальных. Недостатки пластмассовых труб — невысокое сопротивление раздавливанию и высокий коэффициент линейного расширения.

7.6. ИСПЫТАНИЕ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Напорные трубопроводы испытывают внутренним давлением на прочность и плотность, как правило, гидравлическим способом (водой). Испытание пневматическим способом (воздухом) обо-

сновывают. Испытывают засыпные трубопроводы в два приема: предварительное испытание на прочность — при частичной засыпке трубопровода до установки арматуры и окончательное на плотность — после засыпки траншей и завершения всех работ на данном участке трубопровода, но до установки вантузов, гидрантов, предохранительных клапанов. Открытые стальные трубопроводы испытывают один раз.

Засыпные трубопроводы испытывают на прочность только после присыпки трубопровода грунтом, подбивки грунта в пазухах и устройства упоров в концах испытуемого участка трубопровода.

При проведении испытаний запорную арматуру на трубопроводе (на испытуемом участке) полностью открывают. Использовать ее для отключения испытуемого участка запрещено. Для этой цели применяют глухие фланцы или заглушки.

Обнаруженные дефекты трубопровода устраняют только после снижения в нем давления до атмосферного. Во время испытаний категорически запрещено ходить по трубопроводу, постукивать по трубам и подтягивать болтовые соединения.

До начала испытания из трубопровода удаляют воздух. Для этого во всех повышенных точках перелома профиля предусматривают патрубки с вентилями.

Испытательное давление принимают: для стальных трубопроводов — $P_р$ (за рабочее давление $P_р$ принимают максимально возможное рабочее давление) с коэффициентом 1,25, но не менее 1 МПа и не менее $P_р$ + 0,5 МПа, а для железобетонных трубопроводов (сборных и монолитных) — $P_р$ + 0,3 МПа, но не более заводского (для сборных труб) испытательного давления на водонепроницаемость, для асбестоцементных трубопроводов — $P_р$ + 0,3 МПа, но не менее 0,5 заводского испытательного давления на водонепроницаемость.

При гидравлическом испытании трубопровода на прочность давление в нем постепенно повышают ступенями до испытательного $P_{исп}$ и в течение 10 мин не допускают падения его более чем на 0,1 МПа, при необходимости подкачивая воду. После этого давление снижают до рабочего и осматривают трубопровод.

Трубопровод считают выдержавшим испытание на прочность, если в нем под действием испытательного давления не произойдет разрыва труб и фасонных частей, а для асбестоцементных и железобетонных труб — нарушения заделки стыковых соединений.

Окончательное испытание (на плотность) асбестоцементного трубопровода начинают не ранее чем через 24 ч после засыпки траншеи грунтом и наполнения трубопровода водой.

Железобетонные трубопроводы подвергают испытанию на утечку после предварительной выдержки их в заполненном водой состоянии не менее 72 ч, в том числе под рабочим давлением не менее 12 ч.

Трубопровод считают выдержавшим испытание на плотность, если фактическая утечка из него не будет превышать допустимую.

Асбестоцементные трубопроводы

Диаметр, мм	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Допустимая утечка на 1 км, л/мин	1,40	1,72	1,98	2,22	2,42	2,62	2,8	2,96	3,14

Продолжение

Стальные трубопроводы

Диаметр, мм	400	450	500	600	800	1000	1400	1600	2000	2500	3000	4000
Допустимая утечка на 1 км, л/мин	1	—	—	1,2	1,35	1,5	1,75	1,9	2,05	2,3	2,35	2,5

Продолжение

Железобетонные (сборные и монолитные) трубопроводы

Диаметр, мм	500	600	800	1000	1400	1600	2000	2500	3000	4000
Допустимая утечка на 1 км, л/мин	2,8	3,44	3,96	4,42	5,2	5,7	6,2	6,9	7	7,5

Трубопроводы испытывают участками длиной не более 1 км.

При длине испытуемого участка менее 1 км приведенные значения утечек пропорционально уменьшаются.

7.7. ЗАЩИТА НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

Основная причина, вызывающая гидравлические удары в напорных трубопроводах, — аварийное отключение электропитания двигателей насосов. Гидравлических ударов, возникающих в результате изменения степени открытия запорной арматуры, практически можно избежать, изменяя режим закрытия и открытия. Некоторыми особенностями в этом отношении отличаются закрытые оросительные системы.

При отключении электродвигателей насосов, подающих воду по напорным трубопроводам в открытые емкости, процесс гидравлического удара протекает следующим образом.

После отключения насосов уменьшаются частота вращения роторов агрегатов, подача и напор. Давление на насосной станции начинает снижаться. Снижаются и скорости движения воды в трубопроводе. В какой-то момент вода остановится и далее начнет двигаться с ускорением в обратном направлении.

При наличии обратных клапанов на напорных линиях насосов изменение направления движения воды в трубопроводе вызывает закрытие их дисков, что резко замедляет движение потока и значительно повышает давление — происходит гидравлический удар.

При отсутствии обратных клапанов вода сбрасывается через насос, при этом роторы насосных агрегатов начинают вращаться в обратном направлении (реверсивное вращение). С увеличением частоты реверсивного вращения возрастает гидравлическое сопротивление насосов и замедляется движение потока воды при некотором повышении давления, однако значительно меньшем, чем при отсутствии сброса воды (при установке обратных клапанов).

Значительно давление повышается в процессе гидравлического удара, сопровождающегося образованием в трубопроводах разрывов сплошности потока, которые происходят вследствие снижения давления в трубопроводах до предельного значения вакуума в них. В момент ликвидации разрывов сплошности потока происходит соударение разошедшихся в период образования разрыва колонн воды с резким и иногда значительным повышением давления.

Прочностные показатели труб для прокладки напорных водоводов назначают по расчетному давлению, принимаемому равным либо максимальному рабочему давлению, либо давлению при гидравлическом ударе, умноженному на коэффициент 0,85 для стальных труб и на 1 для труб из других материалов.

Повышение давления при гидравлическом ударе может быть определяющим при выборе прочностных показателей труб.

Рассчитывают прочностные показатели труб внешней нагрузки трубопровода при наличии в нем вакуума (практически это относится к стальным трубам большого диаметра). Поэтому должны быть использованы средства защиты от гидравлического удара, чтобы не увеличивать прочностные показатели труб по сравнению с теми, которые могут быть приняты по максимальному рабочему давлению.

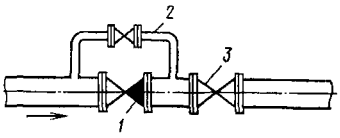
Средства защиты от гидравлического удара можно разделить на две большие группы: первая — средства защиты, предназначенные для сброса воды из напорных трубопроводов, вторая — средства защиты, препятствующие развитию значительных скоростей движения воды в обратном направлении.

Воду из напорных трубопроводов сбрасывают через насосы и напрямую. Сброс воды через насосы — наиболее простое и дешевое средство защиты, не требующее каких-либо дополнительных затрат. Однако при этом возникает реверсивное вращение роторов насосных агрегатов, которое в отдельных случаях может превысить допустимое (как для насоса, так и для электродвигателя). Иногда для уменьшения реверсивной частоты вращения можно ограничить сброс воды, осуществляя его через обводные линии к обратным клапанам на напорных линиях насосов. Диаметр обводных линий принимают равным $^1/_3$...$^1/_5$ диаметра обратного клапана (рис. 7.12).

Воду помимо насосов сбрасывают и через обычные предохранительные клапаны или специальные клапаны-гасители, откры-

Рис. 7.12. Схема устройства обводной линии к обратному клапану:

1 — обратный клапан; *2* — обводная линия с задвижкой; *3* — задвижка на напорной линии насоса



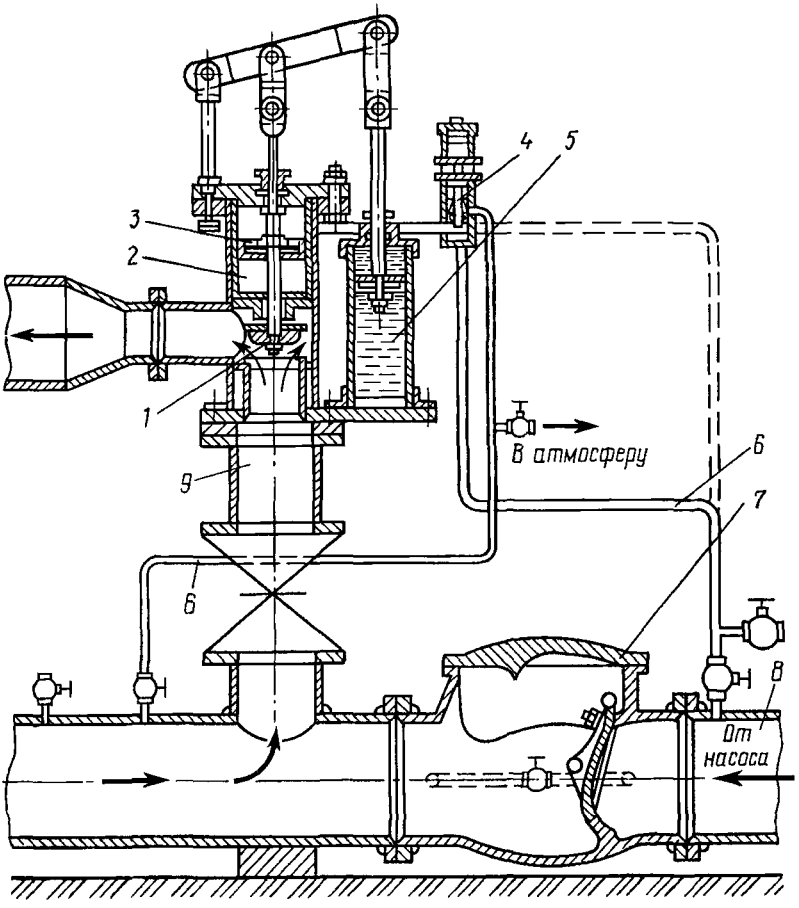


Рис. 7.13. Клапан-гаситель УкрВОДГЕО:

1 — клапан; *2* — цилиндр; *3* — поршень; *4* — гидрораспределитель; *5* — масляный тормоз; *6* — соединительные импульсные трубки; *7* — обратный клапан; *8* — магистральный трубопровод; *9* — отводная труба

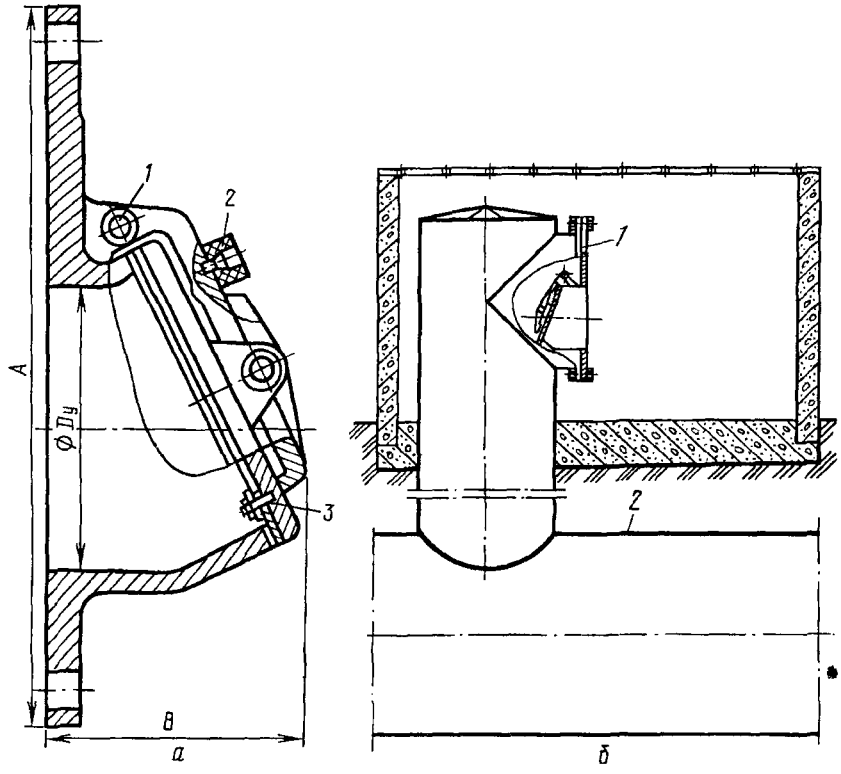


Рис. 7.14. Аэрационный клапан (клапан для впуска и защемления воздуха):

а — схема клапана: *1* — ось для подвески диска; *2* — ограничитель хода диска; *3* — диск с резиновым уплотнением; *б* — схема установки клапана: *1* — фланец клапана; *2* — трубопровод

вающиеся еще до повышения давления сверх рабочего (рис. 7.13).

Использование этой арматуры не приводит к реверсивному вращению роторов агрегатов, но связано с дополнительными строительными и эксплуатационными затратами. Необходимы систематическая регулировка и наладка этой арматуры. Поэтому к сбросу воды без применения насосов прибегают лишь в тех случаях, когда через насосы он невозможен.

К средствам защиты от гидравлического удара, препятствующим развитию значительных скоростей, относятся:

впуск воздуха в места образования разрывов сплошности потока в трубопроводе с последующим сжатием воздуха, для чего на трубопроводе устанавливают аэрационные клапаны (клапаны для впуска и защемления воздуха — КВЗВ), которые открываются при

снижении давления в трубопроводе ниже атмосферного, обеспечивая впуск воздуха в трубопровод, и закрываются при повышении давления больше атмосферного. Сжатие вошедшего через клапан объема воздуха приводит к уменьшению скорости потока в обратном направлении и тем самым снижает давление в трубопроводе в процессе гидравлического удара. На практике применяли пружинные и грузовые аэрационные клапаны. Однако серийно их не выпускали. Поэтому было предложено использовать в качестве аэрационных обратные клапаны (рис. 7.14).

Установка аэрационных клапанов на трубопроводах — простое и дешевое средство защиты от гидравлических ударов. Однако сжатие воздуха приводит к ощутимому снижению давления лишь при относительно небольших статических напорах (15...20 м) в месте установки аэрационных клапанов. Поэтому при больших напорах используют другие средства защиты или сочетают впуск воздуха с другими средствами;

впуск воды в места возможного образования разрывов сплошности потока для устранения этих разрывов (рис. 7.15). Впуск воды в большинстве случаев осуществляют из специального резервуара, соединенного с напорным трубопроводом линией, оборудованной обратным клапаном. При нормальном режиме работы тарель обратного клапана закрыта давлением воды в трубопроводе, при уменьшении давления в трубопроводе ниже уровня воды в резервуаре обратный клапан открывается и вода поступает в трубопровод.

Впуск воды может быть осуществлен и из водонапорных колонн, но из-за относительно высокой стоимости в мелиорации их практически не применяют;

разделение трубопровода на несколько частей и установка на нем дополнительных обратных клапа-

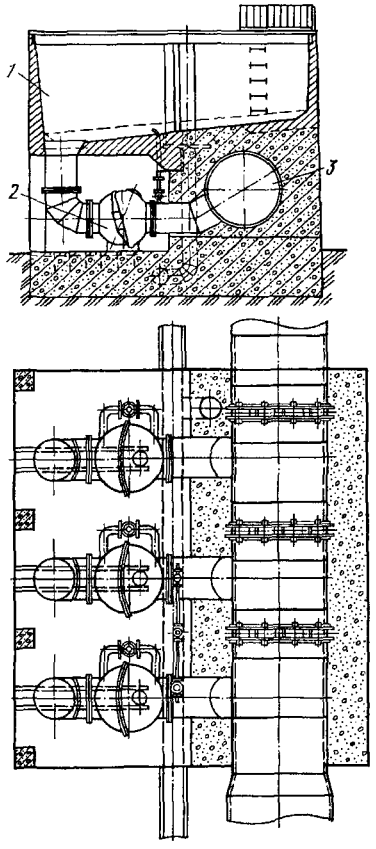


Рис. 7.15. Резервуар для впуска воды, совмещенный с анкерной опорой:

1 — резервуар; *2* — обратный клапан; *3* — напорный трубопровод

нов. В результате гидравлического удара вода начинает двигаться в обратном направлении, клапаны закрываются и разделяют трубопровод на несколько частей, в пределах каждой из которых статический напор относительно невелик. Это средство защиты может быть эффективно использовано при значительном геометрическом подъеме воды.

Гидравлические удары в закрытых оросительных системах могут значительно отличаться от гидравлических ударов в трубопроводах, подающих воду в открытые емкости. Они возникают не только при аварийных отключениях насосных агрегатов, но и вследствие других причин.

Работу насосных станций закрытых оросительных систем обычно предусматривают в автоматическом режиме, поэтому отключают и пускают насосные агрегаты при изменении режима полива при открытых задвижках на напорных линиях насосов. При отключении насосов направление движения воды в его напорной линии изменяется очень быстро, и к этому времени тарель обратного клапана остается еще открытой. Закрытие обратного клапана приводит к значительному, правда, непродолжительному повышению давления.

Кроме аварийных и плановых отключений насосных агрегатов причиной гидравлических ударов в закрытых оросительных системах может быть отключение дождевальных машин типа «Фрегат», поскольку при аварийных ситуациях время их отключения ограничено (40...45 с).

Для снижения давления при гидравлических ударах в закрытых оросительных системах применяют следующие мероприятия: сброс воды через обводные линии к обратным клапанам на напорных линиях насосов и через насосы, установка водовоздушных резервуаров у насосной станции, изменение типа запорной арматуры и режима ее закрытия.

Для определения повышения давления при гидравлических ударах и назначении соответствующих мер защиты требуются расчеты, учитывающие основные факторы, существенно влияющие на процесс гидравлического удара и позволяющие получать результаты с необходимой степенью точности. Однако они сложны и трудоемки, и выполнить их можно лишь с применением современных средств вычислительной техники.

Глава 8
ВОДОВЫПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

●

8.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

Водовыпускное сооружение насосной станции сопрягает концевую часть напорных трубопроводов с водоприемником (водопотребителем) — каналом, водохранилищем, резервуаром, рекой. Это сооружение должно:

обеспечивать плавный выпуск воды из напорных трубопроводов под уровень воды в водоприемнике с наименьшими потерями напора;

предотвращать обратное течение воды из водоприемника (канала, резервуара и др.) в напорные трубопроводы при отключении насосов на станции или разрыве трубопровода;

обеспечивать распределение воды между водопотребителями, если воду подают в несколько каналов;

обеспечивать впуск воздуха в напорный трубопровод при его опорожнении и выпуск воздуха из трубопровода при его заполнении.

Сооружение должно быть прочным, устойчивым и надежным в эксплуатации. Конструкция сооружения также не должна затруднять пуск насоса.

Водовыпускное сооружение состоит:

из водовыпускного (чаще всего железобетонного) оголовка, в котором располагают выходные диффузоры напорных трубопроводов;

запорных устройств, препятствующих обратному течению воды из водоприемника в напорные трубопроводы;

бассейна водовыпуска (успокоительного колодца);

элементов, сопрягающих бассейн с отводящим каналом.

В состав сооружений могут также входить: шлюзы-регуляторы, если воду подают в несколько каналов; аварийный сброс, если есть опасность перелива воды через стенки сооружения или бермы канала.

На мелиоративных насосных станциях применяют следующие водовыпускные сооружения:

сифонного типа, в котором запорным устройством является сифон, разряжающийся при остановке насосов с помощью специального клапана срыва вакуума и тем самым предотвращающий

обратное течение воды из водоприемника в напорные трубопроводы;

с запорными устройствами механического действия — обратными клапанами, плоскими или другими гидротехническими затворами;

с переливными стенками, в которых запорными устройствами являются стенки-водосливы с верхней гранью (порогом), устраиваемой выше уровня воды в водоприемнике.

Тип и конструкция водовыпускного сооружения зависит:

от числа насосов, работающих на одну нитку напорных трубопроводов; амплитуды колебаний уровней воды в водоприемнике; условий пуска насоса; диаметра напорного трубопровода.

Водовыпускные сооружения с механическими запорными устройствами применяют при любых диаметрах напорных трубопроводов, любых типах, размерах и числе насосов, работающих на один трубопровод, а также при любых амплитудах колебаний уровней воды в водоприемнике. Для предотвращения обратного течения воды в качестве запорных устройств рекомендуют использовать:

однодисковые обратные клапаны-захлопки с верхней горизонтальной осью вращения диска, устанавливаемые на выходных отверстиях напорных трубопроводов при диаметрах выходных отверстий до 0,6 м без противовеса (рис. 8.1) и от 0,6 м до 1,2 м включительно с противовесом (рис. 8.2), изготавливают как нестандартное оборудование;

многодисковые обратные клапаны-захлопки, в которых несколько однодисковых клапанов-захлопок монтируют на одной

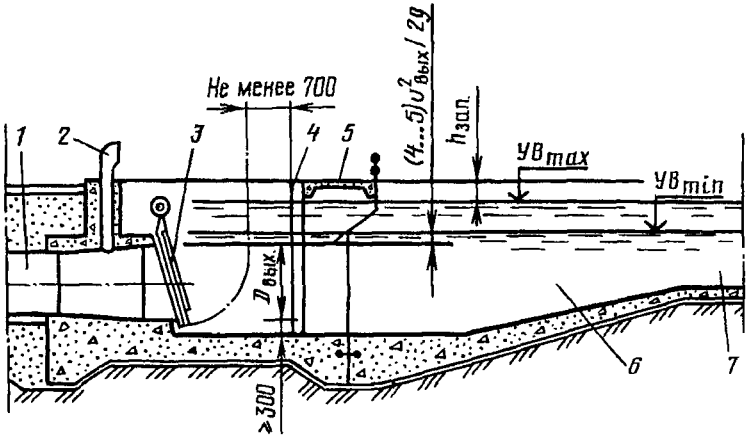


Рис. 8.1. Водовыпускное сооружение, оборудованное клапанами-захлопками:

1 — напорный трубопровод; *2* — воздушная труба; *3* — клапан-захлопка; *4* — паз для установки ремонтного затвора; *5* — служебный мостик; *6* — успокоительный колодец; *7* — отводящий канал

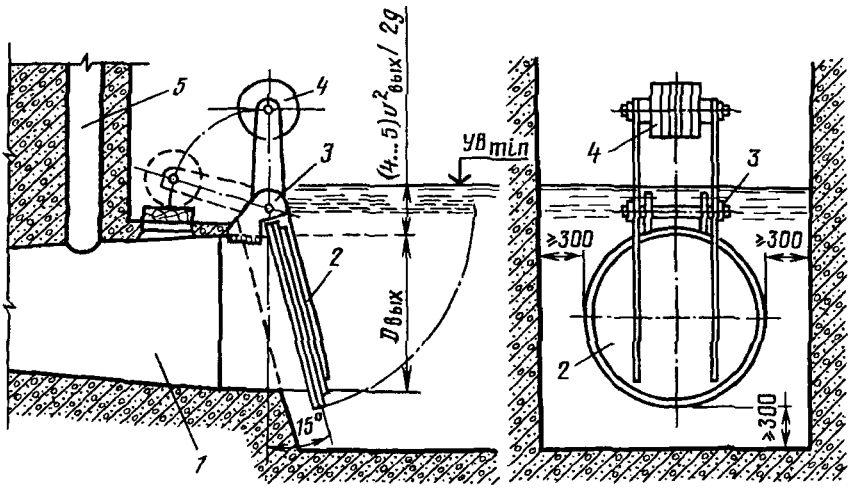


Рис. 8.2. Клапаи-захлопка:

1 — диффузор; *2* — диск; *3* — шарнир; *4* — противовес; *5* — воздушная труба

раме, устанавливают на выходных отверстиях трубопроводов (рис. 8.3);

обратные клапаны однодисковые стандартного изготовления с эксцентричной горизонтальной осью вращения диска диаметром 0,6...2,2 м;

обычно клапаны устанавливают на напорном трубопроводе перед выходным диффузором в специальном колодце (рис. 8.4); применение клапанов в качестве запорных устройств должно иметь технико-экономические обоснования;

клапанные затворы с верхней горизонтальной осью вращения, оборудованные гидроприводом, устанавливают на выходных отверстиях напорного трубопровода при площади выходного отверстия до 20 м^2; обычно применяют для крупных насосных станций ([9], с. 253);

плоские (скользящие и колесные) и реже сегментные затворы, снабженные стационарными подъемными механизмами (обычно электролебедками), устанавливают в бассейне водовыпуска на некотором расстоянии от выходных отверстий трубопроводов; применяют для крупных насосных станций в тех случаях, когда нельзя использовать обратные клапаны ([9], с. 253, 366).

Основные недостатки водовыпускных сооружений с механическими запорными устройствами: необходимость применения рабочих и ремонтных затворов, подъемно-транспортного оборудования, что осложняет и удорожает эксплуатацию сооружения.

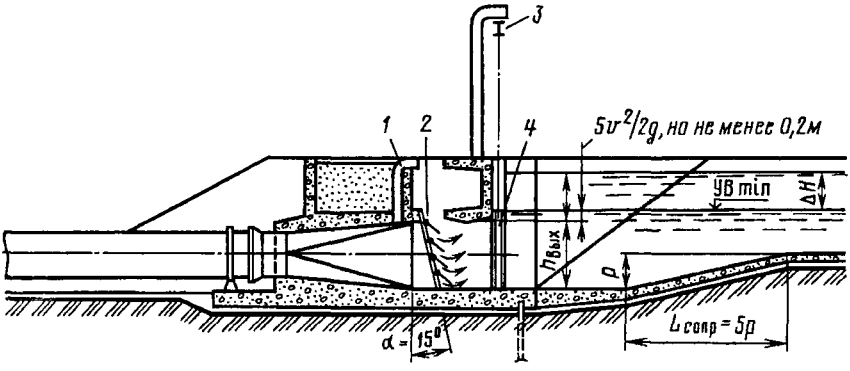


Рис. 8.3. Водовыпускное сооружение, оборудованное обратными многодисковыми клапанами-захлопками:

1 — воздушная труба; *2* — обратные многодисковые клапаны-захлопки, смонтированные на общей раме; *3* — монорельс для тали; *4* — ремонтный затвор

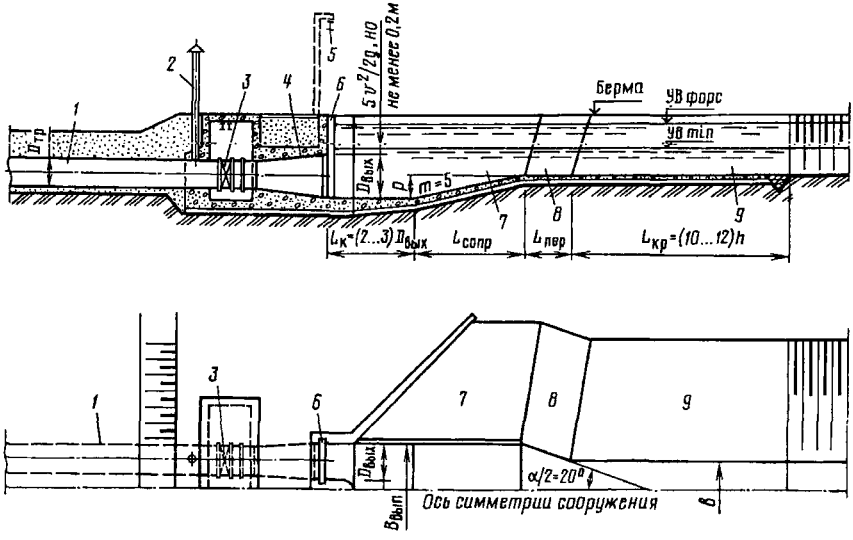


Рис. 8.4. Водовыпускное сооружение, оборудованное стандартными обратными клапанами:

1 — напорный трубопровод; *2* — воздушная труба; *3* — обратный клапан; *4* — выходной диффузор трубопровода; *5* — монорельс для тали; *6* — паз для ремонтного затвора; *7* — успокоительный колодец; *8* — переходный участок; *9* — отводящий канал;
$L_к$ — длина колодца; $L_{сопр}$ — длина сопрягающей части колодца; $L_{пер}$ — длина переходного участка; $L_{кр}$ — длина крепления канала; *в* — ширина канала; $B_{вып}$ — ширина водовыпускного фронта; *p* — высота порога

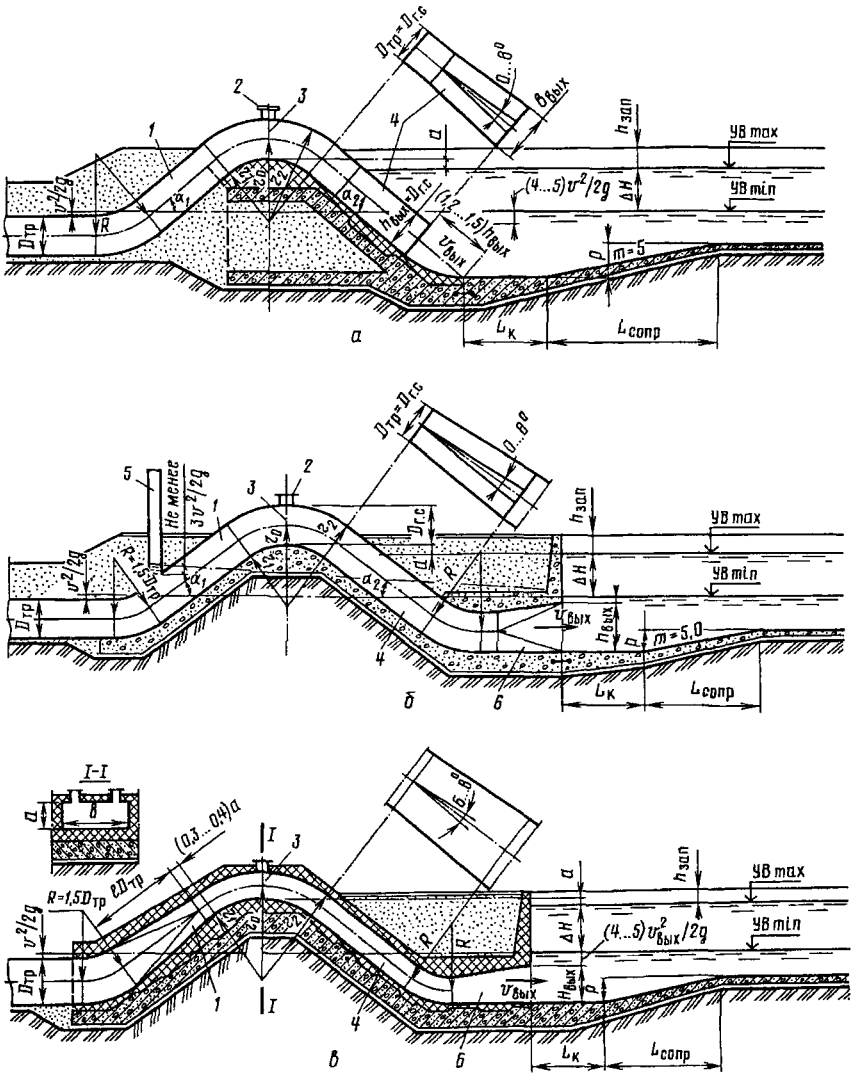


Рис. 8.5. Схемы сифонного водовыпуска:

а — при $D_{г.с} \le 1{,}2$ м; *б* — $D_{г.с} = 1{,}2...2{,}2$ м; *в* — $D_{г.с} > 2{,}2$ м; *1* — восходящая ветвь сифона; *2* — люк для установки клапана срыва вакуума; *3* — горло сифона; *4* — нисходящая ветвь сифона; *5* — аэрационная труба; *6* — выходной диффузор; $D_{тр}$ — диаметр трубопровода; $D_{г.с}$ — диаметр горла сифона; $в_{вых}$ — ширина выходного отверстия сифона; ΔH — амплитуда колебаний уровня воды; *a* — превышение порога сифона над максимальным уровнем воды; α_1 и α_2 — углы наклона к горизонту восходящей и нисходящей ветвей сифона; R, r_0, r_1, r_2 — радиусы поворота

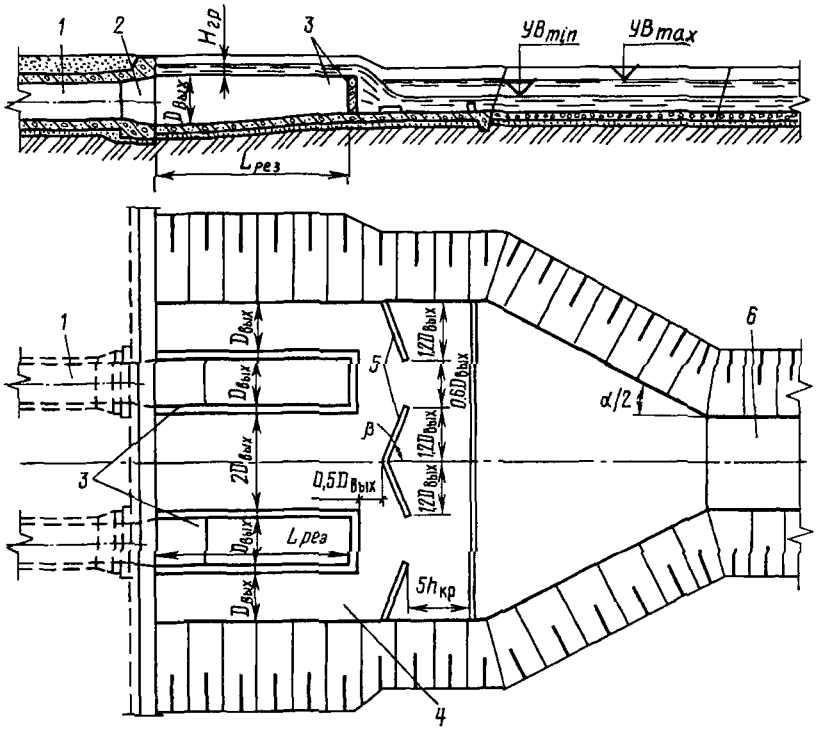


Рис. 8.6. Схема водовыпускного сооружения с переливными стенками:

1 — напорный трубопровод; *2* — выходной диффузор трубопровода; *3* — резервуары; *4* — бассейн водовыпуска; *5* — успокоители; *6* — отводящий канал; $L_{рез}$ — длина резервуара; $H_{гр}$ — напор воды на гребне; α — центральный угол конусности

Сифонные водовыпускные сооружения (рис. 8.5) применяют:

при обеспечении самозарядки сифона, которая происходит при $Q_{заряд} \le Q_{тр}$, где $Q_{заряд}$ — зарядный расход сифона;

максимальном статическом напоре до 5 м (вычисляют как превышение верхней точки сифона над минимальным уровнем воды в водоприемнике — отводящем канале, водохранилище);

полной герметичности сифона;

*пуске насос не должен попадать в неустойчивую зону, что воз-*можно, так как работать насос на незаряженный сифон начинает при повышенном напоре (вначале сифон работает как водослив);

соотношении расходов напорного трубопровода $Q_{max} : Q_{min}$ обычно не более 2 : 1 (редко 3 : 1), в противном случае сифон либо не заряжается при минимальном расходе, либо отмечают излишние потери напора при максимальном расходе;

наличии надежного клапана срыва вакуума, обеспечивающего разрядку сифона, когда начинается обратное течение воды в трубопроводе.

Основной недостаток сифонного водовыпуска — его способность работать с разряженным сифоном. В этом случае сифон превращается в водослив (часто имеет место на практике), что недопустимо, так как увеличивает высоту подъема воды и, как следствие, расход энергии.

Водовыпускные сооружения с переливными стенками (рис. 8.6) применяют при малых амплитудах колебаний УВ в водоприемнике, обычно до 0,5 м, других ограничений нет; это самое надежное сооружение; основной недостаток этих сооружений — излишние высота подъема воды и расход энергии.

8.2. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектирование водовыпускного сооружения начинают с определения его местоположения на трассе водоподачи. Для сокращения длины напорного трубопровода водовыпускной оголовок (гребень сифона или основные затворы) можно расположить в точке пересечения поверхности земли с дном отводящего канала. При уклонах местности более 0,05, при просадочных и сильно фильтрующих грунтах, а также в случаях, когда канал выполняют без облицовки и есть опасность разрушения его дамб, оголовок располагают полностью в выемке. В остальных случаях местоположение водовыпускного сооружения определяют по конструктивным соображениям.

