

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!

Если вы скопируете данный файл,
Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .
Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.
Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

**Б.Е.РЫЧАГОВ
А.А.ТРЕТЬЯКОВ
М.М.ФЛОРИНСКИЙ**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
НАСОСНЫХ
СТАНЦИЙ
И ИСПЫТАНИЕ
НАСОСНЫХ
УСТАНОВОК**



УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ ВЫСШИХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

В. В. РЫЧАГОВ,
А. А. ТРЕТЬЯКОВ,
М. М. ФЛОРИНСКИЙ

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
НАСОСНЫХ
СТАНЦИЙ
И ИСПЫТАНИЕ
НАСОСНЫХ
УСТАНОВОК**

2-е издание, дополненное и исправленное

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для гидромелиоративных факультетов сельскохозяйственных вузов



ИЗДАТЕЛЬСТВО «КОЛОС»
Москва — 1971

Второе издание книги написано в соответствии с программой курса «Насосы и насосные станции» для гидромелиоративных институтов и факультетов и является учебным пособием для студентов при курсовом и дипломном проектировании. В ней кратко освещены вопросы лабораторных испытаний насосов, дается порядок и методика выполнения студентами лабораторных и домашних работ. Первое издание книги вышло в 1963 г. под названием «Пособие по проектированию насосных станций и испытанию насосных установок».

В разделе «Производственная практика» приводятся методические указания по прохождению ее и перечень вопросов, по которым студентам необходимо получить практические навыки.

В разделах по проектированию мелиоративных насосных станций изложен материал, необходимый студентам при выполнении курсового и дипломного проектирования, освещаются основы методики выбора оборудования и компоновки узла сооружений станции и конструкций отдельных сооружений, входящих в его состав.

Книга иллюстрирована примерами решений по основным рассмотренным вопросам. Она может быть полезной и для специалистов, работающих в области проектирования, строительства и эксплуатации насосных станций мелиоративного и сельскохозяйственного назначения.

Пособие написано сотрудниками кафедры «Насосы и насосные станции» МГМИ: профессором кандидатом технических наук В. В. Рычаговым (главы II, III, IV, VII, IX, XII и § 4 главы VIII) и доцентом кандидатом технических наук А. А. Третьяковым (главы I, V, VI, X, XI и § 1, 2 и 3 главы VIII).

Отзывы и замечания просим присылать по адресу: Москва, К-31, ул. Дзержинского, 1/19, издательство «Колос».

ПРЕДИСЛОВИЕ

Написанный проф. М. М. Флоринским и проф. В. В. Рычаговым учебник «Насосы и насосные станции» для гидромелиоративных институтов и факультетов дает возможность будущему инженеру-гидротехнику изучить: 1) водоподъемные машины, выпускаемые отечественной промышленностью, и основные теоретические положения их работы; 2) гидротехнический узел машинного водоподъема для различных целевых назначений и естественноисторических условий.

Основной учебник по курсу «Насосы и насосные станции» освещает все вопросы, предусмотренные учебной программой гидромелиоративной специальности, но не включает практических проработок как по разделу «Насосы», так и по разделу «Насосные станции».

Для приобретения студентами практических навыков в выборе гидромеханического оборудования и проектировании сооружений, входящих в гидротехнический узел машинного водоподъема, а также для углубленного изучения и закрепления знаний по курсу «Насосы и насосные станции» составлено настоящее учебное пособие по проектированию мелиоративных насосных станций и испытанию насосных установок.

Учебное пособие наряду с изложением методов и способов подбора основного и вспомогательного оборудования насосных станций, проектирования сооружений, входящих в гидротехнический узел машинного водоподъема, дополняет и развивает основной учебник в области насосных станций.

В основном учебнике «Насосы и насосные станции» не нашли отражения многие материалы, полученные в результате исследований и проработок, проведенных за последний период кафедрой «Насосы и насосные станции» Московского гидромелиоративного института, материалы проектных и научно-исследовательских и производственных организаций, которые в данном учебном пособии кратко изложены.

Учебное пособие обобщает многолетний опыт в области конструирования отдельных сооружений и их элементов (подводящих и водозаборных устройств, водовыпускных сооружений, зданий насосных станций, напорных трубопроводов, внутристанционных коммуникаций) и уделяет внимание проектированию зданий насосных станций и других сооружений из сборного железобетона, зданий насосных станций без надземной части (открытых) и др.

По всем сооружениям гидротехнического узла машинного водоподъема даются основные технические условия проектирования и приводятся примеры сооружений и применения технических условий проектирования.

В пособии рассмотрены вопросы экономического обоснования: выбор числа агрегатов, определение места положения здания насосной станции, выбор материала и диаметра напорного трубопровода и др.

Из-за ограниченного объема книги справочные материалы (по оборудованию, ГОСТ и т. п.) в ней не приводятся, а даются ссылки на необходимую литературу.

Электрическая часть, автоматика и выбор двигателя в учебном пособии не нашли широкого освещения, так как этими вопросами должны заниматься специальные учебные заведения.

С 1 января 1963 г., согласно ГОСТ 9867—61, введена как предпочтительная во всех областях науки и народного хозяйства новая Международная система единиц (СИ), основными единицами которой являются: метр (*м*), килограмм (*кг*), секунда (*сек*), ампер (*а*), градус Кельвина ($^{\circ}\text{К}$) и свеча (*св*).

ТАБЛИЦА 1

Физические величины	Размерность в системах		Соотношение величин $\frac{\text{МКС}}{\text{СИ}}$
	МКС	СИ	
Сила	кг	н	9,81
Давление, напряжение	кг/м^2	н/м^2	9,81
Модуль упругости	кг/м^2	н/м^2	9,81
Удельный вес	кг/м^3	н/м^3	9,81
Плотность	$\text{кг}\cdot\text{сек}^2$	$\text{н}\cdot\text{сек}^2$	9,81
	м^4	м^4	
Масса	$\text{кг}\cdot\text{сек}^2$	кг	9,81
	м		
Коэффициент динамической вязкости	$\text{кг}\cdot\text{сек}$	$\text{н}\cdot\text{сек}$	9,81
	м^2	м^2	

За единицу силы в новой системе единиц (СИ) принят ньютон (*н*)—сила, которая массе в 1 *кг* сообщает ускорение в 1 *м/сек*², а не 9,81 *м/сек*², как принято в старой технической системе единиц (МКС); 1000 *н*=1 *стэн* (*сн*) или килоньютон (*кн*). В таблице 1 приведены физические величины, численное выражение которых изменяется при переходе на новую систему единиц (СИ).

Плоские углы в новой системе единиц (СИ) измеряются в радианах (*рад*).

Глава I. ВЫБОР СХЕМЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО УЗЛА СООРУЖЕНИЙ МАШИННОГО ВОДОПОДЪЕМА

§ 1. ПОНЯТИЕ О ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ УЗЛЕ СООРУЖЕНИЙ МАШИННОГО ВОДОПОДЪЕМА

Гидротехническим узлом машинного водоподъема называется комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающий забор воды из водоисточников и подачу ее к потребителю. В гидротехнический узел машинного водоподъема входят:

- водозаборное сооружение, предназначенное для забора воды из водоисточника;

- сооружения, транспортирующие воду от водозаборного сооружения до водоприемного сооружения насосной станции;

- отстойное сооружение, располагаемое между водозаборным и водоприемными сооружениями;

- водоприемное сооружение, предназначенное для подвода воды к всасывающим трубам насосов;

- всасывающие трубы;

- здание насосной станции со всем необходимым гидромеханическим, силовым и вспомогательным оборудованием;

- напорные трубопроводы;

- водовыпускное сооружение, предназначенное для плавного выпуска воды из напорных трубопроводов в машинный канал (при оросительной насосной станции) или в реку (при осушительной насосной станции).

Состав сооружений, их взаимное расположение и конструкции зависят от целевого назначения насосной станции (для орошения, осушения, водоснабжения, канализации и т. д.); производительности насосной станции (малой — до $1 \text{ м}^3/\text{сек}$, средней — до $10 \text{ м}^3/\text{сек}$, большой — более $10 \text{ м}^3/\text{сек}$); типа и производительности насоса; допустимой высоты всасывания насоса; рельефа местности в месте расположения насосной станции (крутизна русла, ширина поймы и т. п.); гидрологии водоисточника (колебание горизонтов воды, расходы воды, зимний режим и т. п.); количества и качества твердого стока водоисточника; геологии и гидрогеологии (качество оснований сооружений, устойчивость берегов и русла, наличие оползневых, просадочных явлений и т. д.); вида энергии для питания двигателей насосной станции; рода строительных материалов.

§ 2. СОСТАВ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Проект насосной станции с прилегающими к ней сооружениями (гидротехнического узла машинного водоподъема) составляют в соответствии с техническим заданием на проектирование системы и естественноисторическими условиями, в которых будет работать насосная станция.

Техническое задание на проектирование насосной станции должно содержать следующие основные данные:

- нормальный график водоподачи по времени (в течение года и суток);

наименование водосточника; если водосточником являются проектируемые канал или водохранилище, то необходимо иметь отметки горизонтов воды за весь годовой период работы насосной станции;

расчетные отметки горизонтов воды в верхнем бьефе насосной станции (для осушительных систем указывается название водоприемника); условия эксплуатации насосной станции (возможная форсированная подача воды, возможность выключения из работы насосной станции и другие специфические требования потребителя);

конструктивные размеры каналов или сооружений, непосредственно примыкающих к насосной станции (подводящие и отводящие каналы, очистные сооружения и т. п.).

При проектировании необходимо знать топографию района строительства насосной станции, иметь геологические и гидрогеологические данные, а также гидрологические данные водосточника.

Кроме этого, важно иметь сведения об энергоисточнике, его виде, месте нахождения, порядке отпуска энергии и знать о местных строительных материалах, подъездных путях и т. п.

§ 3. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО УЗЛА МАШИННОГО ВОДОПОДЪЕМА

В практике проектирования насосных станций разработан ряд принципиальных схем [69] гидротехнического узла машинного водоподъема, которые можно принимать как исходные при выборе компоновки гидроузла и уточнять для каждого конкретного случая.

Главным фактором, влияющим на тип схемы, является размещение водозаборного сооружения со зданием насосной станции — совмещенное или раздельное. Для различных водосточников принята следующая классификация типов гидротехнических узлов машинного водоподъема.

При заборе воды из реки: береговой совмещенный (рис. I—1); береговой раздельный (рис. I—2); русловой совмещенный (рис. I—3); русловой раздельный (рис. I—4).

При заборе воды из водохранилища: совмещенный, расположенный в верхнем бьефе водохранилища; раздельный, расположенный в верхнем бьефе водохранилища; раздельный, расположенный в нижнем бьефе водохранилища (рис. I—5); совмещенный, расположенный в теле плотины.

При заборе воды из магистрального оросительного канала: совмещенный (рис. I—6); раздельный (рис. I—7 и I—8).

Гидротехнические узлы машинного водоподъема, расположенные в верхнем бьефе водохранилища, при заборе воды из водохранилища отличаются от аналогичных узлов берегового типа при заборе воды из рек наличием подводящего канала и аванкамеры и сходны с гидроузлами, расположенными на каналах.

При выборе схемы гидротехнического узла машинного водоподъема руководствуются следующими соображениями.

При заборе воды из реки устанавливают, нужно ли устраивать отстойник. Отстойник необходимо делать перед забором воды насосами, когда в воде имеются взвешенные твердые частицы крупностью 0,5—0,25 мм.

Более мелкие частицы не кварцевого происхождения не вредят работе насосов, следовательно потребность в отстойнике определяется условиями эксплуатации канала, отходящего от напорного бассейна. В этом случае отстойник можно устраивать на отводящем канале, что дает возможность легко промывать его самотеком.

При крутом русле реки, небольшой ширине поймы (до 300 м), достаточных для забора воды глубинах в реке и средних колебаниях

горизонтов воды в реке (до 8 м) рекомендуется схема гидротехнического узла берегового совмещенного типа с расположением здания станции у уреза максимального горизонта воды (рис. I—1). При значительных

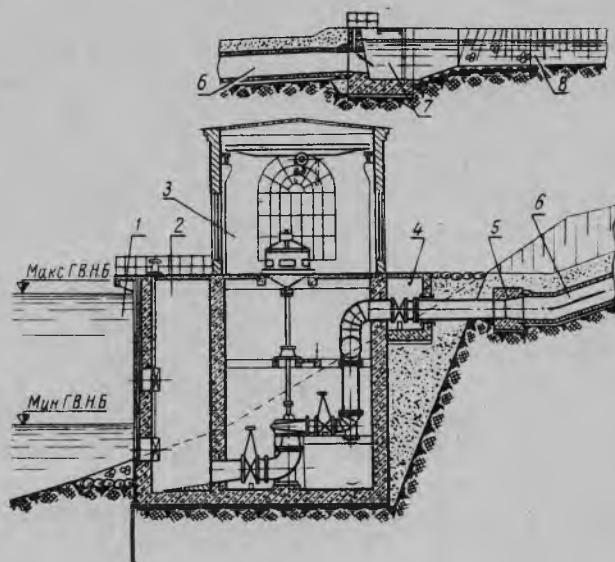


Рис. I—1. Схема гидротехнического узла машинного водоподъема берегового совмещенного типа:

1 — река; 2 — водозаборное сооружение; 3 — здание насосной станции; 4 — камера отключающего затвора; 5 — соединительная опора; 6 — напорный трубопровод; 7 — водовыпускное сооружение; 8 — машинный канал.

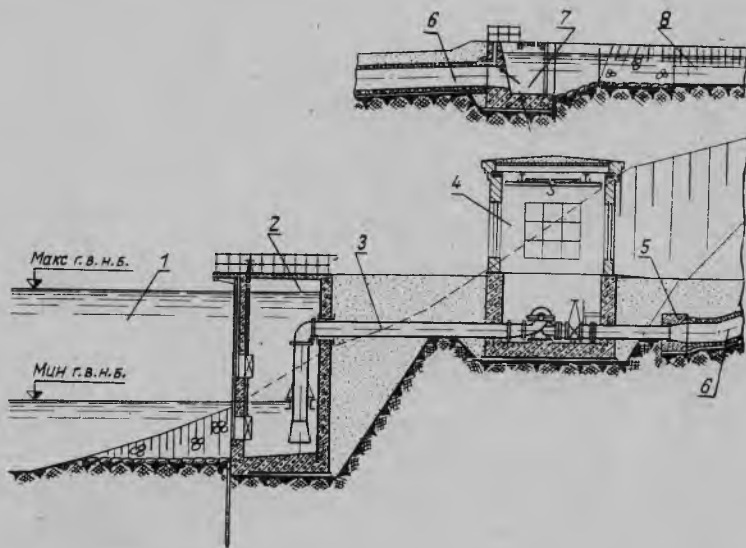


Рис. I—2. Схема гидротехнического узла машинного водоподъема берегового раздельного типа:

1 — река; 2 — водозаборное сооружение; 3 — всасывающая труба; 4 — здание насосной станции; 5 — соединительная опора; 6 — напорный трубопровод; 7 — водовыпускное сооружение; 8 — машинный канал.

колебаниях горизонтов воды (12—20 м) здание станции для обеспечения его устойчивости выносят в русло реки, то есть применяют русловой совмещенный тип компоновки (рис. I—3). Если ширина поймы более 300 м, рекомендуется береговой раздельный тип компоновки, то есть

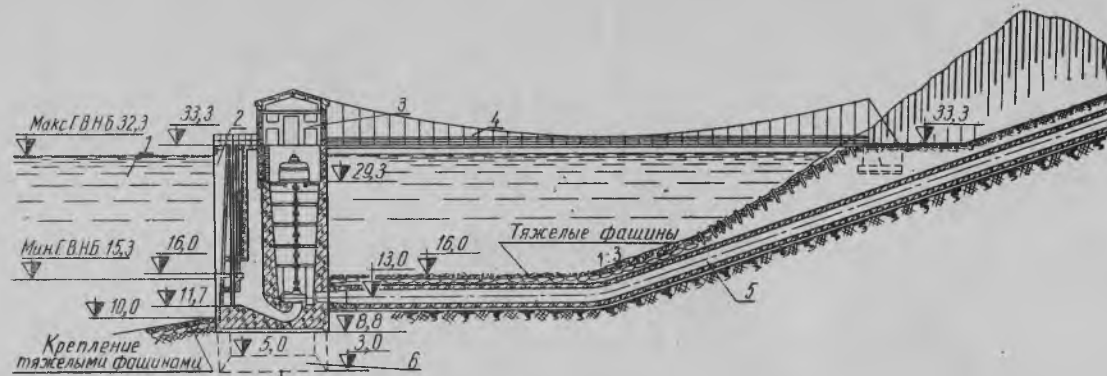


Рис. 1—3. Схема гидротехнического узла машинного водоподъема руслового совмещенного типа:
1 — река; 2 — водозабортное сооружение; 3 — здание насосной станции; 4 — служебный мост; 5 — напорный трубопровод; 6 — опускной колодец.

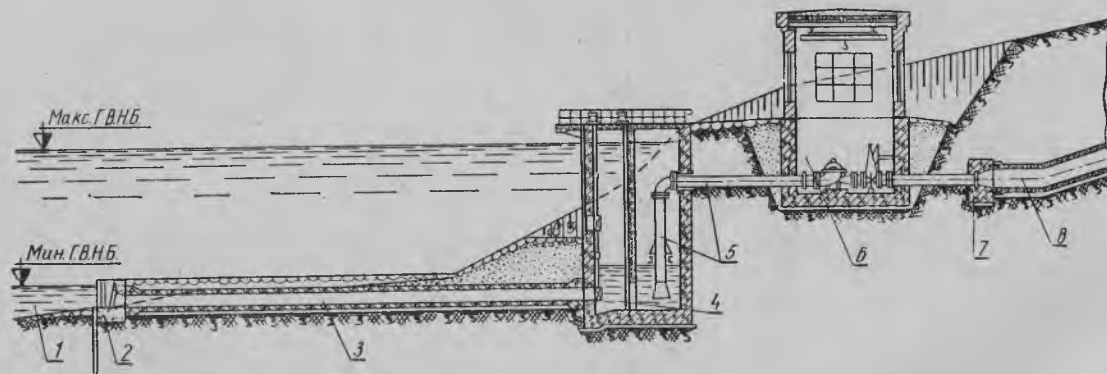


Рис. 1—4. Схема гидротехнического узла машинного водоподъема руслового раздельного типа:
1 — река; 2 — оголовок; 3 — самотечная труба; 4 — береговой колодец; 5 — всасывающая труба; 6 — здание насосной станции; 7 — соединительная опора; 8 — напорный трубопровод.

2-1310

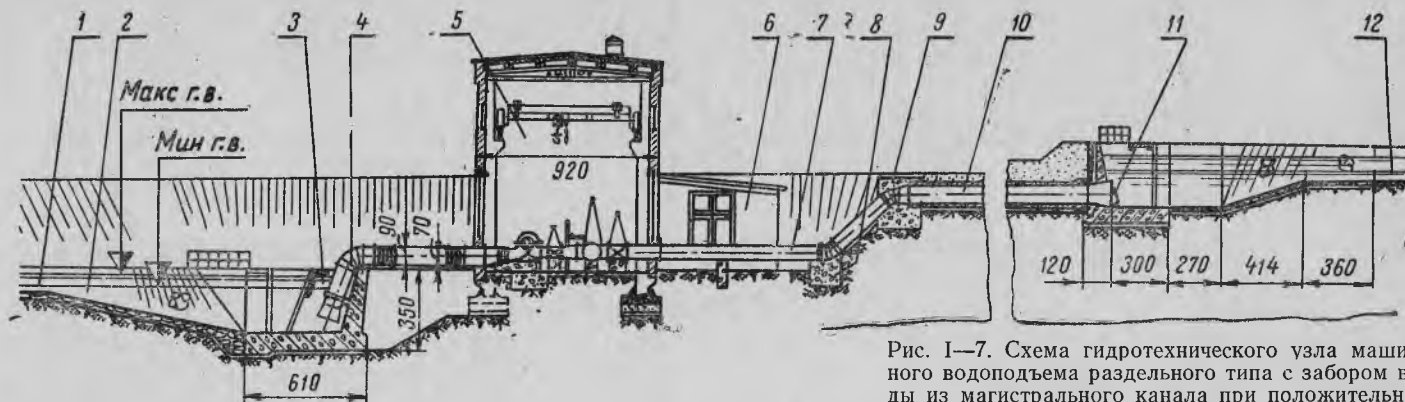


Рис. I—7. Схема гидротехнического узла машинного водоподъема раздельного типа с забором воды из магистрального канала при положительной высоте всасывания:

1 — подводящий канал; 2 — аванкамера; 3 — водоприемное сооружение; 4 — всасывающая труба; 5 — здание насосной станции; 6 — здание РУ и ШУ; 7 — стальной напорный трубопровод; 8 — анкерная опора; 9 — соединительная анкерная опора; 10 — железобетонный напорный трубопровод; 11 — водовыпускное сооружение; 12 — машинный канал.

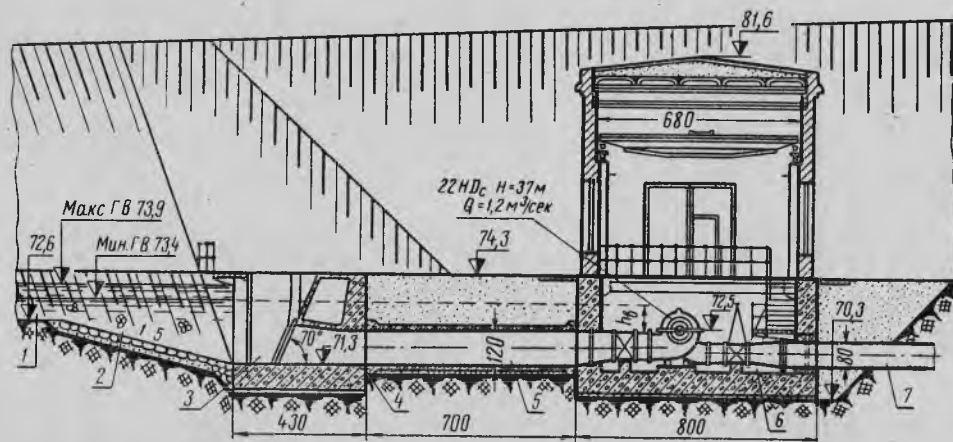


Рис. I—8. Схема гидротехнического узла машинного водоподъема раздельного типа с забором воды из магистрального канала при отрицательной высоте всасывания:

1 — подводящий канал; 2 — аванкамера; 3 — водоприемное сооружение; 4 — конструктивный водонепроницаемый шов; 5 — самсечная труба; 6 — здание насосной станции; 7 — напорный трубопровод.

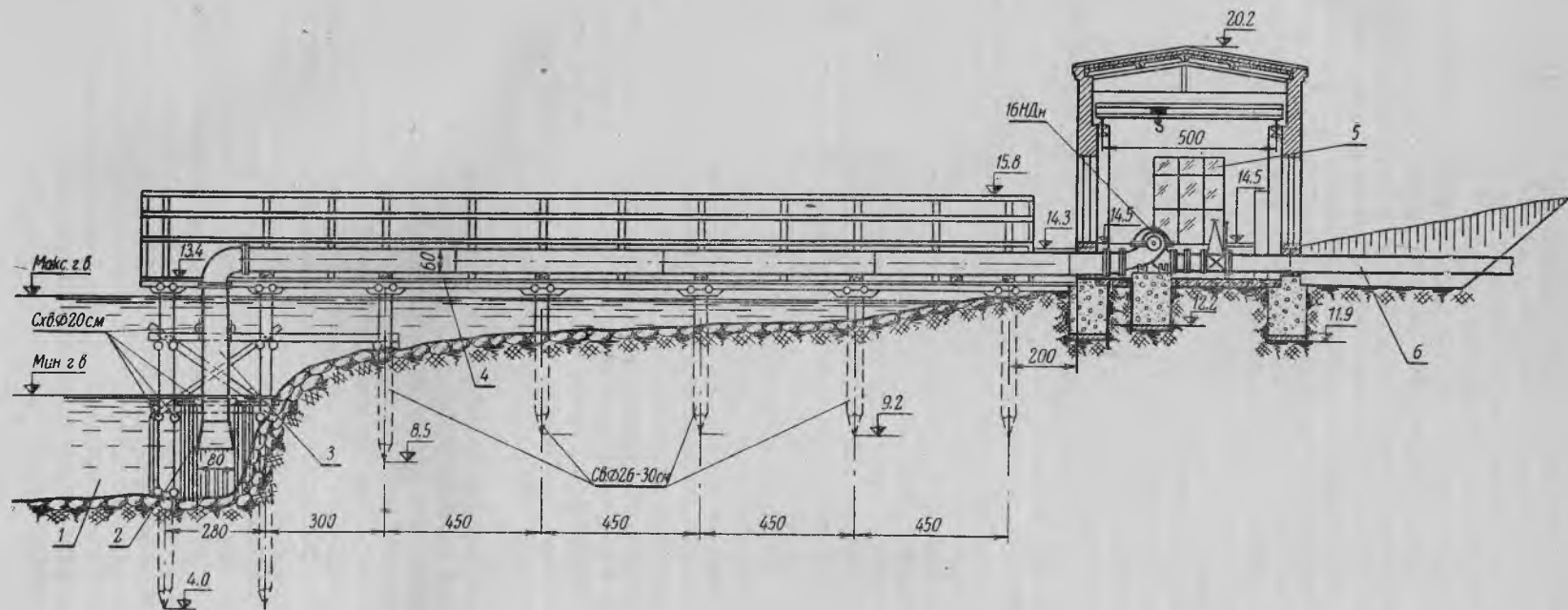


Рис. 1—9. Схема гидротехнического узла машинного водоподъема берегового раздельного типа с упрощенным временным водозаборным сооружением:

1 — река; 2 — сороудерживающая решетка; 3 — всасывающая труба; 4 — служебный и опорный мост всасывающих труб; 5 — здание насосной станции; 6 — напорный трубопровод.

водозаборное сооружение располагают в русле вблизи уреза максимального горизонта воды, а здание насосной станции — у береговой надпойменной террасы. Между водозаборным сооружением и зданием насосной станции укладывают самотечные трубы.

При пологом русле реки, малых глубинах воды рекомендуется применять раздельный русловой тип компоновки (рис. 1—4).

При крутых руслах, малых колебаниях горизонта воды (в пределах допустимой высоты всасывания насоса), малой производительности станции и сезонной работе компоновка значительно упрощается, забор воды осуществляется из водоисточника непосредственно всасывающими трубами (рис. 1—9). Этот тип компоновки применяют для временных насосных станций. При пологом русле и в том случае, когда станция работает круглый год, приходится применять раздельный русловой тип компоновки.

При заборе воды из водохранилища с колебаниями горизонтов воды в пределах допустимой высоты всасывания или со средними колебаниями горизонтов воды до 8 м и сезонной работе рекомендуется применять совмещенный тип компоновки с расположением здания станции в верхем бьефе водохранилища.

При колебаниях горизонтов воды в водохранилище более 10 м и земляной плотине рекомендуется раздельный тип компоновки с расположением здания насосной станции в нижнем бьефе (рис. 1—5).

При больших колебаниях горизонтов воды в водохранилище и гравитационной плотине применяют совмещенный тип компоновки с расположением здания насосной станции в теле плотины, так как это уменьшает длину плотины, а следовательно, снижает стоимость строительства.

При земляной плотине этот тип компоновки не рекомендуется, так как усложняется конструкция здания в месте сопряжения его с плотиной, здание станции становится отдельно стоящим подпорным сооружением, что в условиях слабых грунтов также усложняет конструкцию здания. При сопряжении здания с земляной плотиной трудно обеспечить противобокковую фильтрацию.

В условиях забора воды из каналов при использовании положительной высоты всасывания (рис. 1—7) и в тех случаях, когда необходимо обеспечить устойчивость здания засыпкой грунтом подземной части со всех сторон или уменьшить размеры водозаборного сооружения и аванкамеры, а также при отрицательной высоте всасывания насоса (рис. 1—8) применяют раздельный тип компоновки. Во всех остальных случаях рекомендуется совмещенный тип компоновки схемы гидроузла (рис. 1—6).

Схемы гидротехнического узла машинного водоподъема для осушительных насосных станций подробно рассмотрены в учебнике (глава VI, § 1). Их выбор зависит от условий водозабора из канала или коллектора. Схемы гидроузлов насосных станций для целей водоснабжения и их специфичность также подробно разобраны в учебнике (глава VI, § 2). Классификация их по размещению водозабора такая же, как оросительных насосных станций, расположенных на реках и водохранилищах. Водоснабжение из оросительных каналов при круглогодичной работе их осуществляется чаще всего по схеме берегового раздельного типа, так как колебания горизонтов воды в каналах обычно незначительные — в пределах допустимой высоты всасывания. Если же у насоса допустимая высота всасывания мала, а колебания горизонтов воды в канале значительные (больше всасывающей способности насоса), применяют схему берегового совмещенного типа.

В практике проектирования для выбора схемы компоновки гидротехнического узла машинного водоподъема рассматривают несколько вариантов и на основе технико-экономических сравнений принимают наиболее выгодный.

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Водозаборным устройством называется головная часть гидротехнического узла машинного водоподъема, представляющая собой гидротехническое сооружение, через которое вода поступает из водоисточника в узел сооружений насосной станции.

Назначение водозаборного устройства — обеспечивать забор воды из водоисточника в соответствии с графиком потребления и не допускать попадания в узел сооружений станций наносов (донных и взвешенных), плавающего мусора, льда и шуги.

Кроме этого, оно должно давать возможность полностью или частично отключать узел сооружений станции во время ремонта, очистки или аварии. При устройстве водозабора нужно учитывать комплексное использование водоисточника (судоходство, лесосплав и др.).

В зависимости от назначения насосной станции различают следующие типы водозаборных устройств:

- для оросительной насосной станции;

- для осушительной насосной станции; характерной особенностью этого типа водозаборных устройств является наличие в них самотечного сброса, позволяющего при высоких горизонтах воды в осушительной сети и более низких (в это время) горизонтах воды в водоприемнике осуществлять самотечный сброс воды, минуя насосы;

- для хозяйственно-питьевого или энергетического водоснабжения; отличительная черта этих водозаборных устройств — наличие в них мелких сеток (плоских съемных или механических вращающихся) и устройств для их промывки.

Существуют водозаборные устройства для забора воды из канала, реки и водохранилища или озера.

Могут быть водозаборные устройства, совмещенные с насосной станцией, когда здания водозаборных устройств и насосной станции объединены в одно целое, и водозаборные устройства отдельного типа, когда они расположены отдельно от здания станции и соединены с ним водоподводящим сооружением.

По расположению водозаборные устройства бывают русловые, располагаемые в русле реки или в удалении от берега (в водохранилище), береговые, располагаемые на берегу или врезанные в берег.

Речные береговые сооружения для обеспечения бесперебойной работы при тяжелых условиях работы (большое количество наносов и сильное шугообразование) выполняют в виде ковшей и называются ковшовыми.

При определенных условиях применяют водозаборные устройства инфильтрационного типа.

Водозаборы бывают затопленные, в которых верх водозаборных устройств затоплен и находится всегда ниже уровня воды в водоисточнике, временно затопляемые во время высоких (паводковых) горизонтов воды и незатопляемые.

По конструкции различают стационарные, плавучие и передвижные водозаборные устройства; в зависимости от продолжительности срока службы — постоянные и временные (для водоотлива или водоснабжения при производстве работ и др.); в зависимости от продолжительности периода работы в году — с круглогодичной работой и сезонные.

Водозаборное устройство является очень ответственным элементом узла сооружений насосной станции, особенно при водозаборе из рек. Схему, конструкцию и место расположения отдельных деталей и оборудования водозаборных устройств выбирают, сравнивая технико-экономические показатели для ряда вариантов с учетом естественноисторических условий (гидрология, гидрогеология, топография, климат), использования водоисточника в данное время и перспектив его дальнейшего комплексного использования и изменения режима, назначения и класса сооружения, а также опыта эксплуатации имеющихся в данном районе подобных сооружений. Если нет опытных материалов для строительства ответственного сооружения большой производительности (I и II классы сооружения), в условиях сложного режима водоисточника проводят лабораторные исследования, чтобы выработать основные положения для проектирования.

Совмещение водозаборного устройства с насосной станцией создает ряд эксплуатационных удобств, но не всегда позволяет решить экономично строительную часть сооружений. Например, при русловом и береговом вариантах совмещенное решение при вертикальном оборудовании и монолитном бетоне, особенно при дорогих искусственных основаниях (кессон, опускной колодец и др.), может быть наиболее экономичным.

Для станций на каналах, имеющих подземную часть и выполняемых из сборного железобетона, наиболее экономично раздельное решение, обеспечивающее хорошую устойчивость (благодаря обсыпке грунтом здания станции со всех сторон) при значительном облегчении его и упрощении работы строительных конструкций. Станции незаглубленного типа, как правило, решаются в раздельном варианте. Если при заборе воды из реки, водохранилища или озера трудно расположить водозаборные сооружения на берегу, их устраивают в русле реки или в удалении от берега.

Конструкция и оборудование водозаборного устройства должны обеспечивать нормальный режим и удобство эксплуатации, а также производство ремонтных работ в любое время. Последнее особенно следует учитывать для станций с круглогодичной работой.

Незатопляемые водозаборные устройства выполняют из монолитного или сборного бетона и железобетона.

Для водозаборных устройств применяют гидротехнический бетон следующих марок: для фундамента 150, для монолитных стен 200, для сборных стен 200—300.

Морозостойкость этих марок бетона — Мрз 100, 150, водонепроницаемость — В-4, В-6.

Проектирование бетонных и железобетонных конструкций водозаборных устройств ведется по нормам и техническим условиям СН 55—59.

Расчетные расходы и горизонты воды в водоисточнике принимают в зависимости от назначения и класса сооружения (табл. II—1).

Соотношение размеров водозаборных окон следует принимать по СН 149—60.

Основные нормы и технические условия проектирования водозаборных устройств насосных станций на реках, водохранилищах и каналах, основные их конструкции для этих условий, оборудование и требования к ним изложены в учебнике [69].

ТАБЛИЦА II-1

Наименование сооружений и требуемая степень бесперебойности водоподачи	Класс сооружения	Обеспеченность гидрологических характеристик, %	
		максимальная	минимальная
Водозаборные сооружения особо крупных и ответственных водопроводов, не допускающие временного перерыва или снижения водоподачи	I	0,5	97
Обычные водозаборы капитального типа, допускающие кратковременное снижение водоподачи, для:	II	1	95
а) металлургической, нефтеперерабатывающей, химической промышленности и крупных энергосистем	III	2	90
б) угольной, горнорудной, нефтедобывающей промышленности и др., а также хозяйственно-питьевого водоснабжения	IV	3	80
Облегченные водозаборы, допускающие кратковременные перерывы водоподачи при водоснабжении мелких промышленных предприятий и малых поселков	V	5—10	75
Временные водозаборы			

Примечания. 1. Указанные в таблице значения обеспеченности относятся к среднесуточным минимальным расходам. 2. Для более полного использования водных ресурсов в районах дефицита стока и распространения вечно мерзлых грунтов указанные в таблице значения обеспеченности минимальных расходов могут быть отнесены к их среднемесячным величинам. 3. Класс капитальности мелиоративных насосных станций определяется по таблице 1 СНиП II-И.3-62 (Сооружения мелиоративных систем).

§ 2. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В дополнение к рассмотренным в учебнике [69] основным вопросам по водозаборным сооружениям приводим некоторые особенности их проектирования.

На рисунке II—1 показаны водозаборные бетонные затопляемые оголовки с заглубленными и незаглубленными подводными трубопроводами.

Подводящие трубопроводы заглубляют, чтобы не допустить уменьшения сечения русла и предохранить их и оголовки от подмыва.

При проектировании затопленных водоприемных оголовков следует пользоваться рекомендациями, разработанными институтом ВОДГЕО*. Оголовки с лобовым (верховым) и низовым водозабором применяются редко. Обычно устраивают затопленные оголовки с односторонним и двухсторонним боковым водозабором. Двухстороннее расположение водозаборных окон (рис. II—4) увеличивает фронт водозабора и уменьшает входные скорости воды, но при косом набегании потока на оголовки водозаборные окна противоположной стороны могут быть поставлены в тяжелые условия в отношении подсоса наносов, что следует учитывать.

Оголовки с раструбным соединением с отводящими трубами (рис. II—2) по условиям режима втекания в оголовки и в трубы и переохлаждения воды уступают оголовкам камерного типа (рис. II—4). Форму камеры следует проектировать с учетом того, чтобы в ней не откладывались наносы (донный отвод и др.).

* Рекомендации по проектированию затопленных водоприемных оголовков. ВОДГЕО, М., 1962.

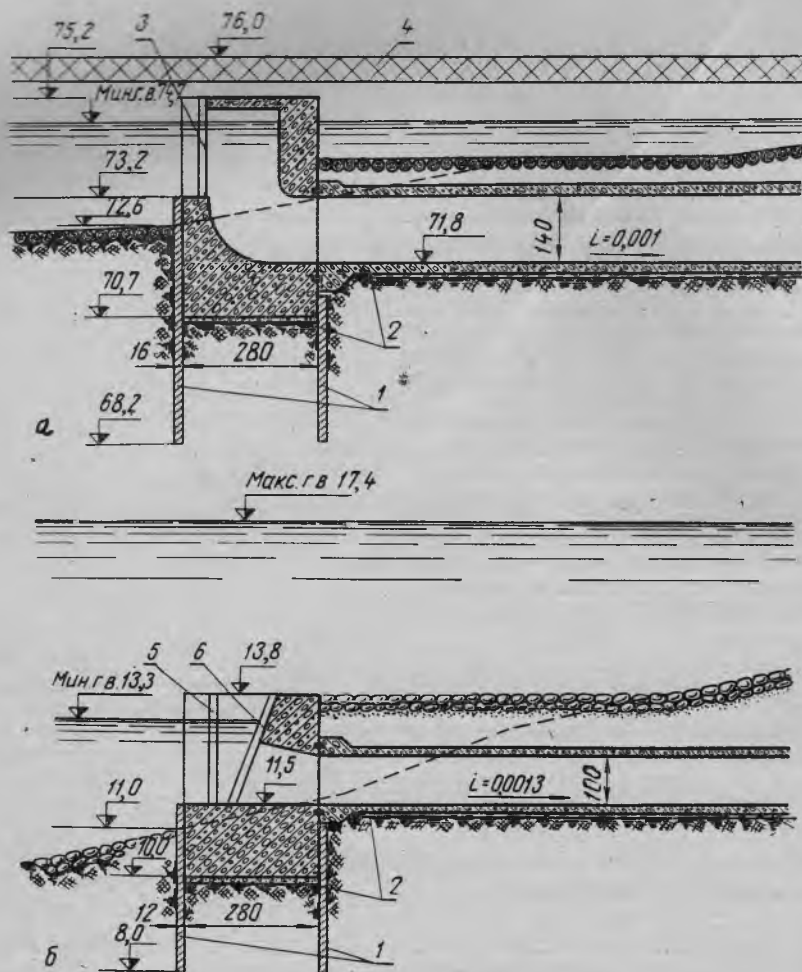


Рис. II—1. Водозаборные оголовки:

а — с заглубленными подводными трубопроводами; б — с незаглубленными подводными трубопроводами; 1 — шпунтовое ограждение; 2 — подготовка из тощего бетона толщиной 10 см; 3 — паз для шандор и решеток; 4 — минимальный горизонт ледостава; 5 — паз для шандор; 6 — паз для решетки.

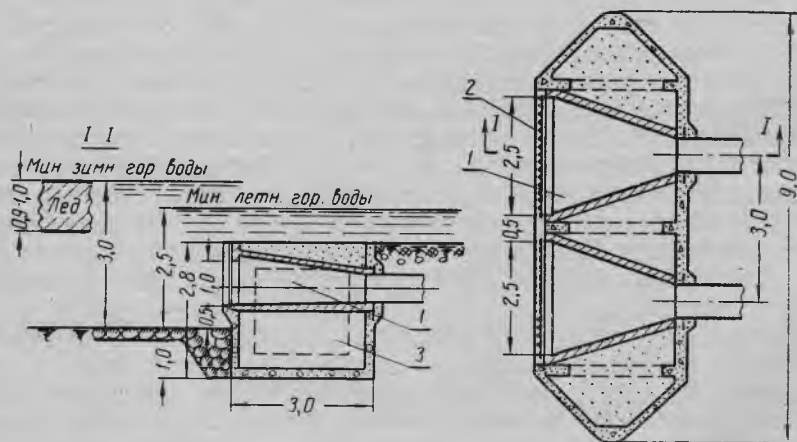


Рис. II—2. Типовой оголовок Водоканалпроекта:

1 — деревянный раструб; 2 — решетка; 3 — железобетонный кожух, заполненный гравием или бетоном.

Ниже приводятся некоторые рекомендации для затопленных оголовков с боковым водозабором.

Режим обтекания затопленного оголовка зависит от формы лобовой грани и наклона ее к горизонту, симметричности натекания потока. Желательно продольную ось водоприемника располагать параллельно направлению течения.

Стержни (полосы) решетки в боковых водозаборных отверстиях следует располагать нормально к направлению течения. При наклонной лобовой грани ($\alpha=45^\circ$) и форме ее в виде скругленного ледореза (треугольник со скругленными углами) создаются хорошие условия обтекания оголовка. При достаточной высоте порога бокового водозабора и ограниченной величине водоотбора последний производится из глубинных слоев потока, и донные массы потока подсасываются только самыми нижними по течению отверстиями, если высота порога у всех отверстий одинакова. Поэтому у нижних отверстий следует высоту порога увеличивать.

Высоту порога водозаборных отверстий для устойчивых русл принимают равной 0,5—1,5 м.

Высоту порога при условии отсутствия подсоса наносов из придонного слоя можно найти по зависимости

$$h_{\pi} = 2 \Sigma b \frac{v_{\pi}}{v_{\pi}},$$

где Σb — суммарная ширина всех водозаборных отверстий, расположенных вверх по течению, включая отверстие, для которого определяется высота порога;

v_{π} — поверхностная скорость течения воды в паводок в месте водозабора;

v_{π} — условная средняя входная скорость в водоприемные отверстия, которая принимается в зависимости от меженной скорости v_a в водисточнике и ее отношения к критериальным скоростям $v_{кр}$ (табл. II—2).

ТАБЛИЦА II—2

Конструкция водоприемника	Режим водисточника		
	$v_a < v_{кр} = 0,5 \text{ м/сек}$	$v_a < v_{кр} \approx 0,7 \div 0,8 \text{ м/сек}$	$v_a > v_{кр}$
Без электрообогрева решетки	$v_{\pi} > 0,17 v_a$	$v_{\pi} \leq 0,17 v_a$	$v_{\pi} \leq 0,11 v_a$
С электрообогревом решетки	$v_{\pi} \sim v_a$	$v_{\pi} > 0,17 v_a$	$v_{\pi} \leq 0,17 v_a$

Площадь брутто водозаборных отверстий при этих условиях можно определить по забираемому расходу из реки Q_{π} по зависимости $F_{бр} = \frac{Q_{\pi}}{v_{\pi}}$.

В тяжелых условиях (размываемое русло и грядовой рельеф дна, сильные шуговые явления и др.) водозабор следует проектировать, имея тщательно изученные материалы места водозабора, проводя в необходимых случаях лабораторные исследования.

Речные потоки в зависимости от уклона и крупности отложений в русле делятся на приустьевые ($I \leq 0,00003$, мелкие пески); равнинные ($I \leq 0,0003$, крупные и средние пески); предгорные ($I \leq 0,003$, гравийно-галечные отложения); горные ($I \leq 0,03$, валунно-галечные отложения); высокогорные ($I > 0,03$, скальные породы, каменные завалы).

В каждой группе русла в зависимости от соотношения крупности отложений в них и уклона могут быть устойчивые ($P_{\pi} > 1,0$), равновесные ($P_{\pi} = 1 \div 0,8$) и неустойчивые ($P_{\pi} < 0,8$).

Безразмерный параметр устойчивости $\Pi_y = \frac{\sigma}{u_*}$ — это отношение средней гидравлической крупности отложений русла к динамической скорости $u_* = \sqrt{gHI}$. Параметр устойчивости можно определять по формуле

$$\Pi_y = \frac{1,38}{\varphi \sqrt{H}} \sqrt{\frac{d}{I}},$$

где H — глубина потока, м;

d — средняя крупность отложений, м;

I — уклон потока;

φ — параметр турбулентности, который можно получить по данным В. Н. Гончарова:

$$d \cdot 10^3 \text{ м} = 1,5 \ 1,3 \ 1,2 \ 1,0 \ 0,8 \ 0,6 \ 0,4 \ 0,2 \ 0,1;$$

$$\varphi = 1,0 \ 1,04 \ 1,18 \ 1,29 \ 1,48 \ 1,76 \ 2,27 \ 3,95 \ 9,75.$$

Второй параметр неразмываемости русла $\Pi = \frac{v}{v_0}$ (v — скорость течения при максимальных расходах, v_0 — неразмывающая скорость) определяет характер дна русла при движении потока:

при $1,0 < \Pi < 1,1$ — движение по гладкому дну;

при $1,1 < \Pi < 2,4$ — движение по грядовому дну.

Высота гряд может достигать $h_r = \frac{\sqrt{\Pi - 1,1}}{0,1C - 1,25} H$,

где C — коэффициент Шези.

Неразмывающую скорость можно определить по формуле Б. И. Студеничкина:

$$v_0 = 1,15 \sqrt{gd} \left(\frac{H}{d} \right)^{0,25} = \frac{q_0}{H},$$

где H и d — то же, что и выше;

$$g = 9,81 \text{ м/сек}^2.$$

Ширина равновесного русла определяется по формуле $B_p = \frac{Q}{q_0}$, а ширина устойчивого русла — по формуле С. Т. Алтунина $B_y = \rho \frac{Q^{0,5}}{I^{0,2}}$.

В этих зависимостях: Q — руслоформирующий расход; ρ — коэффициент устойчивости ширины русла; для горных рек $\rho = 0,75$; для предгорий $\rho = 0,90$; для равнинных рек $\rho = 1,0$; для низовий $\rho = 1,1 \div 1,5$.

При проектировании водозаборных устройств необходимо знать устойчивость выбранного места водозабора и прилегающих к нему участков русла (параметры устойчивости и неразмываемости), шуго-ледовые условия, удаленность от объекта водоснабжения и др., чтобы при выборе варианта правильно определить капитальные и эксплуатационные затраты и надежность в эксплуатации.

Место водозабора должно иметь ровное русло без резких изменений очертания на значительном расстоянии выше и ниже по течению. Предпочтение следует отдавать участкам рек с умеренной кривизной ($R \geq 4B$) и достаточными глубинами у берегов или близко от них.

В глубоководных реках или плесах при возможности расположения водозаборных отверстий на значительных глубинах (5 м и более) можно в русле устраивать затопленный водоприемник простой конструкции в виде раструба с грубой решеткой на входной части отверстия.

При малых глубинах потока H в месте водозабора должна быть не менее $(1,3 \div 1,5) + h_0$ м, где h_0 — высота водозаборного отверстия.

В месте водозабора при достаточно устойчивом русле возможно устройство местного углубления с помощью косых донных порогов (метод поперечной циркуляции) и др.

При неблагоприятных условиях в месте водозабора можно применить выправительные мероприятия с учетом имеющихся руслообразующих процессов, шуготранзита и отложений под покровом льда шуги.

Подмыв оголовка рекомендуется предупреждать устройством в основании его каменно-щебенистой постели и креплением дна реки у его контура. Крупность камня крепления можно определить по формуле

$$d \geq (2 \div 4) \frac{v^4}{166H}$$

В тяжелых условиях (неустойчивые русла, большие перемещения наносов, тяжелые процессы шугообразования) для уменьшения захвата наносов при увеличении высоты порога рекомендуются односекционные оголовки — самостоятельные для каждой подводящей трубы. Иногда в этих условиях целесообразно устройство односекционных нестационарных оголовков, приспособленных к переносу на новое место с удлинением подводящих труб. Старый оголовок можно консервировать, а к удлиненным трубам устраиваются новые оголовки. Для сезонной работы и временных водозаборов можно применять плавучий водозабор.

На рисунках II—2, II—3, II—4 представлены типовые оголовки различной конструкции, рекомендуемые к применению.

Оголовки могут быть ряжевыми, бетонными, монолитными или сборными железобетонными. Их изготовляют в виде ящиков из металла или железобетона, на плаву доставляют к месту установки, опускают и загружают бетоном или камнем.

При больших расходах ($Q_v > 5 \div 10 \text{ м}^3/\text{сек}$ и более) и тяжелых условиях водозабора (наносы, шуга и др.) оголовки следует располагать в ковшах. На рисунке II—5 представлены схемы водозаборных устройств ковшевого типа. Бывают ковши полностью заглубленные в берег, когда передняя линия ограждения ковша делается заподлицо с берегом, и ковшовые водоприемники, показанные на рисунке II—5. Тот или иной тип ковшевого устройства принимается в зависимости от конкретных усло-

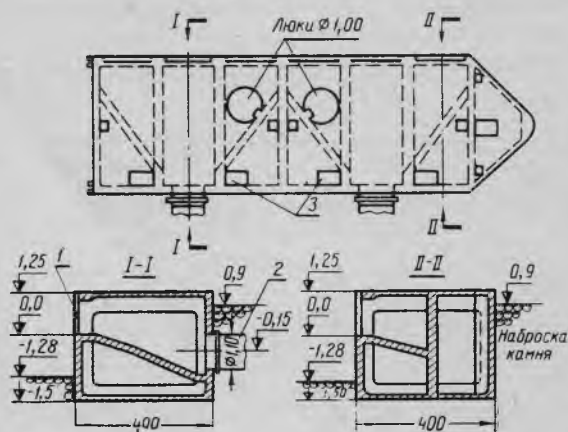


Рис. II—3. Типовой оголовок Теплоэлектропроект:

1 — отверстия для приема воды; 2 — подводящие трубы; 3 — отверстия загрузки балласта.

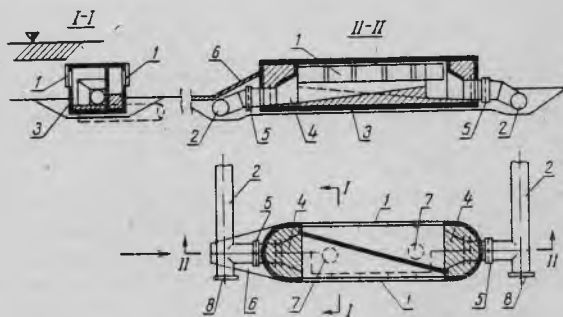


Рис. II—4. Водоприемный оголовок ВОДГЕО:

1 — отверстия с грубыми решетками; 2 — подводящие трубы; 3 — железобетонный корпус (баржа); 4 — приемный раструб; 5 — соединительная муфта; 6 — крепление железобетонными плитами; 7 — смотровой люк; 8 — заглушка.

вий (размеры ковша, стеснение русла, высота берега, наносы, шуга и др.). При большом количестве наносов устраивают ковши с верховым питанием, при малом количестве наносов и большом шугоходе — ковши с нижним питанием. При определенных условиях ковши устраивают с двухсторонним питанием.

На рисунке II—6 показан общий вид сороудерживающей решетки для больших донных отверстий размером $2,1 \times 9$ м. Решетка двухсекционная, с козырьком и фартуком. Просвет между полосами 60 мм, расчетное подъемное усилие 3 т, вес около 2,1 т. Решетка рассчитана на

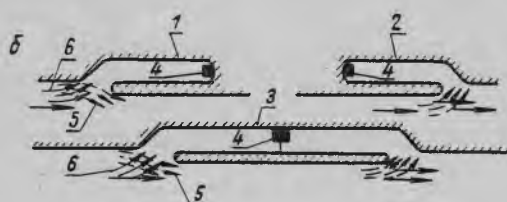


Рис. II—5. Схемы водозаборных устройств ковшового типа:

а — с ковшами, выдвинутыми в реку; б — с ковшами полузаглубленными в берег; 1 — ковш верхнего питания; 2 — ковш низового питания; 3 — ковш двухстороннего питания; 4 — водозаборное сооружение; 5 — донные токи; 6 — поверхностные токи.

с железобетонным понтоном, имеющая осадку в рабочем состоянии до 2,2 м, что обеспечивает затопление верха водозаборного окна на 0,8 м. Для обеспечения такого затопления уменьшена высота входного сечения путем устройства двух отверстий и установки подводящей трубы насоса в виде тройника.

На входе в водозаборные окна с наружной стороны борта устроены пазы, в которые вставляют сороудерживающие решетки. В случае ремонта вместо решеток вставляют затворы. Окна прямоугольные, сечением $0,9 \times 1,1$ м, входная скорость с учетом стеснения решеткой до 1,4 м/сек.

При пуске насосов вследствие наполнения водой балластных камер увеличивается осадка станции.

На рисунках II—8 и V—34 приведен днищевый тип водозаборного устройства, которое имеет в днище окно с решеткой, перекрытое герметической металлической коробкой призматической формы. К этой коробке присоединяется всасывающая труба насоса. Сверху коробки имеется герметически закрываемый смотровой люк, верх которого рекомендуется располагать на 0,25 м выше горизонта воды в водоисточнике при максимальной осадке понтона. Ширина коробки должна допускать свободное подключение всасывающей трубы насоса и увеличение ее диаметра до входа в коробку или внутри коробки, чтобы понизить входную скорость и обеспечить плавный вход для уменьшения гидравлических сопротивлений. Входные скорости (с учетом стеснения решеткой) в водозаборные окна не следует принимать более 1—1,2 м/сек.

давление 2 м вод. ст. Она легко переоборудуется в две высоты в два раза меньшей.

Совершенно отличную конструкцию имеют плавучие водозаборные устройства, совмещенные с плавучими насосными станциями.

Основные преимущества и недостатки совмещенных плавучих водозаборных устройств изложены в учебнике.

Водозаборные окна, как показано на рисунках II—7, II—8, могут располагаться либо в борту, либо в днище понтона. Расположение окон в борту возможно только при значительной осадке понтона, как показано на рисунке II—7, где приведена большая насосная станция

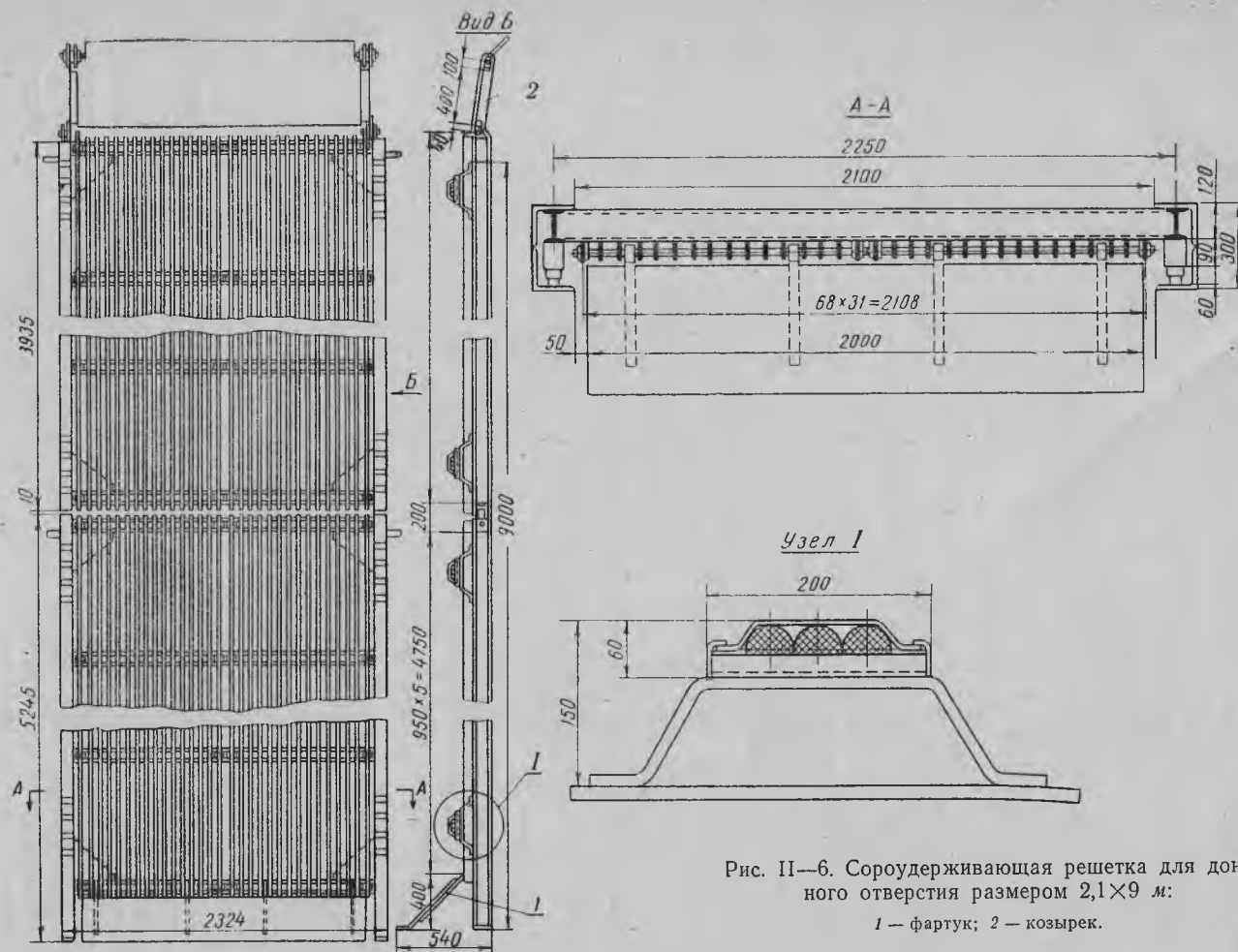


Рис. II—6. Сороудерживающая решетка для донного отверстия размером 2,1×9 м:

1 — фартук; 2 — козырек.

Решетку можно очищать обратным током воды и через смотровой люк. Расстояние от входного отверстия всасывающей трубы до противоположной стенки коробки следует принимать в пределах $(0,8-1)D_{вх}$. Ось патрубка в плане должна совпадать с осью коробки. Ширину коробки в плане принимают равной $2D_{вх}$. Большого превышения верха коробки над входным отверстием всасывающей трубы допускать не рекомендуется. Люк лучше делать смещенным от оси всасывающей трубы.

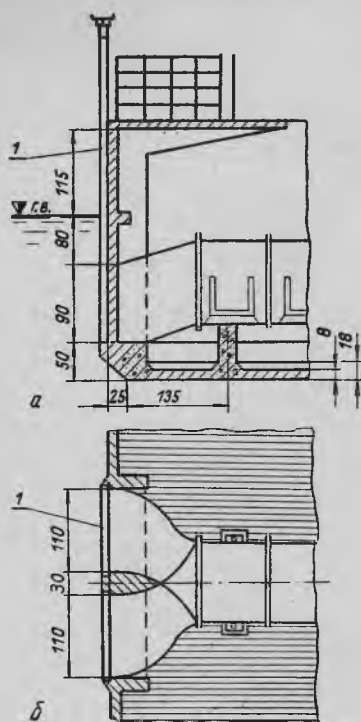


Рис. II-7. Бортное водозаборное устройство:

а — разрез; б — план; 1 — паз для решетки и затвора.

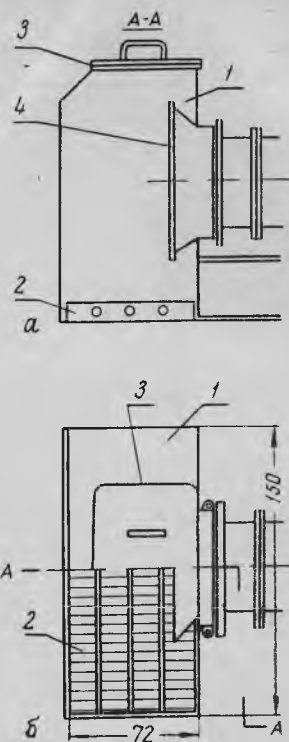


Рис. II-8. Днищевое водозаборное устройство:

а — разрез; б — план; 1 — коробка; 2 — решетка; 3 — смотровой люк; 4 — всасывающий патрубок насоса.

В понтонах с двойной бортовой обшивкой коробки устраивают между обшивками.

При размещении водозаборного окна в борту обеспечивается более плавный подвод воды к насосу, забирается более осветленная вода и, кроме этого, удобно перекрывать входное отверстие решеткой и затворами. Но такое расположение не всегда возможно по условиям осадки понтона, а при крене и дифференте его (из-за волн) есть реальная опасность обнажения водозаборного окна. Недостатки днищевого водозаборного устройства: забор более засоренной наносами воды, усугубляющийся на реках с малой глубиной и большим количеством донных и придонных наносов, меньшая доступность осмотра.

На рисунке II-9 приведено водозаборное сооружение, устроенное в голове подводящего канала.

Запас в высоте расположения берм подводящего канала над максимальным уровнем воды принимается:

а) в несаморегулирующемся канале (бермы параллельны дну канала) согласно техническим указаниям (см. главу III). Если тупиковый или транзитный канал не имеет аварийного сброса, следует учитывать повышение уровня в нем за счет установления горизонтального уровня

оставшейся в нем воды при выключении насосов. Одновременно с выключением насосов перекрывается водозаборное сооружение в голове канала, и дальнейший приток воды в канал не допускается;

б) в саморегулирующемся канале (бермы горизонтальны), кроме запаса по техническим указаниям сверх статического уровня, учитывают образование волн при выключении насосов.

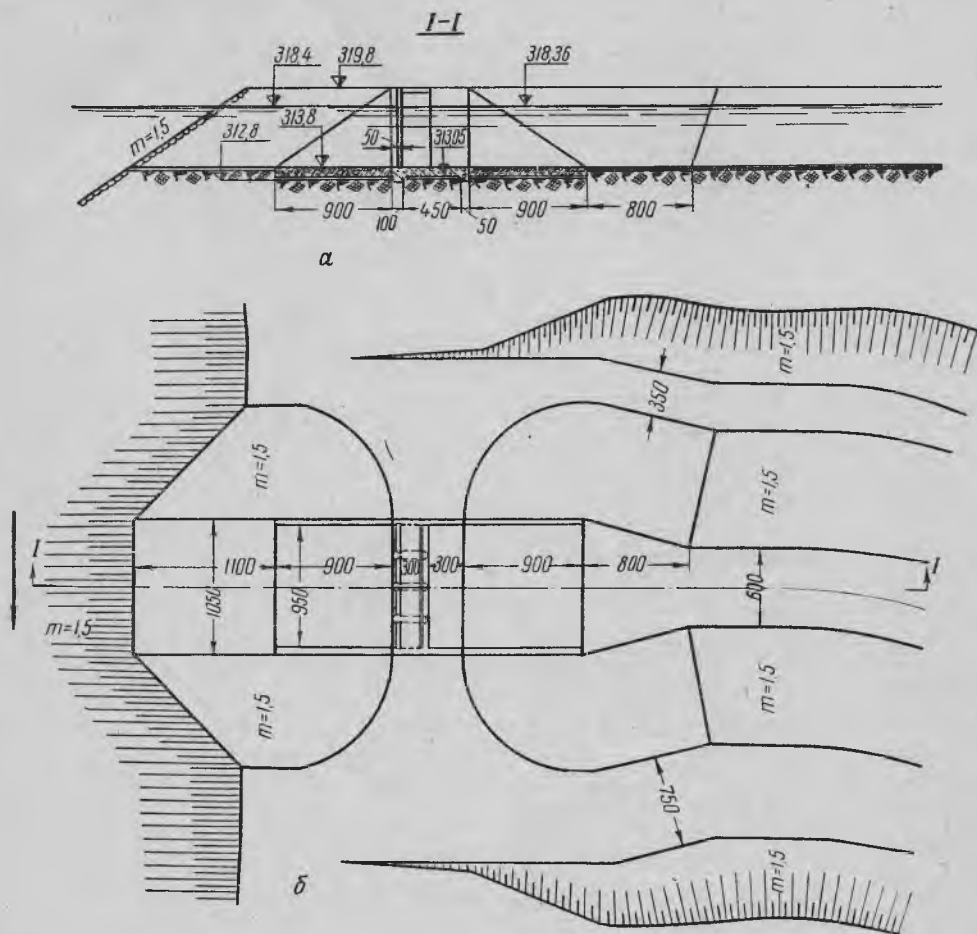


Рис. II—9. Водозаборное сооружение в голове подводящего канала:

а — разрез; б — план.

Верх водозаборных устройств располагают на 0,1 м выше отметки планировки и берм.

При расположении каналов в глубокой выемке сухие откосы нельзя делать непрерывными. Через каждые 5 м по их высоте устраивают промежуточные бермы. Мокрые откосы выполняют непрерывными.

На рисунке II—10 приведено решение водозаборного устройства, предложенное для оросительной насосной станции, подающей воду на две зоны (двухзональная). Для каждой зоны установлено четыре насоса. Такая компоновка обеспечила компактное сопряжение с подводящим каналом и подвод воды к восьми насосам.

Ширину камер водозаборных сооружений для вертикальных всасывающих труб насосов в станциях незаглубленного типа (раздельная компоновка) можно принимать $(1,1 \div 1,2) D_{вх}$, где $D_{вх}$ — входной диаметр всасывающей трубы. Это позволяет значительно сократить фронт

водозабора, уменьшить длину аванкамер и снизить их роль в качестве отстойников, что очень важно (см. гл. III). Исследования водозаборных камер шириной $D_{вх}$ * дали хорошие результаты. Рекомендуемая несколько большая ширина $(1,1 \div 1,2)D_{вх}$ принимается конструктивно из условия размещения в камере конструкций, поддерживающих трубу. Расстояние входного отверстия всасывающей трубы от дна камеры

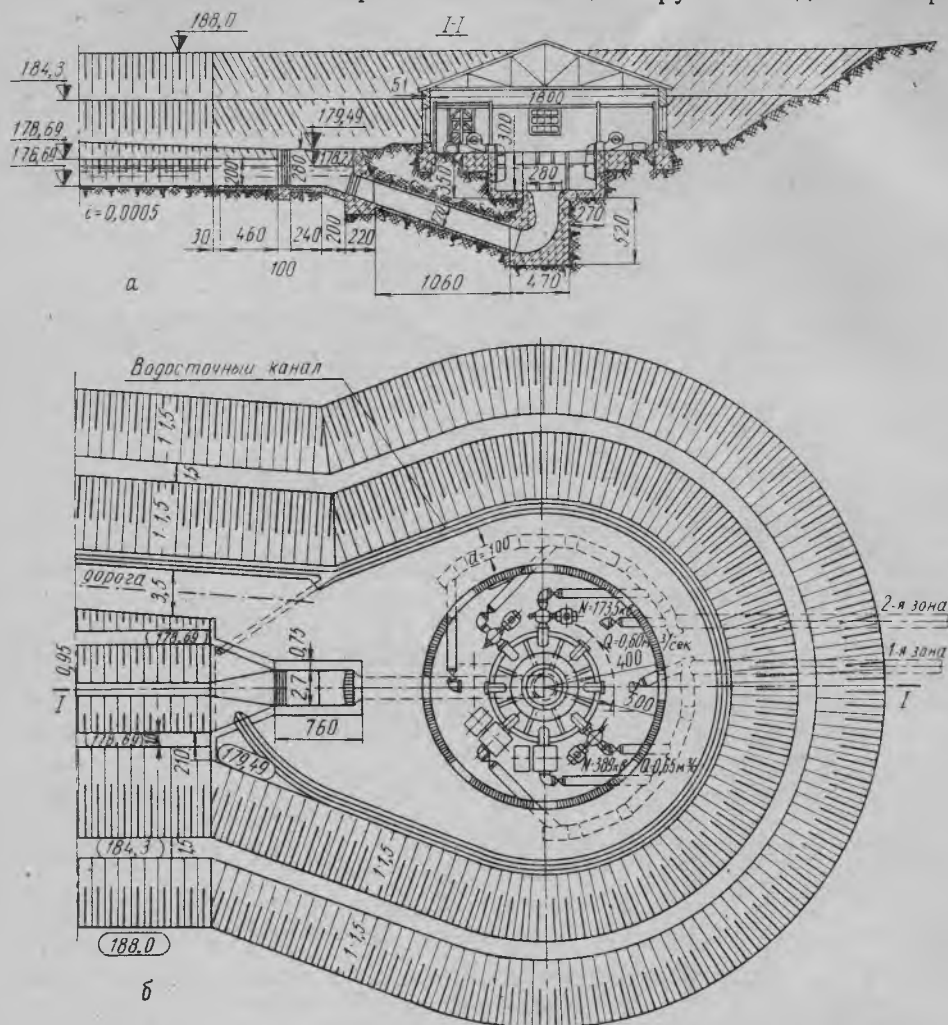


Рис. II—10. Водозаборное устройство двухзональной станции:

а — разрез; б — план.

в этом случае следует принимать равным $D_{вх}$. Погружение входного отверстия всасывающей трубы под минимальный уровень воды при работе одного насоса должно быть не менее $(0,5 \div 0,6)D_{вх}$. Скорость входа во всасывающую трубу следует принимать $0,8 \div 1,2$ м/сек и как исключение несколько больше.

Величину скорости в решетке (без учета стеснения) принимать в пределах $0,5 \div 0,7$ м/сек, но немногим более минимальной скорости в канале. Все входные кромки водозаборных отверстий сооружений (бетонных и железобетонных) следует делать скругленными. Объем во-

* Исследования выполнены под руководством автора инж. Н. Н. Накладовым в лаборатории кафедры «Насосы и насосные станции» МГМИ в 1968—1969 гг.

дозаборной камеры для каждой всасывающей трубы не должен быть более 10—15 секундных расходов насоса. Аналогичные размеры можно принимать и для горизонтальных подводящих труб (см. раздел «Аванкамеры» в гл. III).

Грубые сороудерживающие решетки располагают в специальных пазах водозаборных сооружений, иногда их выносят, при водозаборе из канала, в аванкамеру, то есть устанавливают отдельно и впереди водозабора. Но это вызывает дополнительные затраты.

В обычных условиях решетку следует устанавливать на водозаборном сооружении. При установке решетки отдельно в пространство между решеткой и фронтом водозабора может попасть скот, могут быть затянuty в насосы и различные предметы. В этом случае следует предусматривать ограждения аванкамер.

В некоторых случаях при большом количестве плывущего в определенное время сезона мусора (камышы, водоросли и др.) выносная установка решетки может быть оправдана, так как создает большее удобство для очистки решеток и уборки мусора.

В 1968 г. наблюдалась работа такой выносной решетки на подводящем канале. Решетка была сильно забита камышом, и перепад уровней воды у решетки достигал 0,4—0,5 м. Скорости течения воды были большие (значительно более 1 м/сек), решеткоочистная машина не справлялась с работой, ее ковш скользил по мусору, плотно забившему решетку, очистка проводилась вручную и малоуспешно.

В таких случаях длина фронта решетки должны быть больше, чтобы не было больших скоростей течения воды, а решеткоочистная машина более мощной, с более тяжелым ковшом.

В этих условиях решетки нужно систематически очищать, не допуская малейшей ее забивки.

Летом 1968 г. на насосной станции Нижне-Донской оросительной системы наблюдались следующие явления на выносной решетке, установленной на подводящем канале (в аванкамере), в нескольких метрах от фронта водозабора. Аванкамера имеет сильное расширение у фронта водозабора ($\frac{B_{ф.в}}{b_k} \sim 6$), и, несмотря на чистую воду в канале, были отложения наносов (крупностью $< 0,01$) слоем до 0,7 м на участке от канала до выносной решетки. Далее дно аванкамеры до фронта водозабора и водозаборные камеры почти не имеют отложений наносов. За решеткой наблюдается несколько лучшее распределение скоростей потока.

Аванкамеры насосных станций № 1 и 3 Ак-Газинской оросительной системы сильно заносились наносами.

§ 3. ПРИМЕРЫ РЫБОЗАГРАДИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

На насосных станциях рыбозаградительные устройства применяют для того, чтобы не допустить травмирования и гибели рыб у различных конструкций, и особенно в гидромеханическом оборудовании. Рыбозаградительные устройства следует проектировать в соответствии с СН 349—66 (Указания по проектированию рыбопропускных и рыбозащитных сооружений) с учетом «Временного положения по проектированию рыбозащитных устройств водозаборных сооружений» (ГОСНИОРХ, Ленинград, 1967) и соответствующих разделов СНиП по строительному проектированию. Основные требования, предъявляемые к рыбозаградителям:

в створе их должно задерживаться не менее 90% ценных промысловых рыб заданного размера;

не должны препятствовать дальнейшему размножению рыб;

не должны травмировать рыб и влиять на их способность ориентации при движении.

Тип, место расположения рыбозаградителя и его рыбохозяйственную необходимость устанавливают на основании технико-экономических расчетов с учетом гидрологических и ихтиологических условий компоновки и конструкции узла сооружений насосной станции и согласования с органами рыбоохраны.

Рыбозащитные сооружения — составная часть водозаборных сооружений, поэтому изыскания, исследования, проектирование и их строительство должны производиться одновременно.

По гидробиологическим условиям водисточников водозаборные сооружения подразделяются на две группы:

- 1) на водотоках — реках и транзитных каналах;
- 2) на водоемах — водохранилищах, озерах и тупиковых каналах.

С ихтиологической точки зрения в первой группе водозаборных сооружений облегчается «снос» потоком задержанной рыбы, а часто и промытого мусора. Во второй группе водозаборных сооружений, кроме рыбозаградителей, часто возникает необходимость устройства рыбоотводов.

В зависимости от места расположения водозаборные сооружения также подразделяются на несколько типов:

первый — сооружения, находящиеся далеко от берега;

второй — сооружения, находящиеся вблизи берега, к которым возможен постоянный доступ по эстакадам или плавучим средствам;

третий — сооружения, расположенные в береге или теле плотины;

четвертый — сооружения, которые забирают воду из ковшей или тупиковых каналов.

Рыбозащитные устройства по роду действия подразделяют на механические — плоские сетки, плоские сетки с рыбоотводами, сетчатые барабаны и различного рода фильтры; гидравлические, создающие направление движения рыб, запаны, отбойные козырьки; физиологические, создающие завесы в воде в виде электрических, световых, звуковых и из воздушных пузырьков (пневматика) полей.

Наиболее эффективными считают рыбозаграждения первого типа, а рыбозаграждения второго и третьего типов применяют, когда в результате проработки установлена нецелесообразность применения первого типа.

Рекомендуемые размеры ячеек сеток:

1×1 мм — для защиты молоди рыб всех размеров;

2×2 мм — для защиты молоди рыб длиной 15 мм и более;

4×4 мм — для защиты молоди рыб длиной 30 мм и более.

Скорости течения воды через сетку в среднем принимают: не более 0,2 м/сек при защите молоди рыб всех размеров; не более 0,3 м/сек при защите молоди рыб длиной 15 мм и более.

Скорость в водотоке в месте расположения рыбозаградителя должна быть не менее 0,4 м/сек.

Если скорость водотока в месте расположения затопленного оголовка в 3—4 раза и более превышает входные скорости в его отверстиях, то допускается их эксплуатация без рыбозащитных устройств. Перед рыбозаградителями при необходимости устанавливают грубые решетки с просветом 50 мм.

Сетки можно промывать на месте установки или вынимать для промывки. На месте промывка производится с помощью флейт (см. рис. 254 в учебнике [69]), вынимаемые сетки можно промывать обычным брандспойтом. Флейты не следует располагать далее 0,25 м от промываемого сетчатого полотна. Давление промывной воды в зависимости от характера мусора от 1,5 до 3 ат.

На рисунке II—11 приводится схема (по типовому проекту) самоочищающегося рыбозаградителя на затопленном водозаборном оголовке с вращающейся флейтой для промывки сетки.

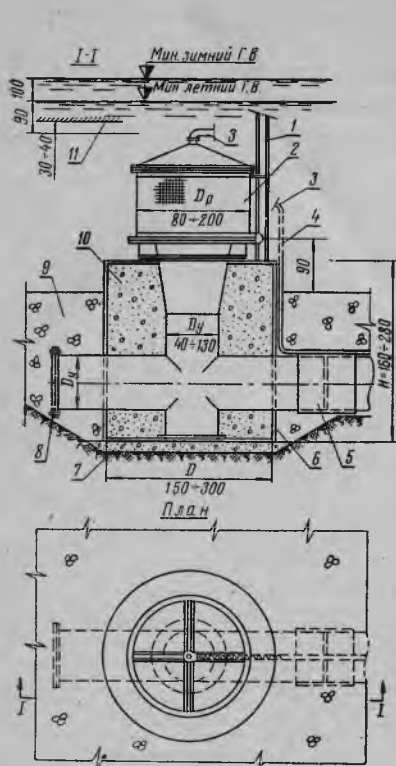


Рис. II-11. Схема самоочищающегося рыбозаградителя на расход от 0,15 до 1,8 м³/сек на затопленном оголовке при водозаборе из рек и водохранилищ:

1 — монорьель; 2 — самоочищающийся рыбозаградитель; 3 — гибкая часть промывной трубы рыбозаградителя; 4 — стационарная часть промывной трубы; 5 — подвижная муфта; 6 — металлический стакан; 7 — выравнивающий слой (щебень или крупный гравий $\delta=10$ см); 8 — фланцевая заглушка; 9 — заполнение крупным камнем; 10 — заполнение бетоном (М-150); 11 — низ льда.

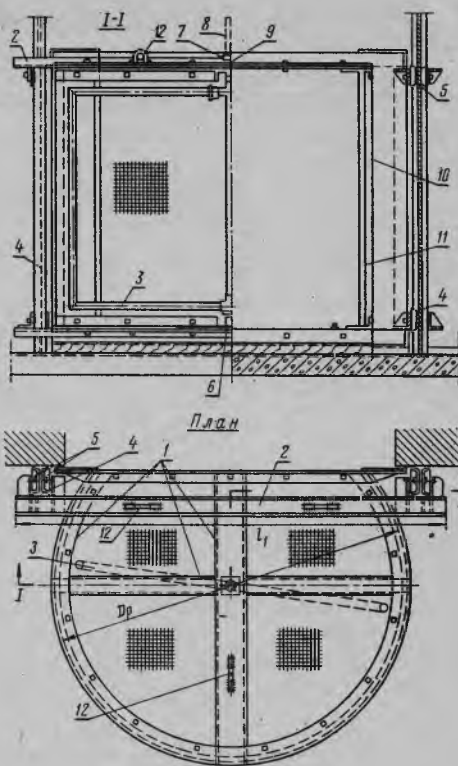


Рис. II-12. Схема самоочищающегося сетчатого рыбозаградителя на железобетонных и ряжевых оголовках для расходов от 0,15 до 3,6 м³/сек при водозаборе из рек и водохранилищ:

1 — каркас; 2 — ригель, крепящий рыбозаградитель к направляющим роликам 5; 3 — флейта; 4 — направляющая ходового устройства; 5 — ролики для передвижения рыбозаградителя по вертикали; 6 — пята с шарикоподшипником; 7 — головка для подключения напорной трубы промывной воды; 8 — напорная трубка промывной воды; 9 — опорная втулка; 10 — латунная сетка; 11 — ребра жесткости; 12 — подъемные петли.

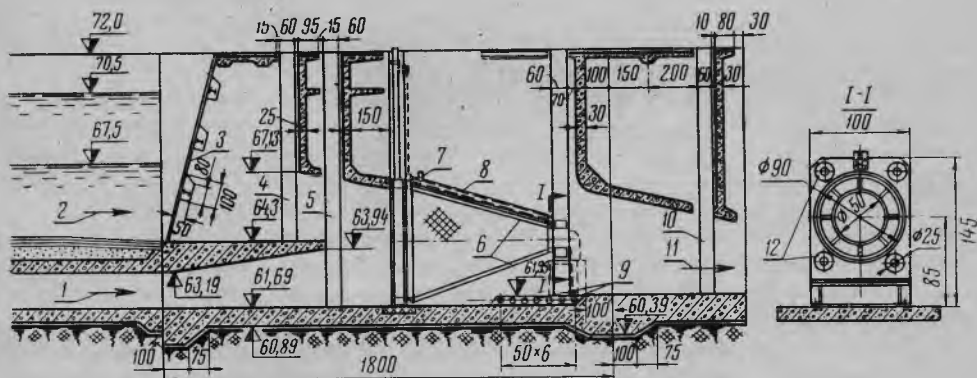


Рис. II-13. Схема конусного сетчатого вращающегося рыбозаградителя:

1 — приток сбросной воды; 2 — подводящий канал; 3 — грубая решетка; 4 и 5 — пазы ремонтного затвора; 6 — конусный сетчатый рыбозаградитель; 7 — подвод промывной воды; 8 — флейта; 9 — рыбомусороотводные трубы $\varnothing=0,25$ м (7 штук по числу насосов); 10 — паз эксплуатационного затвора; 11 — движение воды к насосу; 12 — опорные ролики, обеспечивающие возможность вращения барабана рыбозаградителя.

Оголовок необходимо защитить кустами свай, которые на рисунке не показаны.

На рисунке II—12 приводится схема сетчатого самоочищающегося рыбозаградителя (по типовому проекту) для железобетонных и ряжевых водозаборных оголовков при водозаборе из рек и водохранилищ. Рыбозаградитель может быть извлечен с места установки и поднят вверх по направляющим.

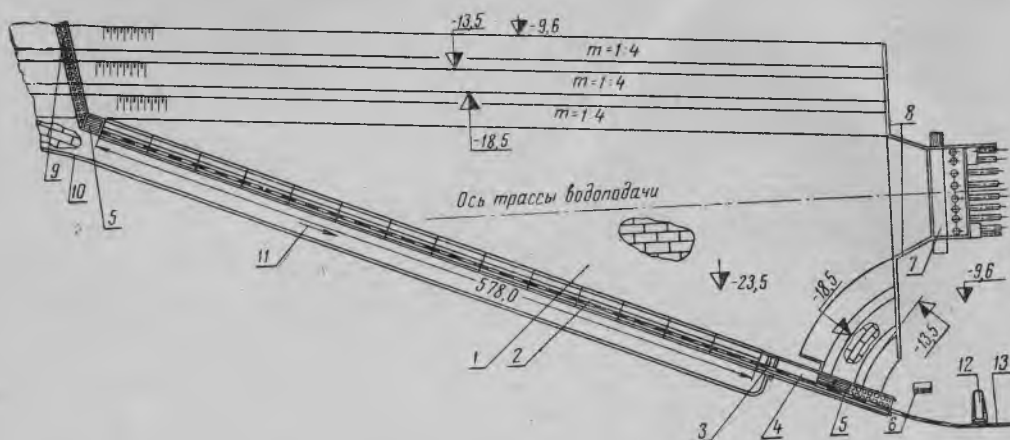


Рис. II—14. Схема сетчатого рыбозаградителя эстакадного типа на подводящем канале крупной оросительной насосной станции:

1 — аванкамера; 2 — сетчатый рыбозаградитель на эстакаде; 3 — эжектирующее (гидроэлеваторное) устройство для транспорта рыбы; 4 — насосная станция промывных устройств рыбозаградителя; 5 — камеры хранения решеток и сеток рыбозаградителя; 6 — компрессорная; 7 — насосная станция; 8 — подпорные стенки; 9 — береговые стенки рыбозаградителя; 10 — трубопроводы (2 штуки $\varnothing$ 1000 мм) для транспорта рыбы; 11 — направление подводящего канала; 12 — перегрузка мусора с железнодорожных платформ на автотранспорт; 13 — железнодорожный путь нормальной колеи (1524 мм).

На рисунке II—13 представлена схема конусного сетчатого вращающегося рыбозаградителя: длина 6 м; диаметры отверстий: входного 4,5 м, выходного 0,5 м. Расход воды через рыбозаградитель от 5 до 9 м³/сек при скорости воды через сетку от 0,29 до 0,4 м/сек. Расход промывочной воды 1 ÷ 2% от расхода воды, пропускаемой через конус, при давлении 1,5—2,5 ат, что зависит от характера и количества мусора. Флейту следует располагать не далее чем 0,2—0,25 м от сетки. Привод конического барабана во вращение механический.

Рыба и мусор с помощью кольцевого гидроэлеватора по рыбомусоороотводу направляются в отстойник, где мусор осаждается и удаляется, а рыба направляется в отведенное место.

На рисунке II—14 приводится сетчатый эстакадный рыбозаградитель крупной оросительной насосной станции ($Q_{н.ст} = 300$ м³/сек) (Южгипроводхоз). Компрессорная станция предусмотрена для обеспечения сжатым воздухом всплывания промытого мусора и рыбы, движущихся вдоль рыбозаградителя к рыбоотводу.

§ 1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Сооружения, подводящие воду к насосной станции, сопрягают насосную станцию с водоемисточником и могут быть открытого типа в виде каналов или закрытого типа в виде трубопроводов. Их устраивают тогда, когда по технико-экономическим расчетам или другим важным соображениям целесообразно насосную станцию расположить в удалении от берега водоемисточника.