Для низконапорных станций, оборудованных горизонтальными или крупными вертикальными осевыми насосами, возможно совмещение водовыпускного сооружения со зданием насосной станции.

Определив тип водовыпускного сооружения и его местоположение, переходят к проектированию проточной части и конструктивных элементов сооружений. Конструкция и размеры сооружения должны обеспечивать наилучшие условия течения воды, а также необходимую прочность и устойчивость сооружения. Для этого необходимо выполнить следующие, одинаковые для всех типов водовыпускных сооружений условия: объем проточной части водовыпускного сооружения должен быть минимальным. Основные размеры водовыпускного сооружения (ширина, высота, длина) определяют размеры напорного трубопровода и отводящего канала.

Превышение верха стен и гребня дамб обвалования в пределах водовыпускного сооружения над максимальным расчетным уровнем воды (с учетом ветровых волн и волн пуска основных агрегатов) принимают в зависимости от подачи насосной станции:

Q, м^3/с	До 1	1...10	10...30	30...50	50...100
$H_{зап}$, см	35 (40)	40 (50)	50 (60)	55 (70)	60 (80)

Превышение верха стен и гребней дамб обвалования дано для облицованных каналов, а в скобках — для необлицованных.

Превышение верха стен и гребней дамб обвалования для насосных станций, подача которых превышает 100 м^3/с, принимают по нормам для плотин.

Ширину водовыпускного сооружения определяют по числу напорных трубопроводов, минимально допустимым расстояниям между ними или минимально допустимой толщине быка между соседними камерами. Толщину быка выбирают исходя или из его прочности, или возможности размещения пазовых конструкций затворов. При использовании в качестве запорного устройства клапана-захлопки расстояние между быком и краем трубы должно быть не менее 0,3 м.

Длину колодца рассчитывают из условия обеспечения спокойного выхода воды из него.

Между колодцем и отводящим каналом предусматривают переходную часть, обеспечивающую поступление воды в канал с равномерными скоростями. Конфигурация переходной части зависит от соотношения ширины колодца и ширины канала по дну.

При ширине канала, равной ширине водовыпускного колодца, что чаще всего бывает при выпуске воды из одного трубопровода, переходная часть отсутствует, скорости на выходе из колодца близки скоростям в канале, что обеспечивает наилучшие гидравлические условия работы.

Если ширина канала превышает ширину колодца, переходной участок выполняют в виде плавно расширяющегося конуса. Для предотвращения отрыва потока от стенок переходной части конуса угол его расширения не должен превышать 30°, а также целесообразно в пределах переходного расширяющегося участка устраивать дно с обратным уклоном (см. раздел 3.3).

Если ширина канала меньше ширины бассейна водовыпуска, что наиболее часто встречается в практике, то переходной участок сооружают в виде плавно сужающегося конуса с углом конусности 30...40° (см. рис. 8.4, 8.6).

Коэффициент заложения откосов в пределах водовыпускного сооружения принимают таким же, как и в отводящем канале.

Водовыпускной оголовок с откосами наиболее удобно сопрягать обратными стенками, расположенными под углом 45° к оси сооружения, допустимо и под углом 90° (см. рис. 8.4), но, возможно и ныряющими стенками, а при специальном обосновании — и косыми плоскостями.

Водовыпускные сооружения являются напорными гидротехническими сооружениями, поэтому должны быть рассчитаны не

только на общую прочность и устойчивость, но и на возможность суффозии и выпора грунта основания. Расчет выполняют, как для напорных гидротехнических сооружений.

Для предотвращения фильтрации в обход сооружения (боковая фильтрация) предусматривают железобетонные или шпунтовые стенки, примыкающие к массивным водовыпускным оголовкам. Длина шпор должна быть $(1,5...2)H$, где H — высота стенки от низа массивной части сооружения до верха дамбы или площадки вокруг сооружения. Применение шпунтовых заграждений для предотвращения суффозии и выпора грунта обосновывают расчетом. Обычно шпунты применяют при слабых грунтах основания и напорах более 5 м. Водовыпускные оголовки и камеры, оборудованные ремонтными затворами, проверяют на всплывание, общую устойчивость и прочность при опорожнении до 50 % камер. Резервуары водовыпускных сооружений с переливными стенками должны быть устойчивы при их полном опорожнении.

Запорные устройства, предотвращающие обратное течение по напорным трубопроводам из водовыпускных сооружений, должны иметь время срабатывания не более 5 с, простую и надежную конструкцию, возможность проведения ремонтов без отключения насосной станции; возможность обмерзания подвижных частей затворов, пазовых конструкций, воздушных труб и клапанов срыва вакуума должна быть исключена.

В качестве запорных устройств рекомендуют применять:

на водовыпускных сооружениях с механическими затворами рабочие затворы (обратные клапаны, клапаны-захлопки, гидротехнические плоские и сегментные затворы), для ремонта которых устанавливают ремонтные заграждения в виде плоских затворов или шандор;

на сифонных водовыпускных сооружениях запорными устройствами служат клапаны срыва вакуума, которые впускают воздух в сифоны при начале обратного течения воды по трубопроводам и тем самым разряжают сифоны, а водоприемник отсекается от напорных трубопроводов.

На водовыпускных сооружениях с переливными стенками специальных запорных устройств не предусматривают.

На водовыпускных сооружениях, оборудованных затворами, предусматривают воздушные трубы для выпуска воздуха из напорного трубопровода при пуске насосов и впуске воздуха в трубопроводы при остановке насосов.

Низ выходных отверстий водовыпускных оголовков (за исключением случаев, когда в качестве запорных устройств применяют клапаны-захлопки) располагают заподлицо с дном бассейна водовыпуска.

Переходной участок и часть канала за ним защищают от размыва железобетонной облицовкой, каменной наброской. Длина и тип крепления дна и откосов водовыпускного сооружения и кана-

ла зависят от размеров сооружения, выходных скоростей и прочности грунтов основания. Для мелких и средних станций минимальную длину крепления канала за водовыпускным сооружением можно принять (10...12)h (h — глубина воды в канале). Для крепления дна и откосов сооружения используют монолитный и сборный железобетон. Для уменьшения придонных скоростей за бетонным креплением на длине (2...3)h делают отсыпку слоем 20 см из щебня крупностью до 5 см.

8.3. ВОДОВЫПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ С МЕХАНИЧЕСКИМИ ЗАПОРНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Этот тип водовыпускного сооружения наиболее экономичен как по стоимости, так и по затратам электроэнергии.

В водовыпускном сооружении, показанном на рисунке 8.4, в качестве запорного устройства использованы стандартные обратные клапаны диаметром 1,4 м с гидротормозом, обеспечивающим мягкую посадку запорного диска при обратном токе воды. Для того чтобы обеспечить ремонт оборудования, обратные клапаны размещают в сухом помещении, а впереди располагают пазы для установки ремонтных затворов. Для монтажа обратных клапанов и для маневрирования ремонтными затворами предусматривают монорельсы и тали соответствующей грузоподъемности. Для снижения потерь напора водовыпускное сооружение заканчивается диффузором, угол конусности которого не должен превышать 8°. Для впуска и выпуска воздуха перед обратным клапаном устанавливают воздушную трубу. Эту конструкцию можно применять при любых колебаниях уровней воды в водоприемнике, любых типах и любом числе насосов, работающих на один напорный трубопровод.

На рисунках 8.1 и 8.2 приведены общие виды клапана-захлопки и водовыпускного сооружения, оборудованного ими. Ранее этот тип сооружения применяли практически на всех насосных станциях с напорными трубопроводами диаметром до 1,2 м. Достоинства этого сооружения: простота конструкции, экономичность, надежность. Недостатки: необходимость осмотров и профилактических ремонтов уплотнений и осей захлопки, установки ремонтного затвора, возможность протечек при некачественно выполненных уплотнениях.

Конструкция и принцип действия клапана-захлопки просты: запорный диск и противовес крепят на горизонтальной оси, установленной на верхней кромке выходного отверстия. Под действием напора воды при прямом течении по трубопроводу диск поворачивается. При отключении насоса напор воды ослабевает и диск под действием собственного веса опускается и закрывает выходное отверстие. Если при отключении агрегата начнется обратное

течение воды, то закрытие клапана обычно сопровождается ударом диска по уплотнению. Для ремонта уплотнений диска и регулирования массы противовеса на выходе из сооружения предусматривают ремонтные затворы. Принцип действия стандартного обратного клапана и захлопки аналогичен.

Одна из разновидностей клапанов-захлопок, устанавливаемых на напорных трубопроводах диаметром более 1,2 м, показана на рисунке 8.3. В данном случае вместо одиночного диска, перекрывающего все выходное отверстие, применен многодисковый клапан, подвижные диски которого установлены на жесткой стальной раме. Применение подобной конструкции практически ничем не ограничено, однако каждый диск должен иметь надежную ось и подшипники дисков, эластичные уплотняющие устройства.

Для низконапорных насосных станций, оборудованных осевыми и диагональными насосами, можно применить клапанный затвор с гидроприводом. Работа гидропривода должна обеспечить быстрое закрытие затвора при отключении насоса и открытие затвора, обеспечивающее оптимальный напор насоса в течение всего времени пуска агрегата. Наличие гидропривода также обеспечивает снижение потерь напора, исключает вибрацию диска клапана в свободном потоке, позволяет осуществить дожим диска для прекращения фильтрации через уплотнения. Этот тип клапана широко применяют на зарубежных насосных станциях.

Конструкция водовыпускного сооружения, оборудованного плоскими быстропадающими затворами, изображена [9] на рисунке 13.2. В железобетонном оголовке размещены: выходные диффузоры напорных трубопроводов, отверстия для возможности перелива воды через затворы при пуске насосов и задержке подъема рабочих затворов, два ряда пазов — для установки затворов рабочих (быстропадающих) и ремонтных. Для маневрирования затворами предусмотрены четыре стационарных подъемных механизма и мостовой кран, установленные в небольшом верхнем строении. В качестве подъемных механизмов можно использовать стационарные электролебедки, в качестве ремонтных затворов — плоские, скользящие затворы. Принцип действия этого сооружения изложен в учебнике [9].

8.4. ВОДОВЫПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ СИФОННОГО ТИПА

Водовыпускные сооружения сифонного типа удобны в эксплуатации, достаточно надежны и экономичны. Для обеспечения их надежности сифон должен быть герметичен и правильно выбран клапан срыва вакуума. Конструкция сифона, скорости течения воды в нем должны обеспечивать самозарядку сифона, то есть удаление из сифона защемленного в нем воздуха при прямом течении воды по трубопроводу. Чтобы не допустить обратного течения

воды из водоприемника по трубопроводу при остановке насосов, клапан срыва вакуума должен открываться и разряжать сифон — впускать в него воздух. При прямом течении воды клапан должен быть герметично закрыт и подсоса воздуха в сифон быть не должно [9]. Сифон водовыпуска состоит из восходящей ветви, горла, нисходящей ветви и выходного диффузора. Нижнюю точку горлового сечения называют порогом, или гребнем сифона, а верхнюю — капором. Эффективность работы сифона оценивают потерями напора в нем или коэффициентом гидравлических сопротивлений. Применяемые в практике сифоны имеют следующие показатели: потери напора 0,2...0,6 м, иногда до 1,0...1,2 м (при нескольких насосах, работающих на один напорный трубопровод), коэффициент сопротивлений $\zeta = 0{,}6...1$ (коэффициенты ζ отнесены к горловому сечению).

При компоновке проточной части сифона помимо технических условий проектирования водовыпускных сооружений (см. раздел 8.2) необходимо учитывать следующие рекомендации:

1. Для уменьшения потерь напора проточная часть сифона не должна иметь резких поворотов, диффузоров с углами конусности более 8°, а также зон, в которых могут возникнуть отрывы потока от стен проточной части.

2. В зависимости от диаметра напорного трубопровода можно применять три типа проточной части сифонов:

круглого сечения без нижнего отвода (см. рис. 8.5) — для напорных трубопроводов с $D_{тр} \le 1{,}2$ м;

круглого сечения с удлиненным нижним отводом (см. рис. 8.5) — для напорных трубопроводов с $1{,}2 \le D_{тр} \le 2{,}2$ м; применение этого типа сифона при $D_{тр} > 2{,}2$ м должно быть обосновано технико-экономическим расчетом;

прямоугольного сечения с удлиненным отводом (см. рис. 8.5) — для напорных трубопроводов с $D_{тр} \ge 2{,}2$ м.

3. Угол наклона восходящей ветви сифона принимают равным 30...45°, что снижает значение зарядного расхода, обеспечивает благоприятные условия подхода потока к горловому сечению сифона и исключает распространение вакуумной зоны на большой длине напорного трубопровода.

4. Угол наклона нисходящей ветви сифона рекомендуют принимать 30...40°, что обеспечивает плавный перевод потока в концевой диффузор.

5. Превышение гребня (порога) сифона над максимальным уровнем воды в водоприемнике с учетом ветровых волн, волн пуска основных насосов и возможных осадок сооружения должно быть не менее 0,2 м.

6. Радиусы закруглений рекомендуют принимать: горлового сечения — $r_0 = (2...3{,}5)D$, нижнего колена восходящей и нисходящей ветвей сифона — $R = (1{,}5...2{,}5)D$, где D — диаметр круглого или высота прямоугольного горлового сечения.

7. Выходное отверстие сифона должно быть заглублено под минимальный уровень воды в водоприемнике (с учетом волны) на значение $(4...5)v_{вых}^2 / 2g$, но не менее 0,2 м. Площадь выходного отверстия сифона рекомендуют принимать по допустимой скорости выхода $v_{вых} \le 2$ м/с. Низ выходного отверстия совмещают с дном колодца (бассейна) водовыпуска.

8. Восходящая ветвь и горло сифона, выполненные из стальных труб, должны быть круглого сечения, а нисходящая ветвь может быть выполнена или из круглой трубы постоянного сечения с горизонтально расположенным диффузором в конце сифона, или из трубы, расширяющейся в плане. Для улучшения гидравлической формы проточной части расширение нисходящей ветви можно выполнять не в вертикальной плоскости, а в плане, поэтому трубу разрезают пополам — вдоль по вертикальной диаметральной плоскости и в месте разреза вваривают два клина из листовой стали с углом конусности не более 8° (см. рис. 8.5,*б*).

9. При конструировании проточной части сифонов прямоугольного сечения руководствуются следующими положениями:

переходный участок от круглого сечения напорного трубопровода к прямоугольному (длина не менее $2D_{тр}$) выполняют в пределах восходящей ветви сифона (см. рис. 8.5,*в*);

между переходным участком и горловым коленом желательно предусматривать небольшую вставку длиной не менее $0,3H_{г.с}$, где $H_{г.с}$ — высота горлового сечения сифона;

$H_{г.с}$ для уменьшения вакуумной зоны и ускорения зарядки сифона принимают $(0,5...0,6)D_{тр}$, тогда ширина горлового сечения (при условии равенства площадей сечений горла сифона и трубопровода) составит $(1,57...1,31)D_{тр}$. При необходимости изменения площади горлового сечения желательно сохранить соотношение ширины сечения к его высоте в пределах 2,3...3,5;

нисходящая ветвь сифона прямоугольного сечения должна иметь постоянную высоту и расширяться в плане (угол конусности не более 8°);

выходной диффузор сифонов выполняют раструбом вверх с углом конусности до 8°. При необходимости допускается расширение и в горизонтальной плоскости (см. рис. 8.5). Совмещать диффузор с коленом не следует.

10. Деформационные швы и компенсаторы на напорном трубопроводе должны быть расположены ниже границы вакуумной зоны, чтобы исключить подсос воздуха при работе сифона.

11. Длину водовыпускного сооружения определяют как сумму длин:

сифонного оголовка;

горизонтальной части дна колодца (см. рис. 8.5), м,

$$L_к = (1,5...2)D_{вых} \text{ или } L = (1,5...2)H_{вых},$$

где $D_{вых}$ и $H_{вых}$ — диаметр и высота водовыпускного отверстия, м;

сопрягающей части колодца, м,

$$L_{сопр} = (4...5)p,$$

где p — высота порога, полученная как разность отметок дна отводящего канала и колодца, м;

переходного участка, который имеется в сооружениях, где ширина сооружения не равна ширине отводящего канала по дну

$$L_{пер} = (B - b)/2\text{tg}\,\alpha/2,$$

где B — ширина сооружения, м; b — ширина по дну отводящего канала, м; α — центральный угол конусности, $\alpha = 30...40°$ (см. раздел 8.2).

При достаточном обосновании возможно совмещение переходного и сопрягающего участков.

Расчет проточной части сифона начинают с нахождения зарядного расхода, который должен быть меньше минимальной подачи по одному из напорных трубопроводов $Q_{\min тр} \geq Q_{зар}$.

Для определения зарядного расхода предложен ряд эмпирических формул. Например, САНИИРИ:

для сифонов круглого поперечного сечения

$$Q_{зар} = \sqrt{g} D_{г.с}^{2,5} (0{,}53 - 0{,}17\,\alpha_1/90); \qquad (8.1)$$

для сифонов прямоугольного сечения

$$Q_{зар} = \sqrt{g} A B_{г.с} \sqrt{H_{г.с}^3 / 1{,}05}, \qquad (8.2)$$

где g — ускорение свободного падения, м/с^2; $D_{г.с}$ — диаметр горлового сечения сифона, м (принимают равным или несколько меньшим диаметра напорного трубопровода); α_1 — угол наклона восходящей ветви сифона к горизонту, град; A — коэффициент, $A = 0{,}6...0{,}7$; $B_{г.с}$ и $H_{г.с}$ — ширина и высота горлового сечения.

Есть и другие формулы, предложенные, например, В. В. Рычаговым, А. А. Нибергом (МГУП). Однако все формулы зарядного расхода $Q_{зар}$ имеют недостатки и требуют дальнейшего совершенствования.

Если $Q_{min\,тр} \geq Q_{зар}$, то сифон будет заряжаться и работать полным сечением, а если $Q_{min\,тр} < Q_{зар}$, расчет повторяют, уменьшив площадь горлового сечения не более чем на 20 %. При уменьшении площади горлового сечения повышаются скорость потока и, следовательно, потери напора. В последнем случае необходимо сравнить три возможных варианта: работа сифона неполным сечением при минимальных расходах (следовательно, максимальные потери напора); сифон с максимально суженным горловым сечением; замена сифона водовыпускным сооружением иной конструкции.

8.5. КЛАПАНЫ СРЫВА ВАКУУМА СИФОННЫХ ВОДОВЫПУСКОВ

В период эксплуатации сифонных водовыпусков насосных станций установлено, что самые ненадежные элементы сооружения — это клапаны срыва вакуума. Способность насосной станции подавать воду и при незаряженных сифонах приводит к тому, что некоторые насосные станции вообще не оборудованы клапанами срыва вакуума, а часть станций работает с неисправными, то есть постоянно открытыми клапанами. В этом случае горло сифона постоянно сообщается с атмосферой, а сооружение превращается в водовыпуск — водослив, в результате повышается высота подъема воды и происходит перерасход энергии.

Основные требования к клапанам срыва вакуума:

конструкция и размер клапана должны обеспечить выпуск воздуха из сифона при заполнении напорного трубопровода (при этом не должно быть прорыва воздуха через затопленное выходное отверстие нисходящей ветви сифона);

конструкция и размер клапана должны обеспечить впуск воздуха в сифон для срыва в нем вакуума при остановке насоса и для компенсации объема воды, сбрасываемой через насосы; желательно, чтобы срыв вакуума происходил в момент отключения двигателей основных насосов, то есть до образования обратного тока воды; клапан должен надежно срабатывать и открываться автоматически;

время закрытия клапана (при пуске насосов) от момента установления на гребне сифона критической глубины до закрытия клапана должно быть минимальным (до 5 с), особенно при пуске осевых насосов; клапан в закрытом положении должен быть герметичным и не допускать подсоса воздуха в сифон.

Клапан срыва вакуума на сифоне устанавливают также и в том случае, если в здании станции на напорных коммуникациях насосов имеются обратные клапаны, предназначенные для предотвращения обратного тока воды через насосы при их остановке. Клапан срыва вакуума должен предотвратить обратный ток воды из бассейна водовыпуска в аварийной ситуации, например при разрыве напорного трубопровода.

В зависимости от амплитуды колебаний уровней воды в водоприемнике и скорости в горловом сечении сифона применяют гидравлические (рис. 8.7), гидромеханические и механические клапаны с электроприводом. Гидравлические клапаны срыва вакуума — это гидравлический затвор, в котором используют гидродинамический эффект протекающего в сифоне потока воды. В гидромеханических и механических клапанах запорным устройством служит диск специальной формы, для открытия или закрытия которого используют или скоростной напор потока, проходящего в горле сифона, или независимый привод. Принцип дей-

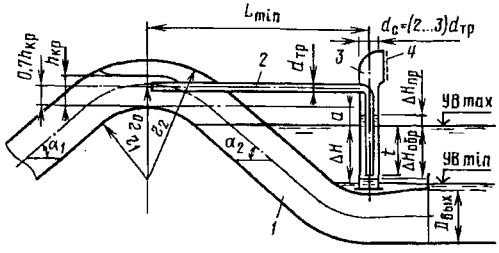


Рис. 8.7. Схема гидравлического клапана срыва вакуума (конструкция Укргипроводхоза):

1 — проточная часть сифона; *2* — скоростная трубка; *3* — стакан; *4* — предохранительная решетка; L_{min} — минимальное расстояние от горлового сечения до стакана пьезометра; $d_{тр}$ — диаметр скоростной трубки; t — заглубление нижней кромки скоростной трубки под расчетный уровень воды; $\Delta H_{обр}$ и $\Delta H_{пр}$ — перепады уровней при обратном и прямом течении; d_c — диаметр стакана пьезометра

ствия различных клапанов изложен в учебнике [9].

Гидравлический клапан типа аэрационной трубы (см. рис. 8.5, *б*) можно применять при небольших (до 0,3 м) колебаниях уровней воды в отводящем канале и числе насосов, работающих на напорный трубопровод, не более двух. Аэрационную трубу устанавливают так, чтобы ее устье (в месте присоединения к трубопроводу) было ниже пьезометрической (при минимальном уровне воды в канале) на $3v^2_{вых}/2g$, но не менее чем на 5 см (см. рис. 8.5, *б*). Иногда аэрационные трубы являются дублирующим устройством в паре с клапанами срыва вакуума других типов. При заполнении напорного трубопровода водой выпуск воздуха происходит через аэрационную трубу.

Гидравлические клапаны срыва вакуума (рис. 8.7) используют при амплитуде колебаний уровня воды в водоприемнике до 1,2 м, а при больших скоростях потока в горле сифона даже до 1,8 м.

Гидромеханический клапан срыва вакуума (рис. 8.8), использующий скоростной напор воды, обычно применяют на сифонах с $D_{тр} \le 1{,}2$ м при любых колебаниях уровней воды в водоприемнике, однако есть случаи применения и на более крупных сифонах. Этот тип клапана очень чувствителен к значению скоростного напора: при изменении скорости в 3 раза сила прижатия диска к уплотнению снижается в 9 раз, что при малых расходах приводит к под-

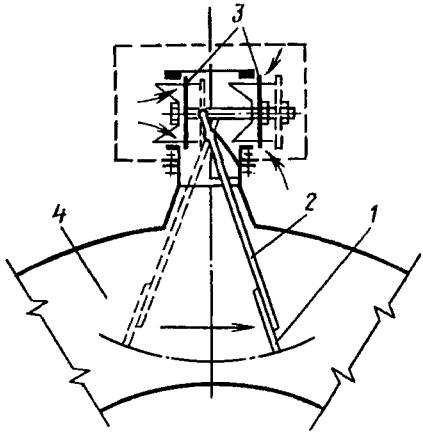


Рис. 8.8. Схема гидромеханического клапана срыва вакуума (конструкция Союзгипроводхоза):

1 — лопатка; *2* — рычаг; *3* — запорный диск; *4* — проточная часть сифона

сосу воздуха при разрядке сифона, поэтому их лучше применять при числе работающих насосов на трубопровод не более двух. Недостатки гидромеханических клапанов срыва вакуума: запаздывание при открытии и закрытии, налипание мусора на рычаг и крыло, вибрация рычажной системы и запорного диска при неравномерном движении воды, что особенно заметно при большом диаметре (высоте) горлового сечения сифона ($D_{тр} > 1{,}2$ м). Клапаны срыва вакуума с электро- и пневмомеханическим приводом используют в тех случаях, когда нельзя применить гидравлические и гидромеханические клапаны.

Расчет воздушных труб клапанов срыва вакуума и воздуховодных труб. Минимальные площади сечений воздуховодных труб и клапанов срыва вакуума, м^2,

$$\omega_0 = \frac{Q_{max}}{400C\sqrt{10\Delta p}}, \qquad (8.3)$$

где Q_{max} — расход выпускаемого или впускаемого через трубу воздуха, м^3/с; C — коэффициент расхода, для воздуховодных труб $C = 0{,}7$, для клапанов срыва вакуума $C = 0{,}5$; Δp — допускаемая разность давлений наружного воздуха и воздуха за затвором, обычно $\Delta p = 0{,}01...0{,}2$ МПа.

При выборе сечения воздуховодных труб и клапанов срыва вакуума, чтобы избежать подсоса воды из канала при опорожнении напорного трубопровода, следует выдержать условие

$$\Delta p \cdot 10^5/\rho g \le a,$$

где a — превышение гребня сифона над расчетным уровнем воды в канале, м; ρ — плотность воды, кг/м^3; g — ускорение свободного падения, м/с^2.

Вычисленное по формуле (8.3) значение ω_0 необходимо проверить по допустимым скоростям: для воздуховодных труб — 50 м/с, для воздушных труб клапанов срыва вакуума — 40 м/с.

Расход Q_{max} в формуле (8.3) определяют на основании расчетов пуска и останова насосных агрегатов. Если по каким-либо причинам эти расчеты выполнить нельзя, то пользуются следующими рекомендациями:

максимальный расход для выпуска воздуха (при заполнении напорного трубопровода) с некоторым запасом принимают равным подаче одного насоса, определяемой по его характеристике $H - Q$ при нулевом напоре ($H = 0$); это касается главным образом осевых насосов;

максимальный сбросной расход $Q_{сбр}$ для впуска воздуха (при опорожнении трубопровода) можно принять равным сумме сбросных расходов всех насосов, подключенных к напорному трубопроводу, если на напорных коммуникациях нет обратных клапанов; сбросные расходы, м^3/с, в этом случае рассчитывают приближенно

$$Q_{сбр} = k\Sigma Q_н, \qquad (8.4)$$

где k — коэффициент (данные Б. Н. Находкина), зависящий от коэффициента быстроходности насоса n_s:

n_s	80	100	120	160	200	275	350	500	600	700	800
k	1,09	1,07	1,05	1,03	1,00	0,93	1,08	1,30	1,40	1,50	1,60

$Q_н$ — расчетная подача насоса, м³/с.

Обычно максимальный сбросной расход для центробежных насосов соответствует нулевой частоте вращения, а для диагональных и осевых — максимальной обратной частоте вращения;

максимальный сбросной расход $Q_{сбр}$, м³/с, для впуска воздуха (при наличии обратных клапанов на напорных коммуникациях) принимают равным сумме сбросного расхода одного основного насоса и расходов сбросных устройств:

$$Q_{сбр} = kQ_н + \Sigma q, \tag{8.5}$$

где Σq — сумма расходов специальных сбросных устройств через обводные линии, *клапаны-гасители и др.*, м³/с.

Расчет гидравлического клапана срыва вакуума (ГКСВ). Условие применимости ГКСВ (см. рис. 8.7) определяется соотношением

$$(\Delta H_{пр} + \Delta H_{обр} - d_{тр}/4) \geq \Delta H, \tag{8.6}$$

где $\Delta H_{пр}$ и $\Delta H_{обр}$ — обозначения см. рис. 8.7; $d_{тр}$ — диаметр скоростной трубки, м; ΔH — амплитуда колебаний уровней воды в отводящем канале, м.

Диапазон работы ГКСВ определяется величинами $\Delta H_{пр}$ и $\Delta H_{обр}$ — перепадами уровней воды, которые устанавливаются в стакане клапана и в колодце водовыпускного сооружения при прямом и обратном движении воды в сифонном оголовке (см. рис. 8.7).

$\Delta H_{пр}$ и $\Delta H_{обр}$ вычисляют по формулам, предложенным А. А. Нибергом (МГУП):

при прямом движении воды в сифоне

$$\Delta H_{пр} = \left[\Sigma\zeta_{пр} - \left(1 - \beta_{пр}\right)k_y^2\right]v_{гс}^2 / 2g; \tag{8.7}$$

при обратном движении воды

$$\Delta H_{обр} = \left[\Sigma\zeta_{обр} + \left(1 + \beta_{обр}\right)k_y^2\right]v_{г.с.о}^2 / 2g, \tag{8.8}$$

где $\Sigma\zeta_{пр}$ и $\Sigma\zeta_{обр}$ — сумма коэффициентов гидравлических сопротивлений в нисходящей ветви сифона от горлового сечения до выходного соответственно при прямом и обратном токах воды; $v_{г.с}$ и $v_{г.с.о}$ — средние скорости течения воды в горле сифона при прямом и обратном токе, м/с; $\beta_{пр}$ — коэффициент использования скоростного напора входным отверстием скоростной трубки ГКСВ, принимают 0,7...0,9; k_y^2 — коэффициент (табл. 8.1), зависящий от принятых значений y; r_o' — относительный радиус закругления горлового сечения, $r_o' = r_o / H_{гс}$ (при круглом горловом сечении $H_{г.с} = D_{г.с}$); $\beta_{обр}$ — коэффициент использования отсасывающего эффекта на конце скоростной трубки ГКСВ при обратном токе воды, принимают 0,4...0,6.

8.1. Значения коэффициента k_y в зависимости от принятых значений y и r'_o

y	$r'_o = r_o / H_{г.с}$			
	2	2,5	3	3,5
$H_{г.с}$ (верх сечения)	0,78	0,82	0,85	0,87
0,75 $H_{г.с}$	0,87	0,90	0,91	0,93
0,5 $H_{г.с}$	0,98	0,99	0,99	0,99
0,25 $H_{г.с}$	1,12	1,10	1,08	1,07
0,0 (низ сечения)	1,31	1,23	1,20	1,16

Для получения наибольшего диапазона работы ГКСВ входное отверстие скоростной трубки располагают выше гребня сифона на расстоянии $y = 0{,}25H_{г.с}$ (по данным В. Н. Драгунова).

Ориентировочно $\Delta H_{пр}$ и $\Delta H_{обр}$ можно найти по графику (предложение Н. А. Палишкина) зависимости $\Delta H = f(v_{г.с})$ (рис. 8.9), полученному на основании обработки опытных данных по сифонам ряда действующих насосных станций, где по оси абсцисс отложены значения средней скорости потока v в горле сифона, а по оси ординат — значения ΔH при прямом $\Delta H_{пр}$ и обратном $\Delta H_{обр}$ токе воды в сифоне. Этим графиком можно пользоваться для предварительных расчетов, поскольку $\Delta H_{пр}$ и $\Delta H_{обр}$ зависят от значений $\zeta_{пр}$ и $\zeta_{обр}$, которые, в свою очередь, зависят от принятой формы сифона.

При определении размеров ГКСВ придерживаются следующих рекомендаций:

1. Минимальную площадь сечения скоростной (воздушной) трубки вычисляют по формуле, м^2,

$$f = Q / \left(12{,}8\mu\sqrt{h_{заг}}\right), \qquad (8.9)$$

где Q — расход выпускаемого через отверстие воздуха, равный расчетному расходу трубопровода, м^3/с; μ — коэффициент расхода: отверстия — 0,6, ГКСВ — 0,5; $h_{заг}$ — заглубление выходного отверстия под минимальный уровень воды в водовыпуске, м.

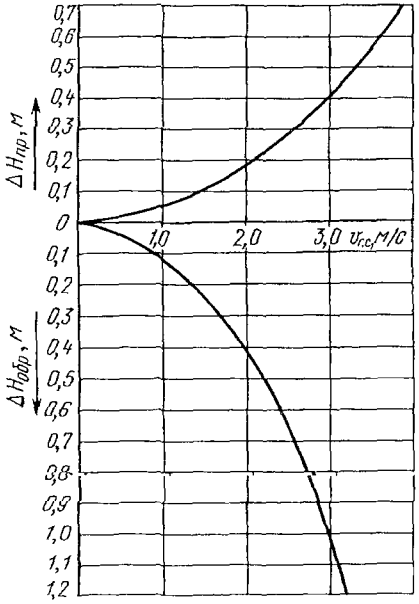


Рис. 8.9. График зависимости $\Delta H = f(v_{г.с})$

При малых заглублениях выходных отверстий (сифоны круглого сечения) допускается выброс воздуха через выходное отверстие сифона при пуске насоса. В этом случае сечение скоростной трубки принимают 1,5...2 % от сечения горла сифона, что достаточно для срыва вакуума в сифоне и предотвращения обратного тока воды через сифон в напорный трубопровод и насос. Однако эта рекомендация не совсем точна, так как не учитывает зависимость сбросного расхода от коэффициента быстроходности насоса и наличия обратных клапанов. Поэтому определять сечение воздушной трубы лучше по формулам (8.4) и (8.9).

Для предварительных расчетов площадь сечения скоростной трубки находят по графику $\omega_{кл}/\omega_{г.с} = f(L_{тр}/D_{тр}, v_{обр})$ (рис. 8.10) (предложение Н. А. Палишкина).

При диаметре воздушной трубы более 400 мм вместо одной целесообразно установить две или три эквивалентной площади, объединив их перемычкой того же диаметра, чтобы исключить возможность раскачки уровней воды в стаканах.

2. Диаметр стакана принимают в 2...3 раза больше диаметра скоростной трубки (по наружному ее диаметру).

3. Отметку дна стакана определяют из условий монтажа, но в любом случае дно стакана располагают не менее чем на $(1...2)d_{тр}$ ниже минимального уровня воды в колодце водовыпускного сооружения. Верх стакана должен превышать максимальный уровень воды в канале и быть защищен колпаком или повернут в сторону верхнего бьефа (см. рис. 8.7). На входе в стакан предусматривают защитную решетку.

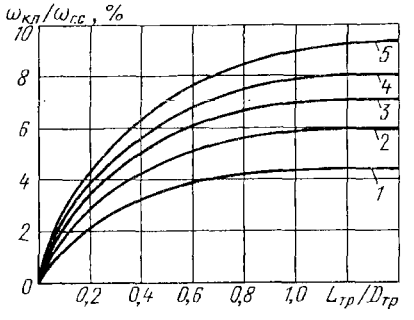


Рис. 8.10. График зависимости $\omega_{кл}/\omega_{г.с} = f(L_{тр}/D_{тр}, v_{обр})$:
1 — скорость обратного тока воды в горле сифона, равная 1 м/с; *2, 3, 4, 5* — то же, соответственно 2; 2,87; 3,2; 3,8 м/с; $\omega_{кл}$, $\omega_{г.с}$ — соответственно площади клапана и горла сифона; $L_{тр}$, $D_{тр}$ — длина и диаметр трубопровода

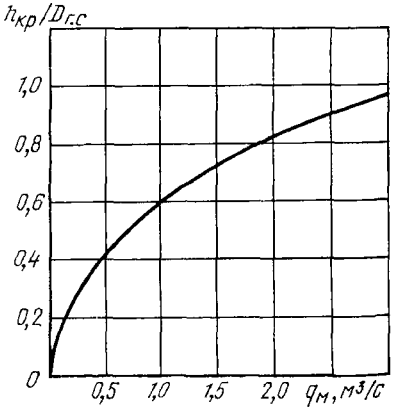


Рис. 8.11. График зависимости $h_{кр}/D_{г.с} = f(q_м)$

4. Скоростную трубку устанавливают входным отверстием навстречу потоку в горловом сечении сифона, а ось ее располагают на расстоянии $(0,7...0,8)h_{кр}$ от гребня водослива сифона так, чтобы входное отверстие трубки в любых случаях было затоплено водой.