Закрытый подвод воды к станции (трубопроводами) обычно устраивают при водозаборе из рек с большим колебанием уровней воды, имеющих достаточно широкую пойму, затапливаемую при паводках и сложенную из плохих в строительном отношении грунтов. Устройство открытого подвода воды в этих условиях осложняет и удорожает эксплуатацию, так как каналы имеют большое сечение (из-за пологих откосов), откосы их при резких спадах горизонтов воды могут оплывать, а мероприятия по обеспечению их устойчивости дороги. Кроме того, при паводках и затоплении поймы каналы могут быть сильно занесены наносами.

В водоемисточнике (в голове подводящих трубопроводов) устраивают водозаборное сооружение постоянно или временно затапливаемого или незатапливаемого типа. Открытые подводящие каналы обычно применяют при водозаборе воды из каналов или водохранилищ. Обычно в таких случаях канал стремятся выполнить саморегулирующимся и никаких головных сооружений (если это не вызывается какими-либо важными обстоятельствами) не делают. Устройство водозаборного сооружения в голове канала в этом случае может быть вызвано следующими соображениями:

а) большая длина несаморегулирующегося канала (бермы параллельны дну канала), отсутствует аварийный сброс и при аварии на станции возможно ее затопление. Работа головного сооружения должна быть автоматизирована и синхронизирована с работой насосной станции. Отметку берм такого канала у станции выбирают с учетом образования горизонтальной поверхности оставшегося объема воды в канале;

б) опорожнение канала для ремонта его;

в) тяжелые гидрологические условия (наносы, шуга и др.).

Последнее наиболее часто встречается при водозаборе из реки.

При машинном водоподъеме с водозабором из нерегулируемой реки подводящий канал строят очень редко — при очень благоприятных или, наоборот, неблагоприятных гидрологических и благоприятных геологических и топографических условиях и достаточной обеспеченности расходов воды в водоемисточнике. Канал в этих случаях может быть использован как отстойник для наносов и как успокоительный ковш по борьбе с шугой. При неблагоприятных гидрологических условиях устройство водозаборного сооружения, как правило, вызывается необходимостью регулировать качество и обеспечивать необходимое количество

забираемой воды. Выбор той или иной конструкции подвода воды является важным моментом при компоновке узла сооружений машинного водоподъема и подлежит технико-экономическому обоснованию с учетом комплекса местных условий. Плавное сопряжение подводящего канала с насосной станцией достигается постепенным расширением его у насосной станции. Эта уширенная воронкообразная часть канала у насосной станции называется аванкамерой.

§ 2. ПОДВОДЯЩИЕ ТРУБОПРОВОДЫ, УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И ПРИМЕРЫ

Подводящие трубопроводы в отличие от всасывающих укладывают с уклоном в сторону насосной станции. В насосных станциях средней и большой производительности эти трубопроводы, как правило, выполняют из железобетона, а в станциях малой производительности иногда применяют и стальные трубопроводы, но это подлежит обоснованию.

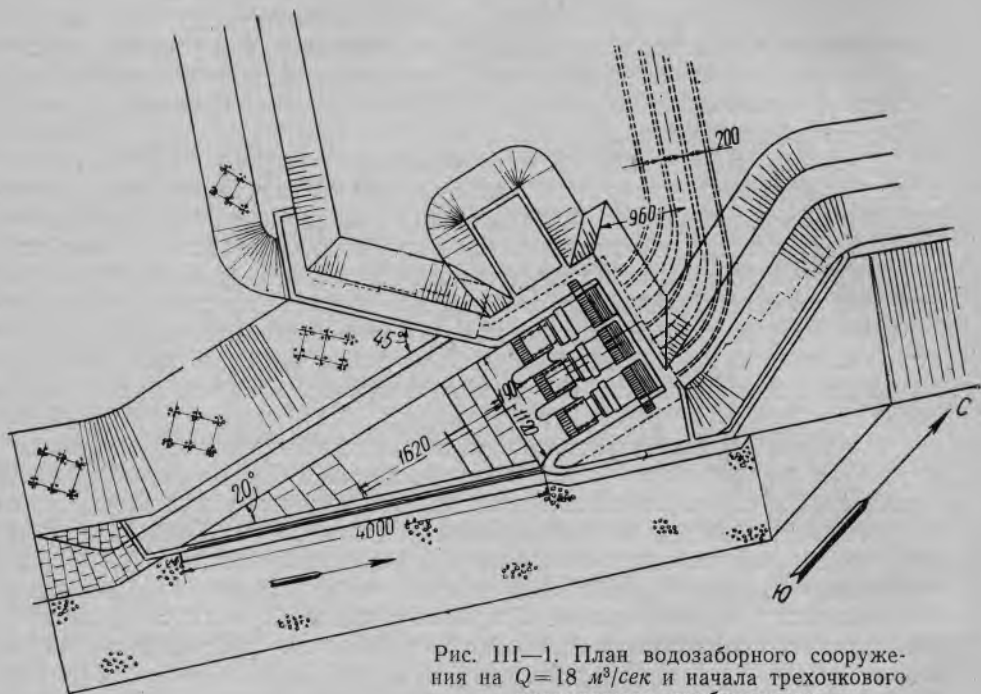


Рис. III—1. План водозаборного сооружения на $Q=18 \text{ м}^3/\text{сек}$ и начала трехочкового подводящего трубопровода.

Для станций малой и средней производительности при устройстве самостоятельных трубопроводов для каждого насоса используют и асбестоцементные трубы.

Для станций средней производительности и, как правило, для станций большой производительности устраивают многоочковые подводящие трубопроводы в виде многопролетных замкнутых прямоугольных неразрезных железобетонных рам. В последнее время их стали выполнять из сборных элементов. Число отверстий принимается равным числу насосов или меньше.

Перед станцией устраивают колодец, от которого идут уже отдельные трубопроводы для каждого насоса. Многоочковая часть может быть выполнена в виде отдельных трубопроводов и в виде неразрезной многоочковой конструкции. Для уменьшения ее размеров в плане всасывающие трубы насосов направляют под углом к продольной оси здания станции, как показано на рисунке III—3. В колодце у станции устанавли-

ливают затворы для отключения любого насоса. Иногда ставят еще и грубые решетки. Подвод воды к станции с помощью трубопроводов показан на рисунке V—25, где предусмотрен колодец. Такой подвод воды можно увидеть на рисунках III—1, III—2, III—3.

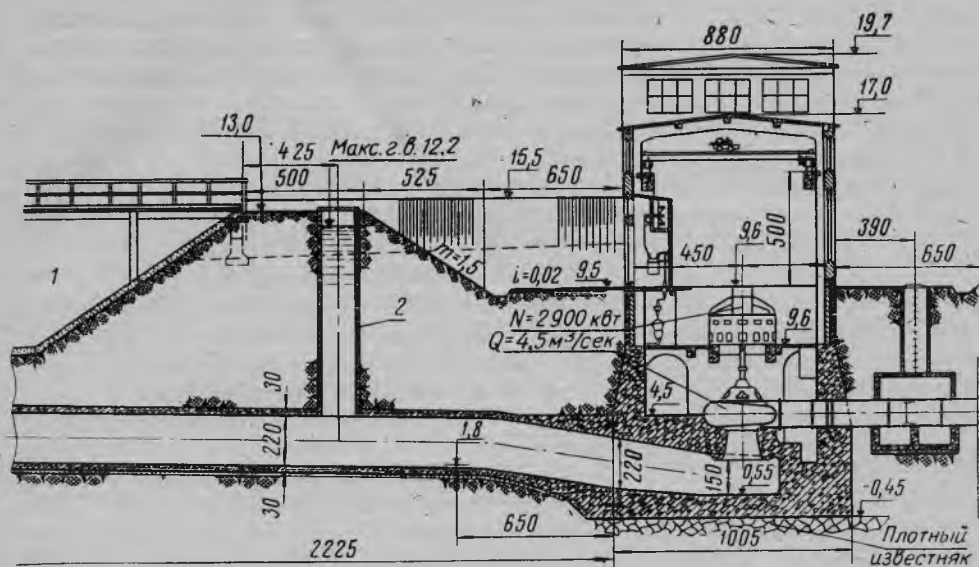


Рис. III—2. Поперечный разрез по насосной станции и продольный разрез по четырехочковому подводящему трубопроводу, идущему от отстойника, с сечением отверстия $2 \times 2,2$ м:

1 — отстойник; 2 — смотровой колодец.

На этих рисунках показаны водозаборное сооружение (водозабор из реки) и подводящий трехочковый трубопровод от водозабора к отстойнику. От отстойника идет четырехочковый трубопровод (по числу насосов), подводящий воду к насосной станции. Размер каждого отверстия $2 \times 2,2$ м. На рисунке III—3 показан поворот всасывающих труб насосов и сопряжение их с подводящим трубопроводом. Расход одного насоса и одного отверстия трубопровода $Q=4,5$ м³/сек.

В оголовке четырехочкового трубопровода устроены пазы для установки грубых решеток. В эти же пазы устанавливаются и затворы на случай ремонта насоса и трубопровода. Для осмотра и ремонта трубопровода и входного патрубка насоса пользуются смотровым колодцем. Пазы оголовка встроены в рамную конструкцию, которая служит одновременно и опорой служебного моста, идущего к водозабору от дамбы обвалования станции, что видно из рисунка III—2.

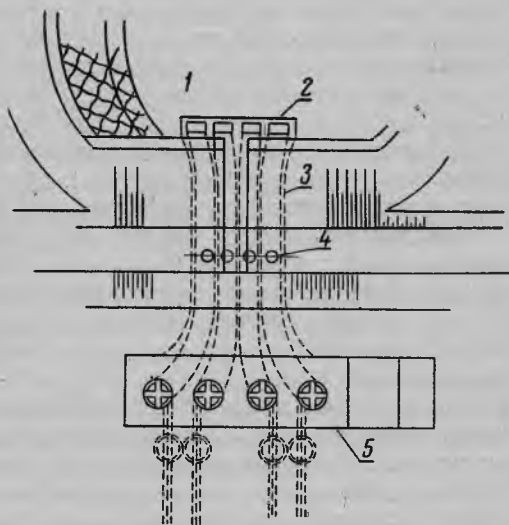


Рис. III—3. План станции и четырехочкового подводящего трубопровода:

1 — отстойник; 2 — водозаборный оголовок; 3 — подводящий трубопровод; 4 — смотровые колодцы; 5 — здание станции.

Подвод воды к насосной станции при помощи трубопроводов не затрудняет сельскохозяйственного использования ценных пойменных земель. Сечение подводящих трубопроводов подбирается так же, как и диаметр напорных трубопроводов. При этом нужно учитывать, что увеличенные скорости могут вызвать значительные сопротивления, которые следует увязывать с допустимой высотой всасывания насоса, избегая излишнего заглубления последнего. Практически скорость в подводящих трубопроводах находится в пределах 1,5—2,5 м/сек. Для монолитных трубопроводов следует принимать бетон марки БГТ-200, В-4 или В-6, а для сборных трубопроводов — БГТ-300, В-6. При расчетах трубопроводов нужно учитывать сейсмические условия района, а при выборе марки и свойств цемента — агрессивность окружающей среды и предусматривать необходимую изоляцию.

• Монолитные и сборные многоочковые трубопроводы в зависимости от условий производства работ и геологических условий выполняются секционными с осадочными водонепроницаемыми швами, расположенными через каждые 10—25 м. При укладке отдельных сборных трубопроводов должна быть также обеспечена подвижность стыков.

Монолитные трубопроводы следует укладывать на подготовку из тощего бетона, а сборные многоочковые и отдельные трубы — на уплотненное основание ненарушенной структуры. При плохом качестве основания устраивают песчано-гравийную подготовку, а особо плохие грунты заменяют или устраивают специальное основание. Чтобы сохранить в подводящих трубопроводах одинаковый режим течения воды при максимальных и минимальных горизонтах воды в водоисточнике, следует заглублять их так, чтобы они работали полным сечением и при минимальных горизонтах воды. Если трубопровод при минимальном горизонте будет работать неполным сечением, то при каком-то промежуточном горизонте, когда уровень воды будет доходить до верха трубопровода, произойдет «захлебывание» трубопровода. Это повлечет за собой образование неустановившегося течения в нем и ухудшит работу насосов.

§ 3. ОТКРЫТЫЕ ПОДВОДЯЩИЕ КАНАЛЫ, УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ, ПРИМЕРЫ

Расчет и конструирование подводящих каналов оросительных насосных станций следует выполнять в соответствии с «Техническими указаниями по проектированию каналов оросительных систем»*. Вспомогательным материалом может служить книга проф. И. И. Агроскина «Гидравлический расчет каналов»**.

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

а) экономичность устройства подвода воды каналом для сокращения длины напорных трубопроводов (см. главу IX — выбор экономически наиболее выгодного места здания насосной станции);

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

в) относительная освещенность воды в водоисточнике, обеспечивающая незаиляемость и бесперебойность работы канала. Очистка канала от наносов не должна нарушать нормальной работы насосной станции, а затраты на очистку должны экономически оправдываться;

г) устойчивость берегов водоисточника и бесперебойность водозабора; затраты на обеспечение устойчивости берегов должны быть экономически оправданы;

* Издание Министерства сельского хозяйства СССР, М., 1955.

** Госэнергоиздат, М. — Л., 1958.

д) относительно нормальный диапазон колебания горизонтов воды в водоисточнике, который не вызывает экономически нецелесообразных затрат на строительство канала и насосной станции;

е) небыстрые спады горизонта воды в водоисточнике, опасные для устойчивости откосов.

При устройстве водозабора из водохранилищ следует помнить о значительных переработках их берегов. Опыт эксплуатации сооружений на водохранилищах говорит о больших изменениях и нарушениях, вызываемых работой волн: подмывы, разрушения, занесение и др. Поэтому выбор места расположения головы канала и мероприятий по ее защите имеет важнейшее значение.

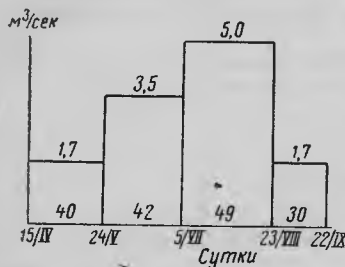


Рис. III—4. График водоподдачи оросительной насосной станции.

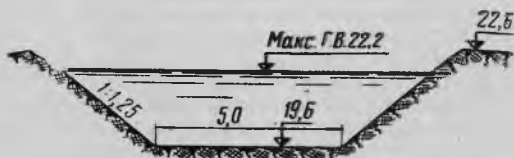


Рис. III—5. Сечение магистрального канала.

Водоисточниками оросительных насосных станций второго подъема и выше обычно являются оросительные каналы. Иногда длина и заглубление подводящих каналов диктуются соображениями выбора хорошего основания для насосной станции, особенно в условиях просадочных грунтов. Сечение каналов и их уклоны подлежат технико-экономическому обоснованию (подобно диаметрам напорных трубопроводов): уменьшение сечения канала сокращает первоначальные и ежегодные затраты по нему, но вызывает увеличение уклона и затрат на подъем воды вследствие увеличения стоимости энергии. В каналах с некрепленным руслом лимитирующими моментами являются максимально допустимые скорости по условиям размыва грунтов, слагающих русло каналов, и транспортирующая способность потока в канале (заиление). Часто мероприятия, предусматриваемые для борьбы с фильтрацией (применение креплений), позволяют увеличивать допустимые скорости на размыв, что следует учитывать при технико-экономических расчетах.

Подводящие каналы в осушительных насосных станциях и насосных станциях, откачивающих сбросные и дренажные воды на оросительных системах, при наличии благоприятных топографических условий (балки, овраги, местные понижения и др.) следует рассчитывать с учетом аккумуляирования притока для выравнивания режима работы насосных станций и установки на них однотипного оборудования.

Подводящие каналы при отсутствии в их голове водозаборных устройств обычно являются саморегулирующимися, так как уровень и форма поверхности воды в них устанавливаются самопроизвольно и зависят в каждый момент от уровня воды в водоисточнике и расхода воды, забираемого насосной станцией. При пусках и остановках насосов в каналах возникают волновые движения.

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

Пример расчета подводящего канала. График водоподдачи насосной станции представлен на рисунке III—4. Насосная станция питается водой из магистрального канала, сечение которого показано на рисунке III—5, а колебания горизонтов воды приведены в таблице III—1.

Вода к станции подается бесперебойно подводящим каналом, идущим перпендикулярно к горизонталям. Длина его 450 м, отметка поверхности земли в конце (у насосной станции) 28 м, что получено технико-экономическим расчетом по определению

Периоды	Отметки горизонта воды, м	Периоды	Отметки горизонта воды, м
15/IV—24/V 25/V—5/VII	21,3 21,7	6/VII—23/VIII 24/VIII—22/IX	22,0 21,3

наивыгоднейшего места здания насосной станции для определенных ниже данных подводящего канала.

Грунт, в котором прокладывается канал, — средний суглинок с объемным весом $\gamma_{гр} = 1,65 \text{ т/м}^3$. Магистральный канал при максимальном расходе имеет количество наносов $\rho_{ф} = 1,1 \text{ кг/м}^3$; $W = 1,5 \text{ мм/сек}$.

По Техническим указаниям для данных условий принимаем:

1) коэффициент форсирования расхода

$$K_{ф} = 1,20 (\S 120 \text{ ТУ});$$

2) коэффициент шероховатости русла канала $n = 0,0225$ (табл. № 10 ТУ);

3) коэффициент заложения откосов $m = 1,0$ (табл. № 15 ТУ);

4) максимально допустимая средняя неразмывающая скорость течения воды в канале $v_{нр} = 1 \text{ м/сек}$ (табл. № 11 ТУ).

При расчете сечения канала принята $v_{нр} = 0,9 \text{ м/сек}$ с учетом повышения скорости против расчетной при пропуске форсированного расхода.

Определим основные соотношения размеров канала согласно § 190 ТУ. Канал принимаем трапециoidalного сечения с земляным руслом. Глубину воды в канале предварительно определим по формуле

$$h = A \sqrt[3]{Q},$$

где $A = 0,85$;

$Q = 5 \text{ м}^3/\text{сек}$ — максимальный расход канала.

$$h = 0,85 \sqrt[3]{5} = 1,71 \text{ м.}$$

Площадь живого сечения канала

$$\omega = \frac{5,0}{0,9} = 5,55 \text{ м}^2.$$

Ширину канала по дну определим из формулы $\omega = (b + mh)h$, откуда

$$b = \frac{\omega - mh^2}{h} = \frac{5,55 - 1 \cdot 1,71^2}{1,71} = \frac{5,55 - 2,92}{1,71} = \frac{2,63}{1,71} = 1,54 \text{ м.}$$

Согласно § 191 ТУ, принимаем ближайшее большее значение ширины канала по условиям механизации работ $b = 1,8 \text{ м}$. Определим при этой ширине канала по дну его глубину при площади живого сечения $\omega = 5,55 \text{ м}^2 = (b + mh)h$. Подставив значения, будем иметь: $5,55 = (1,8 + 1 \times h)h$, откуда $h^2 + 1,8h - 5,55 = 0$;

$$h = -\frac{1,8}{2} \pm \sqrt{\frac{1,8^2}{4} + 5,55} = -0,9 \pm 2,52;$$

$$h = 1,62 \text{ м.}$$

Смоченный периметр при этой глубине наполнения будет:

$$\chi = b + 2h \sqrt{1 + m^2} = 1,80 + 2 \cdot 1,62 \sqrt{1 + 1} = 1,8 + 2 \cdot 1,62 \cdot 1,41 = 6,36 \text{ м.}$$

Гидравлический радиус этого сечения

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{5,55}{6,36} = 0,87 \text{ м.}$$

Уклон дна канала

$$i = \frac{v^2}{C^2 R} = \frac{0,9^2}{C^2 \cdot 0,87} = \frac{0,932}{C^2}.$$

Коэффициент Шези C определяется по формуле Н. Н. Павловского (§ 167 ТУ):

$$C = \frac{1}{n} R^y.$$

Значение величины y принимаем по таблице 9 (§ 167 ТУ); $y=0,23$.

$$C = \frac{1}{0,0225} 0,87^{0,23} = 45 \cdot 0,97 = 43,6.$$

Тогда

$$i = \frac{0,932}{C^2} = \frac{0,932}{43,6^2} = 0,00049.$$

Предельная ширина по урезу воды (§ 190 ТУ) должна быть $B=(3+5)\sqrt{Q}$.

В нашем случае $B=3\sqrt{5}=6,72$ м.

Фактически имеем $B_{\phi}=b+2mh=1,8+2 \cdot 1 \cdot 1,62=5,04$ м, то есть и это условие соблюдается.

Проверим, насколько определенное поперечное сечение отклоняется от гидравлически наивыгоднейшего сечения*.

Площадь живого сечения при $v_{\text{нр}}=0,9$ м/сек будет та же, то есть $\omega=5,55$ м².

$$R_{\text{гн}} = \frac{1}{2\sqrt{m_0}} \sqrt{\omega}; \quad m_0 = 2\sqrt{1+m^2} - m = 2\sqrt{2} - 1 = 1,82;$$

$$R_{\text{гн}} = \frac{1}{2\sqrt{1,82}} \cdot \sqrt{5,55} = \frac{1}{2 \cdot 1,35} 2,36 = 0,87 \text{ м};$$

$$h_{\text{гн}} = 2R_{\text{гн}} = 2 \cdot 0,87 = 1,74 \text{ м};$$

$$b_{\text{ср}} = m_0 h_{\text{гн}} = 1,82 \cdot 1,74 = 3,17 \text{ м};$$

$$b_{\text{гн}} = b_{\text{ср}} - mh = 3,17 - 1 \cdot 1,74 = 1,43 \text{ м}.$$

Согласно требованиям ТУ (§ 191), ближайшая ширина канала по дну по условиям механизации работ $b=1,5$ м.

Определим высоту живого сечения для этого случая. Учитывая предыдущие расчеты, можем написать:

$$h = -\frac{1,5}{2} \pm \sqrt{\frac{1,5^2}{4} + 5,55} = -0,75 \pm 2,47;$$

$$h = 1,72 \text{ м};$$

$$\chi = 1,5 + 2 \cdot 1,72 \sqrt{1+m^2} = 1,5 + 2 \cdot 1,72 \cdot 1,41 = 6,35 \text{ м}.$$

$$R = \frac{5,55}{6,35} = 0,87 \text{ м}.$$

Коэффициент Шези C и уклон будут те же, что и в первом случае.

Рассмотрим третий вариант канала с сечением, обычно принимаемым для таких условий в оросительных каналах (по условиям командования, фильтрации и др.), с шириной по дну $b=3,0$ м (Условия механизации, § 191 ТУ). Тогда $5,55=(3,0+h)h$.

$$h = -\frac{3}{2} \pm \sqrt{\frac{9}{4} + 5,55}; \quad h = 1,3 \text{ м};$$

$$\chi = 3,0 + 2 \cdot 1,3 \cdot 1,41 = 6,67 \text{ м}; \quad R = \frac{5,55}{6,67} = 0,84 \text{ м};$$

$$C = 45 \cdot 0,84^{0,23} = 43,3;$$

$$i = \frac{0,9^2}{43,3^2 \cdot 0,84} = 0,00052.$$

Установим приближенные объемы земляных работ по трем вариантам канала, определив их без учета промежуточных берм, приняв во всех случаях отметку дна из расчета максимального расхода. Объем работ определим как среднее из двух сечений в начале и конце канала (табл. III-2).

Практически первый и второй варианты одинаковы. Третий вариант имеет больший объем земляных работ (~на 6%), несколько больший уклон и худшие условия работы на заилении.

Остановимся на первом варианте канала.

Для того чтобы иметь возможность определять режим работы канала при разных расходах, следует строить график зависимости расхода от глубины наполнения

* И. И. Агроскин. Гидравлический расчет каналов. Госэнергоиздат, М.—Л., 1958.

ТАБЛИЦА III-2

Вариант	Площадь сечения выемки, м ²		Средняя площадь выемки $F_{\text{ср}}$, м ²	Объем земляных работ $F_{\text{ср}} \times 450$, м ³
	в начале канала	в конце канала		
I	9,38	76,7	43,04	1935,0
II	9,30	76,1	42,70	1920,0
III	9,80	80,6	45,20	2030,0

канала $Q=f(h)$. Зная ширину канала по дну, уклон, шероховатость и задаваясь глубиной, определяют расход воды для нескольких значений. Получив таким образом несколько точек, строят упомянутую кривую (график) зависимости $Q=f(h)$.

Не приводя всех расчетов, сразу запишем результаты их: в таблице III-3 — данные для построения кривой $Q=f(h)$, в таблице III-4 — результат определения характеристик живого сечения канала для различных расходов по графику.

ТАБЛИЦА III-3

Глубина наполнения канала h , м	Гидравлический радиус R , м	Коэффициент Шези C	Расход воды в канале Q , м ³ /сек
0,7	0,464	37,6	0,98
1,2	0,695	41,4	2,76
2,0	1,02	45,0	7,67

ТАБЛИЦА III-4

Расход воды в канале Q , м ³ /сек	Глубина наполнения канала h , м	Площадь живого сечения ω , м ²	Скорость течения воды в канале v , м/сек
1,7	0,93	2,54	0,67
3,5	1,35	4,25	0,82
5,0	1,62	5,55	0,9
$5 \times 1,2 = 6,0^*$	1,76	6,26	0,96

Чтобы обеспечить забор необходимого количества воды в подводящий канал из магистрального, необходимо установить отметку дна канала. Превышение отметки горизонта воды в магистральном канале над горизонтом воды в подводящем канале принято, как для бокового затопленного водослива с широким порогом (с запасом), 0,07 м. Приняв равномерное течение воды в канале, отметку дна в голове подводящего канала ($\nabla_{\text{д.к}}$), определим по отметке горизонта воды ($\nabla_{\text{г.в}}$) в магистральном канале по формуле

$$\nabla_{\text{д.к}} = \nabla_{\text{г.в}} - (h + 0,07) \text{ м.}$$

Расчет сводим в таблицу III-5.

ТАБЛИЦА III-5

Период работы станции	Количество суток в периоде	Отметка горизонта воды в магистральном канале $\nabla_{\text{г.в}}$, м	Расход воды в подводящем канале, м ³ /сек	Глубина воды в подводящем канале h , м	Принятая разность между горизонтами воды в каналах, м	Отметка дна подводящего канала в голове его $\nabla_{\text{д.к}}$, м
15/IV—24/V	40	21,3	1,7	0,93	0,07	20,30
25/V—5/VII	42	21,7	3,5	1,35	0,07	20,28
6/VII—23/VIII	49	22,0	5,0	1,62	0,07	20,31
6/VII—23/VIII*	49	22,0	6,0	1,76	0,07	20,17
24/VIII—22/IX	30	21,3	1,7	0,93	0,07	20,30

* Подача форсированного расхода.

Из приведенной таблицы следует, что наименьшая отметка дна из условия забора необходимого расхода воды в канал получилась в период с 6/VII по 23/VIII при заборе форсированного расхода, она равна 20,17 м. Забор форсированного расхода в другие периоды будет обеспечен. Глубина воды в канале в другие периоды, при других расходах будет больше расчетной, что вызовет уменьшение скоростей течения воды, поэтому следует проверить транспортирующую способность потока в канале. Наиболее невыгодными следует считать периоды с минимальным расходом воды по графику. Скорость течения с увеличением глубины воды в канале будет еще меньше, и течение в канале будет неравномерное, с подпором*. Для $Q = 1,7 \text{ м}^3/\text{сек}$ глубина воды в голове канала $h = 0,93 + (20,3 - 20,17) = 1,06 \text{ м}$, а глубина воды в конце канала у насосной станции за счет образующейся кривой подпора оказалась равной 1,2 м.

Как видно из приведенных выше данных, условия неразрывности русла соблюдены. Транспортирующая способность потока при минимальном расходе воды у насосной станции ($h = 1,2 \text{ м}$), согласно § 184 ТУ, составляет $\rho = 1,10 \text{ кг/м}^3$, что соответствует заданной величине.

На рисунке III—6 представлено сопряжение подводящего канала с магистральным (водозабор), выполненное под углом 90° . Вдоль левого берега магистрального канала идет служебная дорога. От этой дороги также по левому берегу подводящего канала идет подъезд к насосной станции, а по правому берегу — берма шириной 1 м. В магистральном канале берма расположена на высоте 60 см, а в подводящем канале — на высоте 40 см от максимальных горизонтов воды (§ 197 ТУ). Бермы в подводящем канале горизонтальны.

Ниже головы подводящего канала сечение русла магистрального канала уменьшается. Подводящий канал — саморегулирующийся; уровень воды в нем и форма ее поверхности устанавливаются в зависимости от уровня воды в магистральном канале и расхода воды, забираемого насосной станцией. В голове подводящего канала водозаборное сооружение не устраивают.

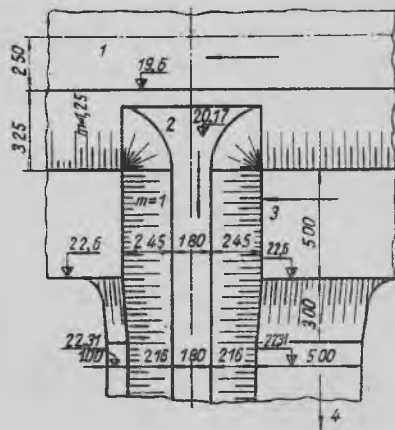


Рис. III—6. Сопряжение подводящего канала с магистральным (водозабор). Мост через подводящий канал не показан:

1 — магистральный канал; 2 — подводящий канал; 3 — дорога вдоль магистрального канала; 4 — дорога вдоль подводящего канала.

§ 4. АВАНКАМЕРЫ. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ПРИМЕРЫ

Прямым водозабором насосной станции из тупикового канала принято называть такую компоновку узла машинного водоподъема, при которой канал, питающий станцию водой, оканчивается около нее, а продольная ось здания насосной станции располагается нормально к оси этого канала. В конце подводящий канал при подходе к станции имеет воронкообразное расширение, обеспечивающее плавный подвод воды ко всем отверстиям водозаборных устройств. Эту расширяющуюся часть канала и принято называть аванкамерой, которую можно увидеть на рисунке III—7. Причем наиболее неудачной с гидравлической точки зрения является уширенная аванкамера, что будет ясно из дальнейшего.

Ниже приводим основные технические условия проектирования аванкамер.

Откосы аванкамер с водозаборными устройствами насосной станции следует сопрягать при помощи открылков, направленных под углом 45° к внутренней поверхности крайних устоев водозаборных устройств, как показано на рисунке V—7, б. Такие открылки создают лучшие условия подвода воды к насосам, чем открылки, направленные под углом 90° , и косые поверхности.

* Допускать работу канала с кривой спада со скоростью больше допустимой нельзя. В этом случае канал нужно крепить, если это оправдывается технико-экономическими расчетами.

Дно аванкамеры с дном водозаборных устройств следует сопрягать переходным участком с уклоном 0,25—0,20; последнее заложение предпочтительнее. Увеличивать уклон аванкамеры по сравнению с уклоном дна канала для выполнения этого сопряжения на всем ее протяжении не рекомендуется, так как это ухудшает условия растекания потока.

Перед фронтом водозаборных устройств не следует закладывать участок с горизонтальным дном.

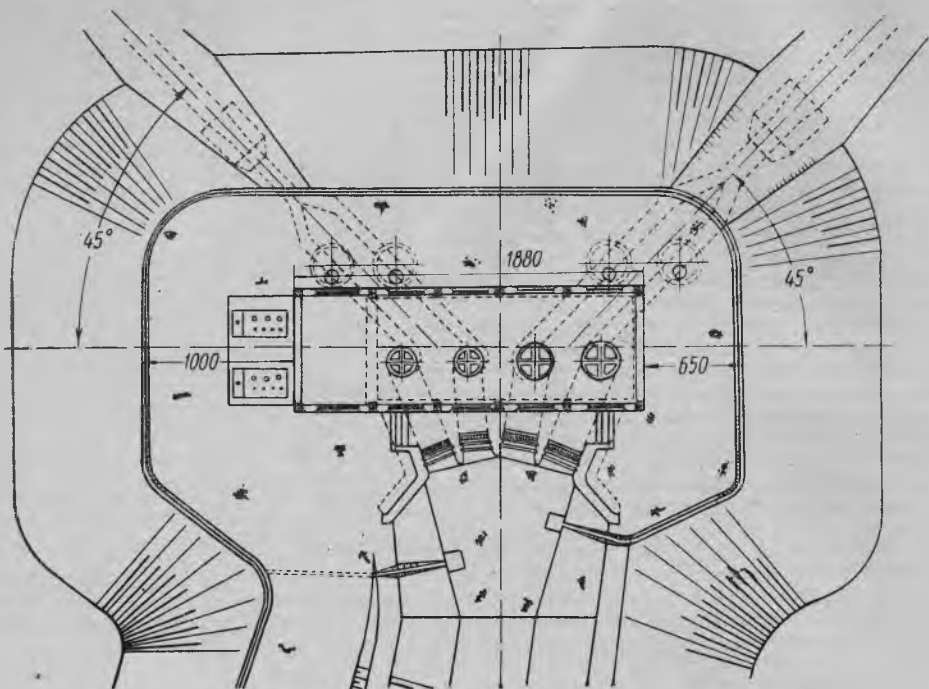


Рис. III—7. Суженная аванкамера с поворотом в плане всасывающих труб насосов и бычков водозабора блочной станции (криволинейный фронт водозабора).

Подожву откоса аванкамеры следует выполнять в виде прямой линии (в плане), соединяющей подожву откоса подводящего канала с внутренней кромкой начала крайнего устоя водозаборных устройств насосной станции (рис. III—7). Делать прямолинейный участок аванкамеры перед фронтом водозабора нецелесообразно, так как это увеличит площадь мертвых зон.

Длину фронта водозабора $V_{ф.в}$ следует максимально уменьшать, принимая возможно минимальное расстояние между всасывающими трубами, минимально возможную толщину бычков и др. Исследования показали, что при отношении длины фронта водозабора $V_{ф.в}$ к ширине канала по дну b_k , равном 6,2, образовывалась мертвая зона в донной части потока, а при уменьшении этого соотношения до 3,6 мертвая зона исчезала.

Для уменьшения фронта водозабора в станциях блочного типа возможно устраивать сходящиеся бычки в водозаборных устройствах (рис. III—7), применяя так называемый криволинейный фронт водозабора.

Аналогичное решение можно применить в водозаборах насосных станций раздельной компоновки: камерных станциях с сухой камерой и станциях незаглубленного типа.

Сужение фронта водозабора достигается сближением входной части подводящих (рис. III—7) и всасывающих (V—7, б) труб с изгибом их в плане.

Для станций камерного типа с сухой камерой такое решение позволяет обсыпать грунтом здание станции со стороны аванкамеры, повысить устойчивость зданий и выполнить их сборными, облегченными.

Сближение подводящих и всасывающих труб возможно за счет сужения водозаборных камер как при горизонтальном, так и вертикальном расположении этих труб в камерах.

Следует стремиться выполнять длину фронта водозабора из расчета

$$\frac{B_{ф.в}}{b_k} < 4.$$

Вход в горизонтальную всасывающую (подводящую) трубу должен быть плавным. Идеальной формой входного отверстия ее в блочном типе станции считается прямоугольная, выполненная заподлицо с бычками и дном, со скругленной верхней кромкой.

При круглом входном отверстии, что часто бывает в станциях с сухой камерой, необходимо устраивать скругления кромок, а откосы облицовывать бетоном, чтобы создать плавный вход.

Свободная длина бычка, то есть его длина от входного отверстия всасывающей (подводящей) трубы, $l_b \approx 2d_{вх}$, где $d_{вх}$ — диаметр входного отверстия всасывающей (подводящей) трубы, давала (при исследованиях) хорошие результаты в отношении ликвидации воронок, образующихся при входе (рис. III—8): при тяжелых условиях воронкообразования воронки превращались в водовороты, центр которых был оттянут от входного отверстия. Устройство в этом случае над входным отверстием стенки (вертикальной или несколько наклонной в сторону здания) также создавало благоприятные условия входа.

Наличие над входным отверстием всасывающей трубы некоторой поступательной скорости снижает интенсивность воронкообразования. Поступательная скорость образуется в результате поступления некоторого расхода в подводящую трубу насоса через отверстие для затвора сверху этой трубы, если поднять затвор. При суженной аванкамере и водозаборе без бычков, то есть с устройством входных отверстий непосредственно в стенке водозабора, не наблюдалось воронкообразования при центральных углах конусности аванкамеры $\alpha = 30^\circ$ и 60° и горизонтах воды в аванкамере, меньше расчетных.

При назначении центральных углов конусности (α) аванкамер следует при средней скорости течения воды в подводящем канале 0,6—1,0 м/сек принимать значение α до 40° — 45° .

Уменьшение угла конусности α вызывает удлинение аванкамер, превращает их в отстойники, затрудняя эксплуатацию, и ухудшает гидравлические условия протекания потока в аванкамере. Большая ширина фронта водозабора и малые углы конусности еще больше усугубляют отмеченное.

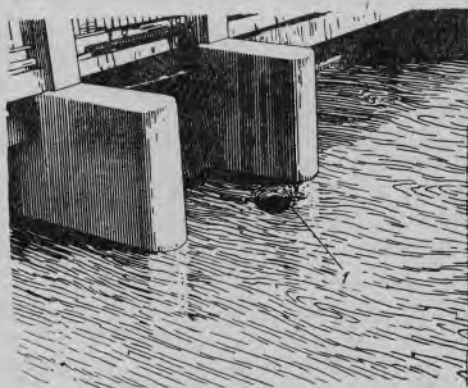


Рис. III—8. Образование воронки у входа во всасывающую трубу насоса:

1 — воронка.

При исследовании было установлено, что увеличение угла конусности до 60° уменьшает длину аванкамеры и при суженном фронте водозабора создает у него подпор, который исключает обтекание потоком бычков водозабора. В этом случае при работе всех четырех насосов воронкообразования не наблюдалось. Мертвые зоны в донной части потока также не образовывались, но часть донных струй выбрасывалась на откос, опрокидывалась и попадала во входное отверстие. При таком большом центральном угле конусности было несколько неравномерное распределение скоростей во входном сечении и сопротивления в водозаборной части несколько увеличивались.

Сокращение длины и сужение аванкамеры уменьшают ее функции как отстойника. Мертвых зон в донной части потока суженных аванкамер при рассмотренных углах конусности $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$ и 60° не наблюдалось.

Заглубления верха входного отверстия всасывающей трубы, приводимые ниже, при безбычковом водозаборе и при длине бычков $l_6 \approx$

$d_{\text{вх}}$ обеспечивали протекание потока без воронкообразования:

а) при работе одного насоса $> (0,5 \div 0,6) d_{\text{вх}}$;

б) при совместной работе четырех насосов $> (1,3 \div 1,5) d_{\text{вх}}$.

Скругление входной части бычков улучшает условия водозабора.

Проведенные лабораторные и полевые исследования не установили в нижней части входных отверстий водозабора наличия значительных величин скоростей. Поэтому рекомендуется крепить русло аванкамеры (откосов и дна) при средних скоростях входа во всасывающую трубу $1 \div 1,3$ м/сек на длину $(2 \div 3) d_{\text{вх}}$, считая от линии фронта водозабора (от конца бычков), если устройство крепления не вызывается какими-то другими соображениями.

При исследованиях было отмечено некоторое уменьшение производительности крайних насосов в случае совместной работы всех насосов насосной станции по сравнению с производительностью их при раздельной работе для водозабора обычной формы.

Криволинейный фронт водозабора несколько неудобен в эксплуатации из-за своей формы, но гидравлически, как показали исследования*, улучшает условия работы крайних агрегатов, приближая их к условиям работы средних агрегатов.

* Исследования выполнены под руководством автора инж. Н. Н. Накладовым в лаборатории кафедры «Насосы и насосные станции» МГМИ в 1969 г.

§ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Подъем воды насосными станциями осуществляется с помощью установленного на них гидромеханического и энергетического оборудования. В свою очередь, это оборудование делится на основное и вспомогательное [69 (стр. 165)]. К основному оборудованию относят оборудование, обеспечивающее подачу воды по графику водоподдачи.

Выбор рабочих параметров оборудования, типа и числа агрегатов — один из самых ответственных вопросов проектирования, так как определяет тип здания насосной станции, в определенной степени компоновку узла сооружений насосной станции, надежность и эффективность ее работы в эксплуатации.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО НАПОРА ОСНОВНОГО НАСОСА

Выбор насоса производится по расчетному напору H_p и расходу Q_p , называемому также подачей.

Расчетный напор насоса обычно определяется как сумма геодезической высоты подъема и потерь напора в сооружениях станции от вод источника до водоприемника:

$$H_p = H_{г.ср} + h_{тл} + h_{т.мест},$$

где $H_{г.ср}$ — средневзвешенный геодезический напор, м;
 $h_{тл}$ — гидравлические потери по длине всасывающего и напорного трубопроводов без учета местных потерь, м;

$h_{т.мест}$ — сумма гидравлических потерь на местные сопротивления.

Эта формула из-за простоты ее наиболее распространена, хотя и является до известной степени приближенной. Дело в том, что гидравлические потери зависят от подачи насосной станции, а это при определении напора не учитывается.

Расчетный напор насоса должен учитывать колебания уровней воды в верхнем и нижнем бьефах и обеспечивать в эксплуатации работу его при наивысшем значении коэффициента полезного действия за весь рабочий период в течение года.

Средневзвешенный напор следует определять исходя из условия равенства работы, затрачиваемой на подъем всей воды при этом напоре за год, и работы, необходимой для подъема воды по периодам графика водоподдачи при переменных условиях, по формуле

$$H_{г.ср} = \frac{\sum (QH_{г.т})}{\sum (Qt)},$$

где Q и $H_{г.т}$ — подача и геодезический напор насосной станции по периодам времени t , принимаемым по графикам водоподдачи и геодезического напора.

Если водоисточником (нижний бьеф) служит река или водохранилище, геодезический напор насосных станций определяют по колебанию горизонтов в них, соответствующих режиму среднего гидрологического года (обеспеченность 50%). Если водоисточник — канал (станции перекачки), то отметки уровня воды в нем определяют по глубине наполнения канала в зависимости от протекающего расхода воды.

Верхним бьефом оросительных станций может быть водохранилище или машинный 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 машинном канале также определяются глубинами наполнения его в зависимости от расхода по кривой зависимости $Q=f(h)$. Оросительные зональные насосные станции (станции перекачки), имея подводящий (водоисточник) и отводящий (машинный) каналы одинакового сечения, будут иметь постоянные геодезические напоры независимо от подачи насосной станции. Если же сечения этих каналов по геологическим условиям различны, то, определив в них уровни указанным выше способом, за расчетную величину геодезического напора принимают полусумму минимальной и максимальной геодезических высот. При малом колебании горизонтов воды (до 2 м) допускается $H_{г.ср}$ определять так же, как полусумму максимальной и минимальной геодезических высот.

Верхним бьефом осушительных насосных станций является река, и колебания горизонтов зависят от гидрологического режима ее, который при определении $H_{г.ср}$ принимают по среднему гидрологическому году. Колебания горизонтов в нижнем бьефе у осушительных насосных станций зависят от режима работы осушительной системы и поверхностного стока воды.

Различают три режима работы системы:

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

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

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

При проектировании осушительной системы, чтобы определить средневзвешенный геодезический напор и выбрать оборудование, необходимо рассчитать графики колебания горизонтов и притока воды в нижнем бьефе станции для периода работы ее. Отметки нижнего бьефа осушительных насосных станций, перекачивающих грунтовые воды, определяются динамическим горизонтом, зависящим от забираемого расхода воды и удельного дебита.

Дренажные станции могут иметь в нижнем бьефе открытые каналы (открытые дрена), 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 глубинных (артезианских) насосов отводится трубопроводами различной длины к сборным коллекторам-водоприемникам и может использоваться для повторного орошения.

В качестве примера определения $H_{г.ср}$ возьмем оросительную насосную станцию, забирающую воду из реки и подающую ее в машинный канал. График колебаний горизонтов воды в нижнем бьефе — реке представлен на рисунке IV—1, на котором

даны среднедекадные горизонты по среднему гидрологическому году. График производительности насосной станции представлен на рисунке IV—2. Отметки в верхнем бьефе определяются глубиной наполнения машинного канала в зависимости от пропускаемого расхода. Отметка дна канала 45 м. График зависимости $Q=f(h_k)$ дан на рисунке IV—3.

Определение средневзвешенного геодезического напора удобно вести в табличной форме (табл. IV—1).
Средневзвешенный геодезический напор из условия равенства работ

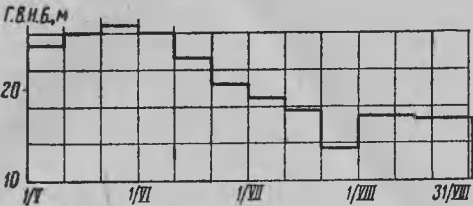


Рис. IV—1. График колебания горизонтов (по среднему гидрологическому году) в нижнем бьефе станции.

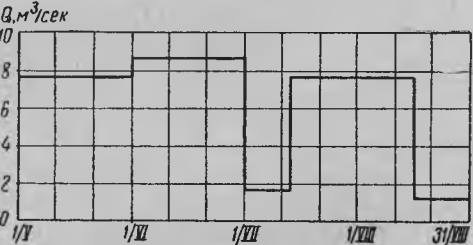


Рис. IV—2. График производительности насосной станции.

$$H_{г.ср} = \frac{\Sigma QH_{г.т}}{\Sigma Qt} = \frac{19\,860}{787,6} = 25,2 \text{ м.}$$

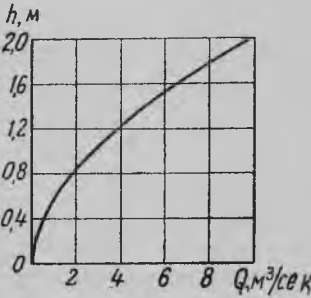


Рис. IV—3. Зависимость $Q = f(h_k)$ в отводящем машинном канале.

Расчетный напор для подбора насоса можно получить, если знать потери напора по длине трубопровода и местные потери. Так как в момент подбора насоса обычно насосная станция и трубопроводы не запроектированы и нельзя определить потери, то можно этими величинами задаться предварительно на основе существующего опыта проектирования. После составления проекта гидротехнического узла сооружений напор насоса определяют более точно и указывают его в заказе заводу на поставку оборудования.

Предварительные потери по длине трубопровода в мелиоративных насосных станциях можно принимать 2—3 м на 1 км трубопровода. Местные потери в насосных станциях, расположенных на каналах и водохранилищах, можно принимать 0,75—1 м; для насосных станций, расположенных на реках, — 1—1,5 м. Местные потери в насосных станциях для водоснабжения на 25—30% больше, чем в мелиоративных.

ТАБЛИЦА IV—1

Период работы насосной станции	Число дней в периоде t	Расход насосной станции Q , $\text{м}^3/\text{сек}$	Отметка горизонта воды в верхнем бьефе, м	Отметка горизонта воды в нижнем бьефе, м	Геодезический напор $H_{г.т}$, м	$QH_{г.т}$	Qt
I—10/V	10	7,6	46,7	24,5	22,20	1680	76
11—20/V	10	7,6	46,7	26,2	20,50	1560	76
21—31/V	11	7,6	46,7	26,8	19,90	1590	83,6
1—10/VI	10	8,6	46,84	26,0	20,84	1795	86
11—20/VI	10	8,6	46,84	23,4	23,44	2020	86
21—30/VI	10	8,6	46,84	20,4	26,44	2270	86
1—10/VII	10	1,5	46,0	18,7	27,30	410	15
11—12/VII	2	1,5	46,0	17,8	28,20	85	3
13—20/VII	8	7,6	46,7	17,8	28,90	1760	60,8
21—31/VII	11	7,6	46,7	13,3	33,40	2790	83,6
1—15/VIII	15	7,6	46,7	17,0	29,70	3390	114,0
16—31/VIII	16	1,1	45,6	16,6	29,00	510	17,6
	$\Sigma t = 123$ дня					$\Sigma QH_{г.т} = 19\,860$	$\Sigma Qt = 787,6$

§ 3. ВЫБОР РАСЧЕТНОГО РАСХОДА НАСОСА И ЧИСЛА УСТАНОВЛИВАЕМЫХ НАСОСОВ

Расчетный расход насоса, а следовательно, и количество рабочих агрегатов определяют из условия лучшего покрытия графика водоподачи насосной станции с максимальной экономической эффективностью. Для этого рассматривают несколько вариантов, на основе экономического сравнения которых (по капиталовложениям и эксплуатационным расходам) выбирают с учетом условий эксплуатации и технических качеств

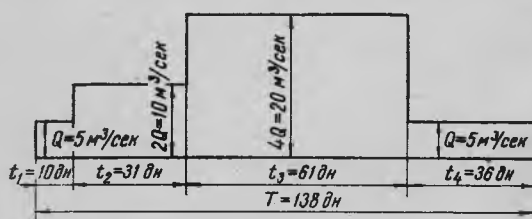


Рис. IV—4. График производительности насосной станции.

насосов их число и расход насоса.

В практике проектирования оросительных насосных станций встречаются два способа выбора числа устанавливаемых агрегатов на насосной станции.

1. Число рабочих агрегатов выбирают из условия покрытия максимального потребного расхода насосной станции.

Для обеспечения подачи форсированного расхода и замены в случае аварии одного из насосов устанавливают еще один такой же агрегат или два меньшей производительности. Установка одного или нескольких мелких агрегатов («довесков») улучшает условия эксплуатации [69]. Таким образом, общее количество установленных агрегатов равно числу рабочих плюс один или два резервных.

2. Число устанавливаемых агрегатов выбирают из условия покрытия форсированного расхода насосной станцией.

Последний способ стали применять сравнительно недавно некоторые проектные организации.

Для того чтобы решить, какому способу следует отдать предпочтение, приведем пример подбора насоса двумя способами и на основе их сравнения сделаем соответствующие выводы.

Требуется обеспечить подъем воды в соответствии с укомплектованным графиком производительности насосной станции, представленным на рисунке IV—4, согласно которому максимальный расход насосной станции $Q_{\text{макс}}=20 \text{ м}^3/\text{сек}$, минимальный — $Q_{\text{мин}}=5 \text{ м}^3/\text{сек}$. Коэффициент форсировки расхода равен 1,2 и форсированный расход $Q_{\text{ф}}=1,2 \cdot 20=24 \text{ м}^3/\text{сек}$. График имеет равные и удвоенные ступени изменения производительности, что следует рекомендовать для практики. Манометрический напор насоса постоянный — $H_{\text{н}}=15 \text{ м}$. Условия примера характерны для зональных насосных станций (станций-перекачек). Количество рабочих насосов по первому способу будет (с учетом равноступенчатости графика):

$$\frac{Q_{\text{макс}}}{Q_{\text{мин}}} = \frac{20}{5} = 4.$$

Покрывание графика хорошо выполняется изменением числа работающих агрегатов. Для покрытия форсированного расхода установим еще один насос; таким образом, по первому варианту требуется установить пять насосов с расходом $Q_{\text{н}}=5 \text{ м}^3/\text{сек}$ и напором $H_{\text{н}}=15 \text{ м}$. По второму способу принимаем четыре рабочих насоса без установки резервного, следовательно производительность насоса будет

$$\frac{Q_{\text{ф}}}{4} = \frac{24}{4} = 6 \text{ м}^3/\text{сек} \text{ с тем же напором } H_{\text{н}}=15 \text{ м}.$$

По необходимой производительности и напору для первого варианта хорошо подходит осевой насос Оп2-110, характеристика которого приведена на рисунке IV—5. Согласно характеристике, имеем $Q_H=5 \text{ м}^3/\text{сек}$; $H_H=15 \text{ м}$, $\eta=0,87$ при угле поворота лопастей рабочего колеса 0° , $n=485 \text{ об/мин}$:

$$N = \frac{\gamma Q_H H_H}{102 \eta} = \frac{1000 \cdot 5 \cdot 15}{102 \cdot 0,87} = 845 \text{ кВт.}$$

Кавитационный запас $\Delta h_1=11 \text{ м}$, следовательно допустимая вакуумметрическая высота всасывания $H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = H_a - h_{\text{п.ж}} - \Delta h_1 + \frac{v_s^2}{2g}$. Принимаем $H_a=10 \text{ м}$, $h_{\text{п.ж}}=0,2 \text{ м}$.

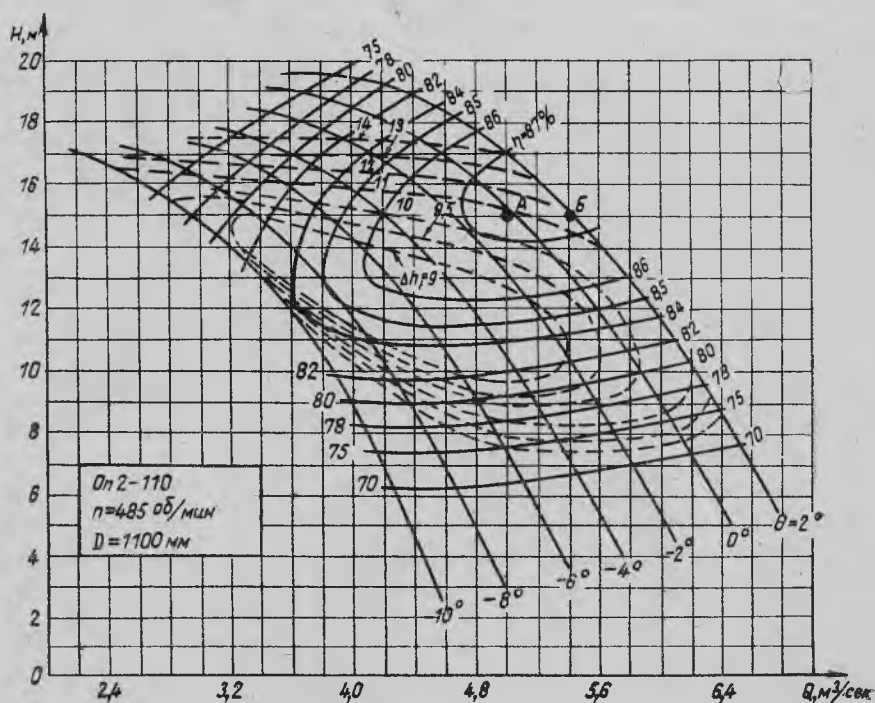


Рис. IV—5. Характеристика осевого насоса Оп2-110.

Скорость во всасывающем патрубке насоса

$$v_0 = \frac{4Q_H}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 5}{3,14 \cdot 1,1^2} = 5,25 \text{ м/сек,}$$

где D — диаметр всасывающего патрубка, м .

$$H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = 10 - 0,2 - 11 + \frac{5,25^2}{19,62} = 0,2 \text{ м.}$$

Вес насоса 8,2 т, высота его 5,78 м, ширина 2,07 м, длина 2,66 м. Мощность двигателя с учетом коэффициента запаса 1,05 будет $N=1,05 \cdot 845 = 887 \text{ кВт}$. Размеры насоса, удовлетворяющего требованиям второго варианта, получим по законам моделирования, так как в каталоге нет насоса для $Q_H=6 \text{ м}^3/\text{сек}$ и $H_H=15 \text{ м}$. За модель примем насос Оп2-110, как имеющий наиболее близкую к необходимым рабочим параметрам характеристику, представленную на рисунке IV—5. Для получения стандартного числа оборотов принимаем в зоне максимального к. п. д. следующие расчетные параметры модели: $Q_M=4,8 \text{ м}^3/\text{сек}$; $H_M=16 \text{ м}$; $n_M=485 \text{ об/мин}$.

$$i_n = \sqrt{\frac{Q_M}{Q_n}} \cdot \sqrt{\left(\frac{H_n}{H_M}\right)^3} = \sqrt{\frac{4,8}{6,0}} \cdot \sqrt{\left(\frac{15}{16}\right)^3} = 0,88;$$

$$n = i_n n_M = 0,88 \cdot 485 = 428 \text{ об/мин};$$

$$i_D = \sqrt{\frac{Q_n}{Q_M}} \cdot \sqrt[4]{\frac{H_M}{H_n}} = \sqrt{\frac{6,0}{4,8}} \cdot \sqrt[4]{\frac{16}{15}} = 1,122.$$

$$D = i_D D_M = 1,122 \cdot 110 = 125 \text{ см.}$$

Такие насосы у нас не выпускаются. Прибегаем к моделированию, чтобы поставить второй вариант в благоприятные условия при сравнении. Установка других насосов, освоенных промышленностью: а) восемь насосов Оп2-87, $Q_n=3 \text{ м}^3/\text{сек}$, $N_{дв}=630 \text{ кВт}$; $n=485 \text{ об/мин}$ или б) два насоса Оп2-145, $Q_n=9 \text{ м}^3/\text{сек}$, $N_{дв}=1600 \text{ кВт}$, $n=365 \text{ об/мин}$ и два насоса Оп2-87 даст большие установленные мощности (5040 и 4460 кВт против 4225 кВт в первом варианте), увеличит затраты на строительно-монтажные работы и усложнит эксплуатацию. Новый насос будет марки Оп2-125 с числом оборотов $n=428 \text{ об/мин}$; вес его 10,6 т, высота 6,5 м, ширина 2,3 м, длина 3 м. Для расчета покрытия графика пересчитаем характеристику этого насоса по формулам подобия:

$$Q_n = i_D^3 i_n Q_M = 1,122^3 \cdot 0,88 Q_M = 1,23 Q_M;$$

$$H_n = i_D^2 i_n^2 H_M = 1,122^2 \cdot 0,88^2 H_M = 0,96 H_M;$$

$$\eta_n = 1 - (1 - \eta_M) \frac{1}{i_D^{0,45} i_n^{0,2}} = 1 - (1 - \eta_M) \frac{1}{1,122^{0,45} \cdot 0,88^{0,2}} =$$

$$= 1 - (1 - \eta_M) 0,97.$$

ТАБЛИЦА IV-2

Модель Оп2-110								
$\eta, \%$	$Q_M, \text{ м}^3/\text{сек}$ для δ°				$H_M, \text{ м}$ для δ°			
	0°	-2°	-4°	-6°	0°	-2°	-4°	-6°
82	4,15	3,95	3,65	3,6	18	17,3	16,7	15,9
84	4,35	4,10	3,90	3,78	17,6	16,90	16,0	15,2
85	4,45	4,23	4,05	3,9	17,2	16,5	15,7	14,7
86	4,6	4,4	4,20	4,08	16,8	16,0	15,0	13,8
87	4,8	—	—	—	16,0	—	—	—
87	5,2	—	—	—	14,0	—	—	—
86	5,45	5,10	4,70	4,32	12,7	12,4	12,2	12,3
85	5,55	5,20	4,82	4,47	11,9	11,6	11,3	11,3
84	5,65	5,28	4,90	4,55	11,4	11,1	10,9	10,8
82	5,75	5,40	5,0	4,7	10,7	10,2	10,0	9,8

Продолжение

Насос Оп2-125								
$\eta, \%$	$Q_n, \text{ м}^3/\text{сек}$ для δ°				$H_n, \text{ м}$ для δ°			
	0°	-2°	-4°	-6°	0°	-2°	-4°	-6°
82,6	5,10	4,95	4,47	4,42	17,3	16,6	16,0	15,4
84,4	5,35	5,05	4,80	4,65	17,0	16,2	15,3	14,7
85,4	5,45	5,20	4,97	4,80	16,45	15,8	15,1	14,2
86,4	5,65	5,40	5,17	5,02	16,10	15,3	14,4	13,4
87,4	5,90	—	—	—	15,3	—	—	—
87,4	6,40	—	—	—	13,4	—	—	—
86,4	6,70	6,25	5,77	5,30	12,2	11,9	11,7	11,9
85,4	6,82	6,38	5,92	5,50	11,4	11,15	10,85	10,85
84,4	6,95	6,50	6,05	5,60	10,95	10,7	10,5	10,42
82,4	7,08	6,65	6,15	5,75	10,3	10,0	2,6	9,5

Пересчет универсальной характеристики, показанной на рисунке IV—5, для различных углов поворота лопастей колеса приведен в таблице IV—2.

По данным таблицы IV—2 построена характеристика нового насоса (рис. IV—6). Нормальный расход $Q=5 \text{ м}^3/\text{сек}$ при напоре $H=15 \text{ м}$ можно подать при угле установки лопастей около -4° (рис. IV—6, точка А). Этому соответствует к.п.д. насоса 85,4%, что на 1,5% ниже, чем в первом варианте (рис. IV—5), следовательно будет перерасход энергии.

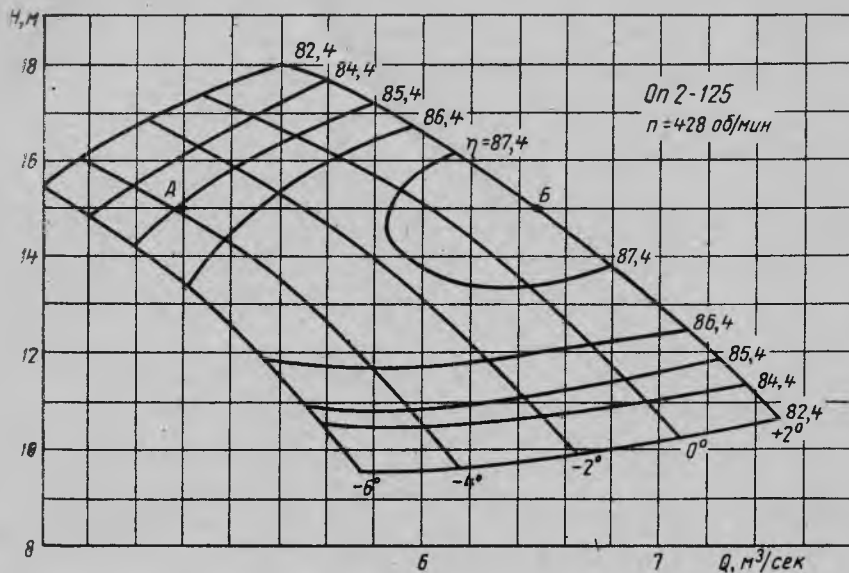


Рис. IV—6. Характеристика осевого насоса Оп2-125.

Другое покрытие графика производительности насосной станции (рис. IV—4) невозможно, так как максимальный расход трех насосов даже при наибольшем положительном угле поворота лопастей $+2^\circ$ (рис. IV—6, точка Б) меньше требуемых $20 \text{ м}^3/\text{сек}$. При подаче воды четырьмя насосами большей производительности с периодическими включениями и выключениями в течение суток одного насоса создается зубчатый график подачи за счет использования регулирующей емкости канала. Это осложняет эксплуатацию: вызывает колебание горизонтов воды в канале, что при большой скорости снижения уровней может разрушать откосы канала, а слишком частые включения и выключения электродвигателя ухудшают его техническое состояние.

Для рассматриваемых вариантов определим капиталовложения и эксплуатационные расходы.

Подбираем электродвигатели с вертикальным валом и непосредственным соединением с насосом.

Первый вариант: $N_p=887 \text{ кВт}$, $n=485 \text{ об/мин}$.

Принимаем АВ—16—41—12М, $N=1000 \text{ кВт}$; $V=6000 \text{ в}$; $\eta=92,6\%$; $n=485 \text{ об/мин}$; вес $10\,700 \text{ кг}$.

Второй вариант: расчетная мощность

$$N_p = \frac{\gamma Q_n H_n K}{102 \eta_n} = \frac{1000 \cdot 6,0 \cdot 15,0 \cdot 1,05}{102 \cdot 0,874} = 1070 \text{ кВт}; \quad n = 428 \text{ об/мин}.$$

Принимаем характеристику вертикального синхронного электродвигателя по аналогии с синхронным генератором $N=1250 \text{ кВа}$; при $\cos \varphi=0,8$; $N=1000 \text{ кВт}$; $\eta=93,5\%$ при загрузке 100% ; $V=6300 \text{ в}$; $n=428 \text{ об/мин}$; вес $12\,500 \text{ кг}$. Уменьшение выработки реактивной энергии увеличит мощ-

ность на валу электродвигателя. Имея габариты насосов и двигателей, определяем размеры здания насосной станции блочного типа.

Для первого варианта: размеры подземной части — ширина 7,35 м, высота 5,9 м, длина 25 м, объем $7,35 \times 5,9 \times 25 = 1080 \text{ м}^3$; размеры надземной части соответственно $7 \times 6,7 \times 25 = 1150 \text{ м}^3$.

Для второго варианта: размеры подземной части — ширина 8,25 м, высота 6,5 м, длина 23 м, объем $8,25 \times 7,5 \times 23 = 1230 \text{ м}^3$; надземной части — $8 \times 7,5 \times 23 = 1380 \text{ м}^3$.

Определим количество потребной электроэнергии при круглосуточной работе (рис. IV—4). По первому варианту:

$$E_1 = \frac{\gamma Q H 24 (t_1 + 2t_2 + 4t_3 + t_4)}{102 \eta_n \eta_{дв}} = \frac{1000 \cdot 5 \cdot 15 \cdot 24 (10 + 2 \cdot 31 + 4 \cdot 61 + 36)}{102 \cdot 0,87 \cdot 0,926} =$$

$$= \frac{6\,220\,000}{0,87 \cdot 0,926} = 7\,720\,000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

По второму варианту при учете недогрузки двигателя на 15% для $Q = 5 \text{ м}^3/\text{сек}$, $H = 15 \text{ м}$ (рис. IV—6) имеем:

$$E_2 = \frac{6\,220\,000}{0,855 \cdot 0,932} = 7\,830\,000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Экономическое сравнение двух вариантов дается в таблице IV—3. Проценты отчислений приняты по данным главы IX. Как видно из таблицы IV—3, по первому варианту капиталовложения меньше на 7,8%, то есть на 12 585 руб. Эксплуатационные годовые расходы меньше на 1717 руб., количество электроэнергии меньше на 110 000 кВт·ч в год, следовательно количество насосов по первому варианту более экономично. В эксплуатационном отношении этот вариант тоже лучше, так как при аварии одного насоса максимальный расход обеспечивается полностью, потому что имеется резервный агрегат, а в период подачи форсированного расхода и работы при угле поворота лопастей колеса $\delta = +2^\circ$ (рис. IV—5, точка Б) подача обеспечивается на $\frac{Q_{п \cdot 4}}{Q_{ф}} = \frac{5,4 \cdot 4}{24} 100 = 90\%$.

По второму варианту останется три агрегата, которые, работая при $\delta = +2^\circ$ (рис. IV—6, точка Б), обеспечат максимальную подачу $6,45 \cdot 3 = 19,35 \text{ м}^3/\text{сек}$, что составляет 96% максимального расхода и 80% форсированного.

Рассмотрен пример с применением осевого поворотного-лопастного насоса, обеспечивающего изменение расхода поворотом лопастей колеса. А при центробежном насосе второй вариант становится еще более невыгодным, так как для уменьшения расхода до нормального надо пользоваться регулирующей задвижкой, что резко снижает к.п.д. насосной установки. Регулирование подачи насосов с помощью электромагнитных или гидравлических муфт увеличит стоимость установки. Кроме того, при втором варианте, при отсутствии регулирования, насосы все время подают форсированный расход. Таким образом, более правильно число насосов выбирать не по форсированному, а по нормальному расходу. Следует рассматривать несколько вариантов с различным количеством насосов и их производительностью, обеспечивая покрытие максимального расхода.

Подача форсированного расхода осуществляется резервным агрегатом. По вариантам с различным числом насосов (с учетом резервного) разрабатывают технико-экономические показатели аналогично приведенному примеру. Неизменяющиеся сооружения (трубопроводы, водовыпуски и др.) при сравнении вариантов не учитывают. Если в сравниваемых вариантах изменяется тип насоса (с увеличением числа насосов и уменьшением подачи каждого переходят, например, от типа В к

ТАБЛИЦА IV—3

Наименование	Единицы измерения	Первый вариант					Второй вариант				
		количество	стоимость единицы, руб.	суммарная стоимость, руб.	процент отчислений	сумма эксплуатационных расходов, руб.	количество единиц	стоимость единицы, руб.	суммарная стоимость, руб.	процент отчислений	сумма эксплуатационных расходов, руб.
Насосы Оп2	шт.	5	10 740	53 700	14,1	7 575	4	13 600	54 400	14,1	7 675
Электродвигатели	»	5	7 315	36 575	9,9	3 620	4	9 625	38 500	9,9	3 810
Распределительное устройство (40% стоимости двигателей)	—	—	—	14 630	9,3	1 360	—	—	15 000	9,3	1 395
Здание насосной станции:											
а) подземная часть	м³	1080	38,0	41 000	3,4	1 430	1230	38,0	47 600	3,4	1 620
б) надземная часть	»	1150	13,0	14 950	3,4	508	1380	13,0	17 940	3,4	610
Количество электроэнергии	тыс. кВт-ч	7720	10	—	—	77 200	7830	10	—	—	78 300
Итого капиталовложений				160 855					173 440		
Итого эксплуатационных расходов						91 693					93 410

типу Д и др.), усложняются коммуникации и их оборудование, изменяется тип здания станции, то варианты рассматривают более подробно, с составлением схемы здания станции и др.

На основании технико-экономических показателей выбирается оптимальный вариант по числу и типу агрегатов. Иногда вместо одного резервного агрегата, однотипного с рабочими, устанавливают два меньшей производительности, даже изменяя тип агрегата. Это дает большую маневренность водоподдачи в период освоения, в весенне-осенние периоды, а также при каскадном расположении насосных станций. В последнем случае, особенно при промежуточном (из межстанционных бьефов) отборе воды, число агрегатов и их производительность следует выбирать с учетом режима совместной работы каналов и насосной станции, обеспечивая допустимые скорости снижения уровней воды в каналах. При этих расчетах учитывают регулируемую емкость каналов (заиление не допускается) и при наличии естественных впадин и экономическом обосновании устраивают регулирующие емкости.

В обычных условиях по опыту проектирования мелиоративных насосных станций в зависимости от их производительности число агрегатов на станции колеблется от 2 до 8 при среднем оптимальном количестве 4—5.

§ 4. ВЫБОР ОСНОВНОГО НАСОСА

После установления расчетных напора и расхода насоса приступают к выбору основного насоса, который должен удовлетворять следующим требованиям [69]:

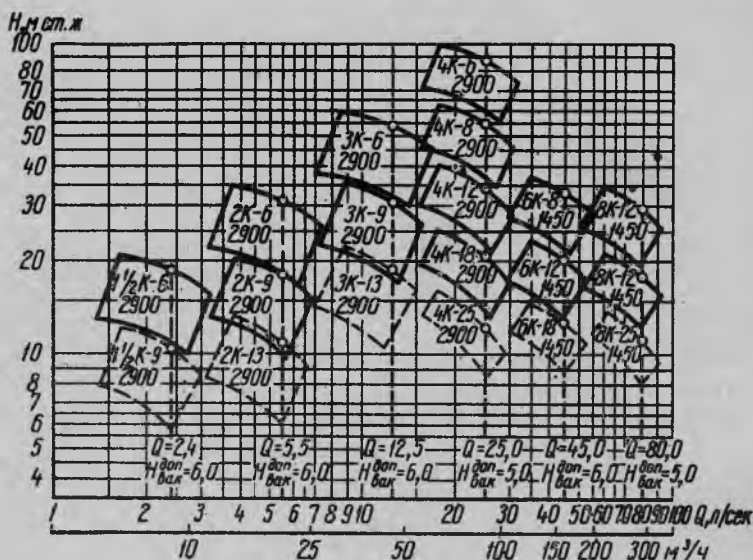


Рис. IV—7. Сводный график полей Q и H одноступенчатых центробежных консольных насосов типа К и моноблоков типа КМ для чистой воды (ГОСТ 8337—57).

- 1) обеспечивать расчетные расходы Q_p и напор H_p ;
- 2) иметь наилучший коэффициент полезного действия;
- 3) обладать лучшими кавитационными качествами;
- 4) обладать лучшими эксплуатационными качествами;
- 5) иметь большее число оборотов;
- 6) быть серийного изготовления.

Основной насос подбирают согласно расчетным Q_p и H_p по каталогам [69] насосного оборудования, предназначенным для проектных организаций и предприятий, эксплуатирующих насосы.

Насосы подбирают по сводным графикам $Q=f(H)$, приведенным в приложениях к каталогам. На рисунках IV—7, IV—8, IV—13, IV—16, IV—17, IV—18, IV—19 приведены графики наиболее широко применяемых мелиоративных насосных станций лопастных насосов.

Пример. Подобрать насос по расчетным расходу $Q_p=70$ л/сек и напору $H_p=30$ м.

По сводному графику каталога-справочника «Насосы» (рис. IV—7) находим насос 8К-12, удовлетворяющий расчетным Q_p и H_p . Этот насос имеет $n=1450$ об/мин при $Q=70$ л/сек и $H=30$ м; $\eta=81\%$; $H_{\text{доп}}^{\text{вак}}=6$ м, мощность на валу насоса $N=25,5$ кВт; вес насоса 179 кг и габариты $850 \times 610 \times 575$ мм.

По сводному графику того же каталога (рис. IV—8, точка А) находим насос 5НДв с $n=1450$ об/мин, который при $Q=70$ л/сек и $H=30$ м имеет: $\eta=68\%$; $N=30,2$ кВт; $H_{\text{доп}}^{\text{вак}}=4,5$ м. Вес насоса 270 кг, габариты $980 \times 799 \times 738$ мм.

Сравнивая два варианта подобранного насоса, видим, что оба насоса одинаково удовлетворяют требованиям 1, 5, 6, требованиям 2 и 3 лучше отвечает насос 8К-12, так как он имеет к. п. д. на 13% выше, мощность на валу насоса на 15% меньше, допустимая высота всасывания его на 1,5 м больше. В отношении требования 4 следует сказать, что насос 5НДв по сравнению с 8К-12 более удобен в монтаже и демонтаже, так как имеет горизонтальный разъем и уравновешенное осевое давление. Однако насос 8К-12 имеет меньшие габариты и вес, что снижает стоимость строительства. При сравнении двух вариантов следует признать более целесообразным для установки насос 8К-12.

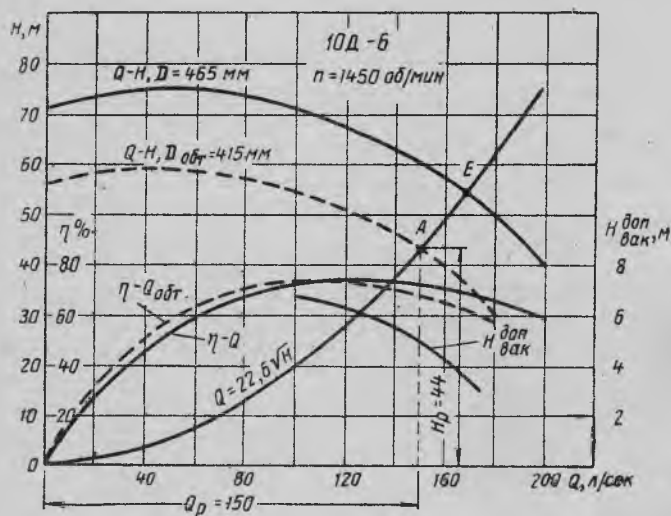


Рис. IV—10. Определение диаметра обточенного колеса $D_{\text{обт}}$ и построение соответствующих характеристик насоса 10Д-6.

Если в каталоге нет насоса, удовлетворяющего расчетным данным, можно, пользуясь законом динамического подобия

$$\left(\frac{n_1}{n_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}} = \sqrt[3]{\frac{N_1}{N_2}} \right),$$

так изменить число оборотов, чтобы при новом числе оборотов насос удовлетворял расчетным расходу и напору. При этом следует иметь в виду, что увеличение числа оборотов должно быть согласовано с заводом-изготовителем, а при соединении насоса и двигателя на одном валу числа оборотов их должны быть одинаковы.

Синхронные и асинхронные числа оборотов (приближенные) в минуту электродвигателей даны в таблице IV—4.

ТАБЛИЦА IV—4

$n_{\text{синх}}$	3000	1500	1000	750	600	500	375	300
$n_{\text{асинх}}$	2900	1450	960	730	585	485	367	290

При необходимости уменьшения числа оборотов не следует слишком занижать их, так как использовать мощное оборудование с малой нагрузкой неэкономично.

Пример 1. Подобрать насос по расчетным расходу $Q_p = 425$ л/сек и напору $H_p = 60$ м. Из сводных графиков видно, что насоса, удовлетворяющего расчетным данным (рис. IV—8, точка Б), нет. Примем насос, дающий возможность путем изменения числа оборотов удовлетворить Q_p и H_p . Примем насос, который требует незначительного снижения оборотов, в этом случае не надо особого согласования с заводом-изготовителем.

Таким насосом в нашем случае может быть 20Д-6 с $n = 970$ об/мин (рис. IV—8). Определяем новое число оборотов, для чего строим кривую пропорциональности $Q = a\sqrt{H}$,

где

$$a = \frac{Q_p}{\sqrt{H_p}} = \frac{425}{\sqrt{60}} = 55.$$

Задаваясь Q , определяем H . Результаты подсчета помещаем в таблицу IV—5.

ТАБЛИЦА IV—5

Q , л/сек	100	200	300	425	550	650
H , м	3,4	13,1	29,8	60	100	140

Кривая пропорциональности пересекается с характеристикой насоса в точке Е, которой соответствует $Q_E = 550$ л/сек (рис. IV—9). Следовательно, $n_1 = \frac{nQ_p}{Q_E} = \frac{970 \cdot 425}{550} = 750$ об/мин.

Пересчет характеристики по законам динамического подобия приводим в таблице IV—6.

Коэффициенты пересчета рабочих параметров характеристик $\frac{n_1}{n} = i_n = 0,772$; $i_n^2 = 0,6$; $i_n^3 = 0,46$.

Величины коэффициента полезного действия сохраняются, но кривая к. п. д. соответственно смещается влево.

ТАБЛИЦА IV—6

η , %	$n = 970$ об/мин			$n_1 = 750$ об/мин		
	Q , л/сек	H , м	N , квт	Q_1 , л/сек	H_1 , м	N_1 , квт
0	0	103	180	0	63	83
51	200	110	420	154	66	194
62	300	109	540	232	65,6	248
70	400	108	630	309	65	290
76	500	103	690	385	63	317
78	550	100	720	425	60	330
72	650	93	780	502	55,7	360

Допустимую вакуумметрическую высоту всасывания при $n = 750$ об/мин определим по формуле $H_{\text{вак}_1}^{\text{доп}} = H_a - (H_a - H_{\text{вак}}^{\text{доп}}) \left(\frac{n_1}{n} \right)^2$.

Принимая $H_a = 10$ м и беря соответственно расходу Q_E величину $H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = 4$ м, получаем

$$H_{\text{вак}_1}^{\text{доп}} = 10 - (10 - 4) \cdot \left(\frac{750}{970} \right)^2 = 6,4 \text{ м.}$$

Полученные новые характеристики, соответствующие $n = 750$ об/мин, нанесены на рисунке IV—9 пунктирными кривыми.

В тех случаях, когда подобрать центробежный насос непосредственно по каталогу или с применением закона динамического подобия не удастся, прибегают к обточке его рабочего колеса. Практика и проведенные испытания показали, что при допустимом уменьшении диаметра колеса D_2 к. п. д. снижается мало и довольно значительно изменяются расходы и напоры. Насосостроительные заводы теперь выпускают центробежные насосы с различными диаметрами D_2 колес, для которых в каталогах даются характеристики. В практике проектирования часто приходится определять необходимую обточку колеса, чтобы удовлетворить расчетным расходу и напору. Максимальная обточка

колеса центробежного насоса зависит от быстроходности и возможна в следующих пределах:

$$\begin{array}{lll} \text{для } n_s = 60-120 \text{ об/мин} & \text{на } 20 \div 15\% \\ \gg n_s = 120-200 & \gg & 15 \div 10\% \\ \gg n_s = 200-300 & \gg & 10 \div 5\% \end{array}$$

Для определения процента обточки рабочего колеса центробежного насоса в практике обычно пользуются следующими зависимостями:

для n_s до 200 об/мин

$$\frac{Q_{обт}}{Q} = \frac{D_{2 обт}}{D_2} = i_{обт}; \quad \frac{H_{обт}}{H} = i_{обт}^2; \quad \frac{N_{обт}}{N} = i_{обт}^3;$$

для n_s более 200 об/мин

$$\frac{Q_{обт}}{Q} = i_{обт}^{3/2}; \quad \frac{H_{обт}}{H} = i_{обт}^3; \quad \frac{N_{обт}}{N} = i_{обт}^{4,5}.$$

По этим зависимостям можно определить процент обточки колеса и пересчитать характеристики насоса. Коэффициент полезного действия насоса после обточки колеса несколько уменьшается; практикой установлено, что для $n_s = 60-120$ об/мин на каждые 10% обточки к.п.д. уменьшается на 1%, для n_s более 120 об/мин на каждые 4% обточки колеса к.п.д. уменьшается на 1%. Приведем пример определения необходимой обточки колеса и пересчета рабочей характеристики насоса. Расчетные данные:

$$Q_p = 150 \text{ л/сек}; H_p = 44 \text{ м.}$$

Выбираем по каталогу наиболее близко отвечающий расчетным данным насос 10Д-6 (рис. IV-8, точка В), характеристика которого представлена на рисунке IV-10. Наносим на поле характеристики рабочую точку А, соответствующую Q_p и H_p . Новую характеристику для обточенного колеса построим по зависимостям ($n_s = 60$ об/мин):

$$\frac{Q_p}{Q} = \frac{D_{2 обт}}{D_2}; \quad \frac{H_p}{H} = \left(\frac{D_{2 обт}}{D_2} \right)^2,$$

$$\text{откуда можно написать } \frac{Q_p}{Q} = \sqrt{\frac{H_p}{H}}; \quad Q = \frac{Q_p}{\sqrt{H_p}} \sqrt{H} = \frac{150}{\sqrt{44}} \sqrt{H} = 22,6 \sqrt{H}.$$

Задаваясь Q , определяем H и строим кривую соответствия диаметров рабочего колеса (рис. IV-10). Результаты подсчета помещаем в таблицу IV-7.

ТАБЛИЦА IV-7

$Q, \text{ л/сек}$	25	50	75	100	125	150	175	200
$H, \text{ м}$	1,23	4,90	11,0	19,6	30,6	44,0	52,5	78,5

Находим точку Е пересечения кривой соответствия с характеристикой $H-Q$ при нормальном диаметре D_2 рабочего колеса (рис. IV-10). Этой точке соответствует $Q_E = 168 \text{ л/сек}$; $H_E = 55 \text{ м}$, следовательно

$$D_{2 обт} = \frac{Q_p D_2}{Q_E} = \frac{150 \cdot 465}{168} = 0,89 \cdot 465 = 415 \text{ мм};$$

процент обточки колеса будет $\frac{465 - 415}{465} \cdot 100 = 11\%$, что $< 20\%$, допустимых для данного насоса при $n_s = 60$ об/мин. Характеристику насоса пересчитываем по зависимостям $Q_{обт} = i_{обт} Q = 0,89 Q \text{ л/сек}$; $H_{обт} = i_{обт}^2 H = 0,79 H \text{ м}$, $N_{обт} = i_{обт}^3 N = 0,7 N \text{ квт}$; к.п.д. насоса $\eta_{обт}$ уменьшается на 1% на каждые 10% обточки колеса ($n_s = 60 \div 120$ об/мин). Пересчет характеристики приводим в таблице IV-8.

ТАБЛИЦА IV-8

$D_2 = 465 \text{ мм}$			$D_{2 обт} = 415 \text{ мм}$		
$\eta, \%$	$Q, \text{ л/сек}$	$H, \text{ м}$	$\eta_{обт}, \%$	$Q_{обт}, \text{ л/сек}$	$H_{обт}, \text{ м}$
0	0	70	0	0	55,2
55	50	75	54	44,5	59,0
73	100	71	72	89,0	56,0
73	150	61	72	133,5	48,2
60	200	40	59	178,0	31,6

Новые характеристики, построенные по данным таблицы, показаны на рисунке IV—10 пунктиром.

Насос можно подбирать комбинированным способом: изменением числа оборотов с последующей обточкой рабочего колеса.

Если изложенными способами подобрать насос из освоенных промышленностью невозможно, прибегают к специальному заказу нового насоса, например насоса большой производительности или напора. Увеличивать число насосов на станции не всегда целесообразно, это повышает эксплуатационные расходы и усложняет эксплуатацию.

Для предварительного проектирования (выбор варианта) размеры новых насосов и их рабочие характеристики определяют по зависимостям закона подобия гидравлических насосов:

$$\frac{Q_n}{Q_m} = i_D^3 i_n, \quad \frac{H_n}{H_m} = i_D^2 i_n^2, \quad \frac{N_n}{N_m} = i_D^5 i_n^3.$$

За модель принимают насос, который ближе всего по напору и конструкции отвечает расчетным условиям.