Критическую глубину потока, которая устанавливается при прямом движении воды на гребне незаряженного сифона при свободном доступе воздуха в него и зависит от формы горлового сечения, определяют по формулам:

для круглого сечения

$$h_{кр} = h'_{кр} D_{г.с}, \tag{8.10}$$

где $h'_{кр}$ — критическая глубина круглого сечения при $D = 1$ м, находят по модельному удельному расходу (рис. 8.11)

$$q_м = 1,05Q / D_{гс}^{2,5}, \tag{8.11}$$

здесь Q — расчетный расход сифона, м³/с; $D_{г.с}$ — диаметр горлового сечения, м;

для прямоугольного сечения

$$h_{кр} = 0,482\, q^{2/3} = 0,482\, (Q/b)^{2/3}, \tag{8.12}$$

где q — удельный расход (на 1 м ширины) горлового сечения сифона, м²/с; b — ширина горлового сечения, м.

Заглубление нижней кромки скоростной трубки, опущенной в стакан, определяется значением $\Delta H_{пр}$ и $\Delta H_{обр}$. Для нормальной работы клапана срыва вакуума необходимо, чтобы принятое заглубление t под расчетный уровень воды удовлетворяло условию

$$(\Delta H_{обр} - d_{тр}/4) \geq t \geq (\Delta H - \Delta H_{пр}). \tag{8.13}$$

Если неравенство не соблюдается, скорость потока в горле сифона увеличивают или устанавливают другой тип клапана.

Расчет аэрационной трубы. Диапазон работы аэрационной трубы можно рассчитать тем же способом, что и обычные ГКСВ. Для упрощенных расчетов при $Q_{пр} = Q_{обр}$

$$\Delta H_{пр} + \Delta H_{обр} = v^2/2g\, (\zeta_{пр} + \zeta_{обр}), \tag{8.14}$$

где v — скорость в сечении сифона, где установлена аэрационная труба, м/с; $\zeta_{пр}$ и $\zeta_{обр}$ — коэффициенты сопротивления сифона при прямом и обратном движении воды.

Аэрационную трубу, площадь сечения которой рекомендуется принимать 5...8 % площади сечения напорного трубопровода, вре-

зают в восходящую ветвь сифона несколько ниже минимального уровня воды в водоприемнике (устье трубы должно быть не менее чем на $v_2/2g$ затоплено под уровень воды).

8.6. ВОДОВЫПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ С ПЕРЕЛИВНЫМИ СТЕНКАМИ

Сооружение этого типа наиболее простое по конструкции и надежно в эксплуатации (см. рис. 8.6). Принцип работы сооружения следующий. Вода из диффузора напорного трубопровода поступает вначале в резервуар, изолированный от бассейна водовыпуска вертикальными стенками, гребень (верхняя кромка) которых горизонтален и превышает максимальный уровень воды в водоприемнике обычно не более чем на 0,1 м. Далее вода из резервуара поступает в бассейн водовыпускного сооружения, переливаясь через гребень стенок, являющихся неподтопленным водосливом с тонкой стенкой. В резервуаре устанавливается определенный уровень воды, а на гребне водослива создается напор $H_{гр}$, необходимый для пропуска расхода, проходящего по трубопроводу. Чем больше длина гребня водослива L и его коэффициент расхода m, тем меньше напор на водосливе $H_{гр}$ и, следовательно, эффективнее его работа. Форма резервуара в плане может быть любой — от круглой до полигональной. Наиболее простая и распространенная — прямоугольная с шириной $D_{вых}$, где $D_{вых}$ — диаметр выходного отверстия напорного трубопровода. Разность отметок уровней воды в резервуаре и бассейне водовыпуска — дополнительная высота подъема насоса, что является основным недостатком водовыпуска.

Водовыпускное сооружение с переливными стенками следует применять при $\Delta H \le 0{,}5$ м (ΔH — амплитуда колебаний уровней воды в водоприемнике). При этом длина гребня водослива должна быть такой, чтобы $H_{гр}$ было в пределах 0,2...0,4 м, а удельный расход водослива q был равен 0,2...0,9 м^2/с. Определить размеры водосливной стенки можно двумя способами.

Первый способ. Назначают толщину гребня водослива (в верхней части) $\delta_{гр} \le 0{,}5H_{гр}$; определяют коэффициент расхода водослива в первом приближении

$$m = 0{,}44\,(0{,}7 + 0{,}185H_{гр}/\delta_{гр}). \qquad (8.15)$$

Затем вычисляют длину гребня водослива, м,

$$L = Q_{тр} / \left(m\sqrt{2g}\, H_{гр}^{3/2}\right), \qquad (8.16)$$

где $Q_{тр}$ — максимальный расход трубопровода, м^3/с; g — ускорение свободного падения, $g = 9{,}81$ м/с^2.

При прямоугольной форме резервуара в плане с шириной

$B_{рез} = D_{вых}$ $L_{рез} = (L - D_{вых})/2$. Длину резервуара не следует делать менее $4D_{вых}$; в этом случае $L \geq 9D_{вых}$. При известной длине гребня водослива уточняют $H_{гр}$, для чего находят вначале удельный расход, м^2/с,

$$q = Q_{тр}/L,$$

а затем коэффициент расхода

$$m = 0{,}3 - 0375q \text{ при } q < 0{,}1 \text{ м}^2/\text{с};$$
$$m = 0{,}3 + 0{,}375\,(q - 0{,}1) \text{ при } q > 0{,}1 \text{ м}^2/\text{с}. \qquad (8.17)$$

Изложенным выше способом обычно рассчитывают водовыпуски при непродолжительной (3...4 тыс. ч в год) их работе.

Второй способ. Определяют длину водосливной грани на основании технико-экономических расчетов. Для правильно запроектированного сооружения длина резервуара $L_{рез}$ должна соответствовать минимуму приведенных затрат. В этом случае оптимальная длина резервуара, м,

$$\left(L_{рез}\right)_{опт} = \left[\frac{2\rho g T a Q_{ср.куб}}{3\left(E_н + 0{,}01p\right)\eta_{ну}\,\chi}\left(Q_{ср.куб}\,/\,2m\sqrt{2g}\right)^{2/3}\right]^{0{,}6}, \qquad (8.18)$$

где ρ — плотность воды, т/м^3; T — продолжительность работы станции за сезон, ч; a — стоимость 1 кВт · ч электроэнергии, р.; $Q_{ср.куб}$ — среднекубический расход трубопровода, м^3/с; $E_н$ — коэффициент экономической эффективности, $E_н = 0{,}1...0{,}125$; p — процент отчислений на амортизацию и ремонты; $\eta_{н.у}$ — КПД насосной установки, доли единиц; χ — стоимость 1 м длины резервуара, в которую входит стоимость всех резервуаров-водосливов и стоимость бассейна водовыпуска в пределах резервуаров, р.; m — число ниток трубопроводов.

Определив $L_{рез}$, находят длину гребня водослива $L = L_{рез} + D_{вых}$, напор на гребне $H_{гр}$ при пропуске среднекубического расхода $Q_{ср.куб}$; коэффициент расхода уточняют по формуле (8.17). Затем определяют $H_{гр}$ при пропуске максимального и минимального расходов трубопровода.

Размеры и конструкция бассейна должны обеспечить:

с одной стороны, неподтопленное истечение через гребень водослива — при пропуске максимального расхода и при максимальном уровне воды в отводящем канале (это касается в первую очередь расстояния между соседними резервуарами);

с другой стороны, сопряжение струи, перелившейся через гребень, с потоком в отводящем канале, находящемся в спокойном состоянии, с помощью надвинутого гидравлического прыжка.

Для выполнения этих условий рекомендуют отметку дна бассейна водовыпускного сооружения принимать равной отметке дна отводящего канала, расстояние в свету между соседними резервуарами-водосливами — равным $2D_{вых}$; в концевой части бассейна уст-

раивать специальный гаситель (см. рис. 8.6), состоящий из одного ряда косых в плане зубьев и водобойной стенки.

Площадь выходного отверстия напорного трубопровода вычисляют по скоростям течения $v_{вых} = 1{,}5...2$ м/с. Верхнюю кромку выходного отверстия напорного трубопровода заглубляют под минимальный уровень воды в резервуаре-водосливе на $(4...5)v_{вых}^2 / 2g$, но не менее чем на 0,2 м. Дно бассейна водовыпускного сооружения с дном отводящего канала сопрягают переходным участком с углом конусности 35...40°. Боковые стенки бассейна и переходного участка обычно откосные. Бассейн и начальную часть отводящего канала защищают от размывов железобетонной облицовкой.

8.7. ВОДОВЫПУСКНОЕ СООРУЖЕНИЕ ТИПА ДЕЛИТЕЛЯ

Аварийные водосбросные сооружения. В некоторых случаях насосная станция подает воду в два или более оросительных канала, берущих свое начало непосредственно у водовыпускного сооружения насосной станции. В этом случае в головах каналов устраивают специальные сооружения, регулирующие расходы и уровни воды в каналах. Весь узел сооружений, включающий водовыпускное сооружение насосной станции и регуляторы на каналах, называют водовыпускным сооружением типа делителя. В отдельных случаях узел сооружений включает и водосбросное сооружение. Регуляторы могут быть по конструкции открытыми или трубчатыми. Последние применяют при перепадах уровней в бассейне (перед затвором регулятора и в отводящем канале) более 0,5 м. Собственно водовыпускное сооружение может быть сифонного типа или с затворами механического действия. Размеры бассейна сооружения (рис. 8.12): высотные и плановые определяют так же, как и для сооружения прямоточного типа. Рекомендуется длину бассейна водовыпуска принимать не менее $10D_{вых}$ ($D_{вых}$ — диаметр выходного отверстия напорного трубопровода) при скоростях выхода $v_{вых} \le 2$ м/с. Объем бассейна должен быть достаточным для аккумуляции дополнительного количества воды, подаваемого насосами при запаздывании открывания затворов регуляторов. Выходные отверстия напорных трубопроводов заглубляют под минимальный уровень воды в том отводящем канале, уровни воды в котором выше. Максимальная глубина воды в бассейне определяется: размерами выходных отверстий напорных трубопроводов; превышением форсированного уровня воды над максимальным расчетным, при котором обеспечивается распределение максимальной подачи насосной станции между всеми отводящими каналами; заглублением выходных отверстий напорных трубопроводов под максимальный расчетный уровень; размерами входных отверстий регуляторов. Отметку форсированного уровня воды

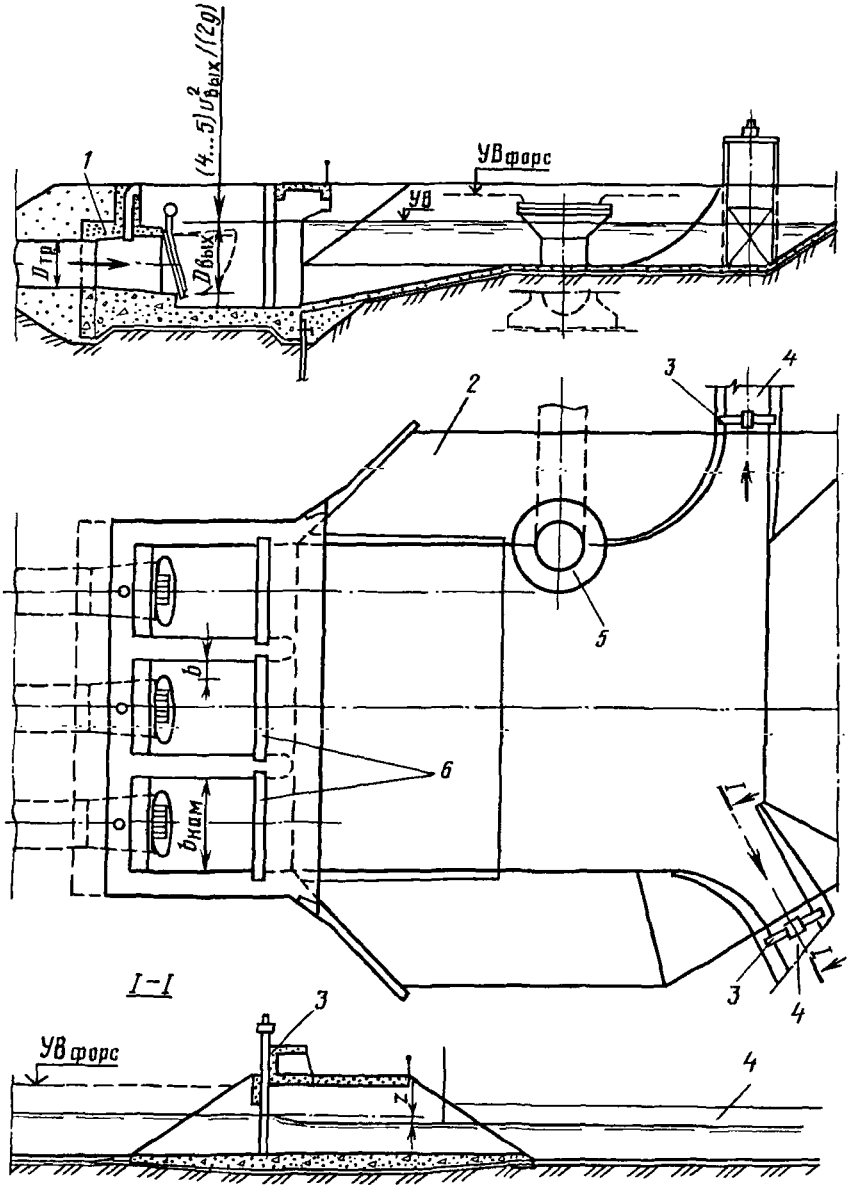


Рис. 8.12. Схема водовыпускного сооружения типа делителя:

1 — водовыпускной оголовок; *2* — бассейн водовыпуска; *3* — регуляторы на каналах; *4* — отводящие каналы; *5* — аварийный сброс; *6* — пазы для ремонтных затворов и успокоительных решеток

определяют с учетом: повышения уровня воды в бассейне от аккумуляции регулирующего объема; некоторого запаса 0,1...0,7 м; напора на гребне аварийного сброса при пропуске расчетного расхода. Ориентировочно объем регулирующей емкости можно принять $(0{,}6...0{,}7)Qt$, где Q — подача насоса, t — время полного открытия затвора регулятора. Время подъема затвора зависит от скорости винтового подъемника: 10...30 см/мин при наличии электропривода и 7...2,5 см/мин при ручном подъеме. Напор на гребне аварийного сброса может быть вычислен по формулам неподтопленного водослива.

Высотная компоновка сооружения определяется обычно отводящим каналом, уровни воды в котором выше; на основании этого находят максимальный расчетный уровень воды в бассейне. В голове отводящего канала с более высокими уровнями используют регулятор открытого типа и рассчитывают его как водослив с широким порогом; отметку порога водослива принимают равной отметке дна отводящего канала, а чтобы увеличить пропускную способность водослива, высоту порога со стороны бассейна целесообразно принять равной нулю. Водослив рассчитывают на пропуск максимального расхода Q в рассматриваемом отводящем канале. Для нахождения ширины водослива вначале определяют удельный расход регулятора $q = kh_{max}v_{max}$, где k — коэффициент, равный 1,2...1,5; v_{max}, h_{max} — средняя скорость течения и глубина в отводящем канале при максимальном расходе.

Ширина водослива $b = Q/q$. Водослив разбивают на несколько отверстий. Ориентировочно ширину отверстия принимают равной h_{max} (при ширине водослива до 2,5 м можно принять однопролетное сооружение). Коэффициент расхода водослива m и коэффициент стеснения потока ε быками определяют в зависимости от конструкции сопряжения боковых устоев регулятора со стенками бассейна водовыпускного сооружения по гидравлическим справочникам. Напор на водосливе H_0 можно найти из формулы неподтопленного водослива с широким порогом $Q = m\varepsilon b\sqrt{2g}\,H_0^{3/2}$, рассматривая первоначально истечение неподтопленным. При известном напоре H_0 проверяют условия подтопления водослива, для чего сопоставляют глубину в отводящем канале h_{max} с величиной, равной nH_0 (здесь $n = 0{,}75$ при плавном входе на водослив, $n = 0{,}85$ при неплавном входе). Если $h_{max} \le H_0$, то водослив не подтоплен, при $h_{max} > nH_0$ водослив будет подтоплен. В последнем случае расчетная формула может быть представлена в виде

$$Q = \varphi_п \varepsilon \omega \sqrt{2gz}, \qquad (8.19)$$

где $\varphi_п$ — коэффициент скорости в условиях подтопленного истечения, зависящий от коэффициента расхода m,

$\varphi_п$	0,77	0,84	0,9	0,96	0,99
m	0,3	0,32	0,34	0,36	0,38

ω — площадь отверстия, м^2, $\omega = bh_{max}$; z — перепад уровней на водосливе, $z = H - h_{max}$ с некоторыми допущениями (H — напор на водосливе, м, $H \approx H_0$; h_{max} — глубина воды на водосливе, м, $h_{max} \approx h$).

По формуле (8.19) определяют z, затем напор на водосливе $H = h_{max} + z$. Отметка максимального уровня воды в бассейне водовыпускного сооружения будет $\nabla УВ_{max.бас} = \nabla$дна отв. канала + H.

В качестве рабочих затворов регуляторов можно использовать плоские затворы с винтовыми подъемниками. Расходы меньше, чем Q_{max}, пропускают в виде истечения из-под затвора.

Регуляторы-водовыпуски в другие каналы рассчитывают исходя из уже определенного максимального уровня воды в бассейне. При расчете второго открытого регулятора-водовыпуска вначале определяют удельный расход регулятора и его ширину, а затем напор водослива $H_0 \approx H$ по формуле неподтопленного водослива. Далее вычисляют отметку порога водослива второго регулятора, м,

$$\nabla порога = \nabla УВ_{max\,бас} - H - (0{,}05...0{,}07),$$

которая не должна быть, с одной стороны, выше отметки порога первого регулятора-водовыпуска, а с другой — ниже отметки дна второго отводящего канала. Далее находят высоту подтопления, м,

$$p = \nabla дна\ отв.\ канала + h_{max} - \nabla порога.$$

При известном значении $h_п$ проверяют условия подтопления водослива второго регулятора, как это делали при расчете первого регулятора-водовыпуска, и, если истечение подтопленное, уточняют напор на водосливе.

При расчете трубчатого регулятора-водовыпуска порядок расчета иной. В этом случае назначают диаметр труб водовыпуска и определяют число труб

$$n_{тр} = Q_{max}/q,$$

где q — расход воды, пропускаемый через одну трубу, м^3/с.

Диаметр трубы назначают предварительно из условия обеспечения необходимого заглубления входного отверстия трубы под минимальный уровень воды в бассейне водовыпускного сооружения по формуле (см. раздел 3.2). Расход одной трубы, м^3/q,

$$q = \omega \sqrt{2gz} / \Sigma\zeta,$$

где ω — площадь поперечного сечения трубы; z — перепад уровней, равный разности отметок уровней воды в бассейне и отводящем канале, м; $\Sigma\zeta$ — сумма коэффициентов сопротивлений трубы водовыпуска, начиная от входа до выхода из нее.

Верхнюю кромку выходного отверстия трубы заглубляют на 4...5 скоростных напоров на выходе (но не менее чем 0,2 м) под минимальный уровень воды в отводящем канале. В голове трубчатого регулятора устанавливают рабочий затвор.

Аварийный водосброс в составе водовыпускного сооружения предусматривают в том случае, если есть опасность подтопления водовыпуска при устройстве шлюзов-регуляторов на отводящих каналах, каскада насосных станций. Расход водосброса принимают согласно нормам проектирования, но обычно не менее подачи основного насоса. В качестве аварийных водосбросов можно применять боковые водосливы, шахтные водосбросы, сифонные водосбросы. Оптимальный тип водосброса определяют технико-экономическим сравнением вариантов.

8.8. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1. Определить размеры водовыпускного сооружения и потери напора в нем.

Исходные данные: подача насосной $Q_{max} = 6{,}3$ м^3/с, $Q_{форс} = 8{,}4$ м^3/с;

напорные трубопроводы (железобетонные сборные, засыпные) в две нитки диаметром 1,4 м;

на станции установлены четыре насоса марки 80ВЦ = 2,5/40 с подачей 2,1 м^3/с каждый, три насоса рабочих и один резервный;

поперечное сечение отводящего канала одинаково с подводящим (см. разд. 3.5), ширина канала по дну $b = 4$ м;

глубина воды в канале:

при форсированной подаче 1,38 м;

минимальной подаче ($Q_{min} = 2{,}1$ м^3/с) 0,68 м;

работе трех насосов ($Q = 6{,}3$ м^3/с) 1,2 м;

коэффициент заложения откосов $m = 1{,}5$, отметка дна отводящего канала 50,8 м;

на каждый напорный трубопровод работают два насоса, поэтому $Q_{тр\,min} = 2{,}1$ м^3/с, $Q_{тр\,max} = 4{,}2$ м^3/с.

В данном примере водовыпускное сооружение может быть запроектировано как с механическими запорными устройствами, так и сифонного типа. Водовыпускное сооружение с переливными стенками применить нельзя, так как амплитуда колебаний уровней в отводящем канале равна 0,7 м, что больше рекомендуемой (0,5 м) для сооружений этого типа.

Проверяют возможность применения сифонного водовыпуска. Принимают сифон из стальных труб диаметром 1,4 м с углом наклона восходящей и нисходящей ветвей к горизонту 35°. Определяют значение зарядного расхода по формуле (8.1) для сифонов круглого сечения

$$Q_{зар} = \sqrt{9{,}81}\, D_{гс}^{2,5} (0{,}53 - 0{,}17\alpha_1 / 90),$$

где $D_{г.с}$ — диаметр горлового сечения, $D_{г.с} = D_{тр} = 1{,}4$ м; α_1 — угол наклона восходящей ветви к горизонту, град.

$$Q_{зар} = \sqrt{9{,}81} \cdot 1{,}4^{2{,}5}[0{,}53 - 0{,}17(60°/90°)] = 3{,}36 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Следовательно, сифон будет заряжаться только при максимальном расходе трубопровода, так как $Q_{тр\,max} = 4{,}2$ м^3/с $> Q_{зар}$, и не будет самозаряжаться при минимальном расходе $Q_{тр\,min} = 2{,}1$ м^3/с $< Q_{зар}$. В этом случае, чтобы обеспечить зарядку $Q_{зар} \geq Q_{тр\,min}$, достаточно уменьшить диаметр горлового сечения сифона до $D_{г.с} = 1{,}16$ м. Стандартных стальных труб диаметром 1,16 м нет, поэтому принимают ближайший стандартный диаметр 1 м. При таком диаметре скорости течения воды в горловом сечении сифона достигают значения $v_{г.с} = 5{,}35$ м/с (при $Q_{тр} = 4{,}2$ м^3/с), потери напора в сифоне составят примерно 0,88...1,46 м (при $\zeta_{сиф} = 0{,}6...1$) без учета потерь напора в конфузоре перед горловым сечением и диффузоре за горловым сечением. Поэтому сифон в данных условиях неэкономичен.

Проектируют водовыпускное сооружение с механическими запорными устройствами.

Порядок расчета: 1. Принимают круглое выходное отверстие диаметром

$$D_{вых} = 1{,}75 \text{ м}, \ \omega_{вых} = 2{,}4 \text{ м}^2, \ v_{вых.max} = 1{,}75 \text{ м/с}, \ v_{вых\,min} = 0{,}88 \text{ м/с}.$$

2. Вычисляют длину выходного диффузора

$$L_{диф} = 8\,(D_{вых} - D_{тр}) = 8\,(1{,}75 - 1{,}4) = 2{,}8 \text{ м}.$$

Выходное отверстие заглубляется под минимальный уровень воды в отводящем канале на величину, равную $5v^2_{вых}/2g$, но не менее 0,2 м.

При отметке минимального уровня воды $\nabla УВ_{min} = \nabla$дна канала + h_{min} (где ∇дна канала = 50,8 м, h_{min} — минимальная глубина воды в канале, $h_{min} = 0{,}68$ м), $\nabla УВ_{min} = 50{,}8 + 0{,}68 = 51{,}48$ м

$$h_{загл\,min} = 5v^2_{вых\,min}/(2g) = 5 \cdot 0{,}88^2/19{,}62 = 0{,}2 \text{ м}.$$

За минимальный уровень воды в отводящем канале принимают уровень, соответствующий подаче одного насоса.

3. Используют в качестве запорных устройств стандартные обратные клапаны безударные фланцевые с эксцентричной подвеской и гидротормозом диаметром 1,4 м и длиной 0,8 м. Расчетное давление 0,25 МПа, масса 2,58 т. Клапаны устанавливают на напорном трубопроводе непосредственно перед выходными диффузорами (см. рис. 8.4). Для удобства монтажа и демонтажа клапанов предусматривают монтажные вставки; клапаны располагают в

специальном колодце длиной $L = l_{фс} + l_{обр.кл} + l_{м.в} + l_{фс} = 0{,}4 + 0{,}8 + 0{,}5 + 0{,}4 = 2{,}1$ м ($l_{фс}$ — расстояние между стенкой колодца и фланца).

4. Принимают ширину водовыпускной камеры, м,

$$b_{кам} = D_{вых} + 2b = 1{,}75 + 0 = 1{,}75 \text{ м},$$

где b — запас между стенкой быка и выходным отверстием, здесь $b = 0$.

Ширина водовыпускного фронта сооружения, м,

$$B_{вып} = b_{кам} n_{тр} + b_{б} (n - 1),$$

где $n_{тр}$ — число напорных трубопроводов; $b_{б}$ — толщина быка, принимаем 1 м;

$$B_{вып} = 1{,}75 \cdot 2 + 1\ (2 - 1) = 4{,}5 \text{ м}.$$

Ширину водовыпускной камеры принимают равной ширине выходного отверстия при установке стандартных обратных клапанов на напорном трубопроводе перед выходным диффузором и плоских затворов; при установке клапанов-захлопок предусматривают запас между выходным отверстием и стенками быка и днищем для размещения уплотняющих элементов захлопки, обычно 0,3 м.

Следует согласовать расстояние в осях между выходными отверстиями водовыпускного оголовка и напорного трубопровода, уменьшая или увеличивая его.

В данном случае $b_{ос} = b_{кам} + b_{б} = 1{,}75 + 1 = 2{,}75$ м.

Расстояние в свету между трубопроводами составит $b_{ос} - D_{тр} = 2{,}75 - 1{,}4 = 1{,}35$ м, что вполне достаточно для размещения обратных клапанов.

5. Предусматривают для ремонта обратных клапанов ремонтные затворы, плоские скользящие размером $b = D_{вых} = 1{,}75$ м и высотой 1,75 м. Принятые размеры отверстия соответствуют нормативным требованиям. Ремонтные затворы размещают в пазах, устраиваемых в стенках водовыпускных камер, ширина паза 0,3 м, глубина 0,25 м.

6. Определяют длину горизонтальной части успокоительного колодца

$$L_{кол} = (2...3)\ D_{вых} = (2...3)\ 1{,}75 = 3{,}5...5{,}25 \text{ м}.$$

Принимают $L_{кол} = 3{,}5$ м, $\downarrow$дна колодца $= \downarrow УВ_{min} - h_{загл\ min} - D_{вых} = 51{,}48 - 0{,}20 - 1{,}75 = 49{,}53$ м.

Успокоительные колодцы обычно имеют прямоугольное очертание в плане. Вначале сопрягают дно колодца с дном отводящего канала наклонным участком с обратным уклоном 0,2, сохраняя ширину колодца $B_{вып} = 4{,}5$ м. Длина наклонного участка равна 5 ($\downarrow$дна канала $-\downarrow$дна колодца) $= 5\ (50{,}8 - 49{,}53) = 6{,}35$ м. Стенки колодца вертикальные. Дно колодца с дном канала в плане сопрягают с помощью переходного участка с центральным углом конуснос-

ти 40°, длина которого

$$L_{\text{пер}} = (B_{\text{вып}} - b)/(2\text{tg}\,20°) = (4{,}5 - 4)/(2 \cdot 0{,}363) = 0{,}7\ \text{м}.$$

Вертикальные стенки успокоительного колодца и откосы отводящего канала сопряжены обратными стенками, располагаемыми под углом 45° к оси сооружения. Переходный участок и начальную часть отводящего канала закрепляют железобетонной монолитной облицовкой на длине $L_{\text{кр}} = (10...12)h_{\text{форс}}$, принимают $L_{\text{кр}} = 14$ м ($h_{\text{форс}}$ — глубина в отводящем канале при форсированной подаче станции, $h_{\text{форс}} = 1{,}48$ м).

7. Принимают превышение верха стен сооружения над форсированным уровнем воды в отводящем канале 0,6 м.

8. Предусматривают для впуска воздуха в напорные трубопроводы и выпуска воздуха из них при остановке и пуске насосов на станции воздушные трубы, диаметр которых определяют по допустимой скорости воздуха 50 м/с.

При $Q_{\text{тр}} = 4{,}2$ м^3/с диаметр воздушной трубы

$$D_{\text{возд}} = \sqrt{Q_{\text{тр}} / \left(0{,}785 \text{v}_{\text{возд}}\right)} = \sqrt{4{,}2 / \left(0{,}785 \cdot 50\right)} = 0{,}33\,\text{м}.$$

Принимают $D_{\text{возд}} = 0{,}35$ м (ближайший стандартный).

9. Определяют потери напора в сооружении как сумму потерь напора при $Q_{\text{тр}} = 4{,}2$ м^3/с:

в обратном клапане $D_{\text{ок}} = 1{,}4$ м, коэффициент сопротивления клапана $\zeta = 0{,}5$

$$\text{v}_{\text{ок}} = Q_{\text{тр}} / \left(0{,}785 \cdot D_{\text{ок}}^2\right) = 4{,}2 / \left(0{,}785 \cdot 1{,}4^2\right) = 2{,}73\,\text{м/с},$$

$$h_{\text{ок}} = \zeta_{\text{ок}}\, \text{v}_{\text{ок}}^2 / 2g = 0{,}5 \cdot 2{,}73^2 / 19{,}62 = 0{,}19\,\text{м};$$

в выходном диффузоре, размеры которого $D_{\text{тр}} = 1{,}4$ м, выходное отверстие $D_{\text{вых}} = 1{,}75$ м при длине 2,5 м, $\zeta_{\text{диф}} \approx 0{,}2$

$$\text{v}_{\text{вых}} = Q_{\text{тр}} / \left(0{,}785 D_{\text{вых}}^2\right) = 4{,}2 / \left(0{,}785 \cdot 1{,}75^2\right) = 1{,}75\,\text{м/с},$$

$$h_{\text{диф}} = \zeta_{\text{диф}}\, \text{v}_{\text{вых}}^2 / 2g = 0{,}2 \cdot 1{,}75^2 / 19{,}62 = 0{,}03\,\text{м};$$

на выход из трубопровода, $\zeta_{\text{вых}} = 1$

$$h_{\text{вых}} = \zeta_{\text{вых}}\, \text{v}_{\text{вых}}^2 / 2g = 1 \cdot 1{,}75^2 / 19{,}62 = 0{,}16\,\text{м};$$

в бассейне водовыпуска, $\zeta_{\text{бас}} = 0{,}8...1$

$$h_{\text{бас}} = \zeta_{\text{бас}}\, \text{v}_{\text{вых}}^2 / 2g = 0{,}9 \cdot 1{,}75^2 / 19{,}62 = 0{,}14\,\text{м}.$$

Сумма потерь напора в водовыпускном сооружении

$$\Sigma h = 0{,}19 + 0{,}03 + 0{,}16 + 0{,}14 = 0{,}52 \text{ м}.$$

Пример 2. Определить размеры водовыпускного сооружения с переливными стенками для оросительной насосной станции с подачей 0,8 м^3/с.

Исходные данные: продолжительность работы станции 3700 ч в год. На станции установлены четыре центробежных насоса марки Д800-57 с подачей 0,2 м^3/с. Воду подают двумя асбестоцементными напорными трубопроводами диаметром 0,5 м. Максимальный расход трубопровода 0,4 м^3/с, минимальный 0,2 м^3/с. От станции вода поступает в открытый отводящий канал трапецеидального поперечного сечения с шириной по дну $b = 1$ м, коэффициентом заложения откоса $m = 1$. Отметка минимального уровня воды в канале 63,37 м (работает один насос), максимального уровня 63,63 м (работают четыре насоса), отметка дна канала 63,1 м.

Порядок расчета: 1. Определяют диаметр выходного отверстия напорного трубопровода $D_{вых}$ по скорости $v_{вых} = 1{,}5...2$ м/с

$$D_{вых} = \sqrt{Q_{max\ тр} / (0{,}785 v_{вых})} = \sqrt{0{,}4 / (0{,}785 \cdot 1{,}5)} = 0{,}583 \text{ м},$$

принимают $D_{вых} = 0{,}6$ м, тогда $v_{вых} = 1{,}42$ м/с.

2. Сопрягают напорный трубопровод (диаметр 0,5 м) с выходным отверстием (диаметр 0,6 м), расширяющимся конусом (диффузором) длиной 0,7 м. Водовыпускной оголовок в этом случае представляет собой железобетонную стенку, в которой замоноличены горизонтальные выходные диффузоры трубопроводов (см. рис. 8.8). Заглубление выходного отверстия напорного трубопровода под уровень воды в резервуаре принимают не менее $5v^2_{вых} / 2g = 5 \cdot 1{,}42^2 / 19{,}62 = 0{,}5$ м.

3. Принимают, учитывая, что из каждого напорного трубопровода вода поступает в отдельный приемный резервуар, прямоугольную в плане форму резервуара длиной $L_{рез}$ и шириной $D_{вых} = 0{,}6$ м. Отметку верхней горизонтальной грани стенок резервуара (гребень водослива) назначают на 0,07 м выше максимального уровня воды в отводящем канале

$$\nabla гребня = \nabla В_{max} + 0{,}07 = 63{,}63 + 0{,}07 = 63{,}7 \text{ м}.$$

Дно резервуара совмещают с низом выходного отверстия трубопровода и делают его наклонным с подъемом от низа выходного отверстия трубопровода до дна отводящего канала.

4. Определяют длину резервуара $L_{рез}$; для этого задаются напо-

ром на гребне водослива $H_{гр} = 0{,}2$ м и вычисляют необходимую длину гребня водослива при максимальном расходе трубопровода 0,4 м^3/с по формуле (8.16)

$$L = Q / m\sqrt{2g}\, H_{гр}^{3/2} = 0{,}4 / 0{,}47\sqrt{19{,}62} \cdot 0{,}2^{3/2} = 2{,}14 \text{ м},$$

где m — коэффициент расхода;
$m = 0{,}44\,(0{,}7 + 0{,}185\, H_{гр}/\delta_{гр}) = 0{,}44\,(0{,}7 + 0{,}185 \cdot 0{,}2/0{,}1) = 0{,}47$
($\delta_{гр}$ — толщина гребня водослива с тонкой стенкой, принятая из условия $\delta_{гр}/H_{гр} \le 0{,}6$, $\delta_{гр} = 0{,}1$ м).

$$L_{рез} = (L - D_{вых})/2 = (2{,}14 - 0{,}6)/2 = 0{,}77 \text{ м} = 1{,}28 D_{вых} < 4D_{вых}.$$

Резервуар получается коротким, поэтому принимают рекомендуемую длину $L_{рез} = 4D_{вых}$.

5. Находят напор на водосливе при длине гребня водослива

$$L = 2L_{рез} + D_{вых} = 2 \cdot 4D_{вых} + D_{вых} = 5{,}4 \text{ м},$$

тогда

$$H_{гр} = \left(Q_{тр} / mL\sqrt{2g}\right)^{2/3} = \left(0{,}4 / 0{,}3 \cdot 5{,}4\sqrt{19{,}62}\right)^{2/3} = 0{,}15 \text{ м},$$

где $m = 0{,}3$ (см. разд. 8.6) при удельном расходе водослива $q = Q/L = 0{,}4/5{,}4 = 0{,}074$ м^2/с.

При расходе трубопровода 0,2 м^3/с напор на гребне $H_{гр} = 0{,}09$ м, тогда $\delta_{гр} = 0{,}06$ м.