Пример. Требуется подобрать насос для расхода $Q_p = 3 \text{ м}^3/\text{сек}$ и напора $H_p = 52 \text{ м}$. Для этих условий следует выбирать вертикальный насос типа В (расход более

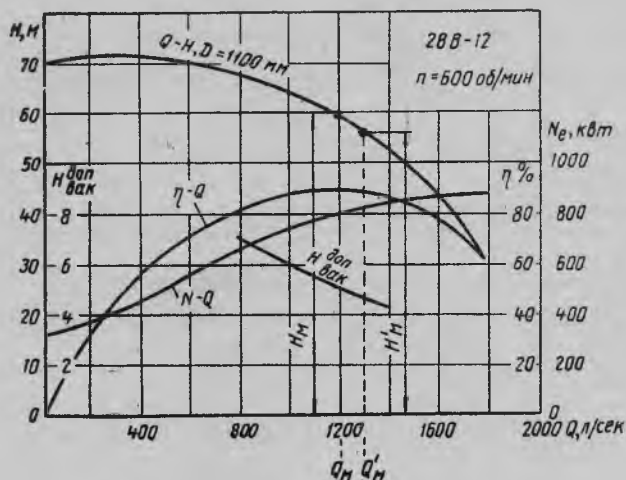


Рис. IV—11. Характеристики центробежного насоса 28В-12.

$2 \text{ м}^3/\text{сек}$) и проектировать насосную станцию блочного типа. За модель принимаем насос 28В-12, имеющий при максимальном коэффициенте полезного действия $\eta_m = 0,89$ расход $Q_m = 1,2 \text{ м}^3/\text{сек}$ и напор $H_m = 60 \text{ м}$ (что близко подходит к H_p), $n_m = 600 \text{ об/мин}$. Диаметр рабочего колеса модельного насоса $D_m = 1100 \text{ мм}$ (рис. IV—11).

Определяем

$$i_n = \sqrt[4]{\frac{Q_m}{Q_p}} \sqrt[4]{\left(\frac{H_p}{H_m}\right)^3} = \sqrt[4]{\frac{1,2}{3,0}} \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{52}{60}\right)^3} = 0,61,$$

следовательно число оборотов насоса $n = i_n n_m = 0,61 \cdot 600 = 368 \text{ об/мин}$.

Для такого насоса потребуется электродвигатель большой мощности и число оборотов его следует иметь синхронным. Выбираем на характеристике модельного насоса другую расчетную точку. При некотором снижении к. п. д. (не более 2%) определим новое значение i_n для $Q'_m = 1,3 \text{ м}^3/\text{сек}$; $H'_m = 56 \text{ м}$ при $\eta'_m = 0,88$:

$$i_n = \sqrt[4]{\frac{1,3}{3,0}} \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{52}{56}\right)^3} = 0,625,$$

следовательно $n = 0,625 \cdot 600 = 375 \text{ об/мин}$.

$$i_D = \sqrt{\frac{Q_p}{Q'_m}} \sqrt{\frac{H'_m}{H_p}} = \sqrt{\frac{3,0}{1,3}} \sqrt{\frac{56}{52}} = 1,54 \cdot 1,02 = 1,57.$$

Диаметр рабочего колеса насоса $D = i_D D_m = 1,57 \cdot 1100 = 1730 \text{ мм}$. Ориентировочные размеры насоса можно принять, если габаритные размеры модельного насоса, данные

в каталоге, умножить на коэффициент $i_D' = 1,57$. Марка насоса будет 44В-12, так как диаметр всасывающего патрубка дан в дюймах.

$$D_{\text{вс}} = i_D' D_{\text{вс,м}} = 1,57 \cdot 28 = 44'.$$

Характеристики нового насоса получают пересчетом характеристик модельного насоса по формулам:

$$Q_n = Q_m i_D'^3 i_n'; \quad H_n = H_m i_D'^2 i_n'^2;$$

$$N_n = N_m i_D'^5 i_n'^3;$$

$$\eta_n = 1 - (1 - \eta_m) i_D'^{-0,45} i_n'^{-0,2}.$$

Подставляя значения i_D' и i_n' , получаем коэффициенты для пересчета характеристик:

$$Q_n = Q_m 1,57^3 \cdot 0,625 = 2,40 Q_m;$$

$$H_n = H_m 1,57^2 \cdot 0,625^2 = 0,96 H_m;$$

$$N_n = N_m \cdot 1,57^5 \cdot 0,625^3 = 2,32 N_m;$$

$$\eta_n = 1 - (1 - \eta_m) 1,57^{-0,45} 0,645^{-0,2} = 1 - (1 - \eta_m) 0,9.$$

Пересчет характеристики допустимой высоты всасывания ведется с пересчетом кавитационного запаса:

$$\Delta h = H_a - h_{\text{п.ж}} - H_{\text{вак}}^{\text{доп}} + \frac{v_{\text{в}}^2}{2g},$$

где H_a — атмосферное давление, *м вод. ст.*;

$h_{\text{п.ж}}$ — давление паров жидкости в зависимости от температуры перекачиваемой жидкости, *м*;

$H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ — допустимая вакуумметрическая высота всасывания модели, *м*;

$v_{\text{в}}$ — скорость во всасывающем патрубке насоса, *м/сек*.

Кавитационный запас натурального насоса

$$\Delta h_n = \Delta h_m i_D'^2 i_n'^2 = 0,96 \Delta h_m.$$

Допустимая высота всасывания для натуре

$$H_{\text{вак,н}}^{\text{доп}} = H_a - h_{\text{п.ж}} - \Delta h_n + \frac{v_{\text{в}}^2}{2g}.$$

Пересчет характеристик приводим в таблице IV—9, при этом принято $H_a = 10$ м; $h_{\text{п.ж}} = 0,2$ для $t = +16^\circ \text{C}$.

ТАБЛИЦА IV—9

Модельный насос 28В-12					Натурный насос 44В-12				
η_m	Q_m' л/сек	H_m' м	N_m' квт	$H_{\text{вак,м}}^{\text{доп}}$ м	η_n	Q_n' л/сек	H_n' м	N_n' квт	$H_{\text{вак,н}}^{\text{доп}}$ м
0	0	70	320	—	0	0	67,0	743	—
0,56	400	71	420	—	0,6	960	68,0	1065	—
0,71	600	70	560	—	0,74	1435	67,0	1300	—
0,81	800	67	660	7,0	0,83	1920	64,2	1530	7,11
0,87	1000	64	740	6,0	0,88	2400	61,4	1715	6,16
0,89	1200	59	800	5,0	0,90	2880	56,5	1855	5,19
0,87	1400	53	830	4,2	0,88	3360	50,8	1922	4,33
0,78	1600	44	850	—	0,80	3840	42,2	1970	—
0,63	1780	30	870	—	0,67	4260	28,8	2018	—

Пересчет $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ сведен в таблицу IV—10.

По данным таблиц IV—9 и IV—10 строят характеристики $H—Q$, $N—Q$; $\eta—Q$ и $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}—Q$ нового насоса (рис. IV—12).

Подбор осевого насоса по размерным характеристикам, имеющимся в каталогах, не представляет каких-либо особенностей, и все рассмотренные примеры подбора центробежных насосов, кроме обточки колеса, могут быть применены и для осевых насосов (обточка рабочего колеса осевого насоса недопустима). Осевые насосы с поворотными лопастями рабочего колеса (ОП) имеют более широкий диапазон применения по на-

Модельный насос 28В-12					Натурный насос 44В-12				
Q_M , л/сек	$H_{\text{доп. вак.}}$, м	$v_{B.M.}$, м/сек	$\frac{v_{B.M.}^2}{2g}$, м	Δh_M , м	Δh_H , м	Q_H , л/сек	$v_{B.H.}$, м/сек	$\frac{v_{B.H.}^2}{2g}$, м	$H_{\text{доп. вак.}}$, м
800	7,0	2,08	0,22	3,02	2,90	1920	2,03	0,21	7,11
1000	6,0	2,60	0,34	4,14	3,97	2400	2,53	0,33	6,16
1200	5,0	3,12	0,50	5,30	5,08	2880	3,03	0,47	5,19
1400	4,2	3,65	0,67	6,27	6,02	3360	3,54	0,65	4,33

пору и расходу благодаря возможности их изменения поворотом лопастей при сохранении высоких к. п. д. В ГОСТ 9366—60 на осевые насосы, а также в каталоге-справочнике ВИГМ приведены характеристики насосов в безразмерных величинах. Разберем пример пользования безразмерной характеристикой.

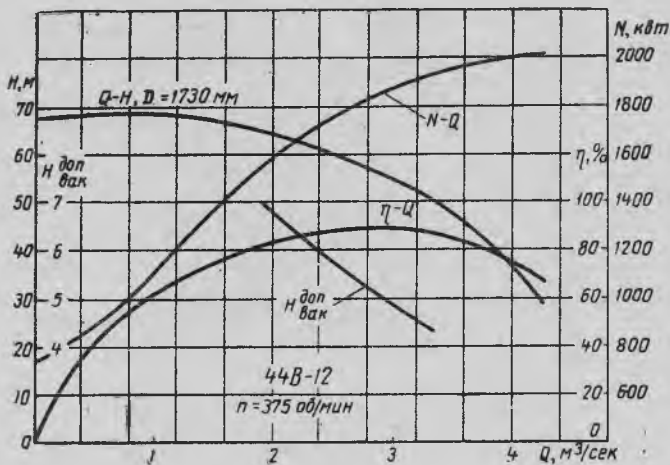


Рис. IV—12. Характеристики центробежного насоса 44В-12, полученные пересчетом по закону подобия.

Требуется подобрать осевой насос производительностью $Q_p = 2 \text{ м}^3/\text{сек}$ и напором $H_p = 10,6 \text{ м}$ и построить его размерную характеристику. По сводному графику характеристик осевых насосов, согласно ГОСТ 9366—60 (рис. IV—13), находим насос, отвечающий расчетным расходу и напору. Это будет насос марки О5-70 с $n = 730 \text{ об/мин}$ (точка А), безразмерная характеристика которого представлена на рисунке IV—14.

Определяем безразмерные коэффициенты по формулам:

$$K_Q = \frac{Q}{nD^3}; \quad K_H = \frac{H}{n^2 D^2}; \quad K_{\Delta h_1} = \frac{\Delta h_1}{n^2 D^2},$$

где Q — расход насоса, $\text{м}^3/\text{сек}$;

H — напор насоса, м;

n — число оборотов в секунду;

Δh_1 — кавитационный запас по ГОСТ 6134—58;

D — диаметр колеса насоса, м.

Для $D = 0,7 \text{ м}$ и $n = \frac{730}{60} = 12,17 \text{ об/сек}$ имеем:

$$nD^3 = 12,17 \cdot 0,7^3 = 4,17; \quad n^2 D^2 = 12,17^2 \cdot 0,7^2 = 72,57.$$

Следовательно, $K_Q = \frac{2,0}{4,17} = 0,48$; $K_H = \frac{10,6}{72,57} = 0,146$.

Этим коэффициентам на рисунке IV—14 соответствует точка А при угле поворота лопастей рабочего колеса $\delta = 0^\circ$ и к. п. д. $\eta = 85,5\%$.

Пересчет характеристики безразмерной в размерную ведется следующим способом: берут ряд точек на кривой $K_H = f(K_Q)$ (обычно в местах пересечения с кривыми к. п. д.) и, пользуясь приведенными выше формулами, получают Q и H , а также и Δh_1 . Пересчет характеристики удобно вести в табличной форме (табл. IV—11).

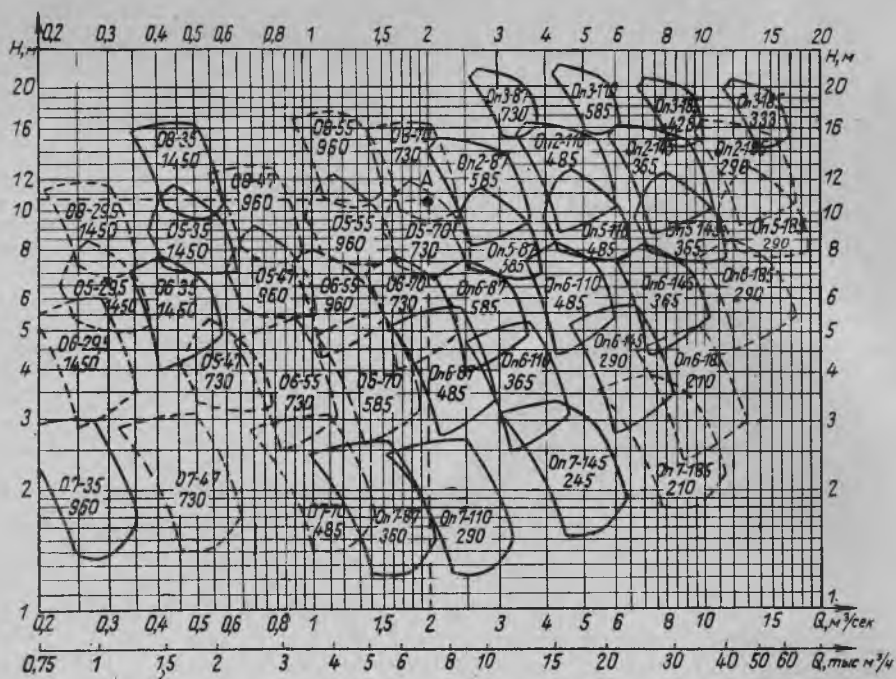


Рис. IV—13. Сводный график полей Q и H осевых насосов типа О и ОП. Пунктиром показаны поля характеристик насосов, подлежащих освоению по индивидуальным заказам.

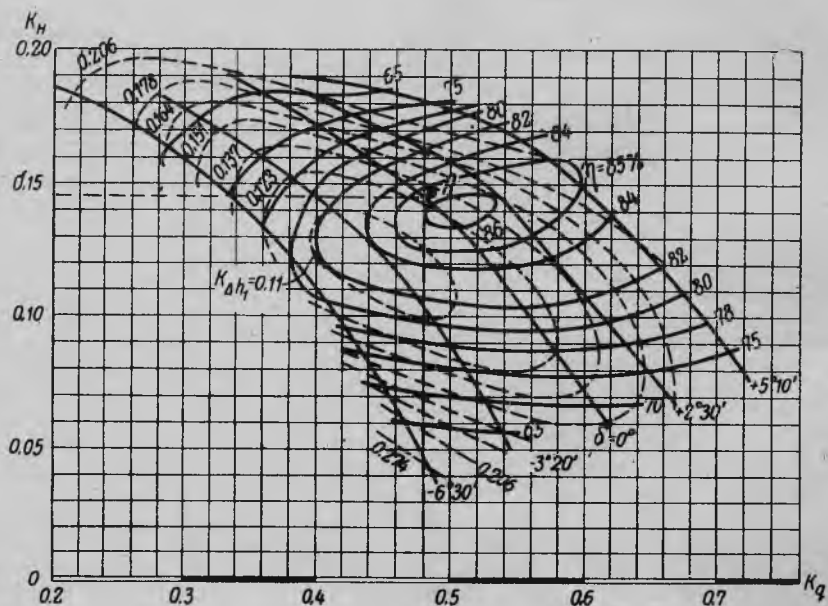


Рис. IV—14. Безразмерные характеристики насосов О5 и Оп5.

ТАБЛИЦА IV—11

Безразмерная характеристика				Размерная характеристика		
$\eta \%$	K_H	K_Q	$K_{\Delta h_1}$	$H, м$	$Q, м^3/сек$	$\Delta h_1, м$
70	0,184	0,360	0,178	13,40	1,50	12,90
75	0,172	0,400	0,164	12,50	1,67	11,90
80	0,160	0,435	0,148	11,60	1,81	10,80
84	0,150	0,468	0,137	10,90	1,94	9,90
85	0,146	0,480	0,131	10,60	2,00	9,50
86	0,142	0,488	0,124	10,30	2,04	9,0
86	0,134	0,508	0,122	9,75	2,12	8,90
84	0,125	0,520	0,120	9,10	2,16	8,70
80	0,094	0,568	0,122	6,80	2,36	8,90
75	0,078	0,592	0,132	5,65	2,46	9,60
70	0,068	0,608	0,144	4,95	2,55	10,40

Размерная характеристика, построенная по данным таблицы IV—11, представлена на рисунке IV—15. Размеры насоса берут из каталога. Для получения универсальной характеристики необходимо сделать аналогичный пересчет по кривым $K_H=f(K_Q)$ для других углов δ установки лопастей.

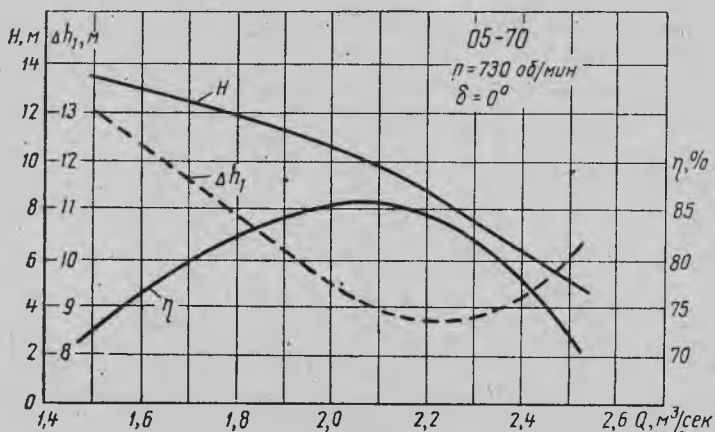


Рис. IV—15. Размерные характеристики насоса О5-70.

На рисунках IV—7, IV—8, IV—13, IV—16, IV—17, IV—18, IV—19, IV—20, IV—21 приводятся сводные графики различных насосов, выпускаемых заводами СССР.

Пример 2. Расчет эрлифтной установки для следующих условий: расчетная подача воды из скважины $Q=135 м^3/ч$ (37,5 л/сек), отметка устья скважины 162 м, отметка уровня излива 164 м, отметка статического уровня воды 142 м, удельный дебит скважины $q_0=15 м^3/ч$. Схема установки представлена на рисунке IV—22, где обозначены все основные элементы ее. Сжатый воздух от компрессора подается по воздушной трубе в скважину, где через башмак (форсунку) поступает в водоподъемную трубу и, смешиваясь с водой, образует эмульсию. По принципу работы сообщающихся сосудов эмульсия поднимается на поверхность земли в воздухоотделитель. Воздух отделяется, уходит в атмосферу, а вода стекает в подземный железобетонный резервуар (уровни воды в резервуаре: максимальный 163 м, минимальный 161 м), из которого она насосами второго подъема подается по стальному трубопроводу диаметром 200 мм в контррезервуар, находящийся на расстоянии 500 м, с отметкой уровня воды в нем 174 м. В одном здании размещаются компрессор и насосы, подающие воду в контррезервуар (см. учебник [69], рис. 239). Ниже приводится приближенный расчет эрлифтной установки.

1. Понижение уровня воды в скважине при работе

$$h_d = \frac{Q}{q_0} = \frac{135}{15} = 9 м.$$

2. Отметка динамического уровня воды

$$142 - 9 = 133 м.$$

$H, \text{ м вод.ст.}$

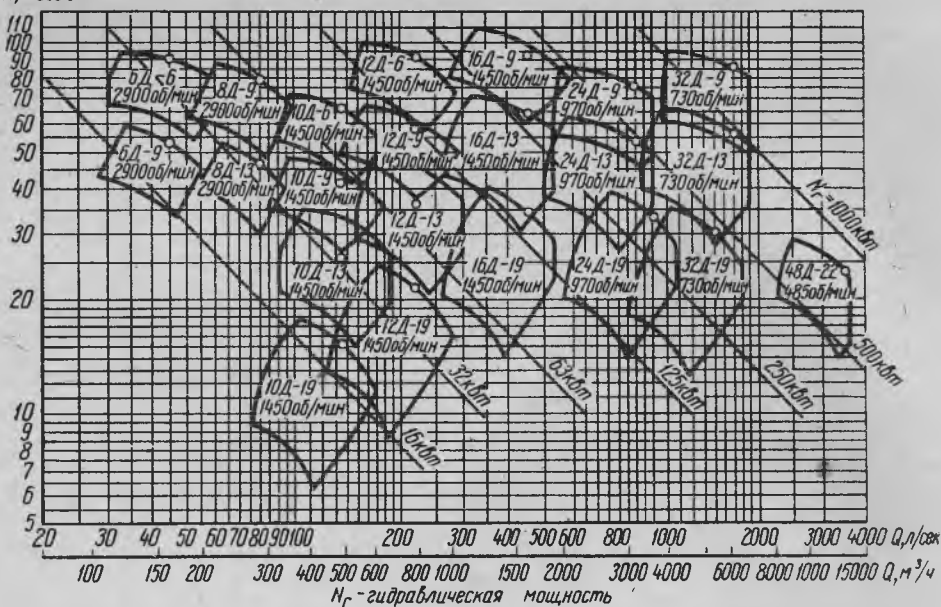


Рис. IV—16. Сводный график одноколесных центробежных насосов, двухстороннего входа воды на рабочее колесо (по ГОСТ 10272—62).

$H, \text{ м}$

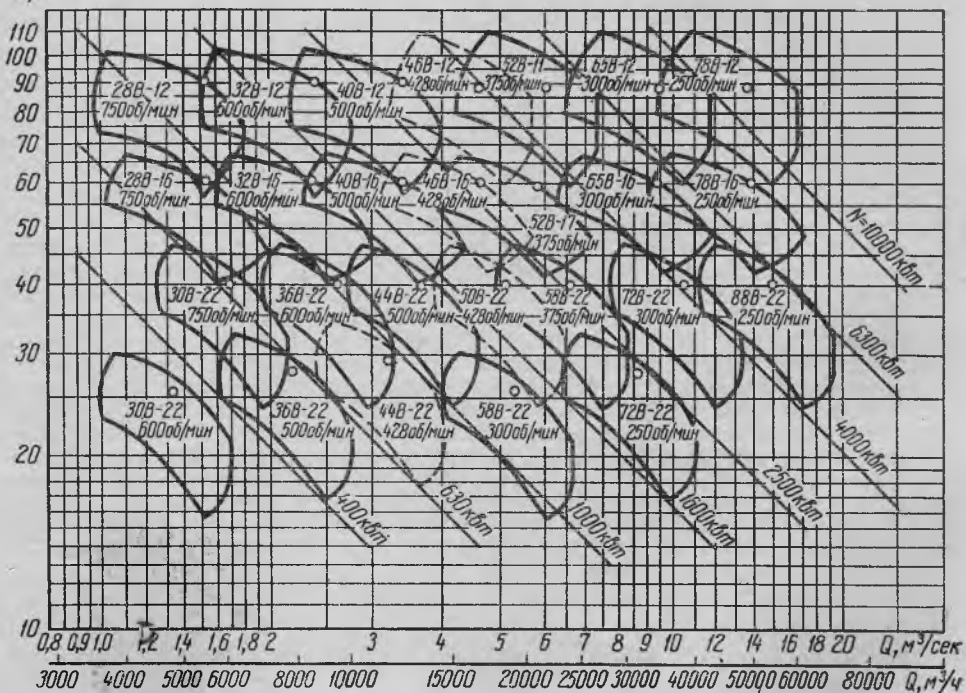


Рис. IV—17. Сводный график центробежных вертикальных насосов (по ГОСТ 4241—62).

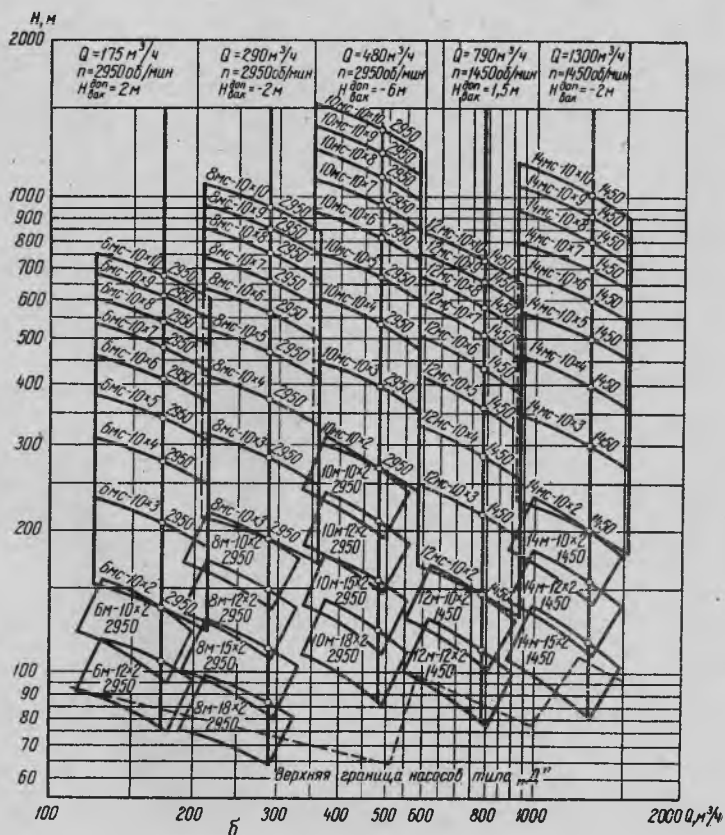
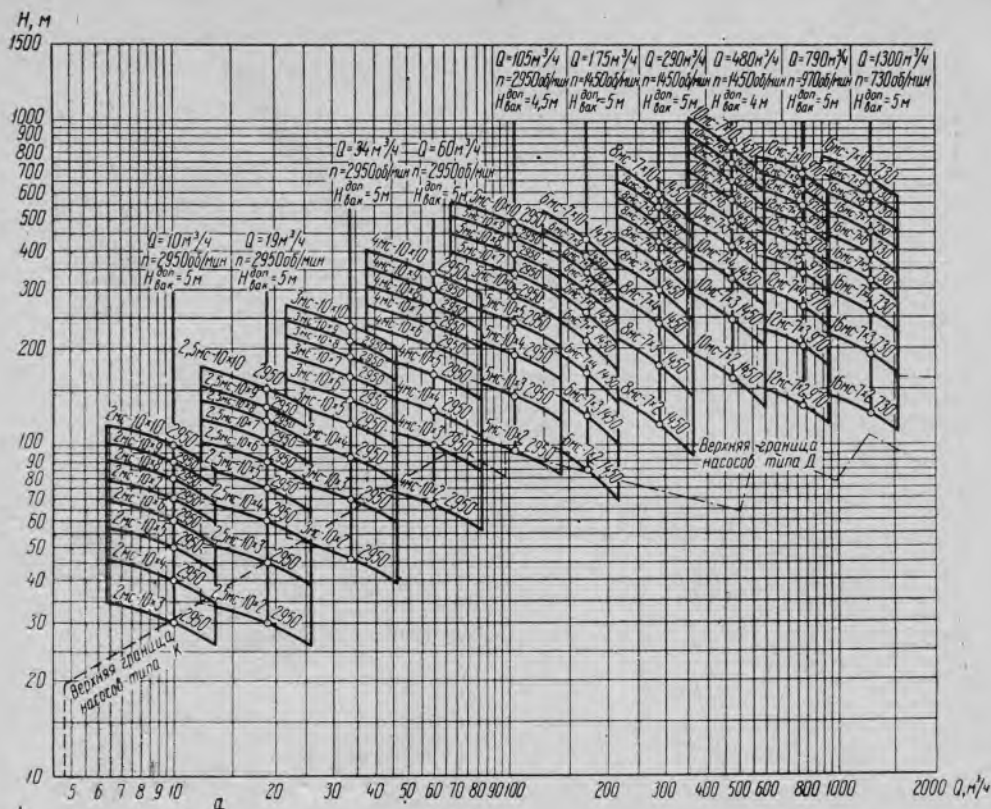


Рис. IV—18. Сводные графики центробежных многосекционных насосов (по ГОСТ 10407—63):

а — группа нормальных насосов; б — группа высоконапорных насосов.

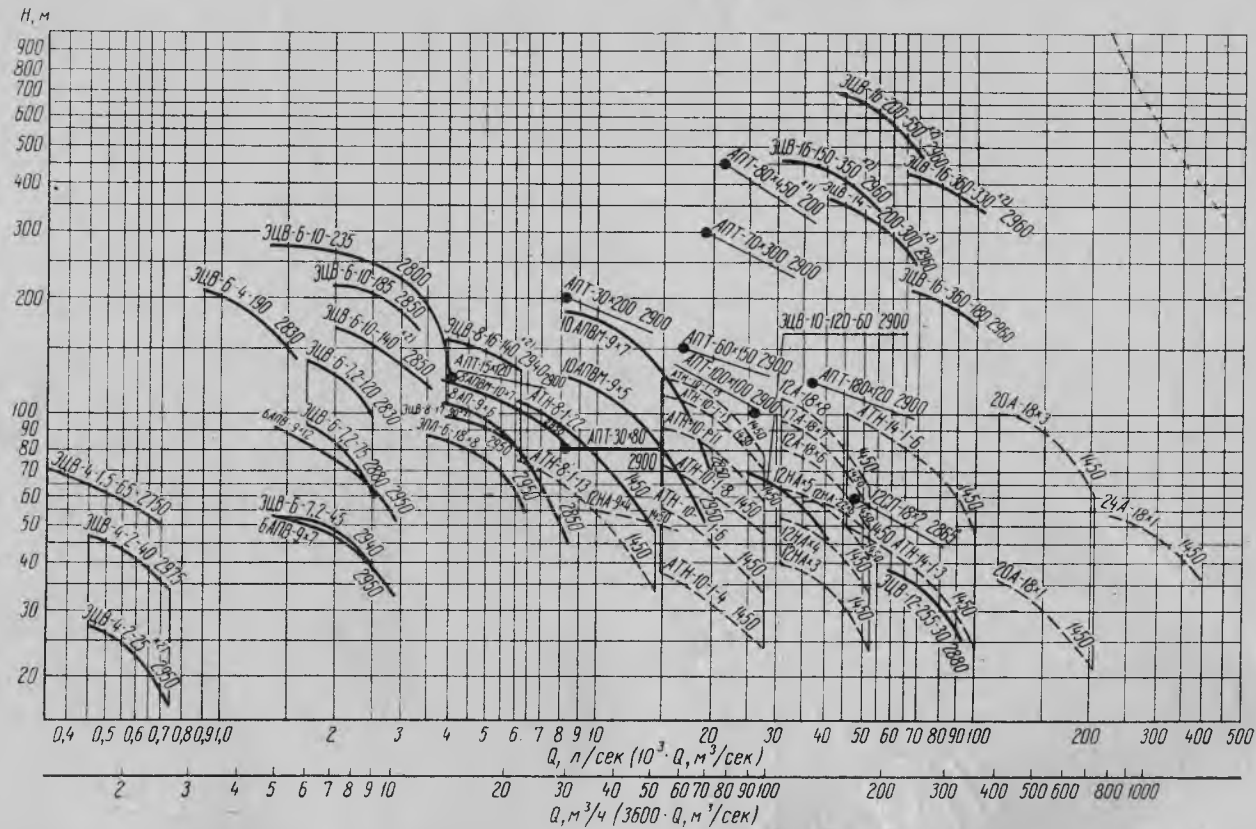


Рис. IV—19. Сводный график артезианских насосов (ВИГМ).

Н, м вод. ст.

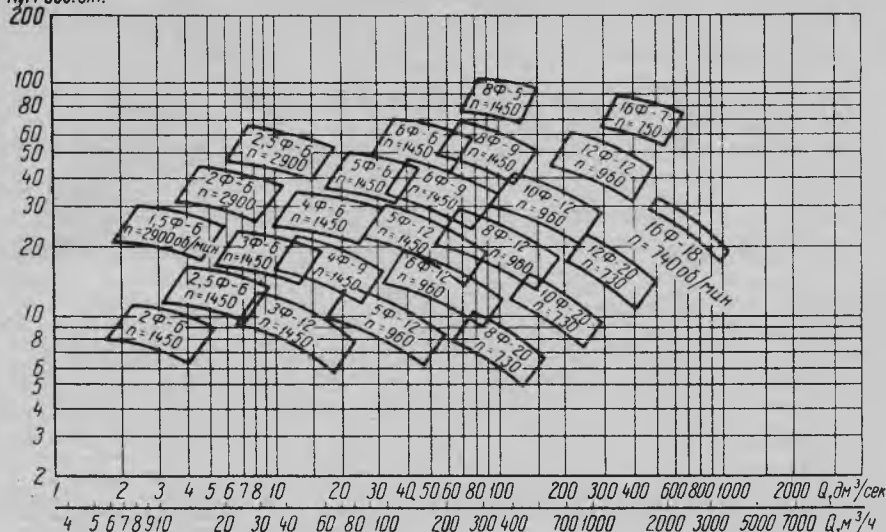


Рис. IV—20. Сводный график центробежных фекальных насосов (по ГОСТ 11379—65).

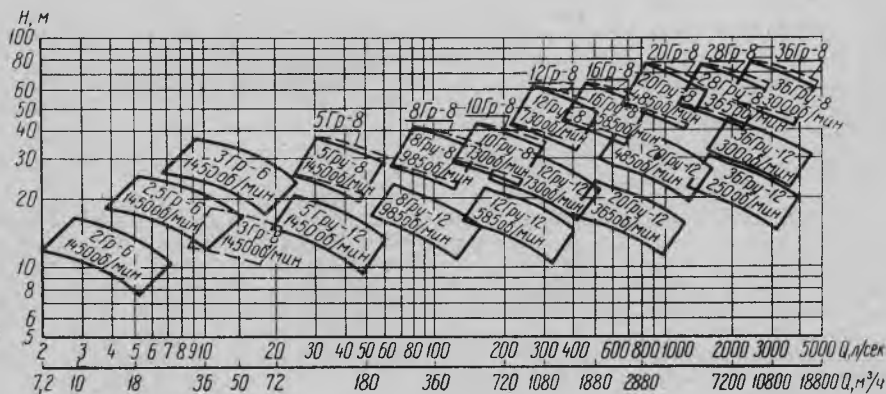
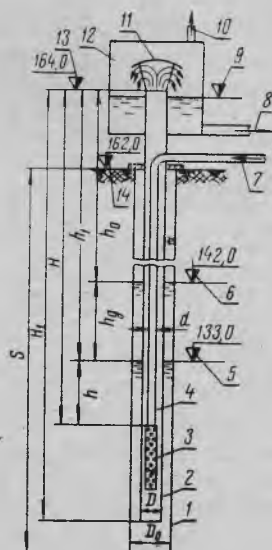


Рис. IV—21. Сводный график центробежных грунтовых насосов (по ГОСТ 9075—63).

Рис. IV—22. Схема эр-лифтной установки:

1 — обсадная труба; 2 — водоподъемная труба; 3 — башмак; 4 — воздушная труба; 5 — динамический уровень; 6 — статический уровень; 7 — сжатый воздух от компрессора; 8 — ток воды в подземный резервуар; 9 — уровень воды в приемном баке; 10 — отвод воздуха; 11 — воздухоотделитель; 12 — приемный бак; 13 — уровень излива; 14 — отметка устья скважины.



3. Расстояние статического уровня воды от уровня излива

$$h_0 = 164 - 142 = 22 \text{ м.}$$

4. Расстояние динамического уровня воды от уровня излива

$$h_1 = 164 - 133 = 31 \text{ м.}$$

5. Заглубление башмака-форсунки от уровня излива.

Согласно таблице IV—12, имеем при $h_1=31$ м коэффициент заглубления $K=2,2$ и $\eta_{в.в}=0,53$.

ТАБЛИЦА IV—12

Высота подъема воды h_1 , м	До 15	15—30	30—60	60—90	90—120
Коэффициент заглубления форсунки K	3—2,5	2,5—2,2	2,2—2,0	2,0—1,75	1,75—1,65
Гидравлический к. п. д. воздушного водоподъемника $\eta_{в.в}$	0,59	0,57	0,53	0,5	0,4

Заглубление башмака $H = Kh_1 = 2,2 \times 31 = 68$ м.

Длина водоподъемной трубы $H_1 = H + l_{баш} + 2 = 68 + 2,1 + 2 = \sim 72$ м,

где $l_{баш} = 2,1$ м — длина башмака (см. табл. IV—17).

6. Глубина скважины $S = H_1 - (164 - 162) + \Delta H = 72 - 2 + 5 = \sim 75$ м,

где ΔH — запас глубины скважины, обычно принимаемый 3—5 м.

7. Необходимый объем (количество) воздуха для работы эрлифта определим по формуле

$$V = V_0 Q = \frac{h_1 Q}{23 \eta_{в.в} \lg \frac{h_1 (K - 1) + 10}{10}} = \frac{31 \cdot 135}{23 \cdot 0,53 \lg \frac{31 \cdot (2,2 - 1) + 10}{10}} =$$

$$= 510 \text{ м}^3/\text{ч}, \text{ или } 8,5 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

$$V_0 = \frac{V}{Q} = \frac{510}{135} = 3,78 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Гидравлический к. п. д. эрлифта колеблется в пределах $\eta_{в.в} = 0,37 - 0,62$. Основные потери в эрлифте происходят из-за трения эмульсии, проскальзывания пузырьков воздуха, истечения воздуха из форсунки, ускорения движения эмульсии, излива эмульсии из водоподъемной трубы, поглощения тепла при расширении пузырьков воздуха вследствие уменьшения давления при подъеме эмульсии по водоподъемной трубе.

Вычисление этих потерь трудоемко и представляет некоторые трудности, поэтому для практических целей можно пользоваться к. п. д., указанными в таблице, где все эти потери учтены.

8. Производительность компрессора

$$W_K = a_1 a_2 W,$$

где a_1 и a_2 — коэффициенты зависимости производительности компрессора от температуры воздуха и от высоты расположения компрессора над уровнем моря.

$$W = V.$$

Практически для средних условий (с учетом утечек и пр.) $W_K = 1,2 W = 1,2 \cdot 8,5 = 10,2 \text{ м}^3/\text{мин.}$

9. Расчетное давление компрессора.

Пусковое давление $P_n = 0,1 (H - h_0 + 2) = 0,1 \times (68 - 22 + 2) = 4,8 \text{ ати.}$

Рабочее давление $P_p = 0,1 (H - h_1 + 5) = 0,1 (68 - 31 + 5) = 4,2 \text{ ати.}$

Цифры «2» и «5» — практически принимаемые потери давления в воздуховодах в м вод. ст. Если длины воздушных труб большие, следует потери напора определять по соответствующим формулам.

10. Мощность на валу компрессора определим по формуле

$$N_K = W_K P_p N_0 \alpha,$$

где N_0 — удельная мощность компрессора, принимаемая по таблице IV—13;

α — коэффициент, учитывающий изменение удельной мощности компрессора при изменении давления, которая увеличивается при снижении давления.

$$N_K = 10,2 \cdot 4,2 \cdot 1,52 = 65 \text{ л. с., или } 48 \text{ квт.}$$

Мощность двигателя компрессора принимается больше расчетной с коэффициентом запаса в пределах 1,15—1,3 для преодоления пускового момента в зависимости от мощности и типа двигателя.

$$N_{дв} = 1,2 N_K = 1,2 \cdot 65 = 78 \text{ л. с., или } 58 \text{ квт.}$$

ТАБЛИЦА IV-13

$P_{р. атм}$	Одноступенчатые компрессоры		Двухступенчатые компрессоры	
	$N_0\alpha$	α	$N_0\alpha$	α
8	—	—	1,00—1,05	1,0
7	—	—	1,08—1,13	1,08
6	1,3—1,4	1,0	1,15—1,21	1,15
5	1,38—1,5	1,07	1,25—1,31	1,25
4	1,48—1,60	1,14	1,45—1,52	(1,45)
3	1,61—1,74	1,24	1,75—1,84	(1,75)
2	1,71—1,89	1,35	—	—

Для преодоления пускового давления в рассмотренном примере, при относительно небольшой разнице пускового и рабочего давлений (15%), мощность двигателя не увеличиваем, учитывая принятый коэффициент запаса мощности его, некоторое уменьшение подачи воздуха в момент пуска и непродолжительность периода пуска. При значительной разнице давлений либо увеличивают мощность двигателя, либо устраивают ступенчатый пуск эрлифта, либо останавливают специальный пусковой компрессор. По производительности и давлению подбирают компрессор, а по мощности и числу оборотов — электродвигатель. Для выбора наиболее выгодного режима работы эрлифта составляют несколько вариантов его устройства (различное погружение труб) и останавливаются на варианте, имеющем наибольший к. п. д.

11. К. п. д. эрлифтной установки

$$\eta_{уст} = \frac{\gamma Q h_1}{102 N_{дв}} = \frac{1000 \cdot 135 \cdot 31}{3600 \cdot 102 \cdot 58} = 0,2, \text{ где } N_{дв} \text{ — потребляемая мощность на клеммах}$$

двигателя.

12. Диаметр водоподъемной трубы при большой ее длине (более 30—40 м) для увеличения к. п. д. эрлифта принимают переменный. Над форсункой он больше, а у излива меньше, то есть скорость движения эмульсии возрастает по мере ее подъема. Над форсункой скорость движения эмульсии 3—5 м/сек, а у излива 6—8 м/сек. Скорость движения воды в водоподъемной трубе до форсунки обычно принимают 1—2 м/сек, реже более 2,5 м/сек. При разных диаметрах по высоте водоподъемника трубы делают ступенчатыми. Скорость движения эмульсии у форсунки можно определить по формуле

$$v_{ср} = \frac{Q \left[1 + \frac{10V_0}{h_1(K-1)+10} \right]}{\alpha F_1} \text{ м/сек (3 ÷ 5 м/сек; } \sim 4 \text{ м/сек).}$$

Выше, на необходимой высоте h_2 скорость можно определить по формуле

$$v_2 = \frac{\left[1 + \frac{10V_0}{h_1(K-1)-h_2+10} \right]}{\alpha F_2}$$

Воздушная труба может быть расположена снаружи водоподъемной трубы (внешнее, параллельное расположение) и внутри (центральное, внутреннее). Последнее требует увеличения диаметра водоподъемной трубы. При центральном расположении в знаменатель вводится коэффициент α , учитывающий уменьшение производительности; значения его колеблются обычно в пределах 0,82—0,95. В таблице IV-14 приводятся значения коэффициента α .

ТАБЛИЦА IV-14

Диаметр водоподъемной трубы, мм	100		350	
	32	25	70	65
Диаметр воздушной трубы, мм	32	25	70	65
Поправочный коэффициент α	0,82	0,89	0,94	0,95
Процент уменьшения	18	11	6	5

Примем центральное расположение воздушной трубы. В нашем примере рассмотрим вариант водоподъемной трубы с одинаковым диаметром по всей ее длине, вычислив его по средней скорости движения эмульсии, рекомендуемой для излива $v_{изл} = 7$ м/сек с учетом стеснения сечения воздушной трубой.

$$D_{вод} = \sqrt{\frac{(Q+V) \cdot 4}{\pi v_{изл} \cdot 3600} + d^2} = \sqrt{\frac{(135+510) \cdot 4}{3,14 \cdot 7 \cdot 0,3600} + 0,083^2} = 0,2 \text{ м,}$$

где $d=0,083$ м — наружный диаметр воздушной трубы (см. ниже).

Наружный диаметр водоподъемной трубы 219 мм.