6. Принимают бассейн водовыпуска с откосными стенками (коэффициент заложения откоса $m = 1$), дно бассейна горизонтальное, отметка которого равна отметке дна отводящего канала 63,1 м. Расстояние между резервуарами принимают $2D_{вых} = 1{,}2$ м, а от подошвы откоса бассейна до резервуара $D_{вых} = 0{,}6$ м. Таким образом, общая ширина бассейна с учетом толщины стенок резервуаров 0,4 м составит:

$$B_{бас} = D_{вых} \cdot 2 + D_{вых} \cdot 2 + 2D_{вых} + 0{,}4 \cdot 4 = 5{,}2 \text{ м}.$$

7. Принимают превышение стенок бассейна над уровнем воды в резервуаре на 0,4 м, тогда отметка стенки = [illegible]гребня + $H_{гр}$ + 0,4 м = = 63,7 + 0,15 + 0,4 = 64,25 м.

8. Течение на гребне резервуаров-водосливов является неподтопленным, так как отметка гребня выше отметки максимального уровня воды в отводящем канале, однако сопряжение потока, переливающего через гребень, с потоком в отводящем канале должно быть в виде надвинутого гидравлического прыжка.

Для этого в бассейне за резервуарами устраивают гаситель, состоящий из двух рядов зубьев: первый ряд из косых в плане зубьев, второй ряд — сплошной зуб-порог (см. рис. 8.6). Высота зуба зависит от критической глубины воды в сливном лотке между резервуа-

рами. При подаче насосной станции 0,8 м³/с в средний лоток будет переливаться 0,4 м³/с, и удельный расход в нем $q = 0,4/2D_{вых} = 0,4/1,2 = 0,33$ м²/с.

Критическая глубина потока в сливном лотке $h_{кр} = \sqrt[3]{\alpha q^2/g} = \sqrt[3]{1,1 \cdot 0,33^2 / 9,81} = 0,23$ м, что меньше глубины воды в канале. Принимают высоту косого зуба $c_1 = 0,35h_{кр} = 0,35 \cdot 0,23 = 0,08$ м, угол между направлением зубьев и осью канала 65°, расстояние первого ряда зубьев от торцовой стенки резервуара $0,5D_{вых} = 0,3$ м. Сплошной зуб (второй ряд) располагают от первого ряда на расстоянии $5h_{кр} = 5 \cdot 0,23 = 1,15$ м, высота этого зуба $c_2 = (0,6...0,8)\, c_1 = 0,06$ м.

Таким образом, длина бассейна водовыпуска составит примерно 4,5 м. Бассейн водовыпуска (ширина $B_{бас} = 5,2$ м) с отводящим каналом (ширина по дну 1 м) сопрягают переходным участком с центральным углом конусности 40°, длиной 5,8 м. Начальный участок отводящего канала закрепляют от размыва железобетонной облицовкой на длине 6 м. Потери напора в сооружении складываются из потерь напора в выходном диффузоре и на выходе из него, напора на водосливе $H_{гр}$, превышения гребня водослива над соответствующим уровнем воды в отводящем канале. При максимальной подаче станции 0,8 м³/с сумма потерь напора

$$h_{вод} = (0,04 + 0,1) + 0,15 + 0,07 = 0,36 \text{ м}.$$

При минимальной подаче станции 0,2 м³/с

$$h_{вод} = (0,01 + 0,03) + 0,09 + 0,33 = 0,46 \text{ м}.$$

Пример 3. Определить размеры водовыпускного сооружения сифонного типа для оросительной насосной станции с максимальной расчетной подачей 9 м³/с. На станции установлены четыре насоса Оп2-87 с подачей 3 м³/с (один насос резервный) каждый.

Исходные данные: минимальная подача станции 3 м³/с, форсированная подача 12 м³/с. Воду подают по четырем железобетонным напорным трубопроводам диаметром 1,4 м в открытый отводящий канал трапецеидального поперечного сечения с шириной по дну $b = 4$ м, коэффициентом заложения откосов $m = 1,5$. Отметка минимального уровня воды в канале 63,87 м (работает один насос), форсированного уровня 64,77 м (работают четыре насоса, $Q_{форс}$), отметка дна канала 62,96 м. Расчетный расход трубопровода $Q_{тр} = 3$ м³/с. Расстояние в осях между трубопроводами 2,6 м.

Порядок расчета: 1. Принимают наиболее простую круглую форму поперечного сечения проточной части сифона диаметром 1,4 м, равным диаметру напорного трубопровода (см. рис. 8.5).

2. Проверяют условия зарядки сифона при углах наклона восходящей и нисходящей ветвей $\alpha_1 = \alpha_2 = 40°$ и $D_{т.с} = 1,4$ м по формуле (8.1)

$$Q_{зар} = \sqrt{g} D_{г.с}^{2,5} (0{,}53 - 0{,}17\alpha_1 / 90) =$$
$$= \sqrt{9{,}81} \cdot 1{,}4^{2,5} (0{,}53 - 0{,}17 \cdot 40 / 90) = 3{,}3 \text{ м} / \text{с}.$$

Расход заряда получился больше расчетного расхода трубопровода, следовательно, сифон не зарядится. Для обеспечения зарядки поперечное сечение сифона нужно уменьшить.

3. Принимают диаметр горлового сечения $D_{г.с} = 1{,}2$ м (ближайший стандартный диаметр), тогда

$$Q_{зар} = \sqrt{9{,}81} \cdot 1{,}2^{2,5} (0{,}53 - 0{,}17 \cdot 40 / 90) = 2{,}29 \text{ м}^3/\text{с} < 3 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Следовательно, зарядка сифона обеспечена.

Нужно отметить, что лучше было принять $D_{г.с} = 1{,}3$ м, но стальных труб диаметром 1,3 м нет.

4. Принимают радиусы закруглений: горлового колена $r_0 = 2{,}5 D_{г.с}$, нижнего колена восходящей и нисходящей ветвей сифона $R = 2 D_{г.с}$.

5. Принимают отметку порога сифона на 0,2 м выше уровня воды в отводящем канале при форсированной подаче станции 12 м^3/с.

$$\downarrow\text{порога сифона} = \downarrow\text{форсированного УВ} + 0{,}2 = 64{,}77 + 0{,}2 = 64{,}97 \text{ м}.$$

6. Устраивают на восходящей ветви сифона конфузор для перехода с диаметра напорного трубопровода 1,4 м на диаметр сечения восходящей ветви 1,2 м, длина конфузора 1 м.

7. Принимают выходное отверстие сифона круглой формы. Диаметр выходного отверстия вычисляют по скорости выхода 2 м/с

$$D_{вых} = \sqrt{Q_{т р} / (0{,}785 \cdot v_{вых})} = \sqrt{3 / (0{,}785 \cdot 2)} = 1{,}38 \text{ м}.$$

Принимают $D_{вых} = 1{,}4$ м, $v_{вых} = 1{,}95$ м/с.

8. Сопрягают нисходящую ветвь сифона диаметром поперечного сечения 1,2 м с выходным отверстием диаметром 1,4 м диффузором длиной 1,4 м, угол конусности 8°. Диффузор располагают горизонтально непосредственно за нижним коленом нисходящей ветви. Выходные диффузоры замоноличивают в вертикальной железобетонной стенке.

9. Заглубляют выходное отверстие сифона под минимальный уровень воды в отводящем канале на пять скоростных напоров

$$h_{загл} = 5 \cdot v_{вых}^2 / 2g = 5 \cdot 1{,}95^2 / 19{,}62 = 0{,}97 \text{ м}.$$

10. Вычисляют отметку дна колодца (бассейна) водовыпуска

$$\downarrow\text{дна бассейна} = \downarrow УВ_{min} - h_{загл} - D_{вых} = 63{,}87 - 0{,}97 - 1{,}4 = 61{,}5 \text{ м}.$$

11. Определяют ширину колодца водовыпуска (по рис. 8.4)

$$B_{\text{вып}} = b_{\text{ос}}\,(n_{\text{тр}} - 1) + D_{\text{вых}} = 2{,}6\,(4 - 1) + 1{,}4 = 9{,}2\ \text{м},$$

где $b_{\text{ос}}$ — расстояние в осях между трубопроводами, $b_{\text{ос}} = 2{,}6$ м; $n_{\text{тр}}$ — число напорных трубопроводов, $n_{\text{тр}} = 4$.

12. Принимают начальную часть дна колодца длиной $2D_{\text{вых}} = 2{,}8$ м горизонтальной. Далее дно устраиваем с обратным уклоном 0,2 для сопряжения с дном отводящего канала. Длина этого участка равна $5\,(\downarrow$ дна канала $-\downarrow$ дна бассейна$) = 5\,(62{,}96 - 61{,}5) = 7{,}3$ м. Ширина колодца здесь постоянна:

$$B_{\text{вып}} = 9{,}2\ \text{м}.$$

13. Сопрягают в плане колодец водовыпуска с отводящим каналом шириной по дну 4 м переходным участком с углом конусности 40°. Длина этого участка

$$L_{\text{пер}} = B_{\text{вып}} - b \,/\, 2\text{tg}\ 20^\circ = 9{,}2 - 4 \,/\, 2 \cdot 0{,}363 = 7{,}16\ \text{м}.$$

14. Устраивают стенки бассейна откосными с коэффициентом заложения откосов 1,5. Отметку верха стен водовыпуска принимают 65,27 м, что на 0,5 м выше отметки максимального уровня воды. Начальную часть отводящего канала защищают от размыва железобетонной облицовкой на длине 16 м.

15. Устанавливают для срыва вакуума в сифонах при остановке насосов клапаны срыва вакуума гидромеханического действия или гидравлические клапаны (см. рис. 8.7, 8.8).

Гидравлический клапан срыва вакуума проще по устройству и надежнее, но может быть применен при условии

$$(\Delta H_{\text{пр}} + \Delta H_{\text{обр}}) > \Delta H,$$

где ΔH — амплитуда колебаний уровней воды в отводящем канале, $\Delta H = 0{,}9$ м; $\Delta H_{\text{пр}}$ и $\Delta H_{\text{обр}}$ — перепады уровней, которые устанавливаются в стакане клапана при прямом и обратном движении воды в сифоне.

Предварительно значение $(\Delta H_{\text{пр}} + \Delta H_{\text{обр}})$ зависит от скорости потока в горле сифона (см. рис. 8.9). При скорости $v_{\text{г.с}} = Q_{\text{тр}} / \left(0{,}785 \cdot D_{\text{г.с}}^2\right) = 3 / \left(0{,}785 \cdot 1{,}2^2\right) = 2{,}65$ м/с, $(\Delta H_{\text{пр}} + \Delta H_{\text{обр}}) = 0{,}3 + 0{,}75 = 1{,}05$ м.

Таким образом $(\Delta H_{\text{пр}} + \Delta H_{\text{обр}}) > \Delta H = 0{,}9$ м, поэтому гидравлический клапан срыва вакуума может быть использован. Более точно значение $(\Delta H_{\text{пр}} + \Delta H_{\text{обр}})$ определяют по формулам (8.7) и (8.8).

16. Вычисляют потери напора в сифоне водовыпуска, которые складываются из потерь: в нижнем отводе 40°, $D = 1{,}4$ м; конфузоре

длиной 1 м, $D_{тр} = 1{,}4$ м, $D_{г.с} = 1{,}2$ м; горловом колене 80°; нижнем отводе нисходящей ветви 40°, $D = 1{,}2$ м; в выходном диффузоре и на выходе из него. Суммарный коэффициент сопротивления составит примерно 1 относительно скоростного напора в горловом сечении. Потери напора в сифоне

$$h_{сиф} = \zeta_{сиф} v^2_{г.с} / 2q = 1 \cdot 2{,}65^2 / 19{,}62 = 0{,}36 \text{ м}.$$

Потери напора в бассейне водовыпуска

$$h_{бас} = \zeta_{бас} v^2_{вых} / 2g = 0{,}9 \cdot 1{,}95^2 / 19{,}62 = 0{,}17 \text{ м}.$$

Сумма потерь напора в сооружении

$$\Sigma h = h_{сиф} + h_{бас} = 0{,}36 + 0{,}17 = 0{,}53 \text{ м}.$$

Глава 9

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

●

Технико-экономические расчеты обосновывают целесообразность проектирования новых или реконструкции действующих водохозяйственных и мелиоративных систем или их составных частей. На основе этих расчетов принимают решение о строительстве или реконструкции рассматриваемых объектов, выбирают наиболее оптимальные технические решения по объекту в целом и по отдельным сооружениям, входящим в него.

В практике водохозяйственного строительства применяют два вида технико-экономических расчетов, заключающихся в определении:

общей (абсолютной) экономической эффективности капитальных вложений K в строительство объекта. Для этого вычисляют комплексный показатель рентабельности строительства и эксплуатации объекта E, который сравнивают с соответствующим нормативным показателем $E_н$, установленным для данной отрасли хозяйства;

сравнительной экономической эффективности капитальных вложений K в строительство нескольких вариантов одного и того же объекта или входящего в него отдельного сооружения. В этом случае для каждого варианта комплексного показателя рассчитывают приведенные затраты $З$, минимальное значение которых соответствует оптимальному варианту технического решения.

При проектировании и реконструкции насосных станций чаще всего применяют второй вид технико-экономических расчетов, так как насосные станции являются неразрывной частью водохозяйственной или мелиоративной системы, и обычно их не рассматривают самостоятельно для оценки абсолютной экономической эффективности. Применяя второй вид технико-экономических расчетов, можно оценить, насколько один вариант технического решения эффективнее другого. Второй вариант проще, чем первый, и удобнее для проектировщика конкретных сооружений, непосредственно не создающих продукцию, реализация которой приносит

прибыль — чистый доход. Используя расчеты по методу сравнительной экономической эффективности, можно решать следующие технические задачи:

1. Выбрать водоисточник, место водозабора, трассу водоподачи, число зон качания и насосных станций для орошения или осушения заданного земельного массива.

2. Определить местоположение здания насосной станции по трассе водоподачи, то есть найти оптимальные длины дорогостоящих сооружений — подводящего канала и напорных трубопроводов.

3. Обосновать компоновку узла и взаимное расположение отдельных сооружений. Например, совместить здание насосной станции с водозаборным сооружением или расположить их раздельно.

4. Обосновать число, номенклатуру и размещение насосных агрегатов в здании станции.

5. Выбрать схему соединений насосов с напорными трубопроводами, определить наиболее экономичные диаметры трубопроводов и материал, из которого они изготовлены.

6. Обосновать необходимость производства новых видов оборудования, материалов и конструкций.

7. Определить оптимальные размеры и конструктивные решения по основным и вспомогательным сооружениям.

8. Обосновать целесообразность строительства сооружений очередями с определением оптимальных сроков ввода в строй пусковых объектов.

Упомянутые выше задачи решают на самой ранней стадии проектирования. Вместе с экологическими и социальными проблемами они формируют принципиальную техническую позицию по всему узлу насосной станции в целом. В дальнейшем принятые на этом этапе проектирования решения в значительной мере будут определять объемы капиталовложений, трудоемкость строительства, затраты на эксплуатацию, надежность и удобство обслуживания проектируемого объекта.

Объем расчетных работ очень велик, так как надо рассмотреть большое число вариантов технических решений, чтобы принять оптимальный. Поэтому при проведении технико-экономических расчетов эффективно использование ЭВМ. Это позволит принимать достаточно обоснованные технические решения в короткие сроки и с минимальной затратой интеллектуального труда. Применение ЭВМ эффективно и в учебных заведениях при выполнении в ограниченные сроки курсовых и дипломных проектов.

9.1. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ

При сопоставлении вариантов возможных технических решений по строительству новых или реконструкции действующих объектов или сооружений, внедрению новых видов оборудования, механизмов, материалов, технологических процессов по методу сравнительной экономической эффективности критерием оптимальности является минимум приведенных затрат, которые определяют по формуле

$$З_а = E_н K_а + И_а, \qquad (9.1)$$

где $З_а$ — приведенные затраты по рассматриваемому варианту «а», р.; $E_н$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимают 0,07...0,15 (до 1990 г. обычно $E_н = 0{,}12$), $E_н = 1/T_н$ ($T_н$ — нормативный срок окупаемости капитальных вложений, лет); $K_а$ — капитальные вложения в строительство объекта по варианту «а», р.; $И_а$ — ежегодные производственные (эксплуатационные) затраты (издержки) при эксплуатации объекта по варианту «а», р.

Согласно формуле (9.1) капитальные вложения и эксплуатационные затраты как бы равномерно распределены в течение всего срока окупаемости. Если же капитальные вложения у сравниваемых вариантов рассредоточены по годам строительства неравномерно и реализуются в разные сроки, а ежегодные затраты меняются во времени, то приведенные затраты, полученные по формуле (9.1), приводят к сопоставимым значениям, умножив их на поправочный коэффициент,

$$B = 1/(1 + E_{н.п})^t, \qquad (9.2)$$

где $E_{н.п}$ — нормативный коэффициент для приведения разновременных затрат ($E_{н.п} = 0{,}08$ для периода до 1990 г.); t — период времени приведения в годах, равный разности между годом, в котором осуществляются затраты, и годом, к которому их приводят.

При сравнении вариантов с разным сроком службы, если эта разница составляет более 30 %, то наряду с формулой (9.2) используют дополнительные соотношения, обеспечивающие сравнение вариантов в сопоставимой форме.

При сравнении различных вариантов можно учитывать капитальные вложения и ежегодные эксплуатационные затраты лишь тех элементов сооружений, которые меняются по вариантам.

При технико-экономических расчетах вариантов необходимо учитывать стоимость земли, отчуждаемой под сооружения насосной станции, а также затраты на сохранение или улучшение экологических, хозяйственных и социальных условий окружающего района.

9.2. КАПИТАЛЬНЫЕ ВЛОЖЕНИЯ И ЕЖЕГОДНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ

Капитальные вложения — это затраты в рублях (или других денежных единицах) на приобретение гидромеханического и энергетического оборудования, транспортировку оборудования и материалов, строительно-монтажные и пусконаладочные работы, а также другие виды затрат, связанные со сдачей насосной станции в эксплуатацию. При оценке экономической эффективности строительства насосной станции различают: сметную стоимость строительства (прямые или локальные затраты) всех объектов основного производственного назначения (здания насосной станции, напорных трубопроводов, водовыпускного сооружения и т. д.) и полную сметную стоимость всего узла насосной станции или капитальные вложения в него, учитывающие все виды затрат на сооружение и сдачу узла в эксплуатацию.

Первый вид стоимости содержится в локальных сметах на отдельные сооружения узла. Для этого можно использовать проекты-аналоги или прямой счет по чертежам объекта и справочным данным по стоимости оборудования, материалов и отдельных видов работ. Должны быть учтены также местные условия строительства и эксплуатации насосной станции.

На практике часто используют имеющиеся расценки по укрупненным видам работ или показателям стоимости строительства отдельных объектов или их составных частей. Такой способ составления смет предпочтителен в учебном процессе при курсовом и дипломном проектировании в целях экономии времени у студентов.

Кроме сметной стоимости сооружений основного производственного назначения в сметной стоимости должны быть учтены и дополнительные затраты, не прямо связанные со строительством насосных станций. К ним относятся расходы по проектно-изыскательским работам, подготовке кадров, содержанию дирекции, подготовке территории строительства, сооружению объектов подсобного, энергетического и транспортного назначения, устройству водопровода, теплофикации, канализации, благоустройству пристанционной территории, строительству и сносу временных зданий и сооружений, прочие работы и затраты. Все эти виды расходов регламентируются соответствующими нормативными документами.

Для курсового и дипломного проектирования дополнительная сумма расходов на эти цели в первом приближении может быть принята в процентах от сметной стоимости сооружений основного производственного назначения: для европейской части страны — 55, горных районов Кавказа и Средней Азии — 60, азиатской части страны — 65, районов, приравненных к Крайнему Северу, — 95 %.

Таким образом, капитальные затраты — это сумма локальных затрат на сооружение объектов основного производственного назначения плюс дополнительные затраты, непосредственно не вкладываемые в строительство этих объектов.

Ежегодные эксплуатационные расходы для насосных станций включают следующие виды затрат:

амортизационные отчисления на полное восстановление и ремонт оборудования и сооружений;

оплату за электроэнергию, потребляемую насосной станцией (в том числе до 2 % на собственные нужды);

на содержание эксплуатационного персонала;

на смазочные материалы, культуру и охрану труда и др.

Эти виды затрат регламентируются соответствующими нормативными документами и отраслевыми справочниками. Для их расчета используют также различные методики, в том числе изложенные далее.

9.3. СВЯЗЬ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ С СОСТОЯНИЕМ ЭКОНОМИКИ

Эффективность технико-экономических расчетов непосредственно связана с состоянием экономики. Если она стабильна, основные отрасли ее сбалансированы и объем производства возрастает, а себестоимость выпускаемой продукции снижается, то результаты технико-экономических расчетов являются наиболее объективными показателями качества проектов, их технического совершенства, способствующего научно-техническому прогрессу всего общества и повышению его благосостояния. При этом основные стоимостные показатели за приобретенное оборудование, материалы, различные виды работ, услуги изменяются сравнительно медленно. Нормативные коэффициенты и рекомендации чаще всего не изменяются по нескольку лет.

Поскольку экономикой до сих пор управляли централизованно (государство), то цены и нормативные показатели были достаточно устойчивы, и их можно было прогнозировать на много лет вперед. Однако появилась объективная необходимость коренной перестройки экономики — переход ее от централизованной формы управления к рыночной.

Для оценки сравнительной экономической эффективности капитальных вложений в учебных целях можно использовать формулу (9.1). При этом основная сложность будет заключаться в правильном выборе цен за приобретение материалов, оборудования, выполнения различных видов работ и услуг, назначении нормативного срока окупаемости $T_н$. Надо сразу отметить, что эти категории цен и срок окупаемости в отличие от прошлых лет директивно не устанавливаются. В условиях рынка они зависят от региона, где будут строить проектируемый объект, от времени строительства, желаний и возможностей заказчика и исполнителя, состояния финансовой обстановки и т. д. Каждый год эти условия могут существенно меняться.

Технико-экономические расчеты на основе формулы (9.1) можно вести по трем вариантам:

I — все цены и нормативные данные принимают для периода до 1985 г., когда они были относительно стабильны. В этом случае конкретные технические решения могут быть близки к оптимальным. Однако общие экономические показатели проектируемого объекта будут иметь абстрактный характер. У них будет отсутствовать связь с аналогичными реальными показателями не только в период эксплуатации объекта, но и в период его проектирования;

II — все цены периода до 1985 г. умножают на известные коэффициенты индексации для того района, где предполагается строительство проектируемой насосной станции. Если ко времени проведения технико-экономических расчетов нет каких-либо конкретных рекомендаций по выбору срока окупаемости капиталовложений $T_н$, то принимают его также для периода до 1985 г. При наличии достаточных оснований коэффициенты индексации, так же как и срок окупаемости, можно спрогнозировать на несколько лет вперед;

III — разделяют оборудование, виды работ и сооружения узла насосной станции на крупные группы. Например, энергетическое оборудование, гидромеханическое оборудование, строительно-монтажные, земляные, бетонные работы, отдельные объекты узла (здание насосной станции, водозаборное, водовыпускное сооружения и т. д.). Всего не более 10...12 групп. Определяют для периода до 1985 г. [13] осредненные цены на приобретение оборудования или производство работ по этим группам в зависимости от основных энергетических и конструктивных показателей насосных станций (например, максимальной подачи и напора, числа и диаметра напорных трубопроводов). Пусть это будут приближенные зависимости, отражающие общую тенденцию и уровень цен. Далее необходимо установить для всех групп коэффициенты индексации цен, используя для этого частные коэффициенты индексации (см. вариант II) и имеющиеся цены на товары и услуги для периода проведения технико-экономических расчетов. При наличии достаточных оснований полученные коэффициенты индексации, так же как и срок окупаемости, можно спрогнозировать на несколько лет вперед.

Могут быть и другие варианты проведения расчетов. Выбор варианта зависит от объема и содержания проекта, возможностей получения достаточных исходных данных, наличия научно-исследовательского задела и вычислительных средств в вузе, квалификации преподавателей и т. д.

9.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕКУБИЧЕСКОГО РАСХОДА ВОДЫ В ТРУБОПРОВОДЕ И ЕГО ЭКОНОМИЧНОГО ДИАМЕТРА

Для определения экономичного диаметра напорного трубопровода по минимуму приведенных затрат в соответствии с формулой (9.1) необходимо знать количество энергии, затрачиваемой на подъем воды. Поскольку во всех рассматриваемых при этом вариантах трубопроводов значение геодезической высоты подъема $H_г$ будет одним и тем же, то сравнить можно только энергию $Э_т$, затрачиваемую на потери напора в трубопроводе.

В общем виде

$$Э_т = \int_{t=0}^{T} \left(\rho g Q h_т / 1000\eta_{н.у}\right)dt = \left(\rho g S / 1000\eta_{н.у}\right) \int_{t=0}^{T} Q^3 dt = \left(9{,}81A / \eta_{н.у}\right) \int_{t=0}^{T} Q^3 dt, \text{ кВт}, \quad (9.3)$$

где T — продолжительность работы трубопровода в году, ч; ρ — плотность воды, кг/м^3; g — ускорение свободного падения, м^2/с; Q — расход воды в трубопроводе, м^3/с; $h_т$ — потери напора в трубопроводе, м, $h_т = SQ^2$; S — гидравлическое сопротивление трубопровода, с^2/м^5; так как обычно расчеты проводят на 1 м длины трубопровода, можно принять S равным удельному сопротивлению A для данного трубопровода; $\eta_{н.у}$ — КПД насосной установки.

Обозначив $q_{тр}^3 = \int_{t=0}^{T} Q^3 dt / T$, формулу (9.3) можно записать в более простом виде

$$Э_т = \left(9{,}81A / \eta_{ну}\right) q_{р.т}^3 T, \quad (9.4)$$

где $q_{р.т}$ — среднекубический расход воды в трубопроводе, м^3/с.

Обычно графики водоподачи имеют ступенчатый вид, поэтому формула для определения $q_{тр}$ может быть записана в следующем виде:

$$q_{р.т} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{k} Q_i^3 t_i / T}, \quad (9.5)$$

где k — число периодов графика; i — порядковый номер графика водоподачи; Q_i — расход воды для i-го периода; t_i — продолжительность i-го периода.

Следует отметить, что в большинстве случаев график водоподачи не совсем точно соответствует графику водопотребления. В отдельные периоды подача воды насосами несколько больше или несколько меньше водопотребления, однако общий объем воды, подаваемой за весь период, равен объему водопотребления в соответствии с графиком.

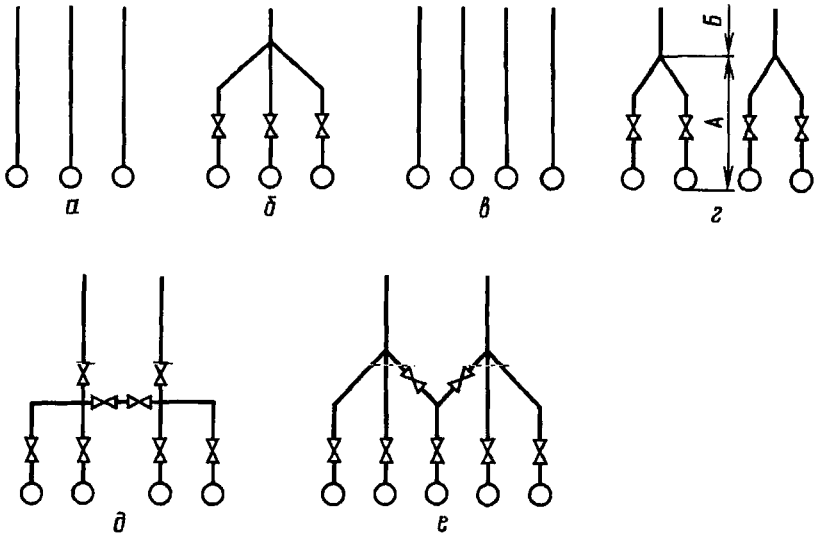


Рис. 9.1. Схемы соединения насосов с напорными трубопроводами

Значение $q_{тр}$ зависит от графика водоподачи, числа ниток напорного трубопровода, насосов и схемы их соединения (рис. 9.1). Поэтому в формулах при расчете целесообразно заменить расход воды в трубопроводе на подачу воды одним насосом $Q_н$.

При подаче воды насосами в индивидуальные трубопроводы (см. рис. 9.1, *а*, *в*), число ниток которых n при ступенчатом графике водоподачи, а число периодов k, формула (9.5) примет вид

$$q_{р.т} = Q_н \sqrt[3]{\left(\sum_{i=1}^{k} a_i t_i\right) / nT}, \qquad (9.6)$$

где a_i — число работающих насосов в i-м периоде.

При неполном включении в работу насосов на напорные трубопроводы, которое характерно для мелиоративных насосных станций при четном числе насосов (см. рис. 9.1, *г*),

$$q_{р.т} = Q_н \sqrt[3]{\left[\sum_{i=1}^{k}\left(\sum_{j=1}^{n} a_{ij}^3\right) t_i\right] / nT}, \qquad (9.7)$$

где a_{ij} — число насосов, работающих в i-м периоде на j-й трубопровод.

При полном включении в работу насосов на трубопроводы (см. рис. 9.1, *б, д, е*)

$$q_{\text{р.т}} = Q_{\text{н}} \sqrt[3]{\frac{\left(\sum_{i=1}^{k} a_i^3 t_i\right)/T}{n}}. \qquad (9.8)$$

Следует отметить, что при выводе формул было принято, что все трубопроводы одного и того же диаметра и длины, характеристики насосов идентичны, а ординаты графиков водоподачи отличаются на значения, кратные $Q_{\text{н}}$.

Для каждого конкретного случая приведенные выше формулы могут быть упрощены, поэтому ниже будут рассмотрены отдельные частные случаи для различных графиков водоподачи и для различных схем соединения насосов:

для трехступенчатого графика водоподачи (см. рис. 4.1) и при четырех насосах, работающих на индивидуальные трубопроводы (см. рис. 9.1, *в*),

$$q_{\text{р.т}} = Q_{\text{н}} \sqrt[3]{(t_1 + 2t_2 + 3t_3 + 2t_4)/4T}; \qquad (9.9)$$

для того же графика водоподачи и для схемы неполного переключения четырех насосов на два напорных трубопровода (см. рис. 9.1, *г*), при которых в случае работы трех насосов вода подается в один трубопровод двумя насосами, а в другой — одним,

$$q_{\text{р.т}} = Q_{\text{н}} \sqrt[3]{(t_1 + 2t_2 + 9t_3 + 2t_4)/2T}; \qquad (9.10)$$

для четырехступенчатого графика водоподачи при четырех периодах t_1, t_2, t_3, t_4 с подачей воды соответственно $Q_{\text{н}}$, $3Q_{\text{н}}$, $4Q_{\text{н}}$, $2Q_{\text{н}}$ и схемами соединения насосов, обеспечивающих полное переключение их на два напорных трубопровода (см. рис. 9.1, *д, е*),

$$q_{\text{р.т}} = Q_{\text{н}} / 2 \sqrt[3]{(t_1 + 27t_2 + 64t_3 + 8t_4)/T}. \qquad (9.11)$$

При расчете по формуле (9.1) принято, что общая подача воды насосами для каждого периода равномерно распределена по напорным трубопроводам, то есть для t_1 — $0{,}5Q_{\text{н}}$, для t_2 — $1{,}5Q_{\text{н}}$, для t_3 — $2Q_{\text{н}}$ и для t_4 — $Q_{\text{н}}$.

Экономичный диаметр напорного трубопровода определяют по формуле (9.1) из расчета на 1 м погонной длины трубопровода. Капитальные затраты на сооружение 1 м напорного трубопровода K зависят от его диаметра и материала стенок. Сведения по этим затратам обычно имеются в проектных организациях или их рассчитывают по специальным методикам [13].

Эксплуатационные затраты $И$ состоят:

из стоимости электроэнергии, затраченной на преодоление гид-

равлического сопротивления 1 м погонной длины трубопровода, которую можно рассчитать по формуле (9.4);

отчислений на амортизацию и текущий ремонт, определяемых с помощью нормативных коэффициентов, которые приводят в соответствующих справочниках.

Задают несколько диаметров D_y напорных трубопроводов и определяют для каждого варианта приведенные затраты по формуле (9.1) до получения минимума этих затрат.

Для сокращения числа вариантов можно предварительный экономичный диаметр напорного трубопровода, м, вычислить по эмпирической зависимости

$$D_{эк.пр} = (0{,}7...0{,}8)\sqrt{Q_{max} / n_{тр}}, \qquad (9.12)$$

где Q_{max} — максимальная подача насосной станции согласно графику водоподачи, $м^3/с$; $n_{тр}$ — число напорных трубопроводов.

Расчеты удобно вести в табличной форме. Пример расчета экономичного диаметра напорного трубопровода для насосной станции с исходными данными на с. 6 представлен в таблице 9.1. Для расчета использовали формулы (9.1), (9.4), (9.10), (9.12), в которых капитальные затраты на сооружение 1 м погонной длины сборного

9.1. Расчет экономического диаметра напорного трубопровода

Диаметр трубопровода D_y, м	Капитальные затраты на сооружение 1 м погонной длины трубопровода K, р.	Стоимость электроэнергии, расходуемой на преодоление гидравлического сопротивления 1 м погонной длины трубопровода $Э_а$, р.	Отчисления на амортизацию и ремонт μK, р.	Приведенные затраты $З$, р.
1,2	134	13,33	2,06	32,14
1,3	149,6	8,79	2,3	29,79
1,4	168,3	5,99	2,59	29,62
1,5	188,1	4,19	2,9	30,6
1,6	211,75	3	3,26	32,73

железобетонного трубопровода приняты по данным проектных организаций, коэффициент ежегодных отчислений на амортизацию и ремонт ($\mu = 0{,}0154$), стоимость 1 кВт · ч электроэнергии ($a = 0{,}02$ р/кВт · ч) и коэффициент эффективности капитальных затрат ($E = 0{,}125$) — по нормативным документам (стоимость — в ценах 1985 г.). По минимуму приведенных затрат $З$ экономичный диаметр напорного трубопровода $D_{эк} = 1{,}4$ м.

9.5. ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Водно-энергетические расчеты заключаются в определении количества поднимаемой за год воды в кубических метрах, тонно-метрах и энергии, затрачиваемой на ее подъем. В этих расчетах выявляются также наиболее экономичные условия работы насосной станции.

Для выполнения водно-энергетических расчетов необходимы следующие исходные данные:

график водоподачи насосной станции с нанесенными на него значениями геодезических высот подъема воды по периодам;

характеристики насосов;

схема соединения насосов и напорных трубопроводов, гидравлические сопротивления по трассе водоподачи и значения КПД двигателей.

Фактические значения подачи и напора насосов в общем случае несколько отличаются от расчетных, поскольку положение рабочей точки, являющейся пересечением напорной характеристики насоса и характеристики трубопровода, зависящей от значения геодезический высоты подъема $H_г$ и потерь напора в трубопроводе $h_т$, будет различным для каждого периода графика водоподачи. Значение $H_г$ определяют как разность изменяющихся уровней воды в водоисточнике и водоприемнике, а потери напора — по расходу воды в трубопроводе, который зависит от числа работающих насосов на трубопровод, а также и от значения $H_г$.

Таким образом, для каждого периода графика водоподачи рабочая точка будет определяться значением $H_г$ и числом работающих на трубопровод насосов, зависящим от схемы соединения насосов и трубопроводов (см. рис. 9.1).

Для нахождения рабочей точки более удобно пользоваться не напорной характеристикой насоса $H—Q$, а графическими зависимостями между $H_г$ и расходом Q по трассе водоподачи, выраженным подачей насоса $Q_н$. Для получения зависимостей между $H_г$ и Q из ординат характеристики $H—Q$ вычитают соответствующие потери напора.

Водно-энергетические расчеты выполняют в табличной форме в такой последовательности.

Для каждого периода графика водоподачи по кривой зависимости $H_г$ от Q (при различных расходах воды в трубопроводах по нескольким кривым) определяют рабочую точку (рабочие точки), то есть находят фактические значения подачи $Q_ф$, напора $H_ф$ и $\eta_{ф.н}$ насоса. По значению $Q_ф$ (значениям $Q_ф$) находят фактическую подачу через каждый трубопровод и всей насосной станции $Q_{ф.н.с}$, а также фактический КПД (насосной установки) $\eta_{н.у} = \eta_{ф.н}\eta_{дв}\eta_с$ ($\eta_с$ —коэффициент, учитывающий потери энергии в подводящих линиях электропередачи, обычно принимают 0,98...0,99). Значение $Q_{ф.н.с}$ в общем случае несколько отличается от расчетного $Q_{р.н.с}$, поэтому определяют фактическое время работы насосной станции из условия подачи расчетного объема воды $T_ф = Q_{р.н.с}T_р/Q_{ф.н.с}$. Далее по

значениям $Q_ф$, $H_ф$, $\eta_{н.у}$ вычисляют фактически потребляемую мощность каждой насосной установки и напорного трубопровода $N_ф = 9{,}81 H_ф Q_ф n_р / \eta_{н.у}$, затрачиваемую энергию $Э = N_ф T_ф$, объем поданной за год воды $W = Q_{ф.н.с} T_ф$ 3600 м^3 и в тонно-метрах $WH_ф$, т · м. Здесь $n_р$ — число работающих насосов на трубопровод.

Ниже приведен пример водно-энергетического расчета для случая подачи воды четырьмя насосами 80 ВЦ — 2,5/40 по двум напорным трубопроводам (пример 3, см. раздел 5.6). График водоподачи с нанесенными на него отметками уровней воды в водоисточнике показан на рисунке 4.1 (см. главу 4). Переключение насосов на трубопроводы неполное (рис. 9.1, схема 2,*г*); КПД электродвигателей равен 0,92.

В соответствии с расчетной подачей насоса $Q_р = 2{,}1$ м^3/с были определены потери напора по трассе водоподачи для ее двух участков; на первом А расход всегда равен подаче насоса, а на втором Б может быть равен подаче как одного, так и двух насосов (рис. 9.1, схема 2,*г*). Для участка А общие потери напора включают потери напора в сороудерживающей решетке $h_р$, потери напора в монтажной вставке $h_{м.в}$, затворе $h_з$, диффузоре $h_д$, повороте напорной линии $h_{пов}$, в соединении с напорным трубопроводом (тройнике) $h_{тр}$ и по длине напорной линии (см. также рис. 5.3 и рис. 5.5) (следует отметить, что потери напора в подводящей линии насоса учтены в напорных характеристиках вертикальных насосов).

В связи с тем что при эксплуатации насосной станции потери напора в решетке вследствие ее засорения непрерывно увеличиваются, принято максимальное значение $h_р = 0{,}2$, при достижении которого решетку необходимо очищать. Для определения $h_{мв}$, $h_з$, $h_д$, $h_{пов}$, $h_{тр}$ принимают по справочникам соответствующие значения коэффициентов сопротивления: $\xi_{м.в}$, $\xi_з$, $\xi_д$, $\xi_{пов}$, $\xi_{тр}$. Суммарное значение этих коэффициентов для участка диаметром 800 мм, скорость движения воды в котором при $Q_р = 2{,}1$ м/с составляет 4,14 м/с, равно 0,3. В соответствии с этими значениями суммарные потери напора: $h_{м.в} + h_з + h_д = 0{,}3 \cdot 4{,}14^2/19{,}62 = 0{,}26$ м.

Потери напора в напорной линии после диффузора диаметром 1000 мм, скорость движения воды в которой равна 2,67 м/с, включают потери напора на поворот $h_{пов}$, потери напора в тройнике $h_{тр}$ (соединение с напорным трубопроводом) и потери напора на трение по длине линии $h_{т.дл}$. Для определения $h_{пов}$ и $h_{тр}$ приняты коэффициенты местных сопротивлений $\xi_{пов}$ и $\xi_{тр}$, суммарное значение которых равно 0,6. Соответствующие потери напора $h_{пов} + h_{тр} = \xi v^2/2g = 0 \cdot 6 \cdot 2{,}67^2/19{,}62 = 0{,}22$ м. Потери напора по длине напорной линии, длина которой около 10 м, при расходе $Q_р = 2{,}1$ м^3/с равны 0,07 м. Таким образом, общие потери напора на участке А составят $0{,}2 + 0{,}26 + 0{,}22 + 0{,}07 = 0{,}75$ м. На участке Б потери напора включают потери на трение по длине напорного трубопровода диаметром 1400 мм и длиной 256 м, которые при расходе 2,1 м^3/с составят

$h_{т\ дл} = AlQ_р^2 = 0{,}000302 \cdot 256 \cdot 2{,}1^2 = 0{,}34$ м (значение A для железобетонных монолитных труб принято по справочникам таким же, как и для сборных), и потери напора в водовыпуске с затвором механического действия $h_{вв}$. Потери напора $h_{вв}$ складываются из потерь напора на расширение (диффузор) и потерь напора на затворе (обратном клапане с эксцентрично расположенной осью).

Суммарный коэффициент местных сопротивлений принят $\xi_{вв} = 8$. Высокое значение $\xi_{вв}$ объясняется тем, что диск затвора (обратного клапана) при относительно небольшой скорости движения воды 0,83 м/с находится в не полностью открытом положении [диаметр выходного отверстия принят равным 1800 мм, откуда скорость $V = Q/\omega = 2{,}1/(0{,}7854 \cdot 1{,}8^2) = 0{,}83$ м/с]. Соответствующие потери напора $h_{вв} = 8 \cdot 0{,}83^2/19{,}62 = 0{,}28$ м, поэтому общие потери на участке Б равны 0,34 + 0,28 = 0,62 м. Соответствующие коэффициенты гидравлических сопротивлений участков А и Б:

$$S_А = 0{,}75/2{,}1^2 = 0{,}17\ с^2/м^5 \text{ и } S_Б = 0{,}62/2{,}1^2 = 0{,}14\ с^2/м^5.$$

При работе двух насосов на один трубопровод гидравлическое сопротивление участка А будет несколько бóльшим, а участка Б несколько меньшим. Это объясняется тем, что коэффициент местного сопротивления тройника $\xi_{тр}$ будет бóльшим, а водовыпуска — $\xi_{вв}$ меньшим, поскольку степень открытия диска затвора увеличивается из-за большей скорости потока. Потери напора для части участка А диаметром 800 мм при расходе $Q_р = 2{,}1$ м^3/с остаются теми же (0,26 м); такими же (0,07) будут и потери по длине напорной линии. Местные потери $h_{пов} + h_{тр} = 1{,}6 \cdot 2{,}67^2/19{,}62 = 0{,}58$ м ($\xi = \xi_{пов} + \xi_{тв}$ принято равным 1,6 м). Таким образом, общие потери напора на участке А равны 0,2 + 0,26 + 0,58 + 0,07 = 1,11 м и коэффициент гидравлического сопротивления составит $S_А = 1{,}11/2{,}1^2 = 0{,}25$ с^2/м^5.

Суммарный коэффициент местных сопротивлений водовыпуска при работе двух насосов и скорости движения воды v = 1,66 м/с, соответствующей расходу воды $2{,}1 \cdot 2 = 4{,}2$ м^3, принят равным $\xi_{вв} = 2{,}5$. Тогда потери напора водовыпуска $h_{вв} = 2{,}5 \cdot 1{,}66^2/19{,}62 = 0{,}35$ м лишь ненамного больше, чем при v = 0,83 м/с.

Суммарные потери напора на участке Б при расходе воды $Q = 4{,}2$ м^3/с составят $0{,}34 \cdot 4 + 0{,}35 = 1{,}71$ м, а общие потери по трассе водоподачи 1,11 + 1,71 = 2,82 м. $S_Б = 1{,}71/4{,}2^2 = 0{,}097$ с^2/м^5.

В соответствии с полученными значениями коэффициентов сопротивлений $S_А$ и $S_Б$ были вычислены потери напора для подач насоса от 0 до 2,5 м^3/с, то есть для разных скоростей воды в трубопроводах. Эти потери были вычтены из ординат напорной характеристики насоса ВЦ 80 2,5/40 (рис. 9.2), в результате чего были получены характеристики $H_г = f(Q_н)$ при различном

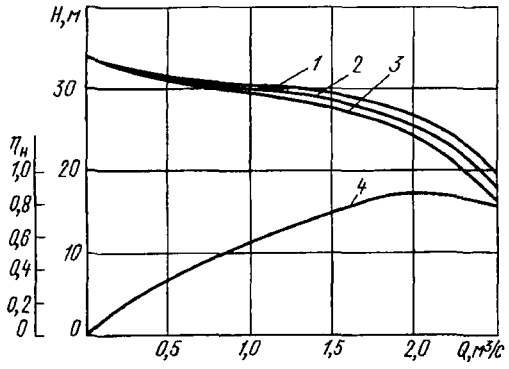


Рис. 9.2. Характеристики центробежного насоса ВЦ802,5/40 $H - Q$ (*1*) и $\eta_н - Q$ (*4*) и зависимости от $H_г - Q$ (*2*) и $H_г - 2Q$ (*3*)

числе насосов, работающих на один трубопровод (см. рис. 9.2, поз. *2*, *3*).

Расчет проведен для каждой работающей в данном периоде нитки напорного трубопровода.

Результаты водно-энергетического расчета сведены в таблицу 9.2. Полученное фактическое время работы насосной станции отличается от расчетного всего на $3684 - 3672 = 12$ ч, то есть на $12 \cdot 100/3672 = 0{,}3$ %.

9.2. Результаты водно-энергетического расчета насосной станции

Расчетные параметры			Число работающих насосов	Фактическая подача насоса $Q_ф$, м³/с	Фактический напор $H_ф$, м	Фактическая подача насосной станции $Q_{ф.н.с}$, м³/с	Фактическое время работы $T_ф$, ч
подача насосной станции $Q_{р.н.с}$, м³/с	геодезическая высота подъема $H_г$, м	число часов в периоде $T_р$, ч					
2,1	23,0	960	1	2,18	24,9	2,18	925
4,2	22,8	744	2	2,19	24,8	4,38 = 2,19 · 2	713
6,3	24,2	1464	3 1 2	2,08 1,96	25,7 26,2	6 2,08 1,96 · 2	1537
4,2	24,2	504	2	2,08	25,7	4,16 = 2,08 · 2	509
Итого за год		3672					3684

Продолжение

КПД насоса $\eta_н$	КПД насосной установки $\eta_{н.у}$	Мощность $N_ф$, кВт	Количество потребляемой энергии $Э$, млн кВт · ч	Количество поданной воды	
				млн м³	млн т, т · м
0,83	0,75	710	0,6568	7,2594	180,76
0,82	0,74	1440	1,0267	11,2426	278,82
0,84	0,76	690	1,0605	11,5090	295,78
0,83	0,75	1343	2,0642	21,6901	568,28
0,84	0,76	1380	0,7024	7,6228	195,91
			Σ = 5,5106	Σ = 59,3239	Σ = 1519,55

9.6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Экономичность сооружений насосных станций характеризуют абсолютные и удельные показатели стоимости. К абсолютным относят (см. раздел 9.3) капитальные вложения по узлу сооружений насосной станции K и ежегодные эксплуатационные затраты — издержки $И$. Основные удельные показатели включают:

удельные капиталовложения на 1 м³/с подачи (расхода), тыс. р.,

$$K_а = K/Q,$$

где K — стоимость строительства по отдельным сооружениям и насосной станции в целом, тыс.р.; Q — расчетная подача насосной станции или расход воды через рассматриваемое сооружение, м³/с;

ежегодные эксплуатационные затраты на 1 м³/с подачи насосной станции или расхода воды через сооружение, тыс.р.,

$$И_а = И/Q,$$

где $И$ — сумма ежегодных эксплуатационных затрат, тыс.р.;

стоимость 1 м³ поднятой воды, к.,

$$C_1 = 10^5 И/\Sigma W,$$

где ΣW — количество воды, поднятой насосной станцией в течение года, м³;

стоимость 1 т · м поднятой воды, к.,

$$C_2 = 10^5 И/\Sigma WH,$$

где ΣWH — сумма произведений подачи на напор за год, т · м;

коэффициент использования установленного максимума мощности α, или среднее число часов работы насосного агрегата в год $T_{ср}$

$$\alpha = \Sigma Э / T\Sigma N_у = \Sigma Э/8760\Sigma N_у, \text{ или } T_{ср} = 8760\alpha,$$

где $\Sigma Э$ — количество электроэнергии, потребляемой насосной станцией в год, кВт · ч; T — число часов в году; ΣN_y — максимальная установленная мощность электродвигателей основных насосов (рабочих и резервных), подающих воду потребителю, кВт;

коэффициент полезного действия насосной станции за год с учетом 2 % затрат электроэнергии на собственные нужды

$$\eta_{н.с} = \frac{0{,}002725\Sigma WH}{1{,}02\Sigma Э}.$$

Для определения рассмотренных выше удельных показателей используют значения величин K, $И$ и результаты водно-энергетического расчета (см. табл 9.1).

9.7. ПЛАН ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Эксплуатацию насосной станции осуществляют по заранее разработанному плану, включающему график подачи воды, указывающий количество и сроки ее подачи; смету эксплуатации и технико-экономические показатели работы насосной станции; организационно-технические мероприятия, учитывающие проведение всех видов ремонтов и работ по снижению стоимости и улучшению эксплуатации насосной станции.

График подачи воды разрабатывают специалисты орошаемого земледелия, и, как правило, его корректируют в процессе полива. Смета на эксплуатацию насосной станции состоит из затрат на оплату электроэнергии, затрачиваемую на подачу воды; на амортизацию и текущие ремонты; на собственные нужды станции.

Объем потребляемой электроэнергии наиболее точно можно определить по результатам водно-энергетического расчета, поскольку при этом учитываются колебания уровней воды верхнего и нижнего бьефов, а также изменение потерь напора по трассе водоподачи.

Организационно-технические мероприятия по улучшению эксплуатации насосной станции осуществляют в следующих направлениях:

определяют опытным путем оптимальные нормы полива и повышают КПД системы, что снижает количество подаваемой воды и потребляемой энергии;

автоматизируют управление и механизацию ремонтных работ, что снижает эксплуатационные расходы;

проводят профилактические осмотры и ремонты, что увеличивает срок службы оборудования и уменьшает затраты на ремонтные работы;

проводят испытания оборудования и устраняют неисправности в оборудовании при несоответствии его характеристик паспортным данным;

повышают квалификацию персонала, организуя его учебу, в том числе на передовых предприятиях страны;

устраняют потери воды на фильтрацию и непроизводительные сбросы, связанные с несоответствием подачи воды насосными станциями и водопотреблением.

В работы по эксплуатации насосных станций входит эксплуатация гидротехнических сооружений и механического оборудования, основного и вспомогательного гидромеханического и энергетического оборудования.

При эксплуатации гидротехнических сооружений необходимо учитывать изменения уровней воды в этих сооружениях и зимний режим их работы. План эксплуатационных работ должен предусматривать наблюдение за сооружениями, уход за ними, применение защитных мероприятий.

План эксплуатации основного и вспомогательного гидротехнического и силового оборудования должен предусматривать подготовку оборудования к эксплуатации, пуск, наладку и проведение сдаточных испытаний, обслуживание насосных агрегатов и вспомогательных систем, эксплуатацию контрольно-измерительных приборов, профилактические осмотры и проверки оборудования, хранение и консервацию оборудования.

Глава 10

ИСПЫТАНИЯ НАСОСОВ И УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

●

10.1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСПЫТАНИЯХ НАСОСОВ

Насосы широко применяют в различных областях народного хозяйства. Они разнообразны по принципу действия и конструктивному исполнению и должны надежно работать в самых различных условиях. Эти условия часто сильно изменяются при использовании одного и того же насоса. Поэтому, чтобы предсказать возможность нормальной работы того или иного насоса в заданных условиях, необходимо иметь в документации его характеристики, которые, как правило, получают опытным путем на специальных лабораторных стендах или на натурной производственной установке, где работает насос в период эксплуатации.

Испытания насосов по содержанию можно разделить на пять видов: параметрические, контрольные, на надежность, ресурсные и исследовательские.

Параметрические испытания дают возможность определить изменение внешних параметров насоса в зависимости от изменения условий его работы (например, характеристики сети). Результаты этих исследований обычно представляют в виде обобщенных графиков H, N, η, $\Delta h_{доп} = f(Q)$ при $n = \text{const}$, которые называют характеристиками насоса и разделяют их на энергетические — H, N, $\eta = f(Q)$ и кавитационные — $\mathrm{D}h_{доп} = f(Q)$.

По энергетическим характеристикам насоса можно определить возможность подъема им жидкости с заданной подачей на заданную высоту при заданной характеристике сети, а также мощность, которая должна при этом подводиться к насосу.

Кавитационная характеристика дает возможность определить отметку установки насоса по отношению к уровню источника, при которой обеспечивается бесперебойная работа насоса в течение длительного периода эксплуатации без существенных эрозионных повреждений его рабочих органов.

Контрольные испытания проводят для подтверждения того, что параметры насоса находятся в допустимых пределах (например, для принятия решения о годности насоса к дальнейшей эксплуатации).

Испытания на надежность дают возможность получить показатели надежности насоса, то есть оценить безотказность его работы в оговоренных условиях эксплуатации.

Ресурсные испытания определяют действительные показатели безотказности, долговечности и ремонтопригодности испытуемого насоса.

Исследовательские испытания имеют самый разнообразный характер и часто требуют применения сложной и дорогой измерительной аппаратуры. Основная цель этих испытаний — улучшение различных показателей насоса (экономичность, надежность, увеличение ресурса, упрощение технологии производства и др.). ГОСТ 6134—71 регламентирует требования к проведению различных видов испытаний, к точности измерений, порядку оформления документации и др.

Из всех перечисленных выше испытаний для специалистов-мелиораторов наибольший интерес представляют параметрические испытания, так как их результаты обычно необходимы не только для оценки возможности использования в заданных условиях насоса той или иной марки, но и для анализа работы всей гидравлической сети, в которую установлен насос, в процессе эксплуатации. Поэтому большинство испытаний насосов, изложенных ниже в учебно-лабораторных работах для студентов, имеют характер, близкий к параметрическим испытаниям насосов.

10.2. ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ НАСОСОВ

При параметрических испытаниях определяют основные внешние параметры насоса на различных режимах его работы. Для большинства насосов такими параметрами будут: Q — объемная подача насоса в единицу времени или просто подача насоса, л/с, м^3/с, м^3/ч; H — напор насоса, м; n — частота вращения вала насоса или двигателя, мин$^{-1}$; N — мощность, потребляемая насосом, кВт; η — коэффициент полезного действия насоса, % или доли от 1; $\Delta h_{доп}$ — допустимый кавитационный запас, м.

Для лопастных насосов величины H, N, η, $\Delta h_{доп}$ зависят от изменения подачи Q при постоянных частотах вращения вала насоса n.

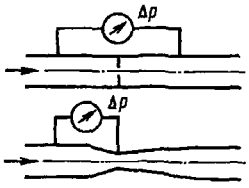
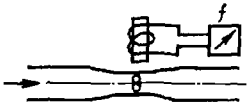
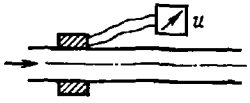
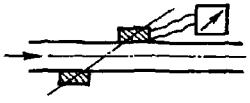
Подачу насоса Q чаще всего определяют путем измерения объемного расхода жидкости за единицу времени в напорной линии за насосом. Измерение расхода во всасывающих линиях нежелательно, так как наличие там вакуума может внести дополнительные погрешности в измерения. В лабораторных условиях наиболее распространены способы определения расходов жидкости, указанные в таблице 10.1.

Напор насоса H — это приращение удельной механической энергии потока жидкости, проходящего через насос, то есть

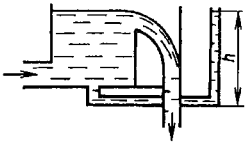
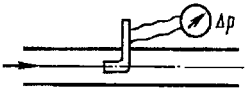
$$H=(p_{\text{н}}-p_{\text{в}})/\rho g+(\text{v}_{\text{н}}^2-\text{v}_{\text{в}}^2)/2g+Z_{\text{изм}},$$

где $p_{\text{н}}$ и $\text{v}_{\text{н}}$ — давление и скорость потока в напорном трубопроводе после насоса,

10.1. Способы измерения расхода жидкости

Способ	Измеряемый параметр	Прибор для измерения	Функциональная зависимость расхода от измеряемого параметра
Установка сужающего устройства (шайба, сопло, труба Вентури)	Перепад давления Δp 	Дифференциальный манометр	$Q = k_1\sqrt{\Delta p}$
Установка гидравлической турбины («вертушки»)	Частота вращения турбины f 	Частотомер	$Q = k_2 f$
Установка индукционного расходомера	Электродвижущая сила в электроцепях u 	Указатель ЭДС	$Q = k_3 u$
Установка ультразвукового измерителя скорости потока	Измерение скорости распространения ультразвука Δc 	Стрелочный индикатор	$Q = f(\Delta c)$

Продолжение

Способ	Измеряемый параметр	Прибор для измерения	Функциональная зависимость расхода от измеряемого параметра
Применение емкости с водосливом	Уровень жидкости в напорной части емкости h	Указатель уровня жидкости	$Q = f(h)$
			
Изменение скорости потока в отдельных струйках	Скорость потока $v_i = f(\Delta p)$	Трубка Пито или другие типы датчиков скорости	$Q = \Sigma v_i s_i$, где v_i — скорость течения струйки; s_i — площадь сечения этой струйки
			

Н/м^2 и м/с; $p_в$ и $v_в$ — то же, во всасывающем трубопроводе перед насосом; ρ и g — плотность жидкости и ускорение свободного падения, кг/м^3 и м/с^2; $Z_{изм}$ — расстояние по вертикали между теми точками жидкости в напорных и всасывающих коммуникациях, в которых давления соответствуют значениям $p_н$ и $p_в$, м.

Для определения напора насоса необходимы измерения $Z_{изм}$, $p_н$ и $p_в$. Остальные параметры рассчитывают по известным подаче Q и геометрическим размерам трубопроводов. Давление чаще всего измеряют манометрами и вакуумметрами (рис. 10.1). Иногда одним и тем же прибором можно измерять и давление, и вакуум. Тогда его называют мановакуумметром.

Отличительная особенность таких приборов заключается в том, что они показывают не абсолютное давление в трубке перед прибором (в штуцере прибора), а избыточное или вакуум от уровня атмосферного давления. Поэтому абсолютное давление в точке присоединения прибора к подводящей трубке

$$p_{абс} = p_а + p_м \text{ или } p_{абс} = p_а - p_v,$$

где $p_м$ и p_v — соответственно показания манометра и вакуумметра, Н/м; $p_а$ — атмосферное давление, Н/м^2.

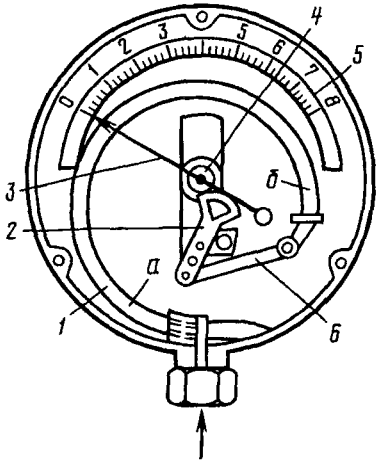


Рис. 10.1. Пружинный манометр (вакуумметр):

а и *б* — открытый и закрытый концы тонкостенной трубки: *1* — тонкостенная серповидная трубка; *2* — рычаг с зубчаткой; *3* — стрелка; *4* — зубчатое колесо; *5* — шкала; *6* — тяга

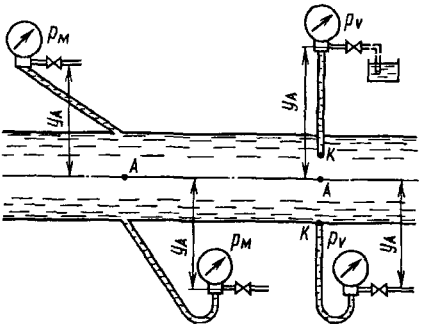


Рис. 10.2. Схемы измерения давления и вакуума

Обычно точки замеров давлений сообщаются с манометрами (вакуумметрами) с помощью подводящих трубок, которые подсоединяют к трубопроводам до и после насоса. При этом показание прибора может не соответствовать истинному значению давления в точке замера. Так, если подводящая трубка полностью заполнена жидкостью и прибор расположен выше точки замера, то истинное манометрическое или вакуумметрическое давление в точке замера (точка А на рис. 10.2)

$$p_{мA} = p_м + \rho g Y_A \text{ или } p_{vA} = p_v - \rho g Y_A,$$

где Y_A — расстояние по вертикали от точки замера до штуцера прибора, м.

Если прибор расположен ниже точки А, то

$$p_{мA} = p_м - \rho g Y_A \text{ или } p_{vA} = p_v + \rho g Y_A.$$

Таким образом, при установке манометра (вакуумметра) ниже или выше точки замера для определения истинного давления в этой точке необходимо учитывать давление столба жидкости, заполняющей подводящую трубку и часть трубопровода до точки замера. Если подводящая трубка заполнена воздухом, то во всех случаях показания манометра (вакуумметра) практически будут соот-

ветствовать истинному давлению в начале ее (точка К на рис. 10.2), так как влияние давления столба воздуха в трубке из-за малой его плотности будет ничтожно. Подводящие трубки к манометрам обычно «проливают» жидкостью, а к вакуумметрам «продувают» воздухом. Для этого в месте соединения трубки с прибором устанавливают трехходовой кран или просто отводящую трубку с краном (см. рис. 10.2). В первом случае при открытии крана воздух «сбрасывается» из подводящей трубки в атмосферу, во втором воздух из атмосферы «продувает» подводящую трубку и удаляет из нее воду. В принципе можно и вакуумметрическую подводящую трубку «проливать» водой, если свободный конец ее опустить под уровень воды в сосуде (см. рис. 10.2). Наибольшей точности измерения добиваются при расположении оси подводящих трубок в горизонтальной плоскости, проходящей через точку замера. В этом случае не нужны ни «проливки», ни «продувки» трубок, так как $Y_A = 0$ (см. рис. 10.2). В практике для измерения вакуума или малых давлений иногда применяют U-образные стеклянные трубки, заполненные ртутью. Точность измерений при этом повышается. Однако работа с этими приборами требует осторожности и аккуратности, ибо ртуть чрезвычайно вредное вещество для обслуживающего персонала.

Широкое распространение получили малогабаритные электрические датчики, в которых давление, вакуум или перепад давления преобразуются в электрический сигнал, поступающий далее на вторичный указательный прибор. Такие датчики имеют малые размеры, поэтому их можно устанавливать непосредственно в месте замера, а сигналы от них передавать на осциллограф, печатающее устройство или ЭВМ. Основные недостатки этого способа измерения: не всегда высокая точность измерений, высокая стоимость оборудования и обслуживания.

Частоту вращения вала насоса или двигателя n можно измерять различными тахометрами или специальными частотомерами—тахометрами с электроимпульсными счетчиками сигналов, поступающих с индукционных или фотоэлектрических датчиков, которые установлены вблизи вращающегося вала.

Мощность насоса (потребляемую) N можно измерить двумя способами: с помощью прямых и косвенных измерений.

Первый способ основан на прямых измерениях частоты вращения вала насоса n и крутящего момента, действующего на вал насоса $M_{кр}$. Потребляемая насосом мощность, кВт,

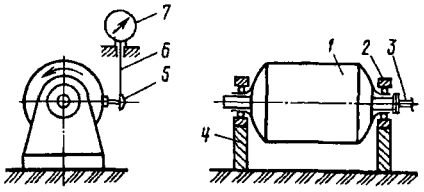
$$N = M_{кр} n / 9550,$$

где n, мин$^{-1}$; $M_{кр}$, Н · м.

Крутящий момент $M_{кр}$ можно определить и с помощью специальной весовой головки, соединенной с двигателем, который может вращаться в подшипниковых опорах (рис. 10.3).

Рис. 10.3. Определение крутящего момента $M_{кр}$ с помощью установленного в подшипниковых опорах двигателя и весовой головки:

1 — двигатель; *2* — подшипниковый узел; *3* — вал насоса; *4* — опора; *5* — рычаг; *6* — тяга; *7* — весовая головка со шкалой



Второй способ основан на измерении потребляемой двигателем электрической мощности $N_{дв}$, которую затем используют для расчета потребляемой насосом мощности с учетом известных коэффициентов полезного действия двигателя $\eta_{дв}$ и передач от двигателя к насосу $\eta_{пер}$

$$N = N_{дв}\eta_{дв}\eta_{пер}.$$

Коэффициент полезного действия насоса

$$\eta = \rho g Q H / 1000 N,$$

где все параметры в правой части определены в процессе параметрических испытаний насоса (Q, м^3/с; H, м; N, кВт).

Допустимый кавитационный запас

$$\Delta h_{доп} = A \Delta h_{кр},$$

где A — коэффициент запаса, $A = 1{,}1...1{,}5$ (см. работу № 5); $\Delta h_{кр}$ — критический кавитационный запас, определяемый опытным путем;

$$\Delta h_{кр} = p_{в.кр} / \rho g + v_в^2 / 2g - p_{п.ж} / \rho g,$$

здесь $p_{в.кр}$ — минимальное абсолютное давление во всасывающем трубопроводе перед насосом, при котором последний еще сохраняет практически неизменным напор H при постоянных подаче Q и частоте вращения n; $v_в$ — скорость воды во всасывающем трубопроводе перед насосом, м/с; $p_{п.ж}$ — давление насыщенных паров жидкости, Н/м^2.

Таким образом, для нахождения допустимого кавитационного запаса $\Delta h_{доп}$ необходимы те же средства измерений, которые используют для определения напора H, подачи Q, частоты вращения n.

Допустимая вакуумметрическая высота всасывания имеет следующую аналитическую связь с допустимым кавитационным запасом:

$$H_{доп}^{вак} = (p_а - p_{п.ж}) / \rho g + v_в^2 / 2g - \Delta h_{доп}, \text{ м}.$$

По существу, это показания вакуумметра в метрах, установленного во всасывающем трубопроводе перед насосом на уровне точки

измерения давления $p_в$. Отрицательное значение $H_{доп}^{вак}$ означает, что давление в трубопроводе при входе в насос выше атмосферного.

10.3. УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Предполагается проведение следующих учебно-лабораторных работ с анализом их результатов:

1. Изучение конструкций различных центробежных насосов на разбираемых образцах и определение их марок.
2. Испытание всасывающей линии центробежного насоса для определения ее гидравлических характеристик, вакуумметрической высоты всасывания и кавитационного запаса насоса.
3. Изучение кинематики потока в рабочем колесе центробежного насоса.
4. Испытание центробежного насоса для получения его энергетической характеристики.
5. Кавитационное испытание центробежного насоса.
6. Испытание насосной установки с двумя параллельно и последовательно работающими насосами.
7. Испытание центробежного насоса при существенно разных частотах вращения его вала.

Состав учебно-лабораторных работ может зависеть от учебных программ для различных специальностей и специализаций. Перед проведением лабораторных работ в помощь студенту выдается специальный журнал, в который он вносит результаты измерений, расчетов и анализа экспериментальных данных. Только после полного заполнения журнала работа может быть предъявлена преподавателю для зачета.

Работа № 1. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ РАЗЛИЧНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА РАЗБИРАЕМЫХ ОБРАЗЦАХ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ МАРОК

Цель работы: изучить конструкции насосов; уяснить назначение их основных узлов и деталей; провести монтаж и демонтаж насосов.

Порядок проведения работы: составить эскизы рабочих колес насосов; снять основные размеры колес, необходимые для определения марки насоса; определить марки насосов.

Работу № 1 проводят после ознакомления студентов с конструкциями насосов по чертежам, диапозитивам, плакатам. Студент должен изучить на реальных образцах не менее трех насосов различной конструкции (обычно консольный, с двуст оронним входом и мно-

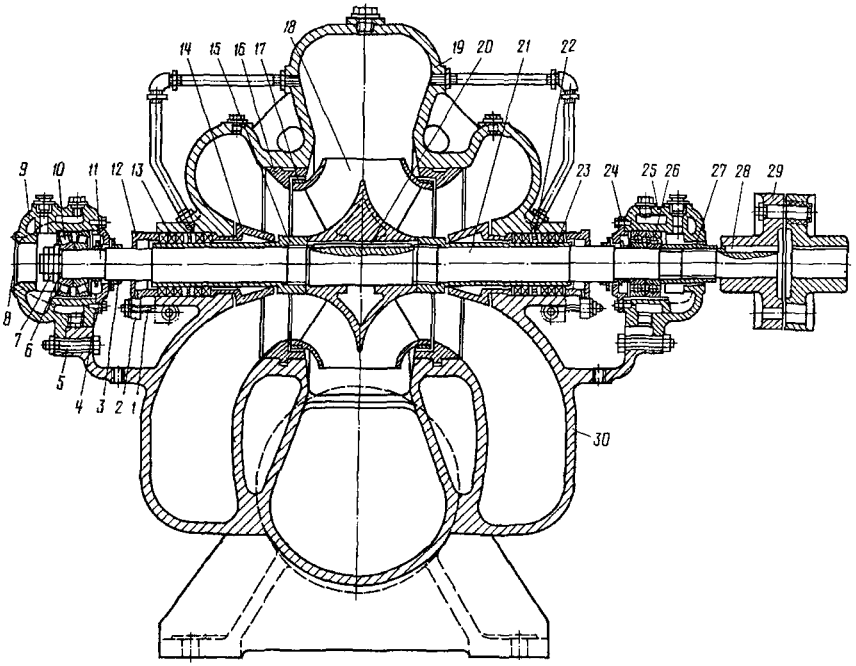


Рис. 10.4. Центробежный насос Д2000-21:

1, 2, 12, 22 — сальники; *3* — разбрызгиватель; *4* — крышка подшипника; *5, 30* — корпуса насоса; *6* — шайба; *7* — гайки; *8* — заглушка; *9, 25* — корпуса подшипников; *10* — конический роликоподшипник; *11* — распорная втулка; *13* — набивка; *14* — грундбуксы; *15, 23* — защитные втулки; *16* и *17* — уплотняющие и защитные кольца; *18* — рабочее колесо; *19* — крышка насоса; *20* — шпонка; *21* — вал насоса; *24* — крышка подшипника; *26* — шарикоподшипник; *27* — втулка с резьбой; *28* — шпонка; *29* — диск муфты

гоступенчатый секционный). Для всех видов изучаемых насосов студент делает схематические эскизы конструкций, а также эскизы рабочих колес. В процессе изучения конструкций насосов студенты выполняют частичную разборку и сборку изучаемых образцов. С порядком сборки центробежного насоса в полном объеме можно ознакомиться на примере насоса Д2000-21 (рис. 10.4).

Работу проводят в следующей последовательности:

1. Собирают ротор насоса: на рабочее колесо *18* насаживают защитные кольца *17* и закрепляют их установочными винтами; на вал насоса *21* насаживают рабочее колесо *18* на шпонке *20*; рабочее колесо закрепляют на месте, навернув защитные втулки *15*; на защитных втулках закрепляют грундбуксы *14*; надевают кольца сальника *22*, а на вал — разбрызгиватели *3*; на защитные кольца рабочего колеса накидывают уплотняющие кольца *16*; собирают на валу роликоподшипник, поставив последовательно крышку *4* под-

шипника, распорную втулку *11*, конический роликоподшипник *10*, шайбу *6* и гайки *7*; собирают на валу шарикоподшипник на стороне муфты, поставив последовательно крышку подшипника *24*, распорную втулку *11*, шарикоподшипник *26* и втулку с резьбой *27*.

2. Устанавливают корпус насоса *30* на место сборки.

3. Ставят на место болты с проушиной для сальников *1*.

4. Кладут собранный ротор на подшипники, одновременно надевая корпус подшипника *9* соответственно на роликоподшипник *10*, а корпус подшипника *25* на шарикоподшипник *26* и на болты в корпусе насоса *5*.