13. Диаметр воздушной трубы примем по средней рекомендуемой скорости движения воздуха $v_{\text{воз}}=8-10$ м/сек. Примем $v_{\text{воз}}=9$ м/сек и определим диаметр трубы по формуле

$$d_{\text{воз}} = \sqrt{\frac{W_k \cdot 4}{\pi (P_p + 1) 9 \cdot 60}} = \sqrt{\frac{10,2 \cdot 4}{3,14 (4,2 + 1) 9 \cdot 60}} = 0,068 \text{ м.}$$

Примем трубу наружным диаметром 83 мм.

14. Диаметр обсадной трубы скважины примем 250 мм.

15. Для оценки полученных результатов ниже приводятся некоторые практические данные, сведенные в таблицы.

ТАБЛИЦА IV—15

Производительность Q , л/сек	Параллельная система			Центральная система		
	водоподъемная D , мм	воздушная d , мм	обсадная $[D_0]_{\text{мин}}$, мм	водоподъемная D , мм	воздушная d , мм	обсадная D_0 , мм
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

ТАБЛИЦА IV—16

Расход воздуха, м³/ч	Диаметр воздушной трубы при давлении 3—8 атм., мм
10—30	15—20
34—59	20—25
60—100	25—32
101—200	32—38
201—400	38—51
401—700	51—63
701—1000	63—76

ТАБЛИЦА IV—17

Диаметр воздушной трубы d , мм	Длина башмака, мм	Число отверстий в ряду	Число рядов	Диаметр отверстий, мм
19	1490	6	20	4
25	1490	8	20	4
32	1490	8	20	5
38	1490	8	20	6
50	1490	8	20	6
65	2075	12	30	6
75	2075	15	30	6
100	2075	22	30	6

Полученные выше цифры близки к практическим данным. Емкость ресивера (воздушного резервуара) для компрессора при производительности его менее 30 м³/мин определим по формуле

$$V_{\text{рес}} = 2 \sqrt{W_k} = 2 \sqrt{10,2} = \sim 6,5 \text{ м}^3,$$

где W_k — производительность компрессора, м³/мин.

16. Подбор насосов второго подъема.

Геодезический напор насоса (средний), согласно приведенным выше отметкам уровня воды в резервуарах, составляет:

$$H_{\text{г.ср}} = 174 - \frac{163 + 161}{2} = 12 \text{ м.}$$

Полный напор насоса

$$H = H_{\text{г.ср}} + h_{\text{н.ст}} + h_{\text{т.н}} = 12 + 1 + 6,5 = 19,5 \text{ м,}$$

где $h_{\text{н.ст}}=1$ м — гидравлические потери в насосной станции, включая и всасывающие трубопроводы;

$h_{\text{т.н}}$ — потери в напорном трубопроводе.

$$h_{\text{т.н}} = A l Q^2 = 9,27 \cdot 500 \cdot 0,0375^2 = 6,5 \text{ м}$$

(значения коэффициентов см. в следующем примере).

Примем два насоса: рабочий и резервный. По $Q_n = 37,5$ л/сек и $H_n = 19,5$ м, согласно каталогу, принимаем насосы марки 6КМ-12 (с диаметром рабочего колеса 264 мм, $n = 1450$ об/мин) с электродвигателями мощностью по 14 кВт.

Пример 3. Подбор погружного артезианского центробежного насоса марки ЭЦВ для условий предыдущего примера.

Геодезический напор установки (рис. IV—23).

$$H_r = 174 - 133 = 41 \text{ м.}$$

Ближайшим погружным насосом, который принимается предварительно, будет ЭЦВ-10—120—60, диаметр водоподъемной трубы 121 мм, длина ее (рис. IV—23) $159,5 - 130 = 29,5$ м. Определим гидравлические сопротивления установки по зависимости

$$h_{т.н} = (h'_{т.н} + h''_{т.н}) K = (A_1 l_1 + A_2 l_2) Q^2 K,$$

где $h'_{т.н}$ — потери в водоподъемной трубе $l_1 = 29,5$ м; $d_1 = 121$ мм;

A_1 — коэффициент удельного сопротивления (по таблице гидравлических расчетов), равный 106,2;

$h''_{т.н}$ — потери в напорном трубопроводе $l_2 = 500$ м, $d_2 = 200$ мм;

A_2 — коэффициент удельного сопротивления, равный 9,27;

Q — подача насоса; $Q = 135$ м³/ч, или 0,0375 м³/сек;

$K = 1,05$ — коэффициент, учитывающий местные сопротивления (принят по опытным данным, из-за простоты коммуникаций трубопроводов величина его небольшая).

Подставим значения и определим $h_{т.н}$:

$$h_{т.н} = (A_1 l_1 + A_2 l_2) Q^2 K = (106,2 \cdot 29,5 + 9,27 \cdot 500) 0,0375^2 \cdot 1,05 = 11,4 \text{ м.}$$

Напор, преодолеваемый насосом, $H = H_r + h_{т.н} = 41 + 11,4 = 52,4$ м.

По этим параметрам ($H = 52,4$ м; $Q = 0,0375$ м³/сек) хорошо подходит погружной насос ЭЦВ-10—120—60. Его к. п. д. (рис. IV—23) при расходе $Q = 0,0375$ м³/сек будет $\eta = 0,74$, то есть близок к максимальному $\eta = 0,75$. Напор насоса $H = 53$ м; расхождение с необходимым напором установки всего $\frac{53,0 - 52,4}{53} 100 = 1,1\%$, что вполне допустимо.

Других насосов, более близких с таким к. п. д., нет. На рисунке IV—24, а приводится схема установки насоса ЭЦВ-10—120—60, в которой, согласно каталогу*, принято:

а) заглубление верха насоса под динамический уровень $B = 3,5$ м (необходимо $B \geq 3$ м);

б) длина агрегата (насоса и двигателя в собранном виде) $A = 1,96$ м ~ 2 м;

в) двигатель типа ПЭДВ—32—320 (водозаполненный) мощностью 32 кВт, трехфазный с числом оборотов $n = 2880$ об/мин;

г) вес установки 1604 кг, в том числе:

насос — 124 кг,

двигатель — 200 кг,

напорный трубопровод —

1119 кг, электрокабель — 160 кг.

Фактическая длина напорного трубопровода установки меньше (вместо 64 м по каталогу имеем всего ~ 30 м), поэтому вес трубопровода и кабеля будет меньше приведенных;

г) внутренний диаметр водоподъемной трубы 121 мм, внутренний диаметр обсадной трубы скважины 250 мм;

е) максимальный наружный размер агрегата в скважине 234 мм;

ж) диаметр рабочего колеса насоса 153 мм.

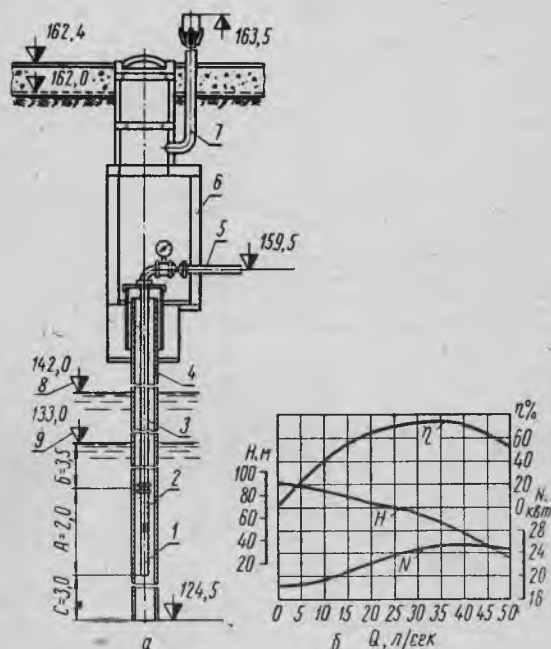


Рис. IV—23. Схема установки погружного насоса ЭЦВ-10-120-60 (электрический центробежный водоподъемный, диаметр обсадной трубы скважины $d = 10 \times 25 = 250$ мм; производительность $Q = 120$ м³/ч; напор $H = 60$ м):

а — установка насоса; б — характеристика насоса ($n = 2800$ об/мин, 3 ступени); 1, 2 — погружные электродвигатель и насос; 3 — водоподъемная труба; 4 — обсадная труба; 5 — напорный трубопровод; 6 — колодец железобетонный сборный; 7 — вентиляционная труба; 8 — статический уровень; 9 — динамический уровень.

* Каталог-справочник «Погружные и артезианские насосы», ВИГМ, Машиностроение, М., 1964.

Глубину скважины в этом случае следует принять на 2—3 м ниже насосного агрегата, и отметка ее низа будет $133 - 3,5 - 2 - 3 = 124,5$ м. Глубина скважины $162 - 124,5 = 37,5$ м, то есть в два раза меньше, чем в предыдущем примере. Глубина скважины из-за глубокого расположения водоносных горизонтов может быть значительно больше, а расположение статического и динамического уровней воды определяется степенью напорности водоносного пласта, дебита скважины и забираемого насосом расхода. Скважины могут быть и самоизливающимися.

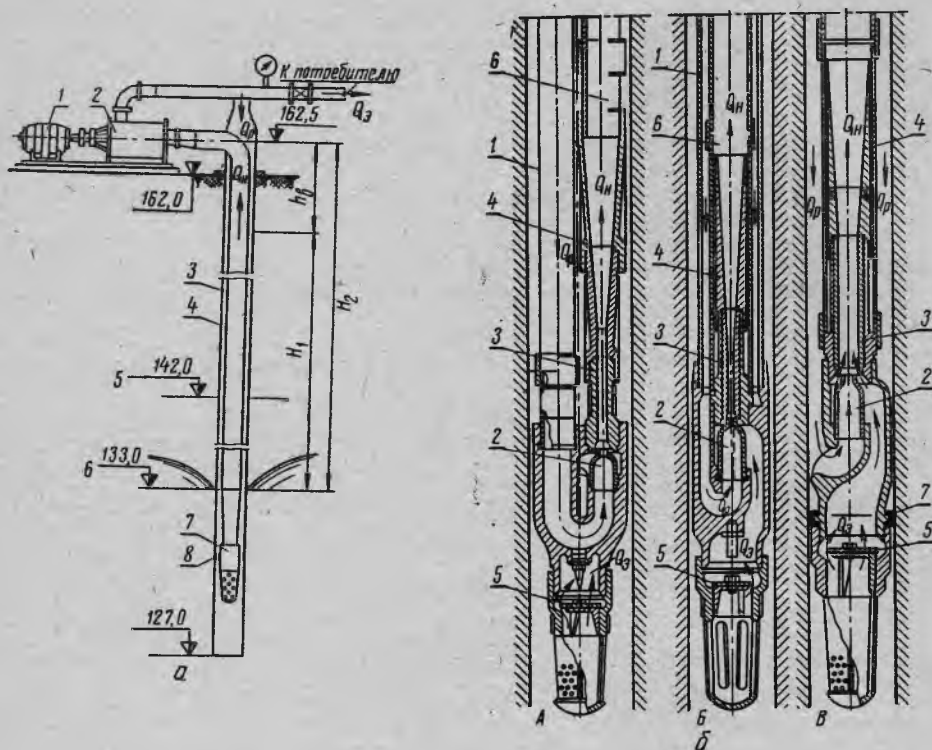


Рис. IV—24. Схема насосо-гидроэлеваторной установки:

а — насосо-гидроэлеваторная установка: 1 — электродвигатель; 2 — центробежный насос; 3 — водо-подъемная (смесительная) труба; 4 — обсадная труба; 5 — статический уровень воды; 6 — динамический уровень воды; 7 — водоструйный аппарат (гидроэлеватор); 8 — резиновое уплотнение; *б* — водоструйные аппараты: *А* — трехтрубная конструкция с параллельным расположением рабочей и водоподъемной труб; *Б* — трехтрубная конструкция с центральным расположением рабочей трубы в водоподъемной; *В* — двухтрубная конструкция; 1 — подача рабочей воды между обсадной и водоподъемной трубами; 2 — насадка (сопло); 3 — камера смещения; 4 — диффузор; 5 — обратный клапан; 7 — резиновое уплотнение.

Пример 4. Расчет насосо-гидроэлеваторной установки для условий предыдущих примеров.

Определим напор и расход установки. Отметка оси насоса (с учетом отметки пола здания станции и высоты фундамента насоса над полом) 162,5 м. Приняв допустимую геодезическую высоту всасывания насоса $h_b = 4,5$ м, будем иметь по условиям подачи воды потребителю условный геодезический напор насоса $H_r = 174 - 162,5 + 4,5 = 16$ м.

Напор, преодолеваемый насосом при работе на контррезервуар, будет $H = H_r + h_1 = 16 + 9,27 \cdot 500 \cdot 0,0375^2 \cdot 1,05 + 0,5 = 23,4$ м,

где 9,27 — удельные сопротивления;

1,05 — коэффициент, учитывающий местные потери;

0,5 м — потери во всасывающей трубе насоса.

Определим напор насоса по условиям обеспечения работы струйного аппарата. Коэффициент эжекции примем $u = 1$, значение которого колеблется для зон работы струйных аппаратов с максимальным к. п. д. в пределах 0,8—1,2.

Расход насоса при коэффициенте эжекции $u = \frac{Q_p}{Q_s} = 1$ будет:

$$Q_n = Q_p + Q_s = 0,0375 + 0,0375 = 0,075 \text{ м}^3/\text{сек},$$

где Q_p — расход рабочей воды;

Q_s — расход скважины или расход эжектируемой воды, подаваемой потребителю;

Q_n — расход насоса.

На рисунке IV—24, а приводится схема насосо-гидроэлеваторной установки, а на рисунке IV—24, б — показаны различные схемы водоструйных аппаратов (гидроэлеваторов) с центральным расположением насадки. Есть гидроэлеваторы кольцевые: рабочая жидкость подается по кольцевому отверстию (насадке), а эжектируемая движется в центре. Есть гидроэлеваторы с двухслойным движением эжектируемой жидкости (двухповерхностное касание с рабочей жидкостью); поток имеет в гидроэлеваторе как бы трехструйное движение: в центре и по крайнему кольцевому отверстию движется эжектируемая вода, а между ними по кольцевому отверстию движется рабочая вода.

Струйные аппараты двух последних конструкций (кольцевой и двухповерхностный) имеют несколько повышенный к. п. д.

По количеству используемых труб насосо-гидроэлеваторные установки могут быть (рис. IV—24, б): А и Б — трехтрубные (обсадная, подвод рабочей воды и водоподъемная) с параллельным и центральным взаимным расположением двух последних труб в скважине и В — двухтрубные, когда пространство между обсадной и водоподъемной трубой используется для подвода рабочей воды к гидроэлеватору. Такая схема наиболее экономична. В расчете примем схему двухтрубной насосо-гидроэлеваторной установки, а струйный аппарат с центральным расположением насадки (рис. IV—24, б, В). Все обозначения и размеры показаны на схеме установки. Гидроэлеватор погружен в воду и выходным отверстием диффузора находится на отметке динамического уровня. Примем обсадную трубу размером 273/257, где 273 и 257 мм соответственно наружный и внутренний диаметры. Водоподъемную трубу примем размером 194/184, где 194 и 184 мм соответственно наружный и внутренний диаметры. Напор воды в выходном сечении диффузора гидроэлеватора $h_d = H_2 - h_v \pm h_{wv} = 29,5 - 4,5 + 0,081 (29,5 - 4,5) 1,1 = 27,23$ м,

где 0,081 = i — удельное сопротивление, определенное по формуле Маннинга (при $n = 0,013$ и $y = 1/6$ в формуле Н. Н. Павловского);

1,1 — коэффициент учета местных сопротивлений.

Потери напора при подаче рабочей воды по кольцевому пространству, определенные так же, составляют $i = 0,12$.

Для расчета эжектора и необходимого напора насоса можно пользоваться таблицей [28], в которой приведены удельные показатели, вычисленные по закону подобия. Ниже приводим сокращенную выписку из этой таблицы (приложение 10; первый класс чистоты: $\xi_1 = 0,108$; $\xi_2 = 0,108$; $\xi_3 = 0,35$; $n = n_{\text{наив}}$).

ТАБЛИЦА IV—18

и	n	v'_3 уд	v_3 уд	v_2 уд	v_1 уд	$\eta_{\text{ст.г}}$
		м/сек				
0,5	0,398	5,808	4,302	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

Принятые обозначения: v_1 , v_2 , v_3 и v'_3 — скорости соответственно на выходе насадки, эжектируемого (подмешиваемого) потока в самом начале смесительной камеры, общего потока в конце смесительной камеры и осредненная скорость по количеству движения в начале смесительной камеры; индекс «уд» показывает, что в таблице дается приведенное значение скоростей, а для получения действительной скорости необходимо табличное значение умножить на $\sqrt{H}$, где H — действующий напор; $\eta_{\text{ст.г}}$ — статический к. п. д. гидроэлеватора — отношение полезной работы, создаваемой струйным аппаратом, к работе, затрачиваемой насосом:

$$\eta_{\text{ст.г}} = \frac{Q_3 (H_2 + H_3)}{Q_p (H_1 - H_3)},$$

где H_1 , H_2 и H_3 — соответственно напоры (м) у выходного сечения насадки во всасывающем трубопроводе (вакуум) и в водоподъемной (смесительной) трубе; $n = \frac{v_2}{v_3}$,

ξ_1 , ξ_2 и ξ_3 — коэффициенты сопротивлений: насадки (местные сопротивления, насадки, поворота рабочего потока и др.), проточной части эжектируемой воды, смесительной камеры и диффузора, соответствующие первому классу чистоты обработки элементов проточной части гидроэлеватора (достаточно грубая обработка).

Скорость подмешиваемого (эжектируемого) потока примем $v_2 = 7$ м/сек, чтобы не развивать большого вакуума; при этом примем $\xi_2 = 0,108$ (потери на трение во всасывающей трубе и потери при входе всасываемого потока).

Вакуум при входе эжектируемого потока в смесительную камеру будет:

$$(1 + \xi_2) \frac{v_2^2}{2g} = (1 + 0,108) \frac{7^2}{19,62} = 2,77 \text{ м.}$$

Приняв $\xi_3=0,35$, определим скорость v_3 :

$$\frac{1}{1 + \xi_3} \frac{(v_3')^2}{2g} = h_d - h_{\text{вак}}; \quad v_3' = \sqrt{(h_d - h_{\text{вак}}) (1 + 0,35) 2g};$$

$$v_3' = \sqrt{[27,23 - (-2,77)] 1,35 \cdot 19,62} = 28,2 \text{ м/сек.}$$

По зависимости $u = \frac{v_1 - v_3}{v_3' - v_2 \cos \alpha_2}$, откуда $v_1 = u(v_3' - v_2 \cos \alpha_2) + v_3$; $\cos \alpha_2 = 0,9$ — косинус угла входа эжектируемого потока.

$v_1 = 1(28,2 - 7,0 \cdot 0,9) + 28,2 = 50,1 \text{ м/сек.}$

Согласно таблице, $v_{1\text{уд}} = 9,478$, а $v_1 = v_{1\text{уд}} \sqrt{h_d - h_{\text{вак}}} = 9,478 \sqrt{30} = 52 \text{ м/сек}$, то есть близко к полученной величине.

По значению v_1 определим необходимый напор рабочей воды у насадки с учетом $\xi_1=0,108$:

$$h_p = \frac{v_1^2}{2g} (1 + \xi_1) = \frac{50,1^2}{19,62} \cdot 1,108 = 142 \text{ м.}$$

Необходимая приведенная высота нагнетания насоса

$$H_{\text{н.п}} = h_p - H_2 + h_{wp} = 142 - 29,5 + 0,12 \cdot 29,5 = 116,04 \text{ м.}$$

Полный напор насоса $H = H_{\text{в.п}} + H_{\text{н.п}} = 4,5 + 0,5 + 116,04 = 121 \text{ м}$, где $H_{\text{в.п}} = h_{\text{в}} + h_{\text{т.в}}$; $i=0,12$ — удельное сопротивление кольцевого пространства подвода рабочей воды.

$$\text{Диаметр насадки } d_1 = \sqrt{\frac{Q_p \cdot 4}{\pi v_1}} = \sqrt{\frac{0,0375 \cdot 4}{3,14 \cdot 50,1}} = 0,0309 \text{ м} = 30,9 \text{ мм.}$$

Площадь выходного сечения насадки

$$f_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 3,09^2}{4} = 7,48 \text{ см}^2.$$

Площадь для подвода подмешиваемого (эжектируемого) потока

$$f_2 = \frac{Q_3}{v_2} = \frac{0,0375}{7} = 0,00537 \text{ м}^2 = 53,7 \text{ см}^2.$$

Площадь смесительной камеры в ее начале

$$f_{3\text{н}} = f_1 + f_2 = 7,48 + 53,7 = 61,18 \text{ см}^2.$$

Диаметр смесительной камеры в ее начале

$$d_{3\text{н}} = \sqrt{\frac{61,18 \cdot 4}{3,14}} = 8,8 \text{ см} = 88 \text{ мм.}$$

Площадь сечения горловины

$$f_3 = \frac{Q_n}{v_3} = \frac{0,075}{20,9} = 0,00359 \text{ м}^2 = 35,9 \text{ см}^2.$$

$$\text{Диаметр горловины } d_3 = \sqrt{\frac{35,9 \cdot 4}{3,14}} = 6,76 \text{ см} = 67,6 \text{ мм.}$$

Начало смесительной камеры располагаем от выходного сечения насадки на расстоянии $l_1 = 1,5d_1 = 30,9 \cdot 1,5 = 46 \text{ мм}$. Длину смесительной камеры принимаем $8d_3 = 8 \cdot 67,6 = 540 \text{ мм}$. Длину диффузора принимаем $l_d = 7(d_n - d_3) = 7(184 - 67,6) = 800 \text{ мм}$, чтобы обеспечить центральный угол его 8° . По напору ($H=121 \text{ м}$) и расходу ($Q_n = 75 \text{ л/сек}$) принимаем насос 8МС-7×2, к.п.д. насоса 0,73, мощность двигателя 168 кВт.

Статический к. п. д. гидроэлеватора

$$\eta_{\text{ст.г}} = \frac{Q_3 (h_d + h_{\text{вак}})}{Q_p h_p} = \frac{0,0375 \cdot 30}{0,0375 \cdot 142} = 0,211.$$

К. п. д. насосо-гидроэлеваторной установки

$$\eta_{н.г.у} = \eta_n \cdot 0,211 = 0,73 \cdot 0,211 = 0,154.$$

Глубина скважины $162-133+l_{г.э}\pm 3=35$ м, где $l_{г.э}=2,8$ м — длина гидроэлеватора со всасывающим устройством.

§ 5. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ОСНОВНОГО НАСОСА

На мелиоративных насосных станциях применяются электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания, ветродвигатели и могут быть использованы паровые двигатели. Двигатель выбирается в зависимости от вида энергии, максимальной расчетной мощности, числа оборотов в минуту, формы исполнения двигателя (с вертикальным, горизонтальным валом), способа соединения с насосом и др.

Расчетная мощность двигателя определяется по формуле

$$N_p = \frac{\gamma Q_n H_n k}{102 \eta_n \eta_{пер}} \text{ кВт},$$

где Q_n и H_n — расход и напор насоса, дающие наибольшую мощность по режиму работы; чаще всего для центробежного насоса максимальная мощность соответствует максимальному расходу $Q_{н\text{ макс}}$ при минимальном напоре $H_{н\text{ мин}}$ а для осевого (пропеллерного) насоса — минимальному расходу при максимальном напоре;

η_n — к. п. д. насоса;

$\eta_{пер}$ — к. п. д. передачи; при непосредственном соединении двигателя и насоса $\eta_{пер}=1$;

k — коэффициент запаса на неточность характеристики насоса, случайных дополнительных потерь и т. п.

В таблице IV—19 на основе опыта проектирования и эксплуатации приведены значения k в зависимости от мощности двигателя.

ТАБЛИЦА IV—19

Мощность двигателя, кВт	1—2	2—10	10—50	50—100	100—200	200
Коэффициент запаса k	2	2—1,3	1,3—1,2	1,2—1,1	1,1—1,05	1,05

В насосных станциях наиболее распространены электродвигатели, обладающие рядом преимуществ перед остальными двигателями: компактность, меньший вес, приходящийся на один киловатт мощности, легкость эксплуатации, надежность в работе, экономичность и др.

Электродвигатель должен выбирать специалист электрик с учетом всех условий работы насосной станции. Описание типов электродвигателей, их характеристик и указания по применению даны в учебнике [69].

§ 6. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Гидромеханическое оборудование. Вспомогательные насосные установки, включающие всасывающие и напорные трубопроводы со всей необходимой регулирующей, отключающей, переключающей и предохранительной аппаратурой, могут быть следующие:

вакуум-насосные, предназначенные для заливки основных насосов, имеющих положительную высоту всасывания;

дренажные, предусматриваемые для откачки фильтрационных вод, поступающих через стенки здания насосной станции, гидротехнические швы и др.;

осушительные, применяемые для откачки воды из всасывающих труб и приемных камер в период ремонта, осмотра и т. д.;

для откачки грязевого осадка из водоприемных камер;
 для хозяйственных и технических нужд насосной станции;
 масляные, предназначенные для маслоснабжения насосной станции;
 для противопожарных целей.

Для привода насосного оборудования вспомогательных насосных установок имеется соответствующее энергетическое оборудование.

Кроме того, на насосных станциях имеется контрольно-измерительная аппаратура, установленная на основном и вспомогательном оборудовании, грузоподъемное оборудование для монтажных и демонтажных работ, пневматическое оборудование для ремонтных и эксплуатационных работ, вентиляционные и отопительные установки для создания нормальных условий обслуживания станций и сохранности оборудования. установки для передачи механической энергии от двигателя к насосу.

Подробно со схемами установок, устройством и расчетами вспомогательного оборудования можно ознакомиться в учебнике [69].

При определении теплотерь в здании или количества тепла, проникающего в здание из окружающей среды, коэффициент теплопередачи k_v может быть принят из таблицы IV—20.

ТАБЛИЦА IV—20

Характеристика поверхности	Коэффициент k_v , ккал/м ² в час на 1°		
	для внутренней поверхности	для наружной поверхности	для поверхности, обмываемой водой
Неизолированные стальные борта понтонов, трубопроводов и насосов	3	4	6
Деревянные перегородки, стены и перекрытия	2—2,5	2,5—3	—
Деревянные двери	2	2,5	—
Окна	—	5	—
Кирпичные стены толщиной, см:			
64	0,91	0,91	—
51	1,10	1,10	—
38	1,38	1,38	—

В таблице IV—21 приведены основные параметры водокольцевых вакуум-насосов (ГОСТ 10 889—64).

ТАБЛИЦА IV—21

Марка вакуум-насоса	Номинальная производительность, м ³ /мин	Вакуум, %		Максимальная удельная мощность, квт/м ³ /мин	Максимальный вес, кг
		при номинальной производительности	максимальный		
ВВН-0,75	0,75	60	85	2,8	50
ВВН-1,5	1,5	70	90	2,2	110
ВВН-3	3,0			2,0	120
ВВН-6	6,0				320
ВВН-12	12		95	1,7	475
ВВН-25	25				1 300
ВВН-50	50				3 000
ДВВН-100	100	65	85	1,8	8 000
ДВВН-150	150				12 000

§ 7. ВИБРАЦИОННЫЕ И ЛЕНТОЧНЫЕ ВОДОПОДЪЕМНИКИ

У вибрационных водоподъемников рабочим органом является механический вибратор, сообщаящий поднимаемой жидкости колебательное движение, что позволяет использовать инерционные свойства ее для подъема. Существуют разнообразные конструкции вибрационных водоподъемников, имеющих общий принцип работы. В качестве примера приводим описание вибрационного водоподъемника НЭБ-1/20, выпускаемого Московским заводом «Динамо» им. С. М. Кирова и представленного на рисунке IV—25.

При нормальной работе насос подает $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ воды с напором 20 м. Максимальный напор $H=30 \text{ м}$ и подача $0,15\text{--}0,2 \text{ л/сек}$. Максимальная подача $0,9 \text{ л/сек}$ при $H=1 \text{ м}$. Максимальная мощность насоса 250 вт. Весит насос 8 кг. В комплект входит 20 м полиэтиленового шланга. Электромагнитный вибратор состоит из П-образного пакета железа и двух катушек 15, залитых эпоксидными смолами в корпусе 9. Все корпусные детали отлиты из селумина или литевой пластмассы. Якорь электромагнита 8, собранный из прессованного железа толщиной 0,5 мм, установлен на штоке 3 и зажимается с одной стороны головкой штыря, а с другой — резино-металлическим амортизатором 7. Зазор между якорем электромагнита и катушечной частью в нерабочем положении в пределах 3—

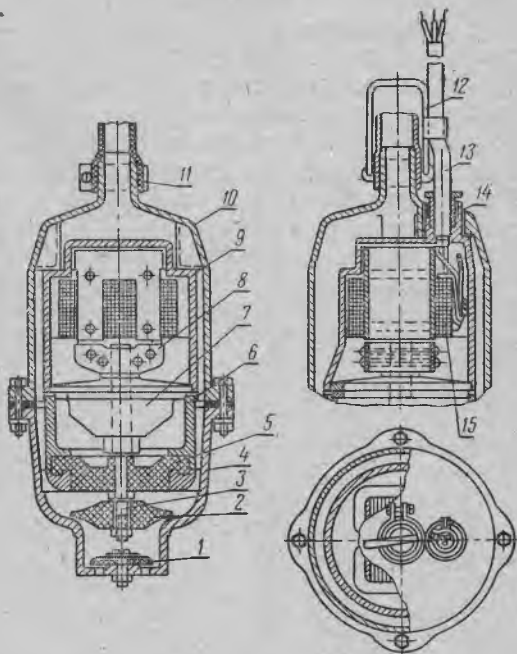


Рис. IV—25. Схема вибрационного водоподъемника НЭБ-1/20:

- 1 — обратный клапан; 2 — рабочий орган (поршень); 3 — шток; 4 и 10 — наружные корпусные детали; 5 — диафрагма; 6 и 9 — внутренние корпусные детали; 7 — амортизатор; 8 — электромагнит; 11 — гибкий шланг; 12 — дужка (ручка); 13 — электрокабель; 14 — проходной герметический штуцер; 15 — катушка вибратора.

3,5 мм, что обеспечивает безударную работу вибратора. Резино-металлический амортизатор: селуминовый фланец, стальная обойма, эластичный наполнитель — формованные резиновые смеси. Фланец амортизатора имеет для центровки выступ. Амортизатор к якорю прижимается гайкой. Штырь проходит через резиновую диафрагму, разделяющую электромагнитную и гидравлическую части, и служит направляющей для штока. Рабочий орган 2 резиновый. Детали электромагнитного вибратора соединены корпусными деталями 6 и 9, которые стягиваются деталями 4 и 10. Деталь 10 имеет приливы, а в деталь 4 вставлен фасонный упор, служащий седлом диафрагмы. Корпусные детали соединяются на резиновой прокладке. В наружной детали 4 имеется обратный клапан 1. К патрубку шланг 11 закрепляется хомутом, хомутом скреплены шланг, электрокабель и дужка 12, которая служит и для переноски насоса. Ввод кабеля герметизирован натяжным штуцером 14 с сальником. Насос с помощью шпилек закрепляют в понтоне из пенопласта (два цилиндра), и насос плавает. Насос приводится в действие включением в осветительную сеть.

Во время работы насос не требует особого наблюдения и ухода. Рекомендуется после 500 часов работы производить внешний осмотр.

При уменьшении подачи воды насос разбирают. Обычной причиной неисправной работы бывает износ поршня или изменение свойств резины амортизатора. Неисправный орган заменяют запасным, поставляемым заводом в комплекте с насосом. Насос можно применять для перекачки жидкости, содержащей взвеси. Водоподъемник применяется для подачи воды из шахтных колодцев диаметром более 165 мм. В последнем случае понтон располагают выше насоса или подвешивают насос на тросе с резиновой подвеской на конце. Рабочий орган — поршень — совершает 6000 колебаний в минуту.

Недостатки вибрационных насосов — невысокий к. п. д. и малая производительность.

Ленточные и шнуровые водоподъемники применяют для подъема жидкости из шахтных и буровых колодцев с помощью бесконечной хлопчатобумажной прорезиненной ленты, перемещаемой с помощью верхнего приводного шкива, размещенного над колодцем. В колодце имеется концевой шкив с грузом для выправления и натяжения ленты. Вода, прилипая к ленте, поднимается вверх, а на перегибе, на верхнем шкиве, под действием центробежной силы и нарушения капиллярного натяжения стекает с ленты в лоток и далее в бак.

Ленточный водоподъемник представлен на рисунке IV—26, а. Сечения ленты 50 × 5, 100 × 4, 100 × 5. Натяжное устройство погружается

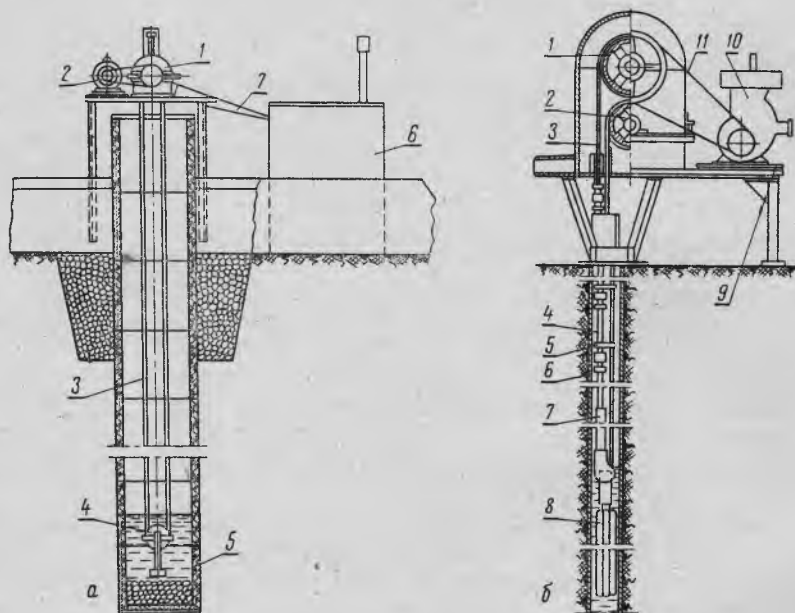


Рис. IV—26. Схемы установки ленточного и шнурового водоподъемников:

а — ленточный водоподъемник: 1 — ведущий шкив; 2 — электродвигатель; 3 — лента (водоподъемная ветвь); 4 — блоковое натяжное устройство; 5 — шахтный колодец; б — водоприемный резервуар; 7 — сливной лоток; б — шнуровый водоподъемник: 1 — ведущий барабан; 2 — направляющий барабан; 3 — шнур (лента); 4 — труба (кожух водоподъемной ленты); 5 — фиксирующее устройство; 6 — обсадная труба; 7 — телескопическое устройство (регулирование длины трубы 4); 8 — натяжной груз; 9 — фундаментная плита; 10 — двигатель; 11 — ременная передача.

под динамический уровень не менее чем на 0,5 м. Водоприемный корпус, в котором размещен верхний (ведущий) шкив, имеет сливной лоток и откидную крышку для осмотра. К. п. д. ленточного водоподъемника возрастает с увеличением высоты подъема воды, уменьшением заглубления ленты под уровень и увеличением скорости движения ленты. Скорость движения ленты 3,5—6 м/сек наиболее рациональна. Ленточные водоподъемники имеют несколько модификаций, могут приводиться

электродвигателями и ДВС. Глубина подъема воды ленточными водо-
подъемниками (водоподъемник ЛВ-200) достигает 250 м (производи-
тельность 3—5,4 м³/ч, скорость движения ленты 4,5—6,5 м/сек, мощ-
ность двигателя 6,5 кВт).

Технические характеристики ленточных водоподъемников для опти-
мальных условий работы приводим в таблице IV—22*.

ТАБЛИЦА IV—22

Техническая характеристика при ленте 100×5 мм и скорости ее движения 6 м/сек	Высота подъема воды, м					
	20	40	60	70	100	200
Подача, м ³ /ч	6,5	6,3	6,0	5,95	5,5	4,3
К. п. д. установки при:						
а) гладкой резиновой ленте	0,24	0,36	0,42	0,46	0,49	0,56
б) прорезиненном ремне	0,25	0,38	0,45	0,51	0,54	0,59
в) шероховатой ленте	0,28	0,41	0,52	0,57	0,60	0,65
Мощность электродвигателя, кВт	1,7	—	—	2,8	4,5	7,0

На рисунке IV—26, б представлен шнуровой водоподъемник, в ко-
тором рабочим органом является перфорированная прорезиненная лента
сечением 32×7 или 32×11 мм. В этом водоподъемнике в отличие от лен-
точного водоподъемная ветвь ленты движется в трубе диаметром 1½",
а предназначен он для подъема воды из трубчатых колодцев. Имеется
несколько марок шнуровых водоподъемников:

5-СВ: подача до 8 м³/ч при высоте подъема 20 м
ВШ » 3,5 » » » 50 м
ВШП-30 » 4,5 » » » 30 м

Средняя скорость движения ленты 5 м/сек и максимальное значение
гидравлического к.п.д., равное 0,5, будут при заглублении водоподъем-
ной трубы на 2—3 м.

§ 8. ЭЛЕКТРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И АВТОМАТИКА НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Питание электроэнергией, пуск, остановка и защита электродвига-
теля на электрифицированных мелиоративных насосных станциях осу-
ществляются при помощи распределительных устройств согласно запро-
ектированной схеме электрических соединений для насосной станции.

Проект электрораспределительных устройств составляется специа-
листом электриком в зависимости от энергоисточника, типа принятого
двигателя, его мощности, требуемого рабочего напряжения и т. д. Он
должен учитывать требования, предъявляемые к пуску и остановке дви-
гателя.

Пуск и остановка электродвигателя могут осуществляться непо-
средственно со щита управления, находящегося в здании насосной стан-
ции, для чего предусматривается дежурный и эксплуатационный персо-
нал, или дистанционно.

Дистанционное управление осуществляется с центрального пульта
управления, обычно находящегося при одной из насосных станций всей
оросительной системы. Автоматическое управление имеет особенно важ-
ное значение, когда несколько насосных станций расположено после-
довательно и их работа зависит друг от друга.

В последнее время в мелиоративных насосных станциях применяет-
ся дистанционное наблюдение с выводом сигнализации на дом к де-
журному.

* В. М. Усаковский. Водоподъемники в сельском хозяйстве. М., «Ко-
лос», 1969.

§ 1. ТИПЫ ЗДАНИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И УСЛОВИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Здание насосной станции служит для размещения основного гидромеханического, силового и вспомогательного оборудования, коммуникаций всасывающих и напорных трубопроводов, а также служебных помещений.

Тип и конструкция здания насосной станции зависят от следующих основных факторов: вида соединения здания насосной станции с водозаборным сооружением (раздельно или совмещенно), типа и конструкции основных насосов и двигателей, режима водоисточника, геологических и гидрогеологических условий в месте расположения здания насосной станции, климатических условий, производительности основного насоса, вида строительных материалов, применяемых для возведения здания насосной станции.

На основании опыта проектирования и принятой классификации различают следующие типы конструкций зданий станций:

- блочный (рис. V—1);
- шахтно-блочный (рис. V—2);
- камерный с сухой камерой (рис. V—3);
- шахтно-камерный с сухой камерой (рис. V—4, а, б);
- с мокрой камерой с затопленным насосом (рис. V—5);
- с мокрой камерой и сухим помещением для насоса (рис. V—6);
- незаглубленный (рис. V—7, а, б, в).

Блочный тип здания насосной станции применяется в тех случаях, когда производительность насоса больше $2 \text{ м}^3/\text{сек}$. Это требует устройства всасывающей трубы в бетонном блоке и установки центробежных насосов типа В и осевых (пропеллерных) типа О или ОП только с вертикальным валом с отрицательной высотой всасывания (рабочее колесо насоса располагается ниже минимального горизонта воды). Колебания горизонтов воды в нижнем бьефе не должны превышать габаритов насоса и двигателя при непосредственном их соединении на одном валу.

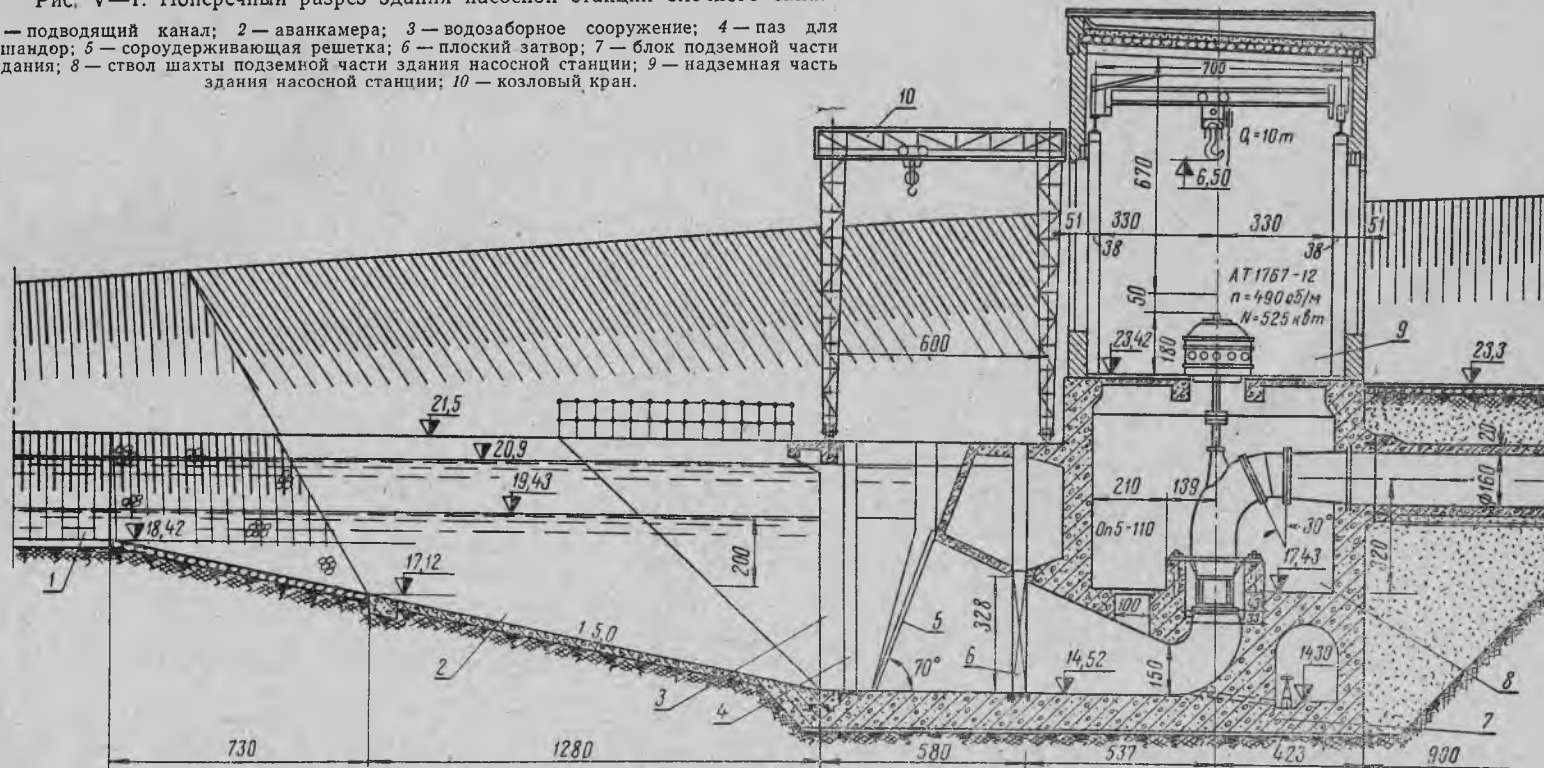
При тех же условиях, но при колебании горизонтов воды в нижнем бьефе большем, чем принятые габариты для здания блочного типа, необходимо устраивать вставку вала между насосом и двигателем, и тогда здание становится шахтно-блочным, так как приходится возводить шахту соответствующих размеров. При длине вставки вала более 3 м устраиваются раскрепляющие подшипники. При шахтно-блочном типе колебания горизонтов воды в нижнем бьефе могут быть любыми. Значительный вес здания блочного типа, обусловленный массивностью блока, требует более прочного основания, чем остальные типы зданий.