5. Закрепляют на месте корпуса подшипников *9* и *25* гайками; устанавливают контрольные шпильки.

6. Привертывают к корпусам подшипников *9* и *25* крышки *4* и *24* болтами, предварительно уложив прокладки; устанавливают разбрызгиватели *3* и закрепляют их на месте винтами; привертывают заглушку *8* винтами, установив прокладки.

7. Насаживают на вал со шпонкой *28* диск муфты *29*; закрепляют его на месте установочным винтом.

8. Ставят на место и привертывают крышку насоса *19*, проложив в стыках прокладки из клингерита с установкой контрольных шпилек.

9. Набивают сальники набивкой *13*, поставив на место кольца сальника *22* и половины крышек сальников *2* и *12*, и стягивают половины ботами.

10. Собирают трубопроводы для подвода воды к сальникам.

11. Ввертывают в соответствующие места согласно сборочному чертежу пробки, маслоуказатели, отжимные болты.

Разборку выполняют в обратном порядке.

Основные размеры рабочего колеса, необходимые для определения марки насоса, обозначены на рисунке 10.5: D_2 — наружный диаметр рабочего колеса; D_0 — диаметр входного сечения рабочего колеса; $d_{вт}$ — диаметр втулки. Определив размеры рабочего колеса, их заносят в таблицу 10.2.

10.2. Размеры и параметры насоса, необходимые для определения его марки

Тип насоса	Размеры колеса, мм			Число		Частота вращения вала насоса n, мин$^{-1}$
	D_2	D_0	$d_{вт}$	сторон всасывания $i_{вх}$	ступеней нагнетания $i_{ст}$	

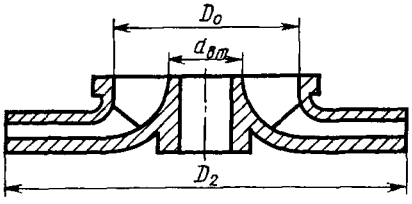


Рис. 10.5. Эскиз рабочего колеса насоса с односторонним входом

Марки насосов имеют следующий вид: насосы типа К — К – $Q_ч$/H; типа Д — Д$Q_ч$ – H; многоступенчатые секционные типа МС — ЦНСQ_4 – H ($Q_ч$ и H — подача, м^3/ч, и напор, м, насоса при максимальном КПД).

Для определения подачи Q и напора H преподаватель задает частоты вращения вала насоса n. Тогда секундная подача , м^3/с, и напор, м, насоса определяют по формулам

$$Q_с = (D_{экв}/K_D)^3 n i_{вх}$$

и

$$H = i_{ст}\sqrt[3]{\left((3{,}65n\sqrt{Q_с / i_{вх}}) / n_s\right)^4},$$

где $D_{экв}$ — эквивалентный диаметр входа в колесо, м, $D_{экв}=\sqrt{D_0^2 - d_{вт}^2}$; K_D — коэффициент, K_D = 4...4,5; n — частота вращения вала насоса, мин$^{-1}$; $i_{вх}$ — число сторон всасывания; $i_{ст}$ — число ступеней насоса; n_s — коэффициент быстроходности насоса, мин$^{-1}$, который можно определить по графику (рис. 10.6).

Для вычисления $Q_с$ и H используют исходные формулы

$$D_{ЭКВ} = K_D\sqrt[3]{Q_с / n} \text{ и } n_s = \left(3{,}65n\sqrt{Q_с / i_{вх}}\right) / \left(H / i_{ст}\right)^{3/4},$$

полученные на основе теории подобия. В марку насоса входит часовая подача, то есть $Q_ч = Q_с \cdot 3600$, м^3/ч. Результаты определения n_s и расчетов заносят в таблицу 10.3, после чего в ней записывают марки всех изучаемых насосов.

10.3. Определение марок насосов

Тип насоса	D_2/D_0	n_s по графику	$Q_с = (D_{экв}/K_D)^3 n i_{вх}$, м^3/с	$Q_ч = Q_с \times 3600$, м^3/ч	$H = i_{ст}\sqrt[3]{\left(\frac{3{,}65n\sqrt{Q_с / i_{вх}}}{n_s}\right)^4}$, м	Марка насоса

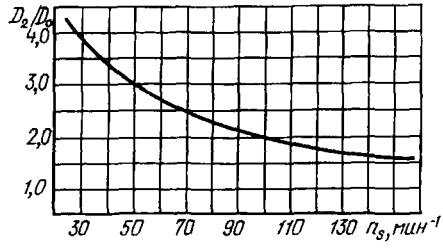


Рис. 10.6. График зависимости коэффициента быстроходности насоса n_s от отношения диаметров рабочего колеса D_2/D_0

Контрольные вопросы и задания. 1. Каковы особенности изучаемых конструкций насосов, их достоинства и недостатки? 2. Как собирают и разбирают насосы различных конструкций? 3. Как движется вода в проточной части насосов? 4. Расскажите о работе сальниковых уплотнений насосов. 5. В чем разница маркировки насосов с малой и большой подачей?

Работа № 2. ИСПЫТАНИЕ ВСАСЫВАЮЩЕЙ ЛИНИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, ВАКУУММЕТРИЧЕСКОЙ ВЫСОТЫ ВСАСЫВАНИЯ И КАВИТАЦИОННОГО ЗАПАСА НАСОСА

Цель работы: уяснить физический смысл геометрической высоты всасывания $h_в$, вакуумметрической высоты всасывания $H^{вак}$, кавитационного запаса насоса Δh, а также их взаимосвязь при различных расходах воды через всасывающую линию насоса.

Геометрическая высота всасывания $h_в$, м, для насоса с горизонтально расположенным валом — расстояние от уровня нижнего бьефа (водоисточника) до оси насоса (рис. 10.7); вакуумметрическая высота всасывания насоса $H^{вак}$ — это показание вакуумметра, выраженное в метрах и приведенное к точке замера на оси насоса (истинный вакуум в этой точке). Связь между $h_в$ и $H^{вак}$ можно найти с помощью уравнения Бернулли, записанного для сечений *а — а* и *в — в* (см. рис. 10.7).

$$p_а / \rho g + v_а^2 / 2g + Z_а = p_в / \rho g + v_в^2 / 2g + Z_в + h_{в.т},$$

где $p_а$ и $p_в$ — атмосферное и абсолютное давление на оси всасывающего трубопровода в сечении перед насосом, Па (Н/м^2) (ось насоса совпадает с осью трубопровода); ρ — плотность жидкости, кг/м^3; g — ускорение свободного падения, м/с^2; $v_а$ и $v_в$ — скорость воды в источнике и трубопроводе перед насосом, м/с; $Z_а$ и $Z_в$ — расстояние по вертикали от горизонтальной плоскости сравнения до точек замера давления, м; $h_{в.т}$ — потери напора во всасывающей линии насоса (во всасывающем трубопроводе) между сечениями *а — а* и *в — в*, м.

Поскольку $v_а \approx 0$, то $(p_а - p_в)/\rho g = H^{вак} = h_в + v_в^2/2g + h_{в.т} h.$

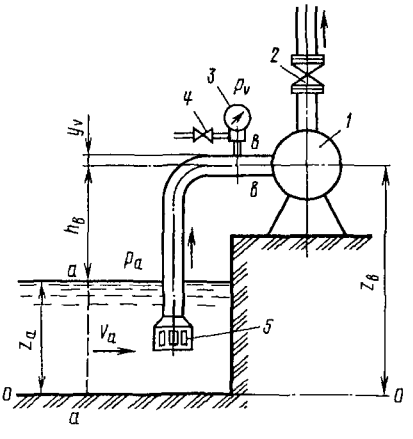


Рис. 10.7. Насосная установка:

1 — насос; *2* — задвижка; *3* — вакуумметр; *4* — кран для «продувки» подводящей трубки; *5* — заборный клапан

Кавитационным запасом насоса Δh называют превышение суммы статического напора $p_в/\rho g$, приведенного к оси насоса в сечении *в — в*, и динамического напора потока $v_в^2/2g$ над напором насыщенных паров рабочей жидкости во всасывающем трубопроводе перед насосом, то есть

$$\Delta h = p_в / \rho g + v_в^2 / 2g - p_{пж} / \rho g.$$

Из выражений для $H^{вак}$ и Δh нетруд-

но установить связь между ними:

$$H^{\text{вак}} = (p_a - p_{\text{п.ж}})/\rho g + v_в^2/2g - \Delta h$$

или

$$\Delta h = (p_a - p_{\text{пж}})/\rho g + v_в^2/2g - H^{\text{вак}}.$$

В работе № 2 на основе эксперимента и приведенных выше уравнений необходимо построить и проанализировать зависимости $h_в = f(Q)$, $H^{\text{вак}} = f(Q)$, $\Delta h = f(Q)$, $h_{в.т} = f(Q)$, $\xi_{в.т} = f(Q)$. Расход Q устанавливают задвижкой *2* в напорном трубопроводе насоса *1* (см. рис. 10.7) и измеряют расходомерным устройством. Перед обработкой результатов экспериментов проводят следующие измерения:

расстояние y_v, м, по вертикали от точки присоединения подводящей трубки к всасывающей трубе до оси последней;

диаметр $d_в$, м, всасывающего трубопровода в сечении замера;

расстояние $h_в$, м (геометрическая высота всасывания), по вертикали от оси насоса до уровня $p_в$ источника;

атмосферное давление p_a; если оно выражено в мм рт. ст., то $p_a = h_{\text{мм рт.ст.}} \cdot 133{,}4$ Н/м^2 или $p_a/\rho g = h_{\text{мм рт.ст.}} \cdot 133{,}4/\rho g$, м; температуру жидкости t для определения напора ее насыщенных паров $p_{\text{п.ж}}/\rho g = f(t)$, в частности для воды с $t = 15...20$ °С, можно принять $p_{\text{п.ж}}/\rho g \approx 0{,}2$ м.

Вакуумметрическую высоту всасывания $H^{\text{вак}}$ рассчитывают по показаниям вакуумметра p_v с учетом «продувки» подводящей трубки воздухом $H^{\text{вак}} = p_v/\rho g - d_в/2$. Кавитационный запас $\Delta h = (p_a - p_{\text{пж}})/\rho g + v_в^2/2g - H^{\text{вак}}$. Скорость в трубопроводе перед насосом $v_в = 4Q/\pi d_в^2$. Потери напора во всасывающем трубопроводе $h_{в.т} = H^{\text{вак}} - h_в - v_в^2/2g$. Коэффициент сопротивления всасывающего трубопровода $\xi_{в.т} = h_{в.т} 2g/v_в^2$.

Величины $H^{\text{вак}}$, Δh, $h_{в.т}$, $\xi_{в.т}$, $h_в$ рассчитывают для каждого расхода Q, наносят на одну и ту же координатную плоскость, после чего проводят результирующие кривые, по которым делают анализ эксперимента. Результаты измерений и расчетов заносят в таблицу 10.4.

10.4. Результаты измерений и расчеты величин

Наименование величины и расчетная формула	№ опыта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Расход воды через всасывающую линию Q, м^3/с								
Геометрическая высота всасывания $h_в$, м								

Продолжение

Наименование величины и расчетная формула	№ опыта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Показания вакуумметра p_v, Па (Н/м^2)								
Вакуумметрическая высота всасывания $H^{вак} = p_v/\rho g - d_в/2$, м								
Средняя скорость жидкости в трубопроводе перед насосом $v_в = 4Q/\pi d_в^2$, м/с								
Скоростной напор $v_в^2/2g$, м								
Кавитационный запас $\Delta h = (p_а - p_{п.ж})/\rho g + v_в^2/2g - H^{вак}$, м								
Потери напора во всасывающей линии $h_{в.т} = H^{вак} - h_в - v_в^2/2g$, м								
Коэффициент сопротивления во всасывающей линии $\xi_{в.т} = h_{в.т}/(v^2/2g)$								

Порядок проведения работы. 1. Запускают насос. Для этого полностью открывают задвижку *4* и закрывают задвижку *8*, затем включают вакуум-насос и открывают кран *5* (рис. 10.8). Как только показания вакуумметра *V* достигнут максимального значения, включают двигатель *7*. Если манометр M_1 показывает давление, то запуск

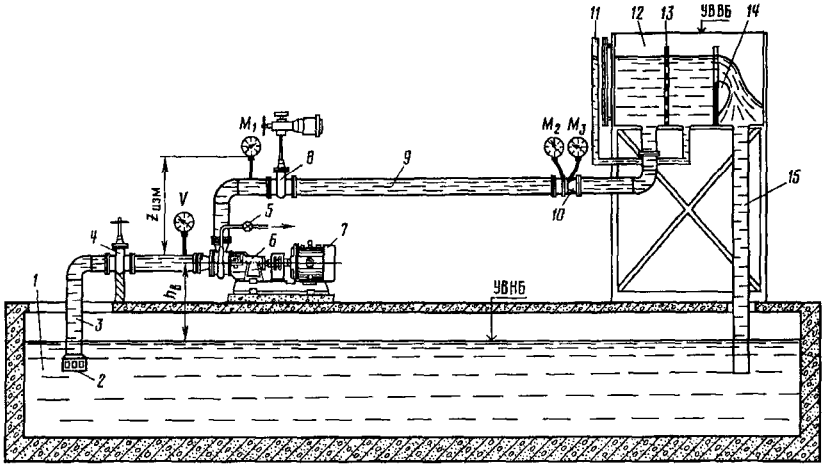


Рис. 10.8. Схема стенда для испытаний насосов:

1 — бассейн с водой; *2* — заборное устройство; *3* — всасывающий трубопровод; *4* — задвижка; *5* — кран на отсасывающем трубопроводе вакуум-системы; *6* — насос; *7* — двигатель; *8* — задвижка с электроприводом; *9* — напорный трубопровод; *10* — сопло Вентури для измерения подачи насоса; *11* — пьезометрический стакан со шпитцен-масштабом; *12* — напорный бак; *13* — успокоительная сетка; *14* — треугольный водослив; *15* — сбросной трубопровод

насоса прошел нормально. Закрывают кран *5* и выключают вакуумнасос.

2. Открывают полностью задвижку *8* и после стабилизации показаний всех приборов по возможности одновременно записывают эти показания: вакуумметра V, манометров M_1, M_2 и M_3 или шпитцен-масштаба *11*, по которым определяют расход воды $Q = Q_{max}$*.

3. Делят расход Q_{max} на примерно одинаковые участки ΔQ (всего 6...8 участков) и последовательно с помощью задвижки *8* снижают подачу насоса с «шагом» ΔQ от $Q = Q_{max}$ до $Q = 0$. При этом на каждой подаче делают те же замеры, что и по п. 2.

4. Выключают насос и обрабатывают экспериментальные данные (см. табл. 10.4).

Контрольные вопросы. 1. Как изменяются параметры $H^{вак}$, Δh, $h_{в.т}$, $\xi_{в.т}$, $h_в$ при изменении расхода Q? 2. Почему они имеют такой характер изменения? 3. Какова взаимосвязь их значений при $Q = 0$? 4. Подчиняется ли характер изменения $h_{в.т} = f(Q)$ квадратическому закону $h_{в.т} = kQ^2$?

Работа № 3. ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИКИ ПОТОКА В РАБОЧЕМ КОЛЕСЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Цель работы: закрепить знания студента по разделу «Кинематика потока внутри рабочего колеса», уяснить связь между скоростями v, v_m, v_u, w, u; построить планы скоростей при входе в колесо и выходе из него; определить напор H при заданных подаче Q и частоте вращения n, используя план скоростей потока на выходе из колеса.

Порядок проведения работы. Вычерчивают эскиз рабочего колеса, на котором указывают основные размеры, определяемые на основе обмера рабочего колеса (рис. 10.9). Так как исполненные колеса не имеют точной обработки после отливки, то обмер проводят в нескольких местах и берут средние из полученных размеров. Результаты обмера рабочего колеса заносят в таблицу 10.5, данные из каталога по рассматриваемому насосу, а также рассчитанные по известным обобщающим формулам, гидравлический $\eta_г$ и объемный $\eta_{об}$ КПД насоса, — в таблицу 10.6.

10.5. Результаты обмера рабочего колеса

D_2, м	D_0, м	D_1, м	$d_{вт}$, м	b_2, м	δ_2, м	$\beta_{1лоп}$, град	$\beta_{2лоп}$, град	Число лопастей $Z_л$	Примечание

* Расход воды Q определяют одним из двух способов: по разности показаний манометров M_2 и M_3 или по показаниям шпитцен-масштаба *11*.

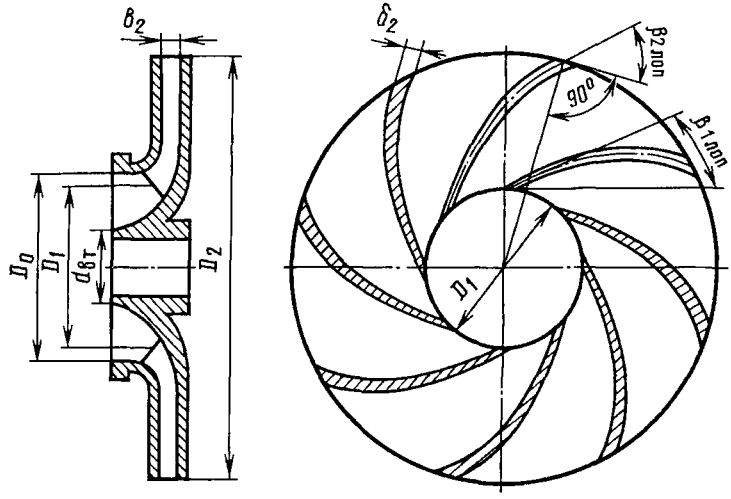


Рис. 10.9. Эскиз рабочего колеса с обозначением размеров, необходимых для определения скоростей потока в межлопастных каналах

10.6. Данные из каталога и по расчетам

Марка насоса	n, мин$^{-1}$	Q, м^3/с	H, м	N, кВт	n_s, мин$^{-1}$	$\eta_{об}$	$\eta_г$

Кинематика потока при входе в рабочее колесо. При рассмотрении движения жидкости внутри колеса принимают, что распределение скоростей в поперечных сечениях каналов колеса равномерно и зависит от размера канала и расхода, а траектории потока полностью соответствуют очертаниям лопастей в плане (см. рис. 10.9). Такое допущение соответствует струйной теории течения жидкости в рабочем колесе насоса. Скорость потока, м/ с, при входе в рабочее колесо

$$v_0 = 4Q/[\eta_{об}\pi(D_0^2 - d_{вт}^2)].$$

Скорость потока обычно не изменяется при движении жидкости до входа на лопасти рабочего колеса, то есть $v_0 = v_1 = v_{1m}$, где v_1 — абсолютная скорость потока при входе на лопасти; v_{1m} — меридианная составляющая абсолютной скорости (вектор меридианной составляющей расположен в плоскости сечения колеса, проходящей через ось вращения). Средняя окружная скорость, м/с, входных кромок лопастей $u_1 = \pi D_1 n/60$ направлена по касательной к окружности вращения середины входной кромки лопасти. После нахождения скоростей v_1 и u_1 строят план скоростей потока перед входом его в межлопастные каналы колеса на диаметре D_1. Для этого строят параллелограмм векторов скоростей (рис. 10.10), из которого определяют вектор относительной скорости w_1, так как $v_1 = w_1 + u_1$, где w_1 — средняя скорость потока относительно лопасти рабочего колеса. Угол β_1 называют углом входа потока на лопасти и вычисляют по формуле $\beta_1 = \text{arctg}\,(v_1/u_1)$. Разность углов между направлениями лопасти $\beta_{1лоп}$ и относительной скорости w_1 — угол атаки $\alpha_w = \beta_{1лоп} - \beta_1$. По нормативным данным значение угла атаки должно быть положительным и на расчетном

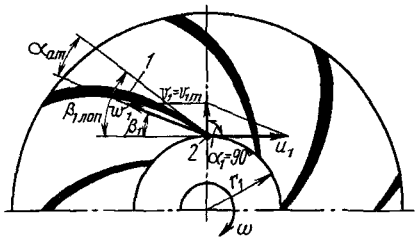


Рис. 10.10. План скоростей потока при входе в рабочее колесо:

1 — лопасть; *2* — входная кромка лопасти; r_1 — средний радиус вращения входной кромки лопасти; ω — угловая скорость вращения

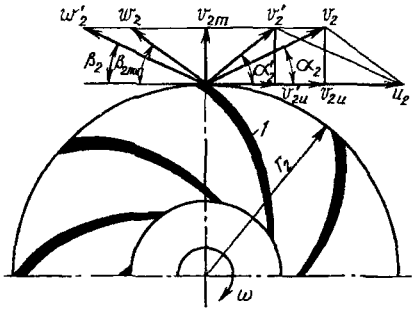


Рис. 10.11. План скоростей потока при выходе его из рабочего колеса:

1 — лопасть рабочего колеса; r_2 — наружный радиус колеса; ω — угловая скорость вращения

режиме находиться в пределах 3...8°. После входа на лопасти поток уже движется вдоль лопастей, а траектория его соответствует очертаниям межлопастных каналов.

Кииематика потока при выходе жидкости из рабочего колеса. При выходе из рабочего колеса поток жидкости имеет окружную составляющую скорости $u_2 = \pi D_2 n/60$, а направление его в относительном движении соответствует направлению лопастей на выходе, то есть углу установки лопастей $\beta_{2лоп}$ (см. рис. *10.9*).

Меридианная (радиальная) составляющая абсолютной скорости потока на выходе

$$v_{2m} = Q/\eta_{об}F_2 = Q/\eta_{об}[\pi D_2 b_2 - (\delta_2/\sin\beta_{2лоп})b_2 Z_л],$$

где F_2 — площадь потока жидкости, выходящего из колеса, по круговому сечению с диаметром D_2, м^2; b_2 — расстояние между дисками колеса на диаметре D_2, м; δ_2 — толщина лопасти при выходе из колеса, м; $Z_л$ — число лопастей рабочего колеса.

Эта скорость зависит только от подачи насоса и геометрических размеров колеса. План скоростей при выходе потока из колеса начинают строить с векторов скоростей u_2 и v_{2m} (рис. 10.11). Так как направление относительной скорости потока w_2 известно и соответствует углу $\beta_{2лоп}$, то значение ее можно найти из параллелограмма скоростей, который строят по известным векторам $\vec{u}_2$ и $\vec{v}_{2m}$ (см. рис. 10.11). Поскольку $\vec{v}_2 = \vec{w}_2 + \vec{u}_2$, то нетрудно найти и вектор абсолютной скорости $\vec{v}_2$. Проекцию скорости v_2 на направление окружной скорости u_2 называют окружной составляющей абсолютной скорости потока v_{2u} (см. рис. 10.11). Из теории насосов известно, что на самом деле относительная скорость отклоняется от направления лопастей колеса, в результате чего окружная составляющая v_{2u} становится меньше, чем это следует из построения плана скоростей. Действительная скорость

$$v_{2u}^1 = v_{2u}/(1+p),$$

где p — коэффициент, зависящий от числа лопастей $Z_л$, угла установки лопасти на выходе $\beta_{2лоп}$ и отношения диаметров D_1/D_2.

На рисунке 10.11 эта скорость обозначена вектором $\vec{v}_{2u}^1$. Соответственно появляются скорости v_2^1 и w_2^1. Такое изменение плана скоростей объясняется тем, что подача насоса не меняется, а значит, не меняется и скорость v_{2m}

$$(v_{2m} = v'_{2m}).$$

Величину p можно найти по формуле

$$p = 1{,}2(1 + \sin \beta_{2\text{лоп}})/Z_{\text{л}}[1 - (D_1/D_2)^2].$$

Определение напора насоса исходя из построенного плана скоростей на выходе из колеса. Студент должен рассчитать напор насоса по построенному им плану скоростей на выходе из колеса, для чего применяют уравнение Эйлера,

$$H_{\text{т}} = v'_{2u} u_2 / g,$$

где $H_{\text{т}}$ — теоретический напор насоса, м.

Действительный расчетный напор насоса, м,

$$H_{\text{р}} = H_{\text{т}} \eta_{\text{г}},$$

где $\eta_{\text{г}}$ — гидравлический коэффициент полезного действия насоса.

Сравнивают рассчитанный напор $H_{\text{р}}$ с напором по паспортным данным

$$\overline{\Delta H} = (H - H_{\text{р}})100/H, \%.$$

Результаты расчетов сводят в таблицу 10.7.

10.7. Расчет параметров потока в колесе и напора насоса по заданным $Q_{\text{ном}}$ и $n_{\text{ном}}$

Заданные параметры	u_1, м/с	v_{1m}, м/с	β_1, град	α_w, град	u_2, м/с	v_{2m}, м/с	v_{2u}, м/с	p	v'_{2u}, м/с	$H_{\text{т}}$, м	H, м
$Q_{\text{ном}}$, $\text{м}^3/\text{с}$											
$n_{\text{ном}}$, мин^{-1}											

Контрольные вопросы и задания. 1. Соответствует ли полученный угол атаки α_w нормативным данным? 2. Как изменяется значение угла атаки α_w при изменении подачи? 3. Как меняется напор насоса H при изменении подачи Q или частоты вращения n? 4. Каково расхождение между расчетным и опытным (по паспорту) напорами насоса? 5. Объясните наиболее вероятную причину расхождения.

Работа № 4. ИСПЫТАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы: получить экспериментальные зависимости напора H, мощности на валу насоса N и коэффициента полезного действия η от изменения подачи насоса Q при постоянной частоте вращения n.

Испытания проводят в соответствии с ГОСТ 6134—71, который требует определения параметров насоса не менее чем при 16 значениях подачи Q, включая точки при нулевой и максимальной подачах, причем соседние подачи должны отличаться друг от друга не более чем на 8 % от номинального значения подачи. Так как время проведения учебных лабораторных работ ограничено, то число испытаний снижают до 6...8 подач. На рисунке 10.8 представлена схема насосной установки для испытания насоса. Приводом для насоса служит асинхронный двигатель. Подачу насоса Q регулируют задвижкой, установленной на напорном трубопроводе, которую измеряют одним из способов, перечисленных в разделе 10.2. При каждой установленной подаче насоса Q измеряют все параметры, необходимые для вычисления напора H, мощности N и η. Для рассматриваемой насосной установки, м,

$$H_{изм} = (p_м + p_v)/\rho g + (v_н^2 - v_в^2)/2g + Z_{изм},$$

где $p_м$ и p_v — показания манометра и вакуумметра, Н/м^2; ρ — плотность жидкости, кг/м^3; g — ускорение свободного падения, м/с^2; $v_н$ и $v_в$ — скорости воды в напорном и всасывающем трубопроводах после и до насоса, м/с; $Z_{изм}$ — расстояние по вертикали между теми точками в жидкости, где давления соответствуют показаниям приборов M_1 и V (см. рис. 10.8).

Электрическую мощность, подведенную к электродвигателю $N_{дв}$, измеряют ваттметром, кВт,

$$N_{изм} = N_{дв}\eta_{дв}\eta_{пер},$$

где $\eta_{дв}$ — КПД двигателя, взятый из паспортных данных на двигатель; $\eta_{пер}$ — КПД передачи, обычно $\eta_{пер} = 1$.

Так как насос непосредственно соединен с электродвигателем, то и частоты вращения n их будут одинаковы. Асинхронные электродвигатели имеют переменную частоту вращения в зависимости от потребляемой мощности $N_{дв}$. Поэтому при каждой подаче Q определяют частоту вращения двигателя n частотомером. Измеренные параметры $Q_{изм}$, $H_{изм}$, $N_{изм}$ приводят к постоянной частоте вращения насоса n, которая указана в паспорте, используя следующие формулы подобия:

$$Q = Q_{изм} i_n; \quad H = H_{изм} i_n^2; \quad N = N_{изм} i_n^3,$$

где $i_n = n/n_{изм}$.

Коэффициент полезного действия насоса

$$\eta = \rho g Q H / N.$$

Данные опытных измерений вносят в таблицу 10.8. Экспериментальные данные для построения конечных графических зави-

симостей обрабатывают в табличной форме (табл. 10.9) и по ним строят фактические характеристики насоса $H=f(Q)$, $N=f(Q)$, $\eta=f(Q)$ при $n=\text{const}$.

10.8. Результаты измерений

Показания приборов	№ опыта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Вакуумметра p_v, Па (Н/м)								
Манометра $p_м$, Па (Н/м)								
Ваттметра $N_{дв}$, кВт								
Дифференциального манометра или шпитцен-масштаба для определения $Q_{изм}$, единицы измерения в зависимости от шкалы прибора								
Частотомера $n_{изм}$, мин$^{-1}$								

10.9. Расчет основных параметров насоса

Величина	№ опыта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Подача $Q_{изм}$, м^3/с								
Разность скоростных напоров $(v_н^2 - v_в^2)/2g = 8Q_{изм}^2 (1/d_н^4 - 1/d_в^4)/\pi^2 g$, м								
Сумма показаний манометра и вакуумметра $(p_м + p_v)/\rho g$, м								
Напор насоса $H_{изм} = (p_м + p_v)/\rho g + (v_н^2 - v_в^2)/2g + Z_{изм}$, м								
Мощность насоса $N_{изм} = N_{дв}\,\eta_{дв}\,\eta_{пер}$, кВт								
Отношение частот $i_n = n/n_{изм}$								
i_n^2, i_n^3								
Приведенная подача $Q = Q_{изм} i_n$, м^3/с								
Приведенный напор $H = H_{изм}\, i_n^2$, м								
Приведенная мощность $N = N_{изм}\, i_n^3$, кВт								
КПД насоса $\eta = \rho g Q_{изм} H_{изм}/1000 N_{изм}$								

Полученные результаты сравнивают с паспортными данными насоса, взятыми из каталога при $\eta = \eta_{max}$, и определяют их расхождения в %.

Порядок проведения работы. 1. Запускают насос (см. п. 1 лабораторной работы № 2).

2. Полностью открывают задвижку *8* (см. рис. 10.8) и после стабилизации показаний всех приборов (вакуумметра *V*, манометров

M_1, M_2, M_3 или уровней воды по шпитцен-масштабу *11*, ваттметра, частотомера)* по возможности одновременно их записывают. При этом насос работает на максимальной подаче $Q = Q_{max}$.

3. Разделяют расход Q_{max} на примерно одинаковые участки ΔQ (всего 6...8) и последовательно с помощью задвижки *8* снижают подачу насоса с «шагом» ΔQ от $Q = Q_{max}$ до $Q = 0$. При этом на каждой подаче делают те же замеры, что и по п. 2. Выключают насос и приступают к обработке экспериментальных данных (см. табл. 10.9).

Контрольные вопросы. 1. Как запускают насосную установку с положительной высотой всасывания? 2. Как изменились параметры испытываемого насоса по сравнению с его паспортными данными при номинальной паспортной подаче Q? 3. Как изменилась номинальная подача насоса (режим с $\eta = \eta_{max}$)? 4. Как изменяется мощность насоса N от изменения подачи Q? 5. При какой подаче надо запускать насос и почему?

Работа № 5. КАВИТАЦИОННОЕ ИСПЫТАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Цель работы: определить допустимые кавитационный запас $\Delta h_{доп}$ и вакуумметрическую высоту всасывания $H_{доп}^{вак}$ при заданных подаче Q и частоте вращения вала насоса n. Схема насосной установки для проведения кавитационных испытаний насосов показана на рисунке 10.8.

Кавитация — нарушение сплошности потока (вскипание жидкости) вследствие понижения в нем статического давления ниже давления насыщенных паров жидкости и последующее исчезновение паровых пузырьков в зоне повышенного давления. Возникновение и развитие кавитации в насосе приводит к снижению его напора H, мощности N и КПД η, а при сильно развитой кавитации — к полному нарушению его работоспособности или срыву режима. Кавитация в насосе возникает тогда, когда перед насосом снижают кавитационный запас Δh. Непосредственным результатом кавитационного испытания насоса является определение минимально допустимого кавитационного запаса Δh, при котором насос еще сохраняет до некоторой степени свой напор (по ГОСТу снижение напора на 2 %). Эту величину Δh называют критическим кавитационным запасом и обозначают $\Delta h_{кр}$. Определяют $\Delta h_{кр}$ по экспериментальной графической зависимости $H = f(\Delta h)$ при $Q = \text{const}$ и $n = \text{const}$ (рис. 10.12), а текущее значение — по следующей формуле:

$$\Delta h = (p_a - p_{п.ж})/\rho g + v_в^2/2g - H^{вак},$$

где p_a — атмосферное давление, Па (Н/м^2); $p_{п.ж}$ — давление насыщенных паров жидкости, Па (Н/м^2); зависимость $p_{п.ж}/\rho g$ от температуры для воды дана на с. 91; ρ — плотность жидкости, кг/м^3; g — ускорение свободного падения, м/с^2; $v_в$ — скорость воды во всасывающем трубопроводе перед насосом, м/с; $H^{вак}$ — вакуумметрическая высота всасывания, м.

---

* Расход воды Q определяют одним из двух способов: по разности показаний манометров M_2 и M_3 или по показаниям шпитцен-масштаба *11*.

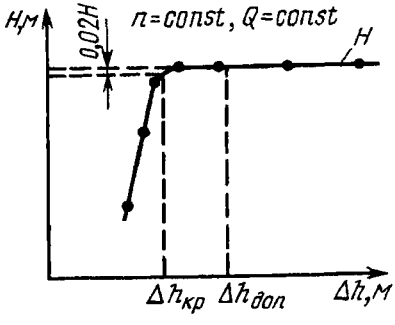


Рис. 10.12. Опытная срывная кавитационная характеристика

Согласно ГОСТ 6134—71 кривая $H = f(\Delta h)$ должна быть построена не менее чем по 16 опытным точкам при 8 точках на горизонтальной ветви характеристики. Так как время проведения лабораторной работы ограничено, то число опытных точек может быть сокращено до 6...8.

Порядок проведения кавитационных испытаний (см. рис. 10.8 и 10.12). 1. Запускают насос при открытой задвижке *4* на всасывающем трубопроводе и с помощью задвижки *8* (см. рис. 10.8) на напорном трубопроводе и расходомерного устройства устанавливают заданную подачу. Записывают показания всех приборов.

2. Прикрывают задвижку на всасывающем трубопроводе до тех пор, пока показания вакуумметра V не изменятся на заданное значение Δp_v. При этом для сохранения постоянной подачи насоса Q задвижку *8* на напорном трубопроводе *9* (см. рис. 10.8) необходимо несколько приоткрывать. Когда режим установится, записывают показания всех приборов.

3. Повторяют операцию по п. 2 три-четыре раза, пока показания манометра M_1 на напорном трубопроводе *9* (см. рис. 10.8) не начнут снижаться заметно быстрее, чем вакуумметра, — режим насоса переходит с горизонтальной ветви характеристики $H = f(\Delta h)$ на наклонную (рис. 10.12).

4. Снижают «шаг» показаний Δp_v при дальнейшем прикрытии задвижки на всасывающем трубопроводе в 4...6 раз, чтобы записать показания приборов еще на двух — четырех опытных точках, которые расположены на «падающей» ветви характеристики $H = f(\Delta h)$ (см. рис. 10.12).

Результаты всех измерений во время испытания записывают в таблицу 10.10. Там же приведены результаты расчета кавитацион-

10.10. Результаты измерений параметров и расчеты кавитационного запаса

Показатель	№ опытных точек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Показания манометра $p_{м_1}$, Па (Н/м²)								
Показания вакуумметра p_v, Па (Н/м²)								
Приведенные показания вакуумметра (см. рис. 10.7) (вакуумметрическая высота всасывания), м								

Продолжение

Показатель	№ опытных точек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$H_{вак} = p_v/\rho g - y_v$								
Разность скоростных напоров $(v_н^2 - v_в^2)/2g =$ $= 8Q^2(1/d_н^4 - 1/d_в^4)/\pi_g^2$, м								
Напор насоса $H = (p_{м1} + p_v)/\rho g +$ $+ (v_н^2 - v_в^2)/2g + Z_{нзм}$, м								
Кавитационный запас $\Delta h = (p_а - p_{п.ж})/\rho g + v_в^2/2g - H^{вак}$, м								

ных запасов, на основании которых строят график $H = f(\Delta h)$, и по нему находят $\Delta h_{кр}$ (см. рис. 10.12) — двухпроцентное падение напора H. Допустимый кавитационный запас, м, согласно ГОСТ 6134—71

$$\Delta h_{доп} = H\Delta h_{кр} = aK_б K_ж \Delta h_{кр},$$

где a — коэффициент, зависящий от $\Delta h_{кр}$:

$\Delta h_{кр}$	0	2	4	6	7	8	10	12	14	16
a	1,6	1,37	1,2	1,13	1,1	1,09	1,08	1,07	1,06	1,06

$K_б$ — коэффициент, зависящий от отношения наружного диаметра рабочего колеса D_2 к диаметру входа в колесо D_0:

D_2/D_0	1	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0
$K_б$	1,1	1,1	1,094	1,052	1,014	1,0

$K_ж$ — коэффициент, зависящий от рода жидкости, для воды $K_ж = 1$.

Допустимая вакуумметрическая высота всасывания, м,

$$H_{доп}^{вак} = (p_а - p_{п.ж})/\rho g + v_в^2/2g - \Delta h_{доп}.$$

Контрольные вопросы. 1. Почему при закрытии задвижки на всасывающем трубопроводе снижается кавитационный запас? 2. При каких значениях Δh допустима, возможна и невозможна работа насоса? 3. В какой зависимости для данного насоса находятся величины $\Delta h_{кр}$ и $H_{доп}^{вак}$ от температуры воды?

Работа № 6. ИСПЫТАНИЕ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ С ДВУМЯ ПАРАЛЛЕЛЬНО И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО РАБОТАЮЩИМИ НАСОСАМИ

Цель работы: определить напорные характеристики $H = f(Q)$ по результатам испытаний насосной установки с двумя параллельно и последовательно работающими насосами; уяснить связь между этими характеристиками и характеристикой отдельно работающего насоса. Схема насосной установки с двумя насосами показана на рисунке 10.13. Оба насоса *5* и *11* расположены на одной высоте от уровня водоисточника. Система трубопроводов и задвижек легко позволяет изменять условия совместной работы насосов. Если оба насоса отдельно подают жидкость в общий напорный трубопровод *14*, то считается, что они работают параллельно. Если один насос подает жидкость из источника во всасывающий патрубок другого насоса, который, в свою очередь, подает ее в общий напорный трубопровод, то они работают последовательно. При параллельной работе запускают и включают в сеть каждый насос независимо друг от друга. При этом задвижки *8* и *13* за насосами после пуска открывают полностью. Подачу насосной установки с двумя работающими насосами Q_{1+2} регулируют задвижкой *16*, установленной на общем напорном трубопроводе *14*. При последовательной работе насосов сначала запускают насос *5*, после чего открывают задвижку *6* и вода поступает во всасывающую магистраль на-

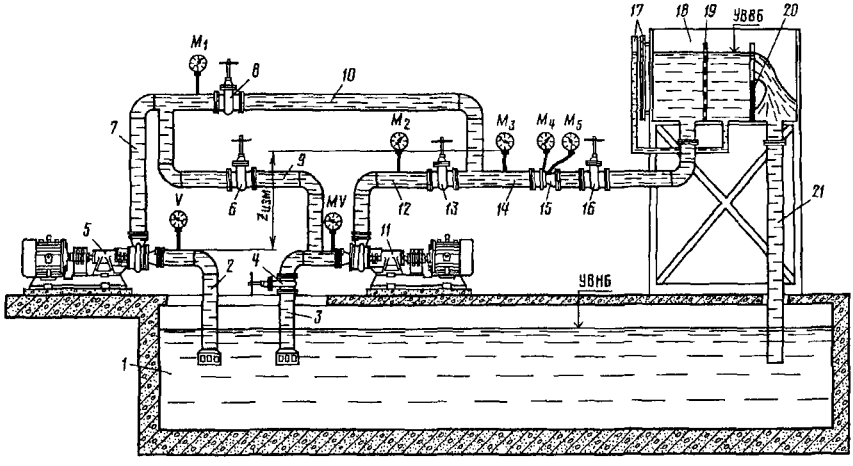


Рис. 10.13. Схема насосного стенда для испытаний двух параллельно и последовательно работающих насосов:

1 — бассейн с водой; *2, 3* — всасывающие трубопроводы; *4, 6, 8, 13, 16* — задвижки; *5, 11* — насосы; *7, 9, 10, 12, 14* — напорные трубопроводы; *15* — сопло Вентури для измерения подач насосов; *17* — пьезометрический стакан со шпитцен-масштабом; *18* — напорный бак; *19* — успокоительная сетка; *20* — треугольный водослив; *21* — сбросной трубопровод

соса *11*. При этом задвижка *13* за насосом *11* может быть открыта, а задвижки *4*, *8*, *16* — закрыты. Насос *11* включается тогда, когда в нем повысится давление, свидетельствующее о нормальной работе насоса *5* при нулевой подаче. После включения и выхода на режим при нулевой подаче насоса *11* открывают задвижку *16* на общем напорном трубопроводе *14*, и оба насоса, таким образом, включаются в сеть потребителя. Подачу насосной установки обычно регулируют задвижкой *16*, установленной на общем напорном трубопроводе.

Порядок проведения работы. 1. Снимают напорную характеристику отдельно работающего насоса. Запускают и включают в сеть первый насос *5*. Задвижку *8* за насосом *5* полностью открывают. Задвижки *6* и *13* закрыты. Насос подает воду через общий напорный трубопровод *14*, где установлено расходомерное устройство *15*. Задвижкой *16* на общем напорном трубопроводе устанавливают с равномерный «шагом» 6...8 значений подач от $Q_1 = Q_{1max}$ до $Q_1 = 0$. При этом записывают показания вакуумметра V и манометра M_3. При каждой подаче рассчитывают напор насоса по формуле

$$H_1 = (p_{M_3} + p_V)/\rho g + (v_H^2 - v_B^2)/2g + Z_{изм}$$

(обозначения — см. работу № 4).

Если внутренние диаметры всасывающего $d_в$ и общего напорного трубопроводов одинаковые, то $v_н = v_в$ и формула после преобразований будет иметь вид

$$H_1 = (p_{M_3} + p_V)/\rho g + Z_{изм}.$$

Данные измерений и расчетов заносят в таблицу 10.11.

10.11. Расчет напоров насоса по данным измерений

Величина	№ опыта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Подача насоса Q_1, л/с								
Показания манометра $p_{м_3}$, Па (Н/м²)								
Показания вакуумметра p_v, Па (Н/м²)								
Напор насоса $H_1 = (p_{м_3} + p_v)/\rho g + Z_{изм}$, м								

Полученные таким образом напоры насоса в некоторой степени условны и могут отличаться, в особенности при повышенных подачах, от паспортных данных, так как в последних не учтены потери напора на участке от напорного патрубка насоса до сечения, где установлен манометр M_3.

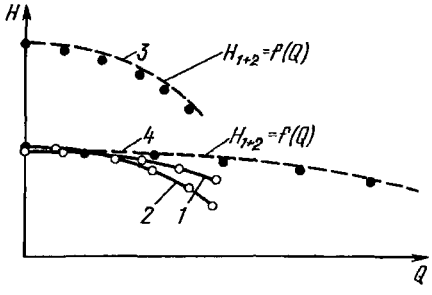


Рис. 10.14. Напорные характеристики насосных установок:

1, 2 — при отдельно работающих насосах; *3* — теоретическая при последовательной работе двух насосов; *4* — теоретическая при параллельной работе двух насосов

2. Аналогично снимают характеристику насоса *11* $H_2=f(Q)$. Следует отметить, что если лабораторные работы № 2 и 4 проводили на тех же установках, которые показаны на рисунке 10.13, то снятие напорных характеристик насосов $H_1=f(Q)$ и $H_2=f(Q)$ можно совместить с проведением указанных выше лабораторных работ. Для этого подачи насосов *5* и *11* регулируют задвижкой *16* при полностью открытых задвижках *8* или *13*, а в таблицы измерений вводят дополнительную строку показаний манометра M_3.

3. Наносят экспериментальные напорные характеристики двух насосов $H_1=f(Q)$ и $H_2=f(Q)$ на одну координатную плоскость $H=f(Q)$ (рис. 10.14). Далее строят общие характеристики насосов при последовательной и параллельной их работе $H_{1+2}=f(Q)$. Для этого при произвольных постоянных подачах суммируют их напоры при последовательной работе или при произвольных постоянных напорах суммируют их подачи при параллельной работе (см. рис. 10.14). Назовем их теоретическими характеристиками.

Стенд, схема которого указана на рисунке 10.13, позволяет получать эти характеристики и экспериментально.

4. Снимают экспериментальные характеристики при последовательной и параллельной работе насосов:

при последовательном соединении насосов закрывают все задвижки и запускают с помощью вакуум-системы насос *5* (см. рис. 10.13). Отключают вакуум-систему и открывают задвижку *6*, заполняя, таким образом, водой насос *11* и трубопроводы *9* и *12*. Включают насос *11* (для его включения вакуум-система не нужна). Полностью открывают задвижку *13*, а задвижкой *16* устанавливают суммарные подачи насосов от $Q_{1+2}=Q_{max}$ до $Q_{1+2}=0$ через примерно равномерные участки ΔQ из расчета получения 6...8 значений подач. При каждой подаче записывают показания вакуумметра V и манометра M_3, по которым рассчитывают общие напоры двух работающих насосов по формуле

$$H_{1+2}=(p_{M_3}+p_V)/\rho g+(v_н^2-v_в^2)2g+Z_{изм}.$$

Если внутренние диаметры всасывающего $d_в$ и общего напорного (в сечении, где установлен манометр $M_в$) $d_н$ одинаковы, то

$$H_{1+2}=(p_{м_3}+p_v)/2g+Z_{изм}.$$

Результаты измерений и расчетов заносят в таблицу 10.12.

10.12. Расчет общих напоров последовательно работающих насосов по данным измерений

Величина	№ опыта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Общая подача насосов Q_{1+2}, м³/с								
Показания манометра $p_{м_3}$, Па (Н/м²)								
Показания вакуумметра p_v, Па (Н/м²)								
Общий напор последовательно работающих насосов $H_{1+2}=(p_{м_3}+p_v)/\rho g+Z_{изм}$								

при параллельном соединении насосов, не останавливая работающие насосы *5* и *11* (см. рис. 10.13), одновременно начинают открывать задвижку *4* и закрывать задвижку *6*. После полного открытия первой и закрытия второй задвижек полностью открывают задвижки *8* и *13*. С помощью задвижки *16* поочередно устанавливают несколько суммарных подач (6...8) двух насосов Q_{1+2} от $Q_{1+2}=Q_{max}$ до $Q_{1+2}=0$ через примерно равные промежутки ΔQ. При каждой подаче записывают показания вакуумметра *V*, мановакуумметра *MV* и манометра M_3, а затем рассчитывают общие напоры насосов по формуле

$$H_{1+2}=(p_{м_3}+p'_v)/\rho g+(v_н^2-v_в^2)/2g+Z_{изм},$$

где $p'_v=(p_v+p_{м_3})/2$.

Если внутренние диаметры трубопроводов перед насосами $d_в$ равны внутреннему диаметру общего напорного трубопровода $d_н$, где установлен манометр M_3, то скорости воды во всасывающих трубопроводах с некоторой погрешностью, особенно при малых подачах, можно принять $v_в=0{,}5v_н$. Тогда

$$H_{1+2}=(p_{м_3}+p'_v)/\rho g+(v_н^2-0{,}25v_н^2)+Z_{изм}=$$

$$=(p_{м_3}+p'_v)/\rho g+0{,}75v_н^2/2g+Z_{изм}.$$

Результаты измерений и расчетов заносят в таблицу 10.13.

10.13. Расчет общих напоров параллельно работающих насосов по данным измерений

Величина	№ опыта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Общая подача насосов Q_{1+2}, м³/с								
Показания манометра $p_{м_3}$, Па (Н/м²)								
Показания вакуумметра p'_v, Па (Н/м²)								
Скорость воды в общем напорном трубопроводе $v_н = 4Q_{1+2} / \pi d_н^2$, м/с								
Общий напор параллельно работающих насосов $H_{1+2} = (p_{м_3} + p'_v)/\rho g + 0{,}75v_н^2 / 2g + Z_{изм}$								

5. Сопоставляют полученные результаты. Полученные экспериментальные точки наносят на координатную плоскость, показанную на рисунке 10.14, и сравнивают с соответствующими теоретическими кривыми $H_{1+2} = f(Q)$. При этом все экспериментальные точки по разным причинам необязательно должны ложиться на эти кривые.

Этими причинами могут быть, например, разные потери напора в трубопроводах *7—10* и *7—9* (см. рис. 10.13), повышенные потери напора в месте слияния двух потоков при параллельной работе двух насосов в трубопровод *14* по сравнению с потерями в том же месте при отдельно работающих насосах или при последовательной их работе.

Еще одна возможная причина — изменение относительной погрешности измерений, так как одними и теми же приборами измеряют существенно разные уровни давлений.

Контрольные вопросы. 1. Почему при параллельной работе насосы могут включаться независимо друг от друга, при последовательной — только друг за другом? 2. Что будет, если при параллельной работе насосов гидравлические сопротивления линий от напорных патрубков до общего напорного трубопровода будут различными? 3. В каком случае (при параллельной или последовательной работе насосов) будет максимальная общая подача насосов?

Работа № 7. ИСПЫТАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ПРИ СУЩЕСТВЕННО РАЗНЫХ ЧАСТОТАХ ВРАЩЕНИЯ ЕГО ВАЛА

Цель работы: опытная проверка возможностей использования законов подобия для пересчета характеристик насоса с одной частоты вращения на другую в широком диапазоне изменения последних.

Согласно теории подобия для одного и того же насоса при кинематически подобных режимах должны быть справедливы следующие соотношения:

$$Q/n = \text{const};\ H/n^2 = \text{const};\ N/n^3 = \text{const},$$

где Q, H, N и n — подача, напор, мощность и частота вращения вала насоса соответственно.

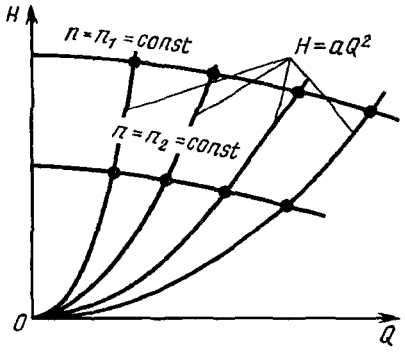


Рис. 10.15. Подобные режимы насоса при изменении частоты вращения его вала

Кинематически подобные режимы насоса соответствуют точкам, которые расположены на параболах $H = aQ^2$, проведенных из начала координат (рис. 10.15). Любой точке, расположенной на этих параболах, соответствует своя частота вращения n. Если известны частота вращения вала насоса $n = n_1$ и его параметры Q_1, H_1 и N_1 хотя бы для одной точки параболы, то с учетом приведенных выше соотношений эти параметры могут быть получены расчетом для любой другой частоты вращения вала насоса, например $n = n_2$, по формулам

$$Q_2 = Q_1\, n_2/n_1;\ H_2 = H_1(n_2/n_1)^2 \text{ и } N_2 = N_1(n_2/n_1)^3.$$

Таким образом, получив опытным путем характеристики насоса H_1, $N_1 = f(Q)$ при одной частоте вращения вала насоса n_1, с помощью теории подобия можно, не проводя испытаний, используя приведенные выше формулы, расчетом получить эти характеристики при другой частоте вращения n_2.

На практике, однако, при значительной разнице n_1 и n_2 пересчет характеристик указанным способом не всегда дает приемлемые результаты, так как с изменением частоты вращения меняются скорости жидкости в проточных каналах насоса, и поэтому там могут нарушиться автомодельность течений, постоянство коэффициентов гидравлических потерь и т. д. Кроме того, изменение потерь мощности в подшипниках и сальниковых уплотнениях при изменении частоты вращения вала подчиняется другим законам — не гидравлического характера. Поэтому достоверность пересчета по формулам подобия характеристик насосов с одной частоты вращения вала на другую при их большой разнице должна быть подтверждена опытом.

Установка, на которой проводят лабораторную работу, показана на рисунке 10.8.

Приводной двигатель *7* должен иметь два режима работы с разными частотами вращения вала либо по команде с пульта управления иметь возможность плавно изменять частоту вращения вала, а также поддерживать ее практически постоянной в процессе эксперимента. Постоянные частоты вращения вала n_1 и n_2 задает преподаватель.

Порядок проведения работы (см. рис. 10.8). 1. С помощью вакуум-системы заливают насос *6* водой, после чего при закрытой задвижке *8* включают двигатель *7* и выводят его на режим $n = n_1$.

2. Задвижку *8* открывают до тех пор, пока не установится заданная максимальная подача насоса $Q = Q_{max}$.

3. После стабилизации показаний всех измерительных приборов одновременно записывают показания: вакуумметра V, манометра M_1, уровня воды в шпитцен-масштабе *11*, ваттметра W, частотомера n.

4. Последовательно с помощью задвижки *8* через примерно одинаковые промежутки устанавливают несколько (6...8) подач насоса от $Q = Q_{max}$ до $Q = 0$. При каждой подаче по возможности поддерживают заданную частоту вращения вала $n = n_1$ и снимают показания приборов согласно пункту 3. Результаты измерений заносят в таблицу 10.8 (см. работу № 4).

5. Режим работы двигателя *7* переводят на другую частоту вращения вала — $n = n_2$ и повторяют операции, указанные в пунктах 2...4.

6. Двигатель выключают и переходят к обработке экспериментальных данных. Результаты испытания обрабатывают так же, как и в работе № 4 (см. табл. 10.9)*. Полученные значения Q_i, H_i и N_i, где $i = 1, 2$, наносят на координатную плоскость и проводят осредняющие кривые $H_i = f(Q_i)$ и $N_i = f(Q_i)$ при $n_1 = \text{const}$ и $n_2 = \text{const}$ (рис. 10.16). Задают несколько подач Q (6...8 подач) с примерно равномерным «шагом» и по кривым $H_1 = f(Q)$ при $n_1 = \text{const}$ определяют соответствующие значения напора H_1 и мощности N_1, которые

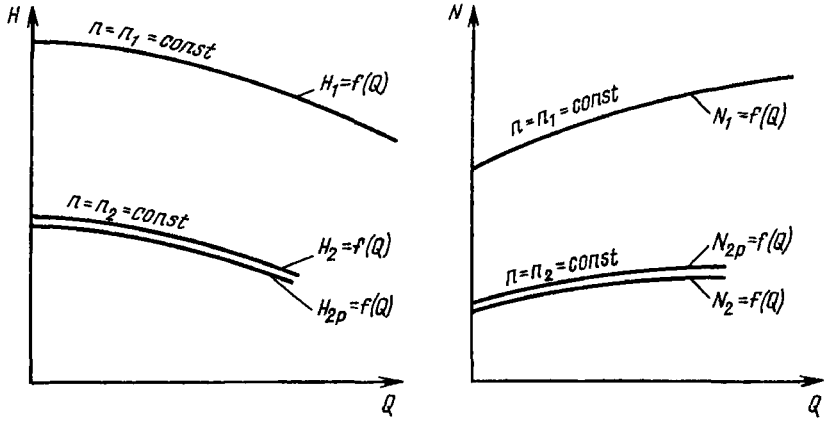


Рис. 10.16. Сравнение расчетных и опытных данных. Сопоставление характеристик насосов, построенных по расчетным и опытным данным

---

* Если частоты вращения вала двигателя n_1 и n_2 поддерживаются постоянными с достаточной точностью, то можно принять $i_n = 1$, то есть $Q_{изм} = Q$, $H_{изм} = H$ и $N_{изм} = N$ (см. работу № 4).

вносят в таблицу 10.14. Пересчитывают по формулам подобия характеристики насоса с частоты вращения n_1 на частоту вращения n_2 (см. табл. 10.14).

10.14. Результаты опытов и расчетов

№ опыта	$n = n_1$ = const (опыт)			$n = n_2$ = const (опыт)			$n = n_2$ = const (расчет)		
	Q_1, л/с	H_1, м	N_1, кВт	Q_2, л/с	H_2, м	N_2, кВт	$Q_{2p} = Q_1(n_2/n_1)$, л/с	$H_{2p} = H_1(n_2/n_1)^2$, м	$N_{2p} = N_1(n_2/n_1)^3$, кВт
1									
2									
3									

Полученные в результате расчета характеристики насоса $H_{2p} = f(Q)$ и $N_{2p} = f(Q)$ при n_2 = const сравнивают с соответствующими опытными характеристиками при той же частоте вращения вала n_2 $H_2 = f(Q)$ и $N_2 = f(Q)$ (см. рис. 10.16). При совпадении соответствующих характеристик при n_2 = const делают вывод о возможности пересчета характеристик насоса по формулам подобия в заданном диапазоне (от $n = n_1$ до $n = n_2$) частот вращения. При расхождении устанавливают вероятные причины и возможные погрешности при пересчетах.

Обоснованность выводов по работе в значительной степени может зависеть от точности измерений параметров при испытаниях. Поэтому желательно применение совершенных измерительных средств.

Контрольные вопросы и задания. 1. Что можно ожидать при снижении частоты вращения вала — повышения или снижения гидравлического КПД насоса? 2. Докажите, что кинематически подобные режимы работы насоса соответствуют точкам, которые расположены на параболах $H = aQ^2$, проведенных из начала координат.

Глава 11
УЧЕБНЫЕ ЗАДАНИЯ

●

Задание № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПОРА НАСОСА И МОЩНОСТИ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ. РАСЧЕТ СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ДЛЯ ПОДЪЕМА ВОДЫ. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ НАСОСА ЗАДВИЖКОЙ

Цель задания: ознакомить студентов с понятиями «напор насоса», «геодезическая высота подъема воды», «высоты всасывания и нагнетания», «полезная и потребляемая мощность насоса», «коэффициенты полезного действия насоса и насосной установки», а также уяснение взаимосвязи между этими понятиями. Кроме того, ознакомить со способом регулирования подачи насосной установки путем прикрытия задвижки, установленной на напорном трубопроводе после насоса.

Три наиболее типичные схемы насосных установок для подъема воды из нижнего бьефа (НБ) в верхний (ВБ) показаны на рисунке 11.1.

На схеме № 1 показана насосная установка, у которой отметка уровня воды в источнике (НБ) ниже отметки установки насоса (оси насоса), а уровня воды в водоприемнике (ВБ) выше. В этом случае насос имеет положительные высоты всасывания ($h_в$) и нагнетания ($h_н$).

На схеме № 2 насосная установка имеет сифонный тип. Здесь отметка установки насоса выше отметок уровней воды как нижнего, так и верхнего бьефов. Высота всасывания $h_в$ будет положительная, а высота нагнетания $h_н$ — отрицательная.

На схеме № 3 характерно расположение оси насоса ниже уровней воды как нижнего, так и верхнего бьефов. В этом случае высота всасывания $h_в$ будет отрицательная, а высота нагнетания $h_н$ — положительная.

Напоры насосов насосных установок, изображенных на рисунке 11.1, можно определить по показаниям вакуумметров и манометров (приборы № 1 и № 2) и по заданной подаче насоса Q. При этом предполагается, что подводящие трубки к вакуумметрам «продуты» воздухом, а к манометрам «пролиты» водой. Следовательно, показания вакуумметра будут соответствовать давлению жидкости в начале подводящей трубки, соединяющей всасывающий трубопровод с прибором, а манометра — в конце подводящей трубки, то есть у штуцера прибора (см. раздел 10.2).

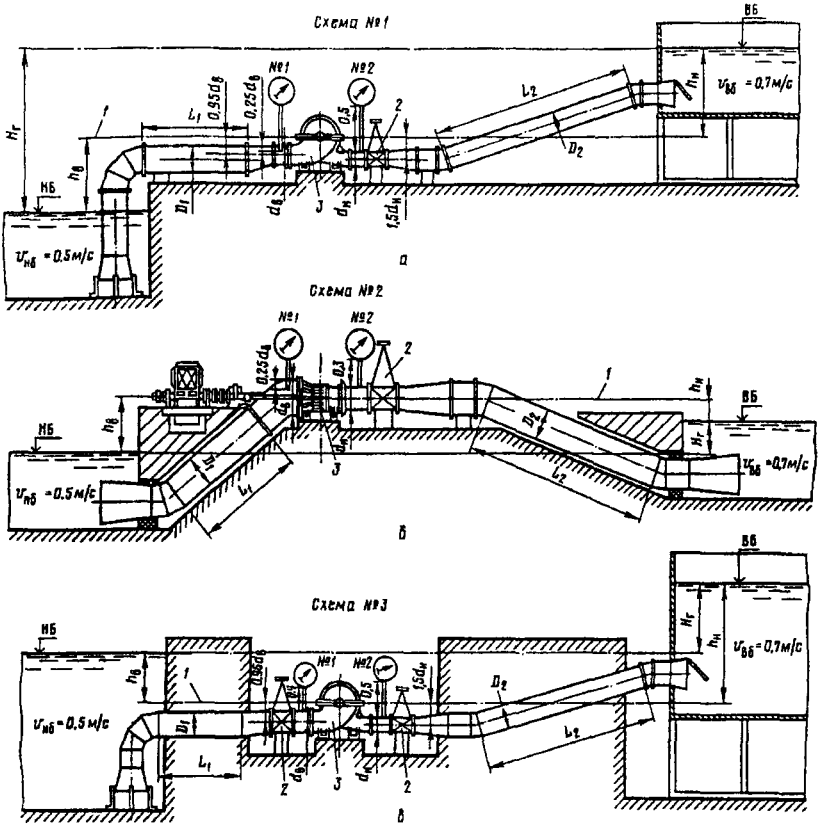


Рис. 11.1. Типовые схемы насосных установок:

а — схема № 1; *б* — схема № 2; *в* — схема № 3; *1* — ось насоса; *2* — задвижка; *3* — насос

С учетом приведенных выше соображений напор насоса, м,

$$H = (p_{\text{Н}} - p_{\text{В}})/\rho g + (v_{\text{Н}}^2 - v_{\text{В}}^2)/2g + Z_{\text{изм}},$$

где $p_{\text{Н}}$ и $p_{\text{В}}$ — абсолютные давления в трубопроводах после и до насоса, Н/м^2; $v_{\text{Н}}$ и $v_{\text{В}}$ — скорости воды в тех же сечениях трубопроводов, где измеряют давление $p_{\text{Н}}$ и $p_{\text{В}}$, м/с; $Z_{\text{изм}}$ — расстояние по вертикали между точками жидкости, в которых давление соответствует значениям $p_{\text{Н}}$ и $p_{\text{В}}$, м.

Напор насоса можно определить через показания манометров или вакуумметров, если иметь в виду, что абсолютные давления на основе показаний приборов находят по формуле

$$p = p_{\text{ман}} + p_{\text{а}} \text{ и } p = p_{\text{а}} - p_{\text{вак}},$$

где $p_{\text{ман}}$ и $p_{\text{вак}}$ — показания манометра и вакуумметра, Н/м^2; $p_{\text{а}}$ — атмосферное давление, Н/м^2.

Например, для схемы № 1, где прибор № 1 — вакуумметр, а прибор № 2 — манометр,

$$H = [(p_{\text{ман}} + p_{\text{а}}) - (p_{\text{а}} - p_{\text{вак}})] / \rho g + (v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2) / 2g + \\ + [(-1{,}5d_{\text{н}} + 0{,}5d_{\text{н}} + 0{,}5) - (-0{,}95d_{\text{в}} + 0{,}25d_{\text{в}})] = \\ = (p_{\text{ман}} + p_{\text{вак}}) / \rho g + (v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2) / 2g - d_{\text{н}} + 0{,}7d_{\text{в}} + 0{,}5.$$

Пример. Определить: напор насоса H; показания приборов № 1 и № 2; напор насоса по показаниям приборов; стоимость электроэнергии, требуемой для подъема воды в заданный промежуток времени с заданной подачей Q; подачу насоса при прикрытой задвижке; потери напора в прикрытой задвижке и коэффициент ее сопротивления; изменение показаний прибора № 2 при прикрытой задвижке.

Исходные данные: схема насосной установки — № 2 (см. рис. 11.1); расчетная подача насоса — $Q = 0{,}5$ м^3/с; приборы для измерения давлений $p_{\text{н}}$ и $p_{\text{в}}$ — вакуумметры; размеры стальных трубопроводов: $D_1 = 0{,}7$ м, $L_1 = 25$ м, $d_{\text{в}} = 0{,}6$ м, $d_{\text{н}} = 0{,}5$ м, $D_2 = 0{,}6$ м, $L_2 = 150$ м; уровни воды: в нижнем бьефе 17 м, в верхнем — 20 м; геометрическая высота всасывания насоса $h_{\text{в}} = 5$ м; местные потери в линиях: всасывающей $\Sigma h_{\text{м.в}} = 0{,}15$ м; в нагнетательной $\Sigma h_{\text{м.н}} = 0{,}2$ м*; коэффициент сопротивлений открытой задвижки $\xi_{\text{задв}} = 0{,}08$; удельная стоимость электроэнергии $a = 0{,}4$ р/кВт · ч; время работы насосной установки $T = 100$ сут при 16-часовой работе в сутки; коэффициенты полезного действия насоса $\eta = 0{,}82$, двигателя $\eta_{\text{дв}} = 0{,}92$.

При работе установки во втором режиме — с прикрытой задвижкой — потребляемая мощность насоса увеличивается на 12 %, $\alpha_N = 1{,}12$; напор — на 22 %, $\alpha_{\text{н}} = 1{,}22$, а КПД насоса снижается до 83 %, $\alpha_\eta = 0{,}83$ от исходного значения.

Порядок расчета. 1. Вычисляют напор насоса, м,

$$H = H_{\text{г}} + \Sigma h_{\text{м}} + \Sigma h_l + (v_{\text{вб}}^2 - v_{\text{н б}}^2) / 2g,$$

где $H_{\text{г}}$ — геодезическая высота подъема воды, $H_{\text{г}} = \nabla\text{ВБ} - \nabla\text{НБ} = 20 - 17 = 3$ м; $v_{\text{вб}}$, $v_{\text{нб}}$ — скорость воды в верхнем и нижнем бьефах, м/с; $\Sigma h_{\text{м}}$ — сумма потерь напора в местных сопротивлениях, $\Sigma h_{\text{м}} = \Sigma h_{\text{м.в}} + \Sigma h_{\text{м.н}} = 0{,}15 + 0{,}2 = 0{,}35$ м; Σh_l — сумма потерь напора на трение жидкости о стенки трубопроводов, $\Sigma h_l = h_{l.\text{в}} + h_{l.\text{н}} = A_1 Q^2 h_1 + A_2 Q^2 L_2$.

---

* Может быть и такой вариант задания, когда местные потери во всасывающей и нагнетательной линиях $\Sigma h_{\text{м.в}}$ и $\Sigma h_{\text{м.н}}$ рассчитывают с использованием гидравлических справочников.

Здесь A_1 и A_2 — коэффициенты удельных сопротивлений, зависящие от диаметров трубопроводов и степени шероховатости их стенок; могут быть взяты из справочников или вычислены по приближенным формулам:

для стальных труб

$$A = 0{,}00148(1 + 0{,}867/v)^{0,3}/d^{5,3} \text{ при } v < 1{,}2 \text{ м/с}$$

и

$$A = 0{,}001735/d^{5,3} \text{ при } v > 1{,}2 \text{ м/с}.$$

В данном примере

$$v_1 = 4Q/\pi D_1^2 = (4 \cdot 0{,}5)/(3{,}14 \cdot 0{,}7^2) = 1{,}3 \text{ м/с},$$

$$v_2 = 4Q/\pi D_2^2 = (4 \cdot 0{,}5)/(3{,}14 \cdot 0{,}6^2) = 1{,}77 \text{ м/с}.$$

Следовательно,

$$A_1 = 0{,}001735/0{,}7^{5,3} = 0{,}0115, \quad A_2 = 0{,}001735/0{,}6^{5,3} = 0{,}026.$$

Тогда

$$\Sigma h_l = 0{,}0115 \cdot 0{,}5^2 \cdot 25 + 0{,}026 \cdot 0{,}5^2 \cdot 150 = 0{,}072 + 0{,}975 = 1{,}05 \text{ м}.$$

Напор насоса

$$H = 3 + 0{,}35 + 1{,}05 + (0{,}7^2 - 0{,}5^2)/19{,}62 = 4{,}41 \text{ м}.$$

2. Определяют показание прибора № 1. Записывают уравнение Бернулли для сечений *1—1* и *B—B*, приняв, что плоскость сравнения проходит через ось насоса *O—O* (рис. 11.2),

$$p_а/\rho g + v_{нб}^2/2g + Z_1 = p_в/\rho g + v_в^2/2g + Z_в + \Sigma h_{м\,в} + h_{l.в},$$

преобразуя которое получают

$$(p_а - p_в)/\rho g = p_{вак}/\rho g = H^{вак1} =$$

$$= v_в^2/2g - v_{нб}^2/2g + Z_в - Z_1 + \Sigma h_{м\,в} + h_{l.в},$$

где $Z_в$ — расстояние по вертикали от плоскости сравнения *O—O* до начала подводящей трубки, где вакуум соответствует показанию прибора № 1*, $Z_в = v_в = 4Q/\pi d_в^2 = 4 \cdot 0{,}5/3{,}14 \cdot 0{,}6^2 = 1{,}77$ м/с; Z_1 — расстояние по вертикали от плоскости сравнения *O—O* до уровня воды в нижнем бьефе, $Z_1 = -h_в = -5$ м.

Тогда

$$H^{вак.1} = 1{,}77^2/19{,}62 - 0{,}5^2/19{,}62 + 0{,}15 + 5 + 0{,}15 + 0{,}072 = 5{,}52 \text{ м}.$$

---

* Если плоскость сравнения *O—O* ниже точки замера давления *p*, то значение *Z* положительно, выше — отрицательно.

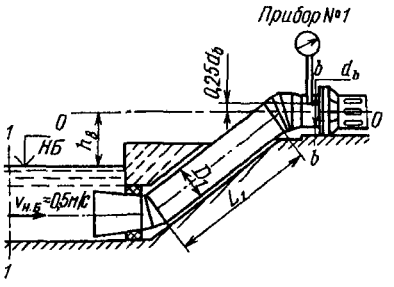


Рис. 11.2. Расчетиая схема всасывающей лиииии насосной устаиовки для определения показаний прибора № 1 (см. рис. 11.1)

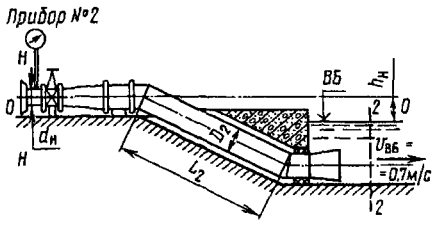


Рис. 11.3. Расчетная схема напорной линии иасосной установки для определеиия показаний прибора № 2 (см. рис. 11.1)

3. Определяют показание прибора № 2. Записывают уравнение Бернулли для сечений *Н—Н* и *2—2* при той же плоскости сравнения *О—О* (рис. 11.3)

$$p_н / \rho g + v_н^2 / 2g + Z_н = p_а / \rho g + v_{вб}^2 / 2g + Z_2 + \Sigma h_{м.н} + h_{l.н},$$

преобразуя которое получают

$$(p_а - p_н) / \rho g = p_{вак} / \rho g = H^{вак.2} =$$
$$= v_н^2 / 2g - v_{вб}^2 / 2g + Z_н - Z_2 - \Sigma h_{м.н} - h_{l\,н},$$

где $v_н = 4Q/\pi d_н^2 = 4 \cdot 0{,}5/(3{,}14 \cdot 0{,}5^2) = 2{,}55$ м/с; $Z_и$ — расстояние по вертикали от плоскости сравнения *О—О* до начала подводящей трубки, где вакуум соответствует показанию прибора № 2, $Z_н = 0{,}5d_н = 0{,}25$ м; Z_2 — расстояние по вертикали от плоскости сравнения *О—О* до уровня воды в верхнем бьефе, $Z_2 = -h_н = -(h_в - H_т) = -(5-3) = -2$ м.

$$H^{вак.2} = 2{,}55^2/19{,}62 - 0{,}7^2/19{,}62 + 0{,}25 + 2 - 0{,}2 - 0{,}975 = 1{,}38 \text{ м}.$$

Если $H^{вак.2}$ будет иметь отрицательное значение, то прибором № 2 должен быть манометр, а $p_н = p_а + p_{ман}$. Расчет следует повторить, принимая $p_{ман}/\rho g = H_{ман.2}$.