Здание насосной станции камерного типа с сухой камерой оборудуют насосами любой конструкции, производительностью менее $2 \text{ м}^3/\text{сек}$; насосы можно устанавливать с нулевой, отрицательной и положительной высотой всасывания.

Колебания горизонтов воды в нижнем бьефе могут быть любыми, поэтому здание насосной станции может быть камерного или шахтно-камерного типа.

Рис. V—1. Поперечный разрез здания насосной станции блочного типа:

1 — подводящий канал; 2 — аванкамера; 3 — водозаборное сооружение; 4 — паз для шандора; 5 — сороудерживающая решетка; 6 — плоский затвор; 7 — блок подземной части здания; 8 — ствол шахты подземной части здания насосной станции; 9 — надземная часть здания насосной станции; 10 — козловый кран.



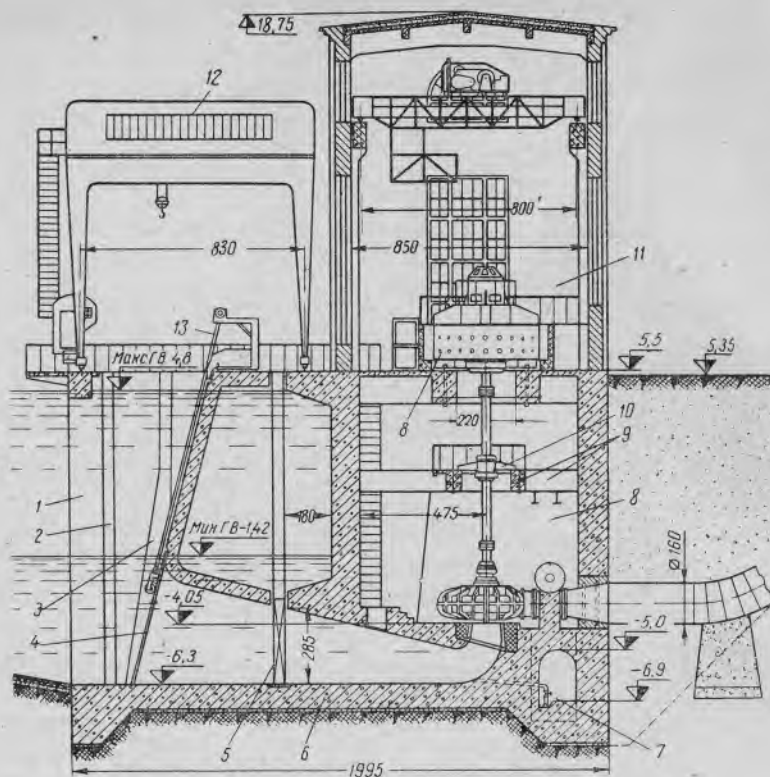


Рис. V—2. Поперечный разрез здания насосной станции шахтно-блочного типа:

1 — водозаборное сооружение; 2 — паз для шандор; 3 — паз для сороудерживающей решетки; 4 — сороудерживающая решетка; 5 — плоский затвор; 6 — блок подземной части здания; 7 — потеря для размещения осушительной и дренажной систем; 8 — ствол шахты подземной части здания насосной станции; 9 — железобетонные балки для крепления подшипника; 10 — раскрепляющий подшипник; 11 — надземная часть здания каркасного типа; 12 — козловый кран; 13 — сороочистительная машина.

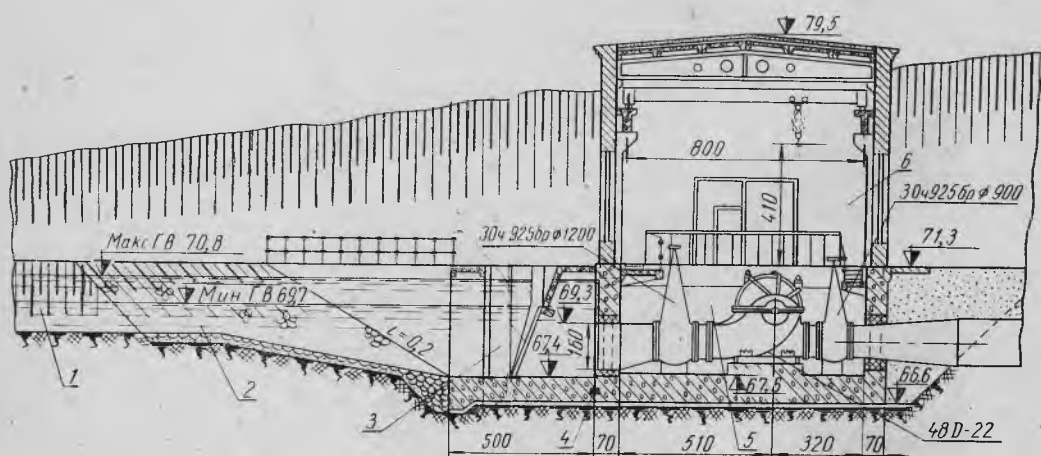


Рис. V—3. Поперечный разрез здания насосной станции камерного типа с сухой камерой:

1 — подводный канал; 2 — аванкамера; 3 — водоприемное сооружение; 4 — конструктивный водонепроницаемый шов; 5 — подземная часть здания насосной станции; 6 — надземная часть здания насосной станции.

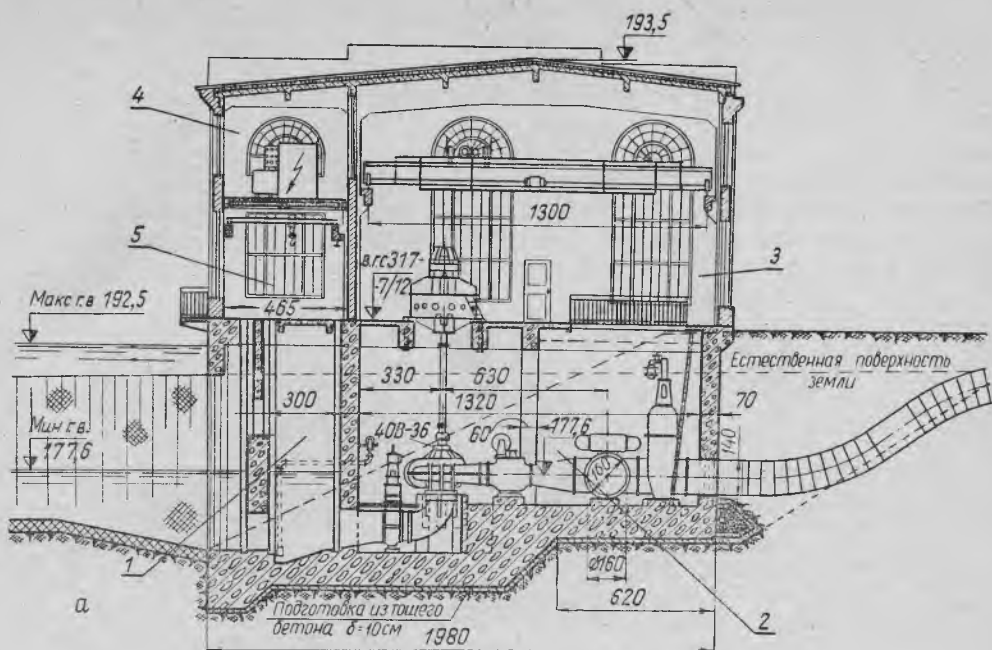


Рис. V—4, а. Поперечный разрез здания насосной станции шахтно-камерного типа с сухой камерой:

1 — водозаборное сооружение; 2 — шахта сухой камеры здания насосной станции; 3 — надземная часть здания каркасного типа; 4 — помещение для размещения КРУ; 5 — зал обслуживания водозаборного сооружения.

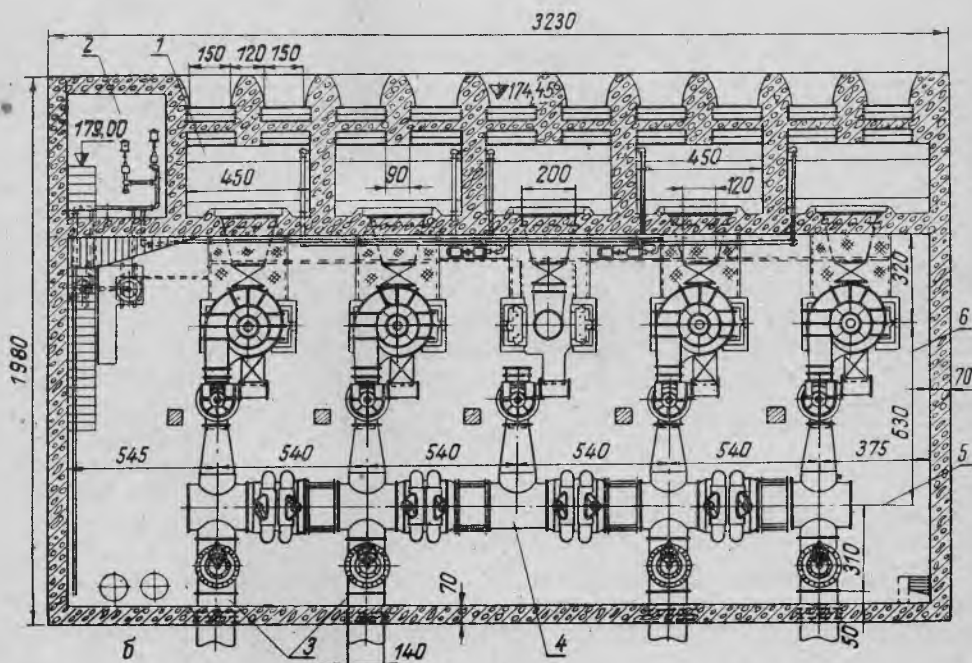


Рис. V—4, б. План подземной части здания насосной станции камерного типа с сухой камерой:

1 — водоприемная камера водозаборного сооружения; 2 — помещение для дренажных насосов; 3 — напорные трубопроводы; 4 — напорный коллектор; 5 — помещение для напорной коммуникации; 6 — насосное помещение.

Здание насосной станции камерного типа с мокрой камерой оборудуют осевыми насосами типа О или ОП только с вертикальным валом. Высота всасывания насоса должна быть отрицательной. Колебания горизонтов воды в нижнем бьефе должны быть такими, чтобы не затапливался верхний подшипник насоса (примерно 1 м). Если колебания горизонтов воды в нижнем бьефе таковы, что насос целиком затапливается при максимальном горизонте, то приходится здание насосной станции делать камерного типа с мокрой камерой, но с сухим помещением для насосов. Для такого типа насосной станции применяются любые насосы, как осевые, так и центробежные, производительностью менее

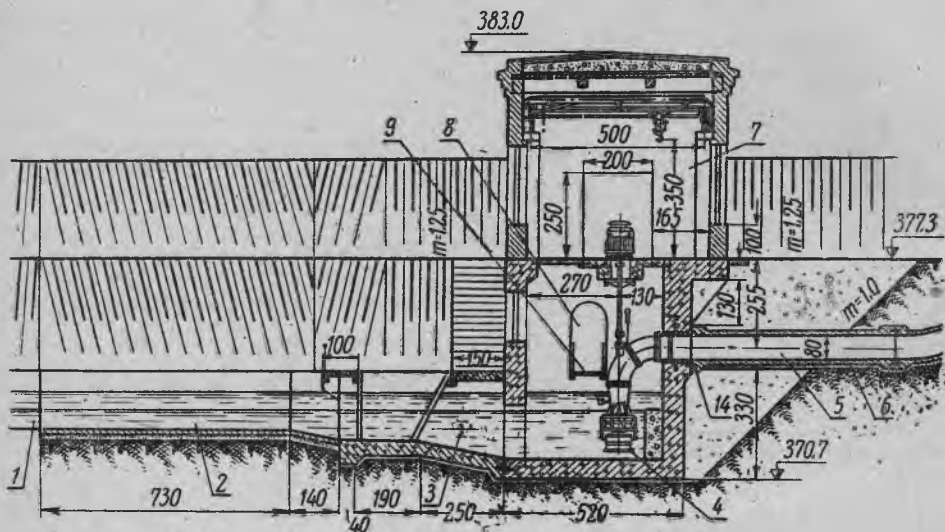


Рис. V—5. Поперечный разрез здания насосной станции с мокрой камерой и затопленным насосом:

1 — подводящий канал; 2 — аванкамера; 3 — водоприемное сооружение; 4 — мокрая камера; 5 — напорный трубопровод; 6 — подготовка из тощего бетона; 7 — надземная часть здания бескаркасного типа; 8 — проемы в поперечных раздельных стенах для прохода на служебный мостик; 9 — служебный мостик.

2 м³/сек. Колебания горизонтов воды в нижнем бьефе средние, не более 8 м.

Здание насосной станции незаглубленного (водопроводного) типа оборудуют центробежными насосами с горизонтальным валом производительностью до 2 м³/сек; насосы устанавливают с положительной высотой всасывания. Колебания горизонтов воды в нижнем бьефе незначительные, они должны быть в пределах допустимой геодезической высоты всасывания насоса.

В здании насосной станции незаглубленного типа возможно устанавливать и осевые насосы с горизонтальным валом, но при условии их заливки без применения задвижки на напорном патрубке. Для этого на всасывающей трубе, перед входом в насос, устраивают специальное колено (рис. V—8).

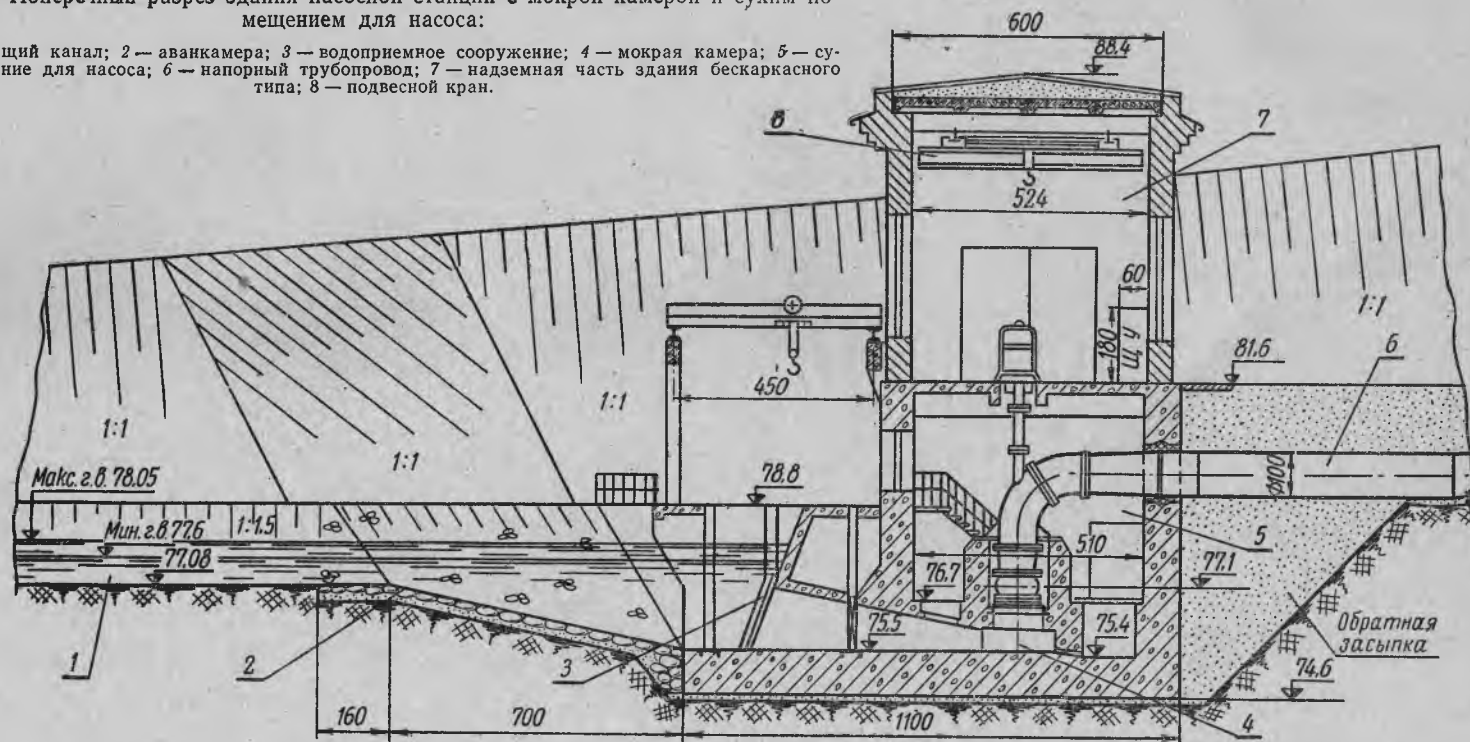
Для первоначального пуска осевой насос необходимо залить водой. После заполнения объема до уровня *a—a* ручным насосом или другим способом (рис. V—8) включают осевой насос, который создает вакуум и подтягивает воду из нижнего бьефа.

Для освобождения насоса от воды после его остановки необходимо иметь специальный спуск.

Здания насосных станций блочного типа и с сухой камерой можно выполнять как одно целое с водоприемным сооружением и отдельно.

Рис. V—6. Поперечный разрез здания насосной станции с мокрой камерой и сухим помещением для насоса:

1 — подводящий канал; 2 — аванкамера; 3 — водоприемное сооружение; 4 — мокрая камера; 5 — сухое помещение для насоса; 6 — напорный трубопровод; 7 — надземная часть здания бескаркасного типа; 8 — подвесной кран.



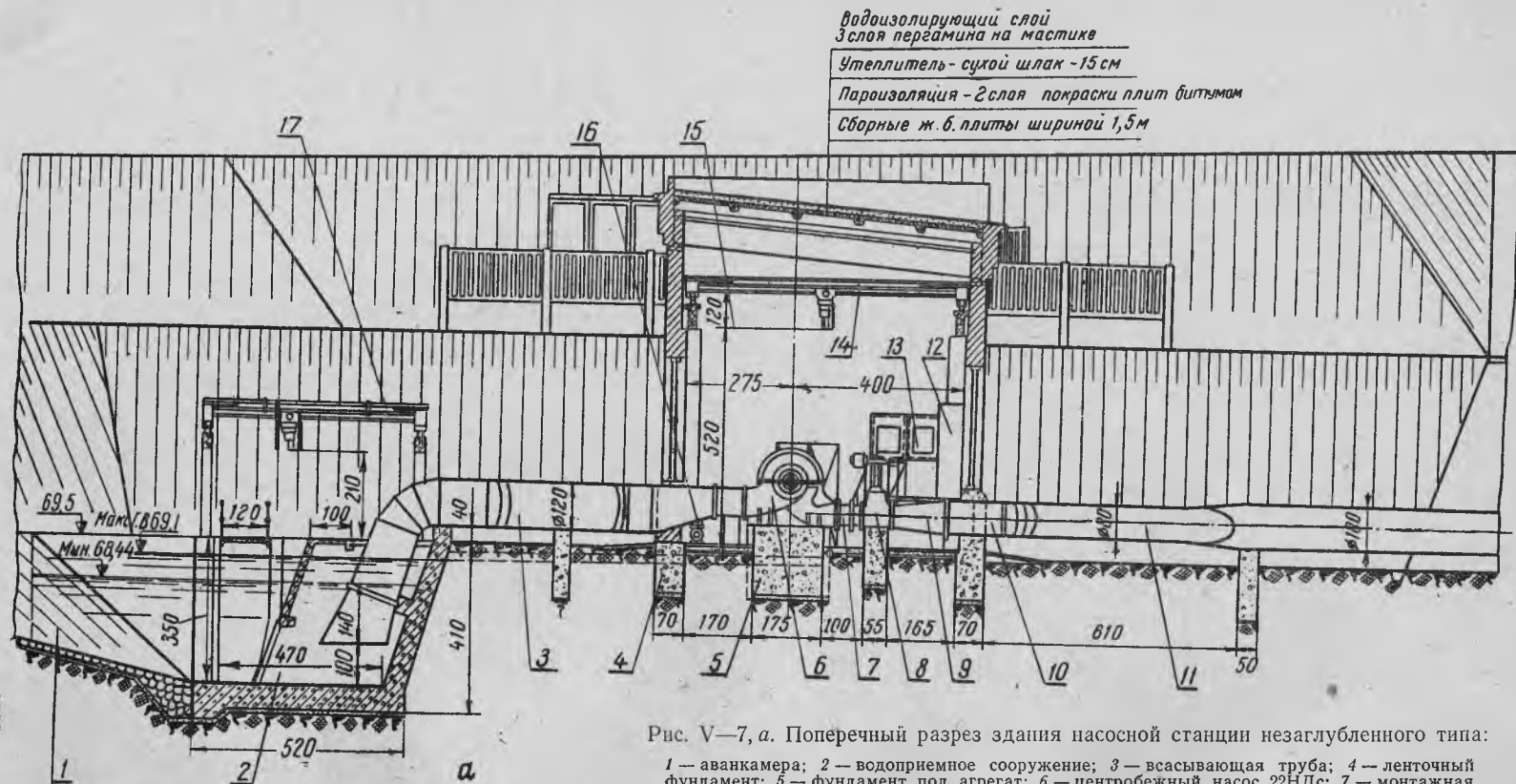


Рис. V—7, а. Поперечный разрез здания насосной станции незаглубленного типа:

1 — аванкамера; 2 — водоприемное сооружение; 3 — всасывающая труба; 4 — ленточный фундамент; 5 — фундамент под агрегат; 6 — центробежный насос 22НДС; 7 — монтажная вставка; 8 — задвижка $\varnothing = 500$ мм; 9 — диффузор; 10 — ребристый патрубок; 11 — напорный трубопровод; 12 — шкаф управления агрегата; 13 — силовой распределительный пункт; 14 — ручной мостовой кран; 15 — здание насосной станции бескаркасного типа; 16 — вакуум-насос; 17 — ручной мостовой кран для обслуживания водоприемного сооружения.

При установке осевых насосов подземная часть здания станции имеет значительную высоту, поэтому для обеспечения устойчивости здания и облегчения строительных размеров подземной части здания принимают раздельную компоновку (рис. V—9). При установке горизонтальных насосов в станциях с сухой камерой получают большие расстояния

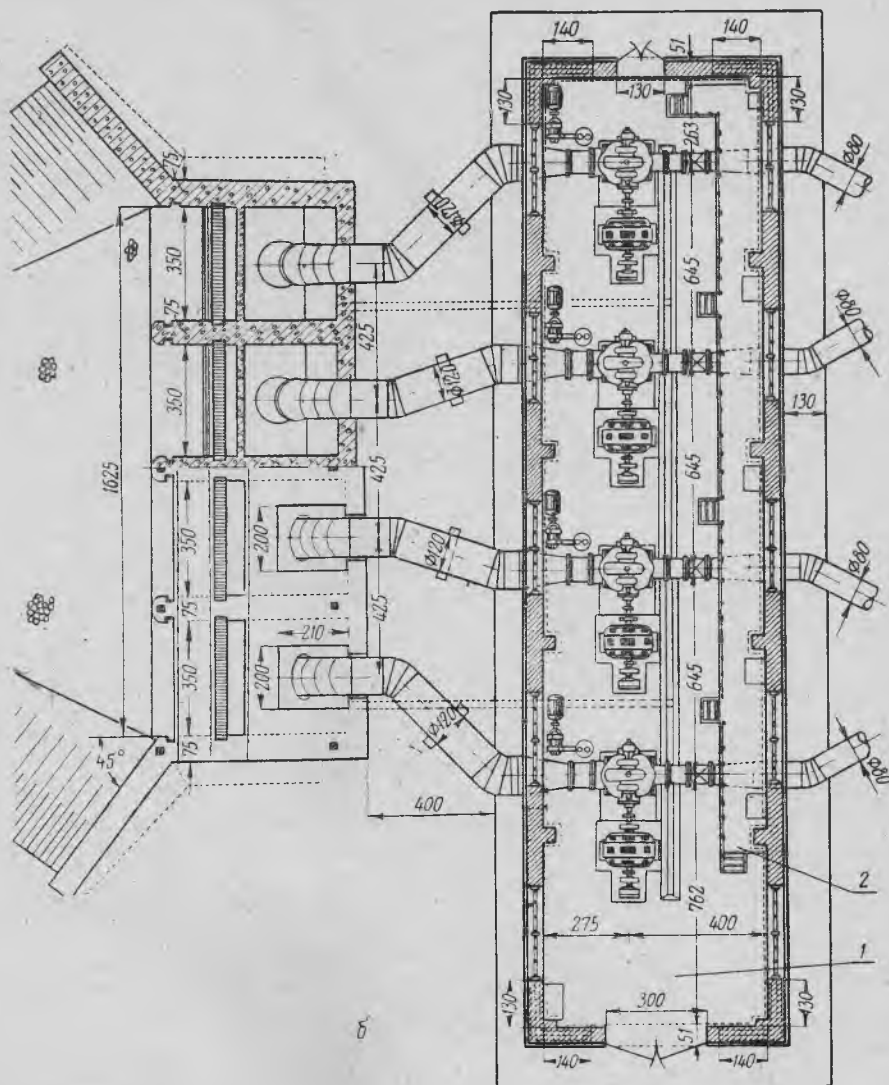


Рис. V—7, б. План здания насосной станции незаглубленного типа:

1 — монтажная площадка; 2 — служебный мостик.

между осями насосов, а размеры приемных камер относительно малы, поэтому можно рекомендовать раздельную компоновку здания с водозаборным сооружением (см. рис. I—8). Здания насосных станций с мокрой камерой, как правило, совмещают с водозаборным сооружением (рис. V—5).

В тех случаях, когда колебания горизонтов в нижнем бьефе значительны и максимальный горизонт воды затапливает верхний подшипник насоса, устраивают здания насосных станций с мокрой камерой, но с сухим помещением для насоса (рис. V—6). В этом случае здание станции совмещено с водозаборным сооружением.

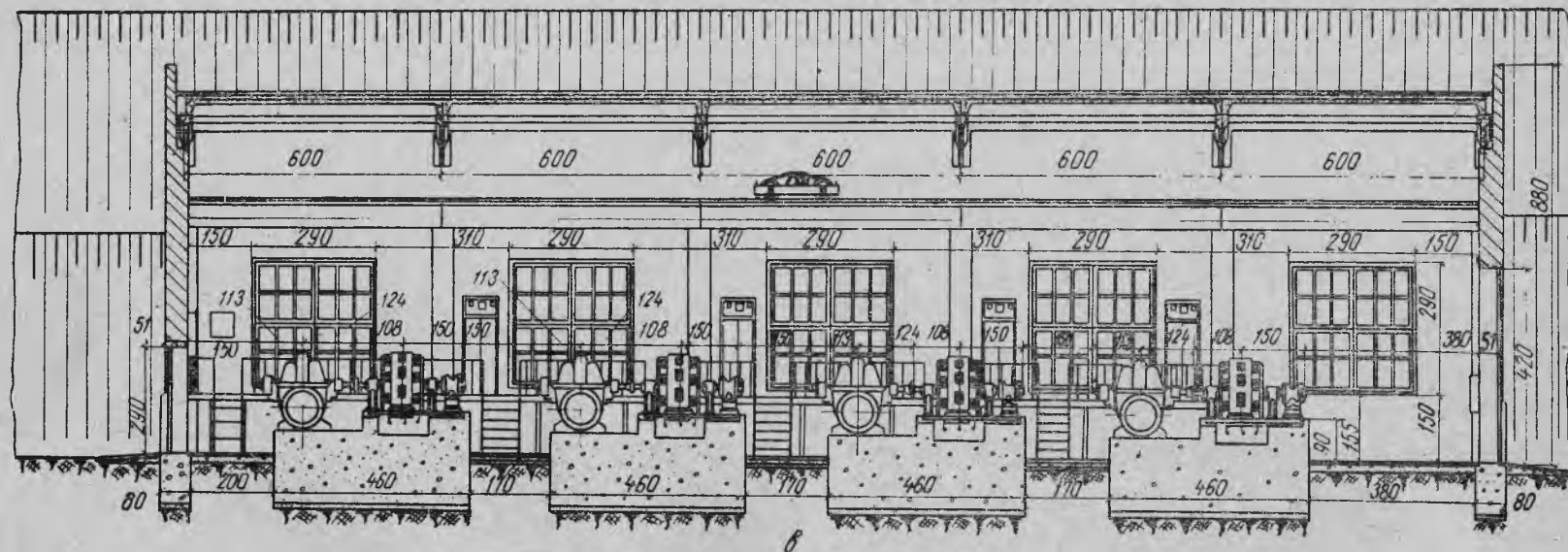


Рис. V—7, в. Продольный разрез здания насосной станции незаглубленного типа.

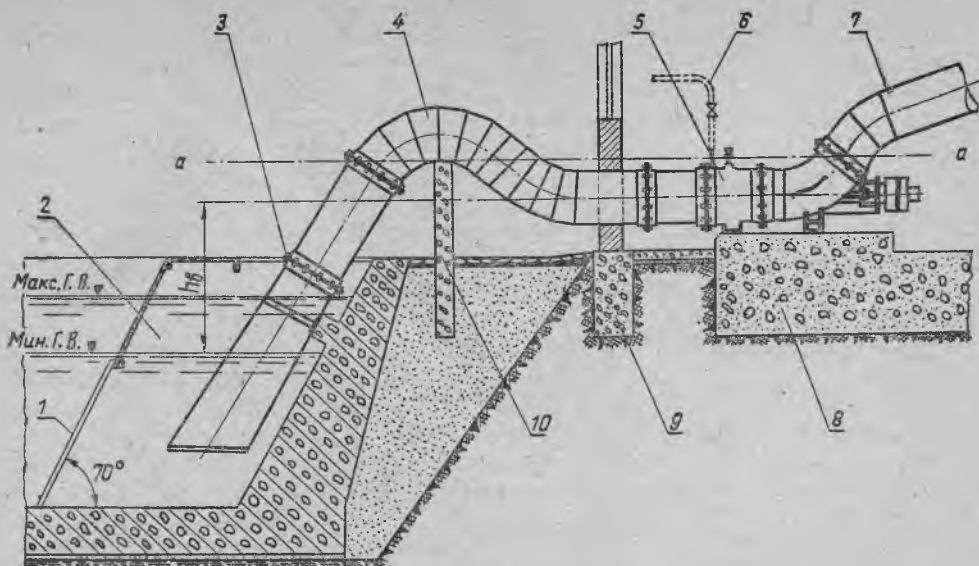


Рис. V—8. Установка осевого насоса в здании насосной станции незаглубленного типа:

1 — сороудерживающая решетка; 2 — водоприемное сооружение; 3 — всасывающая труба; 4 — колено всасывающей трубы; 5 — осевой насос; 6 — труба для первоначальной заливки насоса; 7 — напорный трубопровод; 8 — фундамент под агрегат; 9 — ленточный фундамент; 10 — опора под колено всасывающей трубы.

Здания насосных станций незаглубленного типа выполняются только отдельно от водозаборного сооружения (рис. V—7, а, б, в).

§ 2. ОСОБЕННОСТИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ И ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

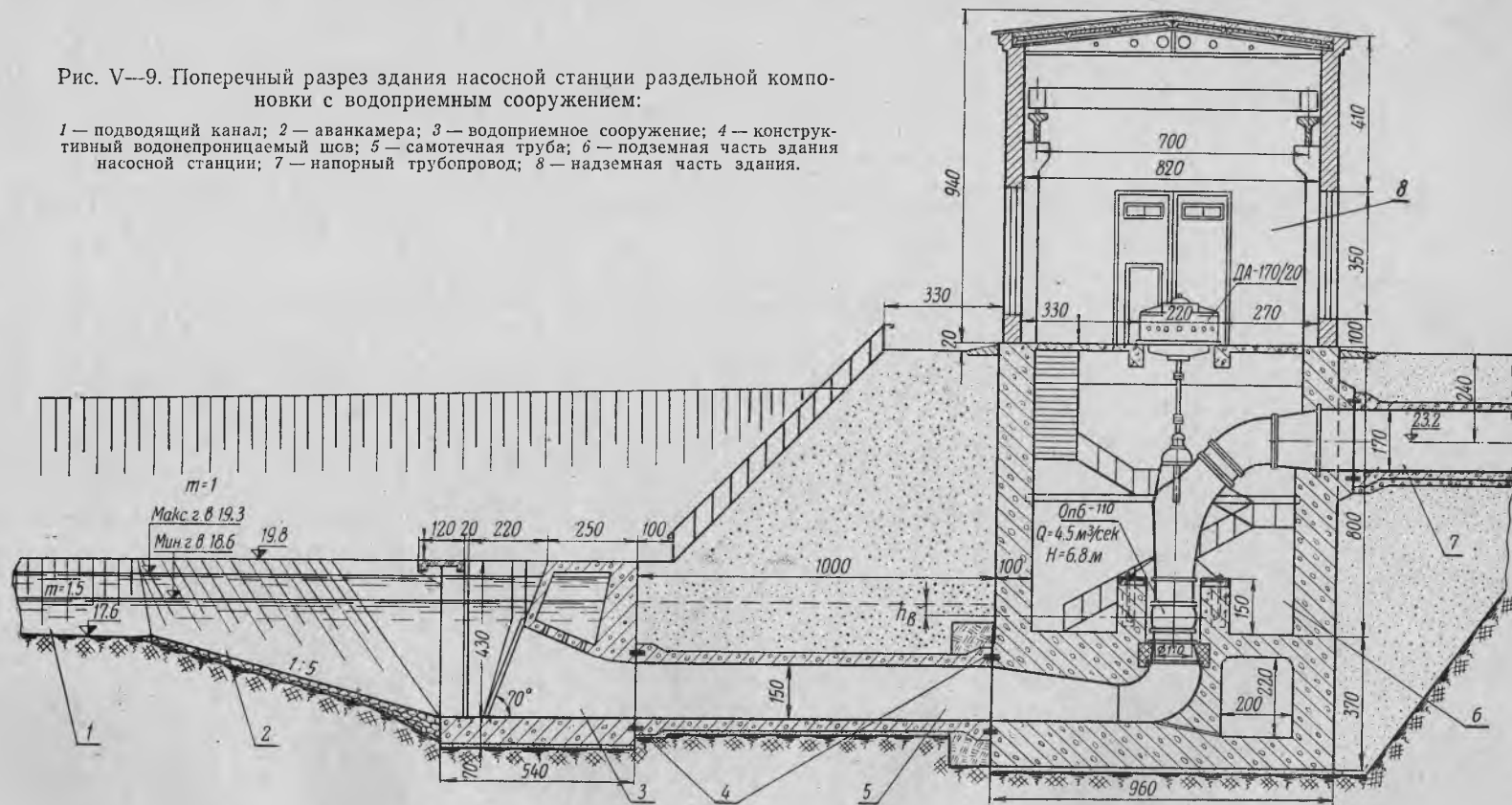
Насосные станции, предназначенные для подачи воды в оросительные системы, обычно сезонные. Исключение составляют те станции, которые подают воду в оросительную систему, имеющую регулирующее водохранилище. Такие станции, обычно головные, могут подавать воду из источника круглый год, накапливая необходимый объем воды в водохранилище, с тем чтобы в поливной период можно было ее подать самотеком или станциями-перекачками в оросительную систему. Насосные станции с круглогодичной работой имеют ряд преимуществ перед сезонными: снижается производительность насоса, что уменьшает размеры сооружений и оборудования, входящих в гидротехнический узел машинного водоподъема, а следовательно, и их стоимость; повышается коэффициент использования оборудования; полностью используется обслуживающий персонал непосредственно на насосной станции; выравнивается график потребления мощности; снижается себестоимость поднятой воды.

Оросительные насосные станции имеют значительно большую производительность по сравнению со станциями для водоснабжения. Они допускают временное уменьшение подачи воды, а в аварийных случаях и полную остановку на короткое время (2—3 дня). При сезонной работе оросительных станций гораздо проще решаются вопросы эксплуатации: не требуется отопления, борьбы с обмерзанием решеток, резкого увеличения напора, например пожарного, и т. п. Все эти обстоятельства дают возможность по иному решать компоновку внутростанционных коммуникаций, резервность и др.

Для больших производительностей требуются трубопроводы больших диаметров, что вызывает значительное увеличение площади произ-

Рис. V—9. Поперечный разрез здания насосной станции раздельной компоновки с водоприемным сооружением:

1 — подводящий канал; 2 — аванкамера; 3 — водоприемное сооружение; 4 — конструктивный водонепроницаемый шов; 5 — самотечная труба; 6 — подземная часть здания насосной станции; 7 — напорный трубопровод; 8 — надземная часть здания.



водственных помещений, поэтому в оросительных станциях внутристанционные коммуникации делаются значительно проще, чем в станциях для водоснабжения. Часто, учитывая сезонность работы, часть коммуникаций выносят за пределы здания насосной станции. Резерв в оросительных насосных станциях, как правило, принимают из условия покрытия форсированного расхода. Этот же резерв служит для замены агрегата в случае аварии, чего нельзя делать при водоснабжении, особенно если вода подается непосредственно в сеть.

Насосные станции, предназначенные для осушительных систем, отводящих поверхностные воды, имеют особенности, связанные с графиком перекачки воды в водоприемник. Обычно осушительные насосные станции работают круглый год, но их производительность в разное время года резко меняется. Например, весной или во время летних ливневых дождей приток воды к станции увеличивается в 10—15 раз по сравнению с остальными периодами работы насосной станции, следовательно в здании насосной станции требуется устанавливать различное оборудование по типу и производительности.

Для примера на рисунке V—10 представлена осушительная насосная станция, на которой осевые насосы установлены для перекачки весенних и ливневых вод, а центробежные — для перекачки бытовых вод. Каждая группа насосов имеет свой резерв и свою коммуникацию. На этом примере видно, что в значительной степени усложняется рациональное использование площади здания насосной станции; усложняется конструктивное решение водозаборного сооружения, напорных трубопроводов и др. Чтобы несколько уменьшить расхождение в производительности насосов и облегчить компоновку оборудования перед водозаборным сооружением, устраивают регулирующий бассейн или резервуар. Устройство регулирующей емкости определяется экономическим расчетом.

В зависимости от требований, которые потребитель предъявляет к осушительной насосной станции, устанавливается бесперебойность ее в работе. Если нельзя допустить затопления или подтопления осушаемой территории, то необходимо при проектировании предусмотреть необходимый резерв в насосных агрегатах и коммуникациях всасывающих и напорных трубопроводов. Это значительно усложняет проектирование и удорожает строительство насосной станции.

Осушительные насосные станции чаще всего поднимают воды на небольшую высоту, поэтому их оборудуют осевыми насосами. Осушительные насосные станции выполняются с автоматическим управлением. Так, пуск и остановка агрегатов осуществляются от поплавкового реле.

В тех случаях, когда допускается временное затопление осушаемой территории (например, в весенний период), наряду с насосным оборудованием предусматривается самотечный водосброс. Для этого в ряде осушительных насосных станций устраивают водосбросной шлюз, вмонтированный в здание насосной станции (рис. V—10). Осушительные насосные станции для откачки грунтовых вод чаще всего с целью понижения горизонта грунтовых вод могут быть оборудованы вертикальными артезианскими насосами типа А и АП. Эти насосные станции предназначены для вертикального дренажа. Конструкция такой осушительной насосной станции приведена на рисунке V—11.

Возможны насосные станции с групповым расположением скважин, объединенных в общую систему горизонтальным водоводом. Откачка осуществляется вакуум-насосами со сбросом в общий резервуар, из которого затем насосами второго подъема вода подается в водоприемник или потребителю. Такие насосные станции могут быть совмещенные (рис. V—12) и отдельные (рис. V—13).

Насосную станцию такого типа с грунтовым водозабором можно применять и для водоснабжения.