4. Определяют напор насоса по показаниям приборов № 1 и № 2, м,

$$H = (p_н - p_в) / \rho g + (v_н^2 - v_в^2) / 2g + Z_{изм} =$$
$$= (p_а - p_{вак.2} - p_а + p_{вак.1}) / \rho g + (v_н^2 - v_в^2) / 2g + Z_{изм} =$$
$$= (p_{вак.1} - p_{вак.2}) / \rho g + (v_н^2 - v_в^2) / 2g + Z_{нзм} =$$
$$= H^{вак.1} - H^{вак.2} + (v_н^2 - v_в^2) / 2g + Z_{изм},$$

где $Z_{изм} = d_н/2 - d_в/4 = 0{,}1$ м.

Тогда

$$H = 5{,}52 - 1{,}38 + 2{,}55^2/19{,}62 - 1{,}77^2/19{,}62 + 0{,}1 = 4{,}41 \text{ м}.$$

Напор насоса, полученный по показаниям измерительных приборов, оказался равным напору насоса, определенному ранее по сумме геодезической высоты подъема, потерь напора в трубопроводной системе и разности скоростных напоров в верхнем и нижнем бьефах, что свидетельствует о правильности проведенных расчетов.

5. Вычисляют потребляемую мощность насоса

$$N = (9{,}81\,QH)/\eta = (9{,}81 \cdot 0{,}5 \cdot 4{,}41)/0{,}82 = 26{,}38 \text{ кВт}.$$

6. Находят стоимость электроэнергии, требуемой для подъема воды в заданный промежуток времени,

$$P = (NT_0a)/(\eta_{дв}\eta_{пер}) = (26{,}38 \cdot 1600 \cdot 0{,}4)/(0{,}92 \cdot 1) = 18351{,}3 \text{ р.},$$

где T_0 — суммарное время работы насосной установки, ч; $\eta_{пер}$ — коэффициент полезного действия узла передачи мощности от вала двигателя к валу насоса при прямой передаче (муфте) $\eta_{пер} \approx 1$.

7. Определяют подачу насоса при прикрытой задвижке Q_x с учетом заданного изменения параметров насоса

$$\alpha_N N = 9{,}81\,Q_x \alpha_H H/\alpha_h \eta.$$

Откуда

$$Q_x = (1{,}12N \cdot 0{,}83\eta)/(9{,}81 \cdot 1{,}22H) =$$
$$= (1{,}12 \cdot 26{,}38 \cdot 0{,}83 \cdot 0{,}82)/(9{,}81 \cdot 1{,}22 \cdot 4{,}41) = 0{,}38 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Все скорости в насосной установке при прикрытой задвижке уменьшатся пропорционально изменению расхода Q, то есть

$$v'_{нб} = v_{нб}Q_x/Q;\ v'_{вб} = v_{вб}Q_x/Q;\ v'_1 = v_1Q_x/Q;\ v'_2 = v_2Q_x/Q$$

и т. д. В результате расчета получают

$$v'_н = 1{,}94 \text{ м/с};\ v'_{нб} = 0{,}38 \text{ м/с};\ v'_{вб} = 0{,}53 \text{ м/с}.$$

8. Находят потери напора во всасывающей и напорной линиях насосной установки при прикрытой задвижке. С достаточной для практики точностью потери напора можно найти, используя квадратичный закон гидравлических сопротивлений

$$h'/h = (Q_x/Q)^{2*}.$$

Поскольку в дальнейшем потери напора в прикрытой задвижке будут рассчитывать, то исходные потери в открытой задвижке $\xi_{задв} = v_п^2/(2g)$ вычитают из потерь напора в напорной линии насосной установки. Потери напора, м, в открытой задвижке при подаче $Q = 0{,}5$ м^3/с

$$h_{задв} = 0{,}08\,(2{,}55^2/19{,}62) = 0{,}027 \text{ м}.$$

Тогда

$$\Sigma h'_в = (\Sigma h_{м.в} + h_{l.в})(Q_x/Q)^2 = (0{,}15 + 0{,}072)(0{,}38/0{,}5)^2 = 0{,}13 \text{ м}$$

и

$$\Sigma h'_н = (\Sigma h_{м.н} + h_{l.н} - h_{задв})(Q_x/Q)^2 =$$
$$= (0{,}2 + 0{,}975 - 0{,}027)(0{,}38/0{,}5)^2 = 0{,}66 \text{ м}.$$

9. Вычисляют потери напора в прикрытой задвижке, используя соотношение, приведенное в п. 1, для изменившихся условий работы насосной установки

$$\alpha_н H = H_г + \Sigma h'_в + \Sigma h'_н + h'_{задв} + (v'^2_{вб} - v'^2_{нб})/2g.$$

Отсюда

$$h'_{задв} = \alpha_н H - H_г - \Sigma h'_в - \Sigma h'_н - (v'^2_{вб} - v'^2_{нб})/2g =$$
$$= 1{,}22 \cdot 4{,}41 - 3 - 0{,}13 - 0{,}66 - (0{,}53^2 - 0{,}38^2)/19{,}62 = 1{,}57 \text{ м}.$$

Коэффициент сопротивления задвижки

$$\xi'_{задв} = h'_{задв} \cdot 2g / v'^2_н = 1{,}57 \cdot 19{,}62 / 1{,}94^2 = 8{,}18.$$

Пользуясь справочными данными по величине $\xi'_{задв}$, можно приближенно определить степень прикрытия задвижки по числу оборотов маховика.

---

* Из-за снижения скоростей во всасывающей линии могут изменяться коэффициенты сопротивлений (например, A — см. п. 1) при новой подаче. Однако, во-первых, эти изменения незначительны, во-вторых, сами потери напора во всасывающей линии $\Sigma h_в$ относительно малы. Поэтому использование квадратичного закона в данном случае вполне правомерно.

При значительном изменении подачи насосной установки все потери напора при новой подаче Q_x рассчитывают по методике, приведенной выше, начиная с п. 1.

10. Для определения показаний прибора № 2 при подаче насоса Q_x используем выведенное в п. 3 расчета уравнение

$$H^{\text{вак}2'} = v'^{2}_{\text{н}} / 2g - v'^{2}_{\text{вб}} / 2g + Z_{\text{н}} - Z_2 - \Sigma h'_{\text{м.н}} - h'_{\text{l.н}} - h'_{\text{задв}} =$$

$$= 1{,}94^2 / 19{,}62 - 0{,}53^2 / 19{,}62 + 0{,}25 + 2 - 0{,}66 - 1{,}57 = 0{,}2 \text{ м}.$$

Таким образом, вакуум за насосом при прикрытии задвижки уменьшается. Следовательно, абсолютное давление увеличивается.

Задание № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЕГО РАБОТЫ

В этом задании студенты изучают работу насоса в различных гидравлических системах с различными частотами вращения вала, а также качественное и количественное регулирование подачи насоса. Выполнение задания рассмотрено на конкретном примере.

Исходные данные: характеристика центробежного насоса (рис. 11.4); частоты вращения вала насоса: $n = 1450$ мин$^{-1}$, $n_1 = 1600$ мин$^{-1}$, $n_2 = 1300$ мин$^{-1}$; геодезическая высота подъема $H_{\text{г}} = 140$ м; длина напорного трубопровода $L_{\text{тр}} = 300$ м; диаметр стального напорного трубопровода $d_{\text{тр}} = 0{,}4$ м; подача насосной установки $Q_{\text{зад}} = 275$ л/с.

Число параллельно работающих насосов — два.

Требуется перечертить в увеличенном масштабе заданную характеристику насоса при $n = 1450$ мин$^{-1}$; построить новые характеристики насоса $H - Q$, $N - Q$, $\eta - Q$ при частотах вращения вала $n_1 = 1600$ мин$^{-1}$ и $n_2 = 1300$ мин$^{-1}$; построить гидродинамическую характеристику трубопровода $H_{\text{тр}} = H_{\text{г}} + \Sigma h_{\text{тр}} = f(Q)$ по заданным геодезической высоте подъема $H_{\text{г}}$, диаметру и длине напорного трубопровода $d_{\text{тр}}$, $L_{\text{тр}}$ и определить рабочие точки; установить режимы работы двух параллельно работающих насосов на один общий трубопровод и дефицитность подачи, а также КПД и мощность каждого насоса; определить условия подачи насосом заданного расхода $Q_{\text{зад}}$ при помощи качественного и количественного регулирования; найти КПД насоса в обоих случаях.

Порядок выполнения домашнего задания. 1. Строят характе-

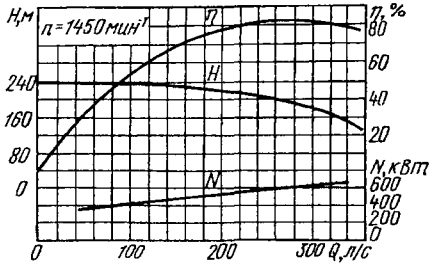


Рис. 11.4. Характеристика насоса

ристики насоса при заданных частотах вращения n_1 и n_2. Для построения характеристик насоса при частотах вращения n_1 и n_2 используют законы динамического подобия, из которых следует:

$$Q_i / Q = n_i / n = i_{n_i};\ H_i / H = (n_i / n)^2 = i^2_{n_i};\ N_i / N = (n_i / n)^3 = i^3_{n_i}.$$

Пересчет выполняют в такой последовательности. Задаются несколькими подачами насоса в пределах его характеристик $H — Q$ при $n = 1450$ мин$^{-1}$. Величины Q, H и N при каждой подаче пересчитывают в соответствии с приведенными выше формулами на новые частоты вращения n_1 и n_2:

$$Q_1 = Qi_{n_1};\ H_1 = Hi^2_{n_1};\ N_1 = Ni^3_{n_1} \text{ и } Q_2 = Qi_{n_2};\ H_2 = Hi^2_{n_2};\ N_2 = Ni^3_{n_2}.$$

Результаты вычислений сводят в таблицу 11.1, найдя предварительно

$$i_{n_1} = 1600/1450 = 1{,}1;\ i^2_{n_1} = 1{,}21;\ i^3_{n_1} = 1{,}33;$$

$$i_{n_2} = 1300/1450 = 0{,}9;\ i^2_{n_2} = 0{,}81;\ i^3_{n_2} = 0{,}73.$$

11.1. Пересчет характеристик насоса на другие частоты вращения n_1 и n_2 по закону динамического подобия

$n = 1450$ мин$^{-1}$				$n_1 = 1600$ мин$^{-1}$				$n_2 = 1300$ мин$^{-1}$			
η, %	Q, л/с	H, м	N, кВт	η, %	Q, л/с	H, м	N, кВт	η, %	Q, л/с	H, м	N, кВт
0	0	240	—	0	0	290	—	0	0	190	—
36	60	232	380	36	66	281	505	36	54	188	277
60	120	224	440	60	132	271	585	60	108	181	321
75	180	216	490	75	198	261	660	75	162	175	358
83	240	200	540	83	264	242	718	83	216	162	394
82	300	172	600	82	330	208	798	82	270	139	438
76	350	136	640	76	385	165	851	76	315	110	467

Для построения новых характеристик насоса с частотами вращения n_1 и n_2 полученные расчетом точки Q_1, Q_2, H_1, H_2, N_1, N_2 наносят на координатную плоскость исходной характеристики насоса и соединяют их плавными кривыми (рис. 11.5)*. Поскольку режимы насосов при расчетных значениях Q, Q_1, Q_2 и соответственно n, n_1, n_2 согласно исходным формулам подобны между собой, то КПД насоса η должен при этом оставаться постоянным. Характери-

* Масштаб координат H, N и η подбирают таким образом, чтобы в районе заданных подач Q характеристики H, N и $\eta = f(Q)$ не мешали друг другу.

стики $\eta_1 - Q$ и $\eta_2 - Q$ строят по данным таблицы 11.1 исходя из этого принципа. Следует отметить, что на самом деле при изменении частоты вращения вала насоса и сохранении подобия режима его работы КПД насоса также изменяется. Однако это изменение существенно лишь при значительных диапазонах изменения частот вращения вала насоса. Если необходимо пересчитать на новые частоты вращения вала насоса и его кавитационную характеристику $\Delta h_{доп} - Q$, то в таблицу 11.1 вводят три новые графы $\Delta h_{доп}$, $\Delta h_{доп_1}$, $\Delta h_{доп_2}$, в которые вносят величины, рассчитанные по следующим формулам:

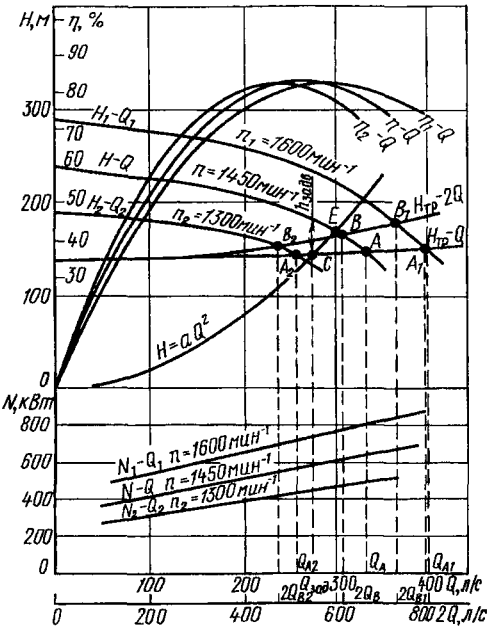


Рис. 11.5. Характеристики насоса и трубопровода при различных условиях их совместной работы

$$\Delta h_{доп_1} = \Delta h_{доп}(n_1 / n)^2 = \Delta h_{доп} i_{n_1}^2;$$

$$\Delta h_{доп_2} = \Delta h_{доп}(n_2 / n)^2 = \Delta h_{доп} i_{n_2}.$$

2. Строят гидродинамическую характеристику трубопровода и определяют рабочие точки. Гидродинамическая характеристика трубопровода — зависимость

$$H_{тр} = f(Q) \text{ или } H_{тр} = H_г + \Sigma h_{тр},$$

где $H_г$ — геодезическая высота подъема воды, м; $\Sigma h_{тр}$ — сумма потерь напора на трение воды о стенки трубопровода и местные сопротивления, м.

Потери напора на трение воды о стенки трубопровода зависят от его диаметра, материала, длины и расхода воды через трубопровод. Местные потери можно приближенно принять в размере 10 % от потерь на трение. Тогда общие потери можно определять по приведенной длине трубопровода $L_{прив} = 1{,}1 \cdot 300 = 330$ м, пользуясь формулой

$$\Sigma h_{тр} = AQ^2 L_{прив},$$

где A — коэффициент удельного сопротивления трубопровода на трение потока воды о стенки, определяют по справочникам или таблицам; Q — расход воды через трубопровод, м^3/с.

Для стального трубопровода могут быть использованы эмпирические зависимости, приведенные в предыдущем задании.

Характеристику трубопровода определяют для двух случаев: при одном работающем насосе с подачей Q и при двух работающих насосах с общей подачей $2Q$. Если рассматривают работу на один общий трубопровод трех или четырех насосов, то общая подача их будет соответственно $3Q$ или $4Q$.

Характеристики трубопровода рассчитывают в табличной форме (табл. 11.2), а результаты наносят на график рисунка 11.5.

11.2. Определение характеристик общего трубопровода при работе одного и двух параллельно присоединенных к нему насосов

Один работающий насос					Два работающих насоса				
Q, л/с	$v = 4Q/\pi d_{тр}^2$, м/с	A	$\sum h_{тр} = AQ^2 L_{прив}$, м	$H_{тр} = H_р + \sum h_{тр}$, м	$2Q$, л/с	v, м/с	A	$\sum h_{тр} = A(2Q)^2 L_{прив}$, м	$H_{тр} = H_р + \sum h_{тр}$, м
0	0	—	0	140	0	0	—	0	140
100	0,8	0,237	0,78	140,8	200	1,6	0,22	2,9	142,9
200	1,6	0,22	2,94	142,9	400	3,2	0,22	11,62	151,6
300	2,4	0,22	6,53	146,5	600	4,8	0,22	26,14	166,1
400	3,2	0,22	11,62	151,6	800	6,4	0,22	46,46	186,5

Рабочими точками насоса являются точки пересечения характеристик насоса $H - Q$ с характеристикой трубопровода $H_{тр} - Q$. В данном случае рабочая точка A имеет координаты $Q_A = 336$ л/с, $H_A = 147$ м, чему соответствуют $\eta_A = 78\,\%$ и $N_A = 630$ кВт при $n = 1450$ мин$^{-1}$; рабочая точка $A_1 - Q_{A_1} = 398$ л/с, $H_{A_1} = 152$ м, чему соответствуют $\eta_{A_1} = 74\%$ и $N_{A_1} = 870$ кВт при $n_1 = 1600$ мин$^{-1}$; рабочая точка $A_2 - Q_{A_2} = 260$ л/с, $H_{A_2} = 144$ м, чему соответствуют $\eta_{A_2} = 82\%$ и $N_{A_2} = 430$ кВт при $n_2 = 1300$ мин$^{-1}$.

Если кривая $H_{тр} - Q$ не пересекается с кривой $H - Q$, то поднять воду насосом в данных условиях невозможно.

3. Определяют режимы работы двух параллельно работающих насосов на один общий трубопровод. Работа двух и более насосов на один общий трубопровод характерна тем, что все насосы при этом должны иметь равные напоры. Поэтому, чтобы получить рабочую точку параллельно работающих насосов, строят их общую характеристику, сложив подачи каждого насоса Q при одинаковых напорах H. Пересечение общей кривой $H - Q_{общ}$ с кривой $H_{тр} - Q$ дает рабочую точку насосов. При этом каждый насос будет иметь

свою рабочую точку со своей подачей, но с одним и тем же напором. Если насосы одинаковые, то необязательно строить новую характеристику $H = f(Q_{общ})$. Задача решается проще: на оси абсцисс откладывают новые шкалы с удвоенным ($2Q$) или утроенным ($3Q$) масштабом в зависимости от того, два или три насоса работают на один трубопровод. Это будет суммарная подача насосов через общий трубопровод. Точки пересечения характеристики трубопровода $H_{тр} - 2Q$ с характеристиками насосов $H - Q$ при $n = 1450$ мин$^{-1}$, $n_1 = 1600$ мин$^{-1}$ и $n_2 = 1300$ мин$^{-1}$ будут рабочими точками насосов B, B_1 и B_2 при работе двух параллельно подключенных насосов на один общий трубопровод (см. рис. 11.5).

Если на общий трубопровод работают три или четыре насоса, то рабочие точки будут находиться на кривых $H_{тр} - 3Q$ или $H_{тр} - 4Q$ соответственно.

Итак, координаты рабочих точек:

рабочая точка B при $n = 1450$ мин$^{-1}$ — $2Q_B = 615$ л/с, $H_B = 167$ м, чему соответствуют $\eta_B = 81\ \%$ и $N_B = 610$ кВт;

рабочая точка B_1 при $n_1 = 1600$ мин$^{-1}$ — $2Q_{B_1} = 738$ л/с, $H_{B_1} = 178$ м, чему соответствуют $\eta_{B_1} = 78\%$ и $N_{B_1} = 830$ кВт;

рабочая точка B_2 при $n_2 = 1300$ мин$^{-1}$ — $2Q_{B_2} = 474$ л/с, $H_{B_2} = 154$ м, чему соответствуют $\eta_{B_2} = 83\%$ и $N_{B_2} = 410$ кВт.

Если бы два насоса работали на два самостоятельных трубопровода того же диаметра и той же длины, что и в данном примере, то каждый из насосов подавал бы при $n = 1450$ мин$^{-1}$ расход $Q_A = 336$ л/с (рабочая точка A), а при $n_1 = 1600$ мин$^{-1}$ расход $Q_{A_1} = 398$ л/с (рабочая точка A_1) и при $n_2 = 1300$ мин$^{-1}$ расход $Q_{A_2} = 260$ л/с (рабочая точка A_2).

Следовательно, два насоса, работая на один общий трубопровод, подают воды меньше, чем два таких же насоса, но работающие на самостоятельные такие же трубопроводы. Уменьшение расхода воды $\Delta Q_n = 2Q_A - 2Q_B = 672 - 615 = 57$ л/с называют дефицитом подачи насосов при их параллельной работе на один трубопровод. По рисунку 11.5 можно найти дефициты подачи насосов для $n_1 = 1600$ мин$^{-1}$ и $n_2 = 1300$ мин$^{-1}$:

$$\Delta Q_{n_1} = 2Q_{A_1} - 2Q_{B_1} = 796 - 738 = 58 \text{ л/с};$$

$$\Delta Q_{n_2} = 2Q_{A_2} - 2Q_{B_2} = 520 - 474 = 46 \text{ л/с}$$

При увеличении диаметра трубопровода дефициты подачи ΔQ_n уменьшаются вследствие снижения $\Sigma h_{тр}$. О целесообразности сооружения индивидуального трубопровода для каждого насоса вместо одного общего в целях снижения дефицита подачи насосов реша-

ют на основании технико-экономических расчетов с учетом стоимости прокладки одного или двух трубопроводов.

4. Определяют условия подачи насосом заданного расхода $Q_{зад}$ при помощи качественного и количественного регулирования; нахождение КПД насоса в обоих случаях. Если нужно обеспечить подачу воды в количестве, отличном от определенного рабочей точкой, применяют регулирование подачи. При $Q_{зад}$ меньше Q рабочей точки возможны два способа регулирования: качественное, позволяющее изменить подачу путем снижения частоты вращения вала насоса, и количественное — путем увеличения гидравлических сопротивлений (прикрытие регулирующей задвижки, установленной на напорном трубопроводе). При $Q_{зад}$ больше Q рабочей точки возможно только качественное регулирование при помощи увеличения частоты вращения вала насоса.

В данном случае для $Q_{зад} = 275$ л/с качественное регулирование осуществляют следующим образом.

На рисунке 11.5 находят точку C, лежащую на гидродинамической кривой $H_{тр} — Q$ с координатами $Q_{зад} = 275$ л/с и $H_{зад} = 145$ м. Частоту вращения вала насоса изменяют так, чтобы характеристика насоса $H — Q$ пересекла рабочую точку C. Новую частоту вращения вала насоса находят, используя законы подобия,

$$Q / Q_{зад} = \sqrt{H / H_{зад}} = n / n_x = \text{const} \text{ или}$$

$$Q^2 / Q_{зад}^2 = H / H_{зад} = n^2 / n_x^2 = \text{const}.$$

Отсюда

$$H = (H_{зад} / Q_{зад}^2) Q^2 = aQ^2.$$

Параболу, соответствующую этому уравнению, строят на той же координатной плоскости, что и характеристику насоса $H — Q$ при $n = \text{const}$. Парабола должна проходить через точку C. При изменении частоты вращения вала насоса характеристика насоса $H — Q$ становится выше или ниже исходной характеристики и всегда пересекает кривую $H = aQ^2$.

Таким образом, во-первых, каждой точке, лежащей на этой кривой, соответствует режим насоса с определенной частотой вращения его вала; во-вторых, все режимы насоса, соответствующие этой кривой независимо от частоты вращения, кинематически подобны и, следовательно, подчиняются законам подобия. Отсюда

$$Q_E / Q_{зад} = n / n_x = \sqrt{H_E / H_{зад}},$$

где параметры Q_E и H_E принадлежат точке пересечения кривой $H = aQ^2$ с известной характеристикой насоса $H — Q$ при $n = \text{const}$. Тогда $n_x = n(Q_{зад} / Q_E) = n\sqrt{H_{зад} / H_E}$.

Кривую $H = aQ^2$ строят на основании расчетов, которые лучше всего выполнять в форме таблицы. В данном случае

$$a = H_{зад} / Q^2_{зад} = 145/275^2 = 0{,}00192.$$

По графикам на рисунке 11.5 $Q_E = 298$ л/с, $H_E = 171$ м, следовательно,

$$n_x = nQ_{зад}/Q_E = 1450 \cdot 275/298 = 1338 \text{ мин}^{-1}$$

или

$$n_x = n\sqrt{H_{зад}/H_E} = 1450\sqrt{145/171} = 1335 \text{ мин}^{-1}.$$

Расчет зависимости $H = aQ$

Q, л/с	0	100	200	300	400
H, м	0	19,2	76,8	172,8	307,2

Так как принято, что на подобных режимах КПД насоса не меняется (или меняется незначительно), то $\eta_{зад} = \eta_E = 82$ %.

Заметим, что согласно теории подобия КПД насоса при изменении его частоты вращения не меняется на любой параболе $H = aQ^2$, проведенной из начала координат.

При количественном способе регулирования задвижку на напорном трубопроводе прикрывают до тех пор, пока подача насоса не снизится до $Q_{зад}$. При прикрытии задвижки за счет увеличения в ней потерь напора изменяется характеристика трубопровода $H_{тр} — Q$. Она становится более крутой. Прикрытие задвижки прекращается, когда характеристика трубопровода $H_{тр} — Q$ пересечет характеристику насоса $H — Q$ при $Q = Q_{зад}$. Напор насоса H должен соответствовать характеристике насоса $H — Q$ при подаче $Q = Q_{зад}$, а также соотношению $H = H_{зад} + h_{задв}$.

В данном случае $h_{задв} = 39$ м (см. рис. 11.5). КПД установки (насос + задвижка)

$$\eta_{уст} = \frac{N_{пол}}{N_{зат}} = \frac{9{,}81Q_{зад}H_{зад}}{9{,}81Q_{зад}(H_{зад} + h_{зад})/\eta_{(Q_{зад})}} = H_{зад}\eta_{(Q_{зад})} / (H_{зад} + h_{задв}).$$

При этом КПД насоса соответствует новой рабочей точке насоса при $Q_{зад}$. В данном случае $\eta_{уст} = 145 \cdot 0{,}835/(145 + 39) = 0{,}66$.

Сравнивая оба способа регулирования, можно отметить, что количественное регулирование экономически невыгодно, так как даже при небольшом прикрытии задвижки КПД установки значительно снизился (с 0,82 до 0,66).

Вместе с тем создание насосной установки с регулируемой частотой вращения вала насоса требует значительных материальных затрат и сопровождается некоторым снижением КПД электрической части насосной установки. Поэтому целесообразность использования того или иного метода регулирования подачи насоса определяется технико-экономическими расчетами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Б. А., Грецов Н. А. Гидравлические машины. — М.: Агропромиздат, 1988, 272 с.

2. Вишневский К. П. Переходные процессы в напорных системах водоподачи. — М.: Агропромиздат, 1986, 136 с.

3. Вишневский К. П., Подласов А. В. Проектирование насосных станций закрытых оросительных систем. — М.: Агропромиздат, 1990, 93 с.

4. Гидротехнические сооружения/ Н. П. Розанов, Я. В. Бочкарев, В. С. Лапшенков и др.; Под ред. Н. П. Розанова. — М.: Агропромиздат, 1985, 432 с.

5. Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции. — М.: Стройиздат, 1986, 320 с.

6. Каталог насосов, применяемых в мелиорации. — М.: Росоргтехводстрой Минводхоза РСФСР, 1988, 229 с.

7. Курсовое и дипломное проектирование по гидротехническим сооружениям/ В. С. Лапшенков, В. С. Бондаренко, В. Н. Шкура и др.; Под ред. В. С. Лапшенкова — М.: Агропромиздат, 1989, 448 с.

8. Лысов К. И., Чаюк И. А., Мускевич Г. Е. Эксплуатация мелиоративных насосных станций. — М.: Агропромиздат, 1988, 255 с.

9. Насосы и насосные станции/ В. Ф. Чебаевский, К. П. Вишневский, Н. Н. Накладов, В. В. Кондратьев; Под ред. В. Ф. Чебаевского. — М.: Агропромиздат, 1989, 416 с.

10. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений. Справочник монтажника/ А. С. Москвитин, Б. А. Москвитин, Г. М. Мирончик и др.; Под ред. А. С. Москвитина — М.: Стройиздат, 1979, 430 с.

11. Петрашкевич В. В. Рыбозащитные сооружения водозаборов (эколого-градиентные компоненты механизма защиты, обзор отечественного и зарубежного опыта и технические решения). — М.: п/о «Совинтервод», 1992, 149 с.

12. Петрик А. Д., Подласов А. В., Евреенко Ю. П. Насосы и мелиоративные насосные станции. Учебное пособие/ Под ред. А. Д. Петрика. —Львов: Вища школа, 1987, 168 с.

13. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок. Учебное пособие/ В. В. Рычагов, В. Ф. Чебаевский, К. П. Вишневский и др.; Под ред. В. Ф. Чебаевского. — М.: Колос, 1982, 320 с.

14. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации. Учебное пособие/ А. А. Богушевский, А. И. Голованов, В. А. Кутергин и др.; Под ред. Е. С. Маркова — М.: Колос, 1981, 375 с.

15. Справочник «Мелиорация и водное хозяйство». Сооружения/ А. Н. Кременецкий, И. С. Румянцев, Б. В. Орлов и др.; Под ред. П. А. Полад-заде. — М.: Агропромиздат, 1987, 464 с.

16. Справочник «Мелиорация и водное хозяйство». Экономика/ Б. И. Сердюк, В. И. Кузнецов, Л. Г. Артемова.; Под ред. В. Ф. Моховикова. — М.: Колос, 1984, 255 с.

17. Степанов П. М., Овчаренко И. Х., Скобельцин Ю. А. Справочник по гидравлике для мелиораторов. — М.: Колос, 1984, 208 с.

18. Устройство закрытых оросительных систем. Трубы, арматура, оборудование. Справочник/ В. С. Дикаревский, Г. Е. Фомин, А. Е. Татура и др.; Под ред. В. С. Дикаревского. — М.: Агропромиздат, 1986, 226 с.

19. Шевелев Ф. А., Шевелев А. Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. — М.: Стройиздат, 1984, 117 с.

20. Штеренлихт Д. В. Гидравлика. — М.: Энергоатомиздат, 1984, 439 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Различные схемы узлов сооружений насосных станций. Исходные данные для проектирования ... 3

1.1. Основные понятия и состав сооружений насосных станций ... 3
1.2. Техническое задание на проектирование ... 4
1.3. Класс и надежность сооружений ... 8
1.4. Основные требования к проекту насосной станции ... 10
1.5. Схемы узлов со стационарными насосными станциями ... 14
1.6. Схемы узлов с передвижными насосными станциями или установками ... 24

Глава 2. Водозаборные сооружения на реках и водохранилищах ... 26

2.1. Классификация, условия применения ... 26
2.2. Береговые водозаборные сооружения на реках ... 30
2.3. Русловые водозаборные сооружения на реках ... 34
2.4. Водозаборные сооружения на водохранилищах ... 40
2.5. Рыбозащитные сооружения и устройства ... 42
2.6. Примеры расчета водозаборных сооружений ... 47

Глава 3. Водозаборные сооружения на каналах ... 55

3.1. Подводящие каналы, условия их проектирования ... 55
3.2. Водозаборные сооружения на подводящих тупиковых каналах ... 62
3.3. Расширяющиеся аванкамеры водозаборов на тупиковых каналах ... 68
3.4. Боковые водозаборные сооружения на транзитных каналах ... 73
3.5. Примеры расчета ... 75

Глава 4. Основное и вспомогательное оборудование насосных станций ... 89

4.1. Состав и назначение оборудования ... 89
4.2. Основные параметры и допустимые отметки установки насосов ... 90
4.3. Определение расчетного напора насоса ... 92
4.4. Определение расчетных подач и числа устанавливаемых насосов ... 97
4.5. Лопастные насосы, применяемые в мелиорации и сельскохозяйственном водоснабжении ... 100
4.6. *Выбор насосов по каталогам* ... 107
4.7. Выбор двигателей для привода насосов ... 127
4.8. Вакуум-системы ... 131
4.9. Система технического водоснабжения ... 134

4.10. Система маслоснабжения ... 136
4.11. Система снабжения сжатым воздухом ... 139
4.12. Механическое оборудование ... 141
4.13. Оборудование для хозяйственных и технических нужд станции ... 152
4.14. Особенности выбора гидромеханического оборудования для насосных станций закрытых оросительных систем ... 159
4.15. Автоматизация насосных станций и оборудование их контрольно-измерительными приборами ... 167

Глава 5. Здания насосных станций ... 171

5.1. Типы зданий насосных станций и условия их применения ... 171
5.2. Особенности зданий насосных станций орошения, осушения и сельскохозяйственного водоснабжения ... 181
5.3. Технические условия на проектирование зданий насосных станций ... 185
5.4. Служебные помещения ... 201
5.5. Примеры компоновки зданий насосных станций и определение их размеров ... 205
5.6. Плавучие и передвижные насосные станции ... 218

Глава 6. Внутристанционные всасывающие и напорные коммуникации ... 224

6.1. Общие сведения ... 224
6.2. Всасывающие трубопроводы ... 226
6.3. Подводящие трубопроводы ... 230
6.4. Внутристанционные напорные коммуникации ... 232
6.5. Трубопроводная арматура ... 236
6.6. Примеры внутристанционных коммуникаций ... 248

Глава 7. Напорные трубопроводы ... 252

7.1. Общие сведения ... 252
7.2. Железобетонные трубопроводы ... 256
7.3. Стальные трубопроводы ... 259
7.4. Асбестоцементные трубопроводы ... 263
7.5. Чугунные и пластмассовые трубопроводы ... 265
7.6. Испытание напорных трубопроводов ... 265
7.7. Защита напорных трубопроводов от гидравлического удара ... 267

Глава 8. Водовыпускные сооружения ... 273

8.1. Классификация и условия применения ... 273
8.2. Технические условия проектирования ... 279
8.3. Водовыпускные сооружения с механическими запорными устройствами ... 282
8.4. Водовыпускные сооружения сифонного типа ... 283
8.5. Клапаны срыва вакуума сифонных водовыпусков ... 287
8.6. Водовыпускные сооружения с переливными стенками ... 294
8.7. Водовыпускное сооружение типа делителя ... 296
8.8. Примеры расчета ... 300

Глава 9. Технико-экономические расчеты и организация эксплуатации насосных станций ... 310

9.1. Сравнительная экономическая эффективность капитальных вложений 312

9.2. Капитальные вложения и ежегодные эксплуатационные затраты 313
9.3. Связь технико-экономических расчетов с состоянием экономики 314
9.4. Определение среднекубического расхода воды в трубопроводе и его экономичного диаметра 316
9.5. Водно-энергетические расчеты 320
9.6. Технико-экономические показатели 324
9.7. План эксплуатации насосной станции 325

Глава 10. Испытания насосов и учебно-лабораторные работы 327

10.1. Краткие сведения об испытаниях насосов 327
10.2. Измерения при параметрических испытаниях насосов 328
10.3. Учебно-лабораторные работы 334

Глава 11. Учебные задания 358

Литература 372

Учебное издание

Чебаевский Вадим Фирсович
Вишневский Константин Павлович
Накладов Николай Николаевич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И ИСПЫТАНИЕ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Учебное пособие для вузов

Художественный редактор **Т. И. Мельникова**
Технический редактор **Н. А. Зубкова**
Корректор **М. Ф. Казакова**

Лицензия № 010159 от 06.03.97 г.

Сдано в набор 19.02.99. Подписано в печать 19.12.99. Формат 60×88$^{1}/_{16}$. Бумага офсетная № 1. Гарнитура Ньютон. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 23,03. Усл. кр.-отт. 23,03. Уч.-изд. л. 24,82. Изд. № 36. Тираж 3000 экз. Заказ 998 «С»

Федеральное государственное ордена Трудового Красного Знамени унитарное предприятие «Издательство «Колос», 107807, ГСП-6, Москва, Б-78, ул. Садовая-Спасская, 18.

Типография ОАО «Внешторгиздат», 127576, Москва, Илимская, 7.

ISBN 5-10-002930-7

9 785100 029304