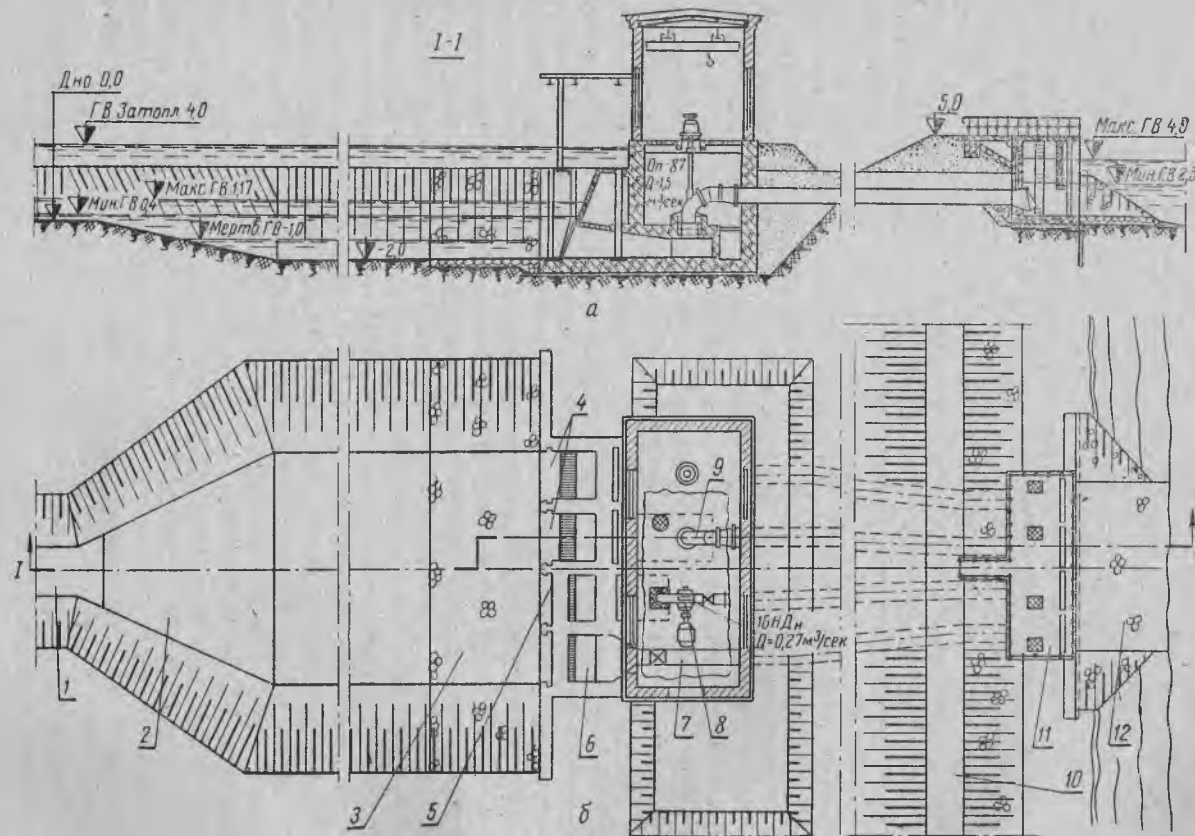


Рис. V—10. Осушительная насосная станция:

а — поперечный разрез; б — план. 1 — осушительный канал; 2 — аванкамера; 3 — регулирующий бассейн; 4 — приемные камеры насосов для откачки ливневых вод; 5 — приемная камера насоса для откачки бытовых вод; 6 — приемная камера самотечного водосброса; 7 — труба самотечного водосброса; 8 — центробежный насос для откачки бытовых вод; 9 — осевые насосы для откачки паводковых и ливневых вод; 10 — дамба обвалования; 11 — водовыпускное сооружение; 12 — водоприемник (река).

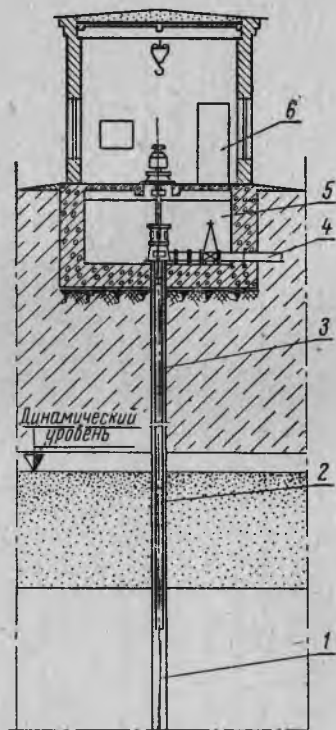


Рис. V—11. Осушительная насосная установка для вертикального дренажа:

1 — обсадная труба; 2 — насос 12НА×5; 3 — трансмиссия; 4 — напорный трубопровод, подающий воду в водоприемник; 5 — подземная часть здания; 6 — надземная часть здания.

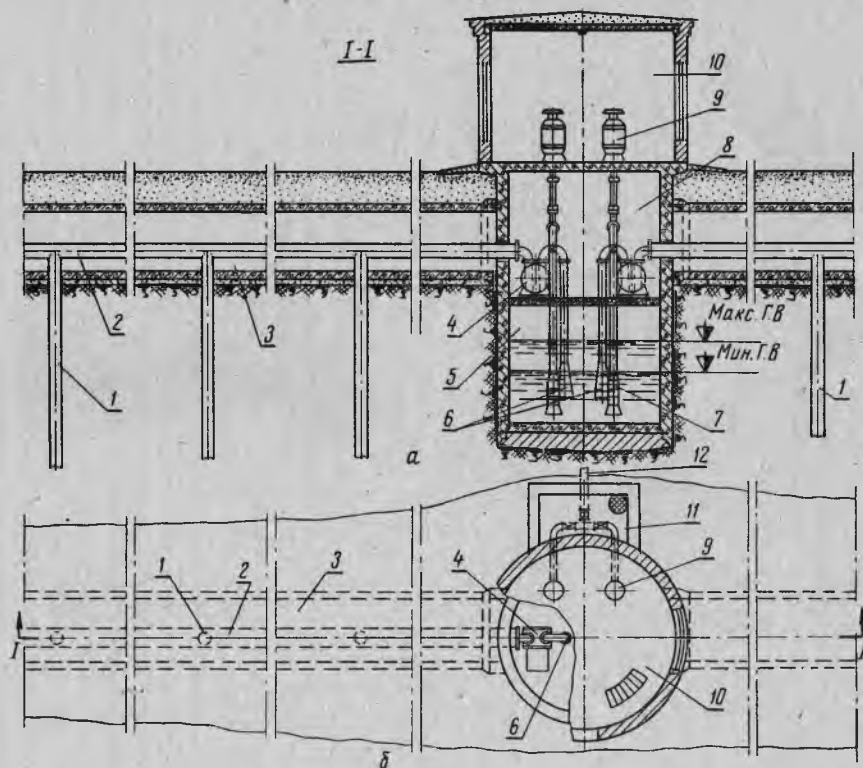


Рис. V—12. Схема осушительной насосной станции с групповым расположением скважин совмещенного типа:

а — разрез; б — план. 1 — скважины; 2 — сифонный трубопровод; 3 — штольня сифонного трубопровода; 4 — вакуум-насос; 5 — водоприемный резервуар; 6 — сбросные трубы вакуум-насосов; 7 — центробежные насосы второго подъема типа А; 8 — помещение для вакуум-насосов; 9 — электродвигатели насосов второго подъема; 10 — надземная часть здания насосной станции; 11 — колодец переключений и отключений; 12 — напорный трубопровод.

На рисунке V—12 показано расположение скважин 1 по фронту вправо и влево, могут быть и другие направления. Расстояние между скважинами зависит от гидрогеологических условий и колеблется от 100 до 20 м. Таким образом, общий фронт протяженности скважин может достигать 5 км. Скважины объединяются сифонным трубопроводом 2, который подключается к вакуум-насосам 4. Сифонные трубопроводы могут укладываться непосредственно в грунте или в специальных железобетонных штольнях 3, примыкающих к подземной части здания насосной станции. Наличие штольни удорожает строительство, но значительно облегчает эксплуатацию сифонных трубопроводов.

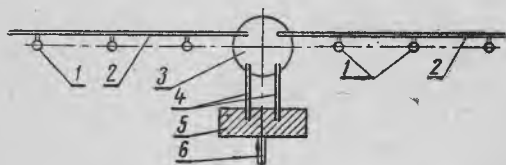


Рис. V—13. Схема осушительной насосной станции раздельного типа с групповым расположением скважин:

1 — скважины; 2 — сифонный трубопровод; 3 — здание для сифонных насосных установок и водоприемного резервуара; 4 — всасывающие трубы центробежных насосов второго подъема; 5 — здание насосных установок второго подъема; 6 — напорный трубопровод.

Подземная часть здания состоит из двух помещений: нижнего 5 водоприемного резервуара, куда вода сбрасывается по трубам 6 вакуум-насосами, и верхнего 8, где располагаются вакуумные насосные установки с коммуникациями. Центробежные насосы второго подъема с горизонтальной осью также устанавливают в помещении 8.

В водоприемном резервуаре устанавливаются максимальные и минимальные уровни, поэтому обычно насосы второго подъема включаются и выключаются автоматически в зависимости от уровня воды в резервуаре.

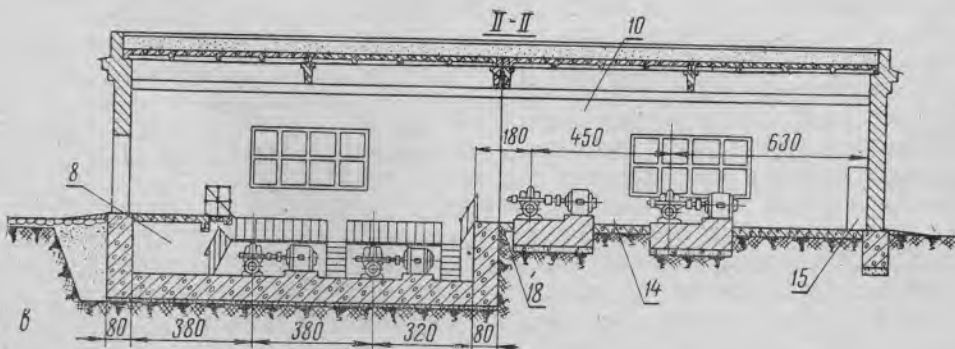
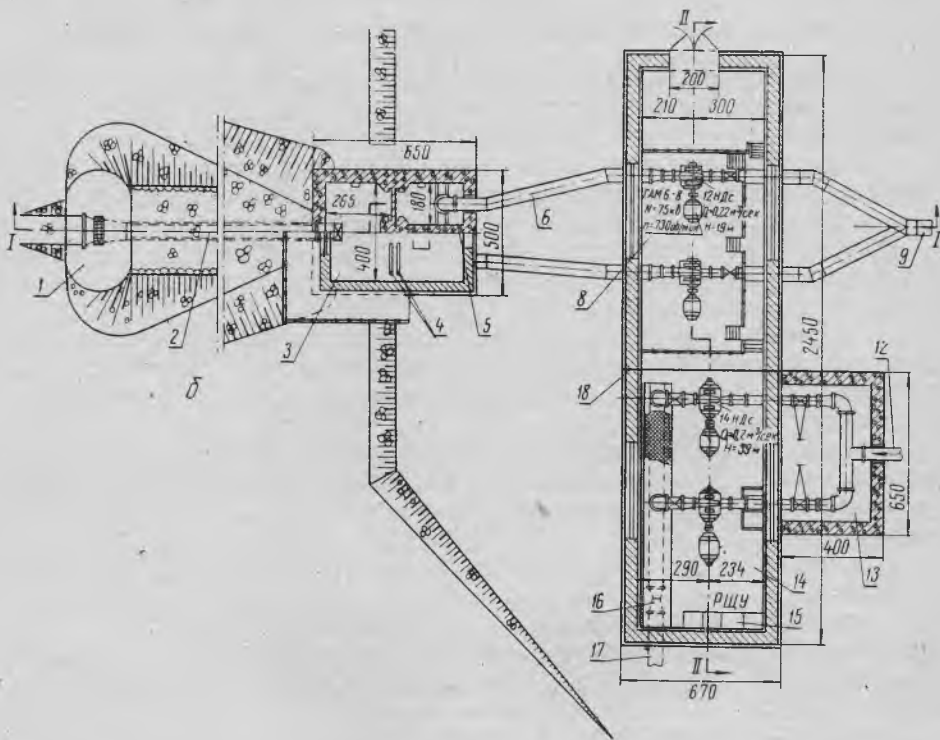
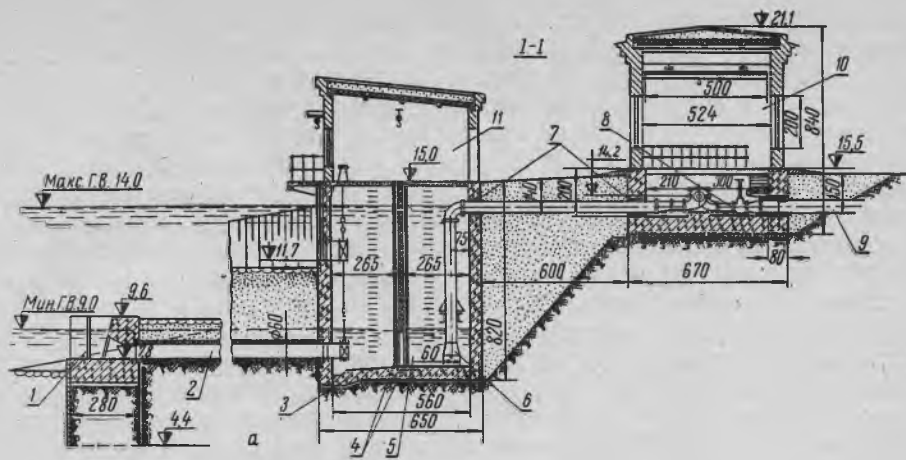
В данном примере насосы второго подъема 7 — артезианские вертикальные типа А, двигатели которых 9 размещены в надземной части здания 10. В колодец переключения размещается напорная коммуникация, но в зависимости от конкретных условий может быть размещена и в помещении 8. На рисунке V—13 представлена схема раздельного размещения насосного оборудования: вакуумные насосные установки первого подъема и водосборный резервуар — в здании 3, а насосные установки второго подъема — в отдельном здании 5. Тот или иной вариант выбирают на основе технико-экономического сравнения.

Насосные станции, предназначенные для сельскохозяйственного водоснабжения, бывают первого подъема, которые забирают воду из источника и подают ее на очистные сооружения, и второго подъема, которые подают воду из резервуара чистой воды потребителю. Последние могут подавать воду непосредственно в разводящую сеть или в водонапорную башню. Часто насосы первого и второго подъемов и их коммуникации размещают в одном здании (рис. V—14, а, б и в).

Насосные станции для водоснабжения работают круглый год. Они должны иметь необходимый резерв насосных агрегатов, всасывающих и напорных коммуникаций (особенно это относится к насосным станциям, подающим воду непосредственно в водопроводную сеть), обеспечивать нормальный и пожарный расход и напор. Производительность насосных станций для сельскохозяйственного водоснабжения значительно меньше, чем оросительных и осушительных станций, поэтому трубопро-

Рис. V—14. Объединенная насосная станция I и II подъемов для водоснабжения:

а — поперечный разрез; б — план; в — продольный разрез.
1 — оголовок; 2 — самотечная труба; 3 — водоприемная камера; 4 — плоские сетки; 5 — всасывающая камера; 6 — всасывающая труба; 7 — сальниковые проходы; 8 — подземная часть здания насосной станции первого подъема; 9 — напорный трубопровод, подающий воду на очистные сооружения; 10 — надземная часть здания насосной станции; 11 — надземная часть здания водоприемного сооружения; 12 — подводящий трубопровод из резервуара чистой воды; 13 — колодец переключения; 14 — насосная станция второго подъема; 15 — распределительный щит управления; 16 — водомер типа вставки Вентури; 17 — напорный трубопровод к потребителю; 18 — осадочный шов.



воды соответственно имеют малые диаметры, что облегчает устройство переключений во внутристанционных коммуникациях. Согласно рисунку V—14, водозабор при минимальном горизонте воды осуществляется оголовком 1 и вода по самотечным трубам 2 транспортируется в водоприемную камеру 3. При максимальном горизонте вода поступает непосредственно в водоприемную камеру через верхние входные окна. Входные отверстия оборудованы грубыми сороудерживающими решетками. Во всасывающую камеру 5 вода поступает через плоские сетки 4, которые промывают по мере засорения поочередно в помещении 11. Всасывающими трубами 6 вода забирается при помощи насосов первого подъема, расположенных в подземной части здания 8, и транспортируется на очистные сооружения по трубопроводу 9. Насосы второго подъема размещены в здании 14, примыкающем к зданию первого подъема. Здание второго подъема имеет ленточный фундамент. К насосам второго подъема вода подводится из резервуара чистой воды по трубопроводу 12. К потребителю вода подается по напорному трубопроводу 17. Первый и второй подъемы имеют 100-процентный резерв.

§ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ ЗДАНИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Здания насосных станций всех типов и подтипов, кроме незаглубленного, состоят из подземной и надземной частей (в русловом типе компоновки гидроузла — подводной и надводной частей).

Подземная часть служит для размещения основных насосов со всасывающей и напорной коммуникациями, вспомогательного гидромеханического и другого оборудования. В тех случаях, когда в зданиях насосной станции с сухой камерой устанавливают центробежные насосы с горизонтальным валом, в подземной части располагают и основное силовое оборудование (двигатели).

В надземной части здания насосной станции размещают двигатели основных насосов, пусковые и распределительные устройства, грузоподъемное оборудование, монтажную площадку и другие вспомогательные помещения.

Здание насосной станции незаглубленного типа имеет только надземную часть, где размещается все необходимое основное и вспомогательное оборудование, монтажная площадка и вспомогательные помещения.

Основные условия, определяющие размеры и конструкцию здания станции:

- производительность насоса;
- тип, конструкция и габариты насоса и двигателя;
- колебания горизонтов и глубина воды в нижнем бьефе (в водосточнике);
- прочность здания насосной станции;
- монтаж и демонтаж оборудования;
- техника безопасности и противопожарная техника;
- нормальная эксплуатация здания и оборудования насосной станции;
- вид строительных материалов.

Определение размеров здания насосной станции сводится к установлению ширины, высоты и длины подземной и надземной частей здания. Подземная часть здания насосной станции состоит из блока (в блочном типе) или днища (в камерном типе) и ствола шахты. Ствол шахты может быть выполнен с отдельными поперечными стенками, разделяющими подземную часть здания на отдельные камеры, где устанавливается по одному основному насосу, или без раздельных стенок с общим насосным помещением. Конструкцию с раздельными стенами применяют, когда требуется обеспечить большую жесткость ствола при

значительной высоте шахты (более 10 м) и относительно небольшой толщине наружных стенок здания. В этом случае главные балки междуэтажного перекрытия идут вдоль здания, опираясь на отдельные стены. При устройстве отдельных стен значительно увеличивается длина здания за счет монтажных и эксплуатационных проходов между насосами и стенами.

В конструкции подземной части без отдельных стен значительно сокращается длина здания, но увеличивается толщина стен ствола шахты, поэтому высота шахты должна быть 5—6 м. Толщина стен шахты

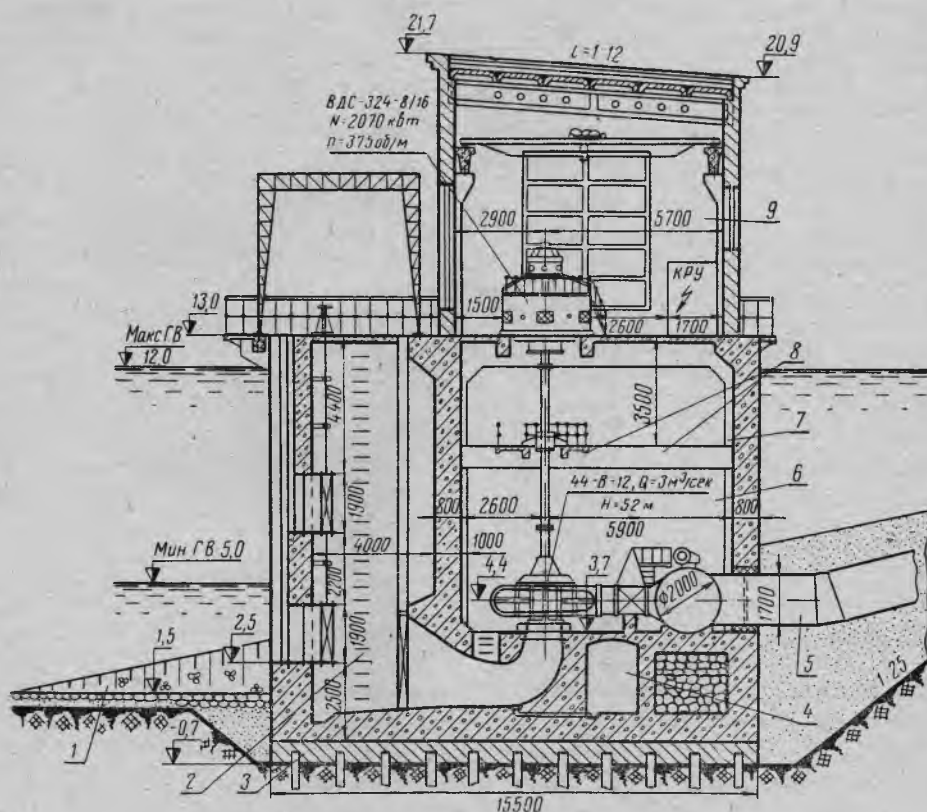


Рис. V—15. Поперечный разрез насосной станции шахтно-блочного типа со стволом шахты рамной конструкции:

1 — сопрягающая прорезь; 2 — водозаборное сооружение; 3 — бетонный ростверк со свайным основанием; 4 — блок; 5 — напорный трубопровод; 6 — ствол шахты; 7 — железобетонные рамы ствола шахты; 8 — опорная конструкция раскрепляющего подшипника; 9 — надземная часть здания каркасной конструкции.

надземной части по опыту проектирования составляет: для стен высотой 4 м — 0,6 м; высотой 6 м — 0,8 м, высотой 8 м — 1 м. При большей высоте следует делать поперечные раздельные стенки или заменять их железобетонными рамами, которые обеспечат достаточную жесткость ствола шахты и позволят устроить общее насосное помещение (при этом уменьшается толщина стен ствола шахты). Так как общее насосное помещение значительно облегчает эксплуатацию насосной станции, то следует рекомендовать применение железобетонных рам вместо раздельных поперечных стен.

На рисунке V—15 представлен поперечный разрез насосной станции шахтно-блочного типа, у которой ствол шахты имеет высоту 9,3 м и ширину 8,5 м. Для придания жесткой конструкции стволу шахты запроектированы железобетонные рамы 7, имеющие ригель и стойки высотой

1 м, шириной 0,5 м. На раме, как на главной несущей конструкции, устанавливаются электродвигатели мощностью 2070 кВт, весом 40 т, поэтому оси рам располагаются в зависимости от диаметра электродвигателя на расстоянии 2,8 м. Расстояние между осями рам, расположенных между двигателями, может быть иным; оно зависит от расстояния между осями агрегатов $L_{ос}$. Благодаря устройству рам стены ствола можно принять более тонкими, что даст значительную экономию бетона.

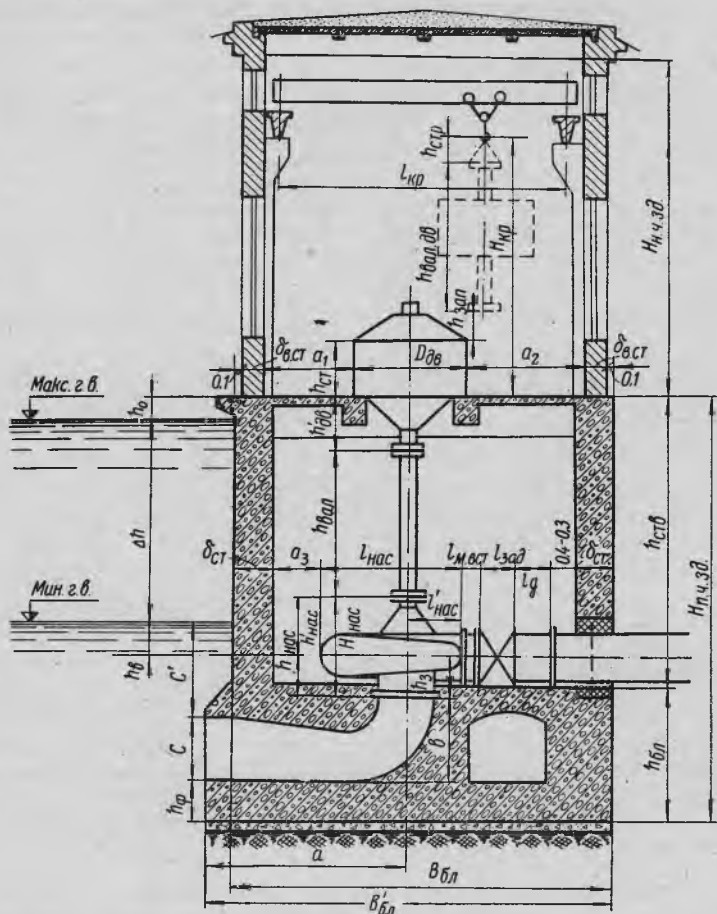


Рис. V—16. Схема к определению основных размеров здания насосной станции (поперечный разрез).

При устройстве зданий без отдельных стен главные балки междуэтажного перекрытия располагают поперек здания.

Приводим примеры определения основных размеров здания насосной станции.

Пример. 1. Здание насосной станции блочного типа. Из условия размещения насосного оборудования ширина блока определяется следующим уравнением (рис. V—16):

$$B_{бл} = 2\delta_{ст} + a_3 + l_{нас} + l_{м.вст} + l_{зад} + l_{диф} + 0,4,$$

где $\delta_{ст}$ — толщина стены шахты;

a_3 — монтажный проход, принимается равным 1 м;

$l_{нас}$ — длина насоса;

$l_{м.вст}$ — длина монтажной вставки;

$l_{зад}$ — длина задвижки;

$l_{диф}$ — длина диффузора;

0,4—0,3 м — монтажное расстояние фланца от стены.

Из условия размещения всасывающей трубы и напорных коммуникаций ширина блока будет:

$$B'_{\text{бл}} = a + l'_{\text{нас}} + l_{\text{м.вст}} + l_{\text{зад}} + l_{\text{диф}} + 0,4 + \delta_{\text{ст}},$$

где a — длина всасывающей трубы, определяемая согласно указаниям, приведенным в главе VI, § 2;

$l'_{\text{нас}}$ — длина нагоса от вертикальной оси его до конца напорного патрубкa.

Остальные обозначения те же, что и в предыдущем уравнении. Обычно $B'_{\text{бл}}$ получается больше, чем $B_{\text{бл}}$, на величину 0,7—1 м. Так как нет надобности увеличивать ширину шахты, то ее делают несколько уже по сравнению с $B'_{\text{бл}}$. Выступающая часть блока по отношению ствола шахты на величину $B'_{\text{бл}} - B_{\text{бл}}$ конструктивно хорошо увязывается с устройством пазовых конструкций для эксплуатационного затвора, перекрывающего входное отверстие во всасывающую трубу, а на верхней консоли удобно размещается рельс козлового крана, обслуживающего водоприемное сооружение.

Ширина ствола шахты $B_{\text{бл}}$ должна быть увязана с размещением в надземной части двигателя (в рассматриваемом примере электродвигателя):

$$B''_{\text{бл}} = D_{\text{дв}} + a_1 + a_2 + 2\delta_{\text{в.ст}} + 0,2,$$

где $D_{\text{дв}}$ — диаметр электродвигателя;

a_1 и a_2 — монтажные и эксплуатационные проходы, принимаемые из условия техники безопасности не менее 1,5 м для высокого напряжения и 1,2 м для низкого;

$\delta_{\text{в.ст}}$ — толщина верхней стены, принимаемой обычно в два кирпича;

0,2 м — два обреза фундамента по 0,1 м.

Эта ширина должна быть также увязана с размещением монтажного крана и при применении сборного железобетона с размерами железобетонных деталей по СНиП.

Изменяя a_1 , a_2 и a_3 только в сторону увеличения, окончательно увязывают размеры $B_{\text{бл}}$ и $B'_{\text{бл}}$, не увеличивая общей ширины $B'_{\text{бл}}$.

Высота подземной части складывается из высоты блока $h_{\text{бл}}$ и высоты ствола шахты $h_{\text{ств}}$:

$$H_{\text{н.ч}} = h_{\text{бл}} + h_{\text{ств}}; h_{\text{бл}} = h_{\text{ф}} + b + h_3;$$

$$h_{\text{ств}} = H_{\text{нас}} + h_{\text{вал}} + h'_{\text{дв}} - h_3,$$

где $h_{\text{ф}}$ — толщина фундаментной плиты, определяемая статическим расчетом (обычно 0,8—1,2 м);

b — высота всасывающей трубы, определяемая согласно указаниям, приведенным в главе VI, § 2;

h_3 — глубина заделки всасывающего патрубка насоса в блок, принимается по указаниям завода-изготовителя или на основании данных каталога ($\approx 0,15$ —0,2 м);

$H_{\text{нас}}$ — высота насоса, берется по установочному чертежу завода или в каталоге;

$h'_{\text{дв}}$ — размер нижней части двигателя, расположенной ниже пола машинного зала, берется по установочному чертежу двигателя или в каталоге;

$h_{\text{вал}}$ — высота проставки вала, принимается не менее той, которая требуется исходя из условий монтажа и демонтажа. Этот размер обычно дается с установочным чертежом насоса, но может быть и больше в зависимости от колебания горизонтов воды в нижнем бьефе и принятой геометрической высоты всасывания.

$$h_{\text{вал}} = h_0 + \Delta h + h_{\text{в}} - h'_{\text{дв}} - h'_{\text{нас}},$$

где h_0 — превышение пола машинного зала над максимальным горизонтом воды, определяемое в зависимости от высоты волны;

Δh — колебание горизонтов воды в водисточнике;

$h_{\text{в}}$ — принятая в проекте геометрическая высота всасывания;

$h'_{\text{дв}}$ — размер нижней части двигателя;

$h'_{\text{нас}}$ — размер насоса от оси до соединения с проставком вала. Этот размер берется по установочному чертежу насоса или в каталоге.

Необходимо иметь в виду, что заглубление верхней кромки входного отверстия всасывающей трубы под минимальный горизонт воды принимается равным высоте входного отверстия s , но не более 1 м и не менее 0,5 м.

Расстояние между осями агрегатов $L_{\text{ос}}$ определяется по условиям размещения насоса, двигателя и эксплуатационно-монтажных проходов.

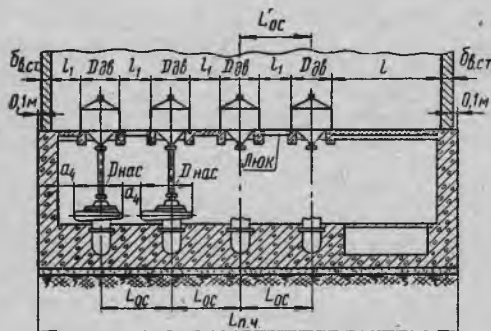
Для рассматриваемого примера (рис. V—17)

$$L_{\text{ос}} = D_{\text{нас}} + a_4 \text{ или } L_{\text{ос}} = D_{\text{дв}} + l_1.$$

где $D_{\text{нас}}$ — габарит насоса, берется по установочному чертежу или в каталоге;
 a_4 — монтажный проход, принимается не менее 1 м;
 $D_{\text{дв}}$ — диаметр электродвигателя, берется по установочному чертежу;
 l_1 — проход между двигателями, принимается не менее 1,5 м при высоком напряжении и 1,2 м при низком. В случае размещения между двигателями монтажного люка в междуэтажном перекрытии l_1 увеличивается в зависимости от габаритов наибольшей детали насоса, проносимой через люк.

Расстояние между осями принимается большее из двух рассмотренных $L_{\text{ос}}$ и $L'_{\text{ос}}$.

Расстояние $L_{\text{ос}}$ для ствола шахты с раздельными стенами значительно увеличивается и определяется величиной $L_{\text{ос}} = D_{\text{нас}} + 2a_4 + \delta$, что больше на $a_4 + \delta$, чем при стволе шахты без раздельных стен. Здесь δ — толщина раздельной стены. Длина подземной части обычно устанавливается по длине машинного зала (рис. V—17):



$$L_{\text{п.ч}} = L_{\text{ос}}(m-1) + l + D_{\text{дв}} + l_1 + 2\delta_{\text{в.ст}} + 0,2,$$

где $L_{\text{ос}}$ — расстояние между осями агрегатов;

m — число устанавливаемых агрегатов;

l — длина монтажной площадки, которая складывается из размера наиболее крупной детали (диаметр статора двигателя или улитка насоса) и двух монтажных проходов (один между стеной и деталью — 1 м, другой между деталью и двигателем — 1,5—1,2 м, в

Рис. V—17. Схема к определению основных размеров здания насосной станции (продольный разрез) с общим насосным помещением.

зависимости от рабочего напряжения двигателя);

$D_{\text{дв}}$ — диаметр статора двигателя;

l_1 — расстояние от статора двигателя до торцевой стены, принимаемое в зависимости от напряжения двигателя 1,5 или 1,2 м;

$\delta_{\text{в.ст}}$ — толщина верхней стены;

0,2 м — два обреза фундамента по 0,1 м.

Окончательная длина подземной части корректируется размещением каркаса или устройством перекрытия при использовании сборного железобетона.

Основные размеры надземной части здания насосной станции (ширина и длина) увязываются с размерами подземной части и отличаются от них на величину обреза фундамента. В подземной части здания под монтажной площадкой размещается лестничная клетка. Высота надземной части здания (рис. V—16) определяется размещением основного и вспомогательного оборудования и условиями его монтажа.

Высоту от пола машинного зала до верхнего положения крюка монтажного крана определяют следующим образом:

$$H_{\text{кр}} = h_{\text{ст}} + h_{\text{вал.дв}} + h_{\text{стр}} + h_{\text{зап}},$$

где $h_{\text{ст}}$ — высота от пола до верхней кромки статора;

$h_{\text{вал.дв}}$ — высота вала двигателя с ротором. При производстве монтажных работ через отверстие статора необходимо проверить $H_{\text{кр}}$ на наиболее длинную часть насоса (вал насоса с рабочим колесом);

$h_{\text{стр}}$ — размер строп для захвата поднимаемой детали. При тросовой строповке размер строп принимается 0,7—1 м, при жестком креплении — 0,35 м. При монтаже и демонтаже валов двигателей и насосов применяется жесткое крепление, а остальные детали поднимаются тросовой строповкой;

$h_{\text{зап}}$ — запас между статором и вынимаемой деталью ($\approx 0,5$ м).

Если вал насоса имеет большую длину, что бывает обычно у осевых насосов, то следует монтаж и демонтаж насоса вести через специальные люки, сделанные в междуэтажном перекрытии. Тогда высота от пола до верхнего положения крюка

$$H_{\text{кр}} = h_{\text{вал.нас}} + h_{\text{стр}} + h_{\text{зап}},$$

где $h_{\text{вал.нас}}$ — длина вала насоса.

Оба рассматриваемых случая предполагают возможность проноса вынимаемой детали в стороне от двигателей, как это указано пунктиром на рисунке V—16; при этом запас между стеной и деталью должен быть не менее 0,3 м.

Полная внутренняя высота надземной части здания определяется величиной:

$$H_{\text{в.ч.зд}} = H_{\text{кр}} + h_{\text{кр}} + \text{запас},$$

$h_{кр}$ — габарит крана, берется по установочному чертежу или в каталоге;
запас — расстояние от крана до низа балки кровли, принимается в практике проектирования 0,5—0,7 м, но не менее чем указывается в ГОСТ или каталогах крана.

Увеличивать высоту здания из-за разгрузки оборудования с транспорта грузо-подъемными механизмами, установленными в здании насосной станции, не рекомендуется.

Размеры подземной части здания насосной станции с сухой камерой определяются так же, как в рассмотренном примере. Размеры надземной части для всех типов зданий, имеющих вертикальное оборудование, определяют, как изложено в рассмотренном примере.

Пример 2. Здание насосной станции камерного типа с мокрой камерой. Подземная часть здания этого типа выполняется только с разделными поперечными стенками, так как в каждой камере должен размещаться один насос, забирающий воду из отдельной камеры.

Размеры мокрой камеры определяются расчетом исходя из наилучших гидравлических условий: необходимо избежать образования вихревых воронок при входе потока во всасывающую трубу и иметь наименьший коэффициент сопротивлений всасывающей трубы (см. гл. VI, расчет по определению условий водозабора всасывающими трубами из мокрых камер). Размеры камеры должны быть также проверены и из условия размещения основного оборудования: насоса и электродвигателя.

Так, общая ширина здания из условия размещения насоса (рис. V—18)

$$B = 2\delta_{ст} + a_3 + l_{нас} + l_{отв} + 0,4.$$

Ширина здания из условия размещения двигателя

$$B' = 0,2 + a_1 + D_{дв} + a_2 + 2\delta_{в.ст.}$$

Из условия минимальной длины камеры ширина здания

$$B'' = L_{кам.мин} + 2\delta_{ст},$$

$\delta_{ст}$ — толщина стены подземной части здания;

a_1 и a_2 — монтажные и эксплуатационные проходы между двигателями и стенами, принимаемые для высокого напряжения не менее 1,5 м, для низкого — 1,2 м;

a_3 — монтажное расстояние между насосом и стеной, принимается не менее 1 м;

$l_{нас}$ — длина насоса, берется по установочному чертежу;

$l_{отв}$ — длина отвода;

0,4 — монтажное расстояние от фланца до стены;

$D_{дв}$ — диаметр двигателя, берется по установочному чертежу;

$\delta_{в.ст.}$ — толщина стены надземной части здания;

0,2 — два обреза фундамента по 0,1 м;

$L_{кам.мин}$ — минимальная длина камеры, определенная из условия водообмена.

Из полученных трех величин B , B' и B'' следует принимать большее. Окончательная ширина здания корректируется размерами балок перекрытия и размещением люка для выноса оборудования из подземной части.

Ширину камеры b определяют согласно расчету мокрой камеры, но с учетом расстояния между осями насосов $L_{ос}$.

$$L_{ос} = D_{нас} + 2a_4 + \delta \text{ или } L_{ос} = D_{дв} + l_1,$$

где $D_{нас}$ — габарит насоса, берется по установочному чертежу;

a_4 — монтажный проход, принимается не менее $D_{вх}$;

δ — толщина разделной стены камеры, определяемая статическим расчетом;

$D_{дв}$ — габарит двигателя, берется по установочному чертежу;

l_1 — проход между двигателями, принимается при высоком напряжении минимум 1,5 м; при низком напряжении — 1,2 м.

Расстояние между осями принимается большее из двух рассмотренных $L_{ос}$ и $L_{ос}^*$.

Общая длина здания камерного типа определяется так же, как здания блочного типа. Высота подземной части здания

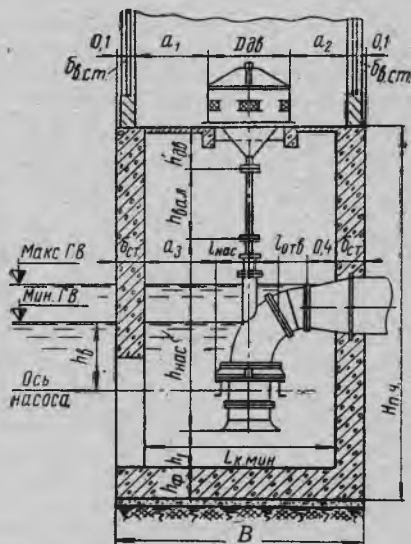


Рис. V—18. Схема к определению основных размеров здания насосной станции с мокрой камерой (поперечный разрез).

$$H_{п.ч} = h_{\phi} + h_1 + h_{нас} + h_{вал} + h'_{дв},$$

где h_{ϕ} — толщина фундаментной плиты, определяемая статическим расчетом;
 h_1 — расстояние от дна камеры до входной кромки всасывающего патрубка насоса, определяемое из расчета камеры;
 $h_{нас}$ — высота насоса, принимается по установочному чертежу;
 $h_{вал}$ — высота проставка вала, принимается по установочному чертежу;
 $h'_{дв}$ — размер части двигателя, расположенной ниже пола машинного зала, принимается по установочному чертежу двигателя или каталогу.

Ширину и длину зданий насосных станций незаглубленного типа рассчитывают так же, как и в предыдущих примерах. Высоту до крюка крана определяют из условия проноса наиболее крупной детали над основным оборудованием, поэтому запас между

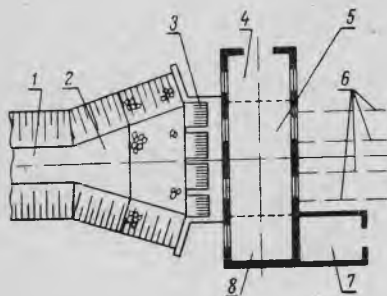


Рис. V—19. Схема размещения здания насосной станции и пристройки электрораспределительных устройств при расположении станции на канале:

1 — подводящий канал; 2 — аванкамера; 3 — водоприемное сооружение; 4 — монтажная площадка; 5 — машинный зал; 6 — оси напорных трубопроводов; 7 — пристройка для КРУ; 8 — помещение для щитов управления.

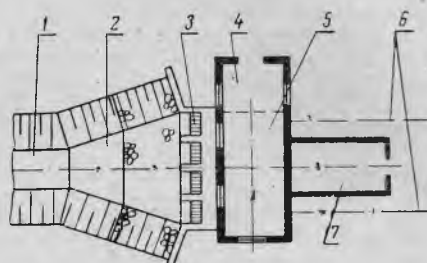


Рис. V—20. Схема размещения пристройки электрораспределительных устройств в середине здания насосной станции:

1 — подводящий канал; 2 — аванкамера; 3 — водоприемное сооружение; 4 — монтажная площадка; 5 — машинный зал; 6 — оси напорных трубопроводов; 7 — пристройка для КРУ и ЩУ.

проносимой деталью и установленным оборудованием принимают не менее 0,5 м. Проносимое оборудование имеет горизонтальный вал, поэтому стропы применяются тросовые, их размер следует принимать 1 м. В остальном все расчеты такие же, как и в первом примере.

В здании незаглубленного типа подземной частью являются ленточные фундаменты и фундаменты под агрегаты. Глубина ленточного фундамента определяется глубиной промерзания грунта и несущей способностью основания.

Для размещения электрораспределительных устройств (РУ) или комплектно распределительных устройств (КРУ), а также щитов управления (ЩУ) необходимо помещение, которое может примыкать к надземной части здания насосной станции, имея осадочный шов. В этом случае помещение КРУ с машинным залом составляет одно целое. Если невозможно сделать помещение КРУ примыкающим к зданию насосной станции или разместить КРУ непосредственно в здании насосной станции, для КРУ строят отдельное здание.

Размеры помещений для распределительных устройств зависят от числа и габаритов размещаемого оборудования, технических условий и требований, предъявляемых к электрораспределительным устройствам.

Помещения РУ выполняют из негорючих материалов и не отапливают (за исключением дежурных помещений), от здания обеспечивают отток дождевых и грунтовых вод. Компоновка помещений РУ и ЩУ с основным зданием насосной станции может быть следующей.

1. При подводе воды каналом, когда с трех сторон здание насосной станции обсыпано грунтом, здание КРУ и ЩУ может примыкать к концу здания насосной станции, противоположному монтажной площадке, образуя в плане букву Г (рис. V—19), или может быть расположено в середине здания, между напорными трубопроводами, образуя букву Т (рис. V—20), что возможно при устройстве двух напорных трубопроводов и коллекторного переключения в здании насосной станции.

При низком напряжении устраивают помещения только для распределительных щитов.

2. Когда с трех сторон здания насосной станции подходит вода (береговой тип компоновки), здание РУ или КРУ и ЩУ размещают вдоль здания насосной станции над напорными коммуникациями (рис. V—21) или над водозаборным сооружением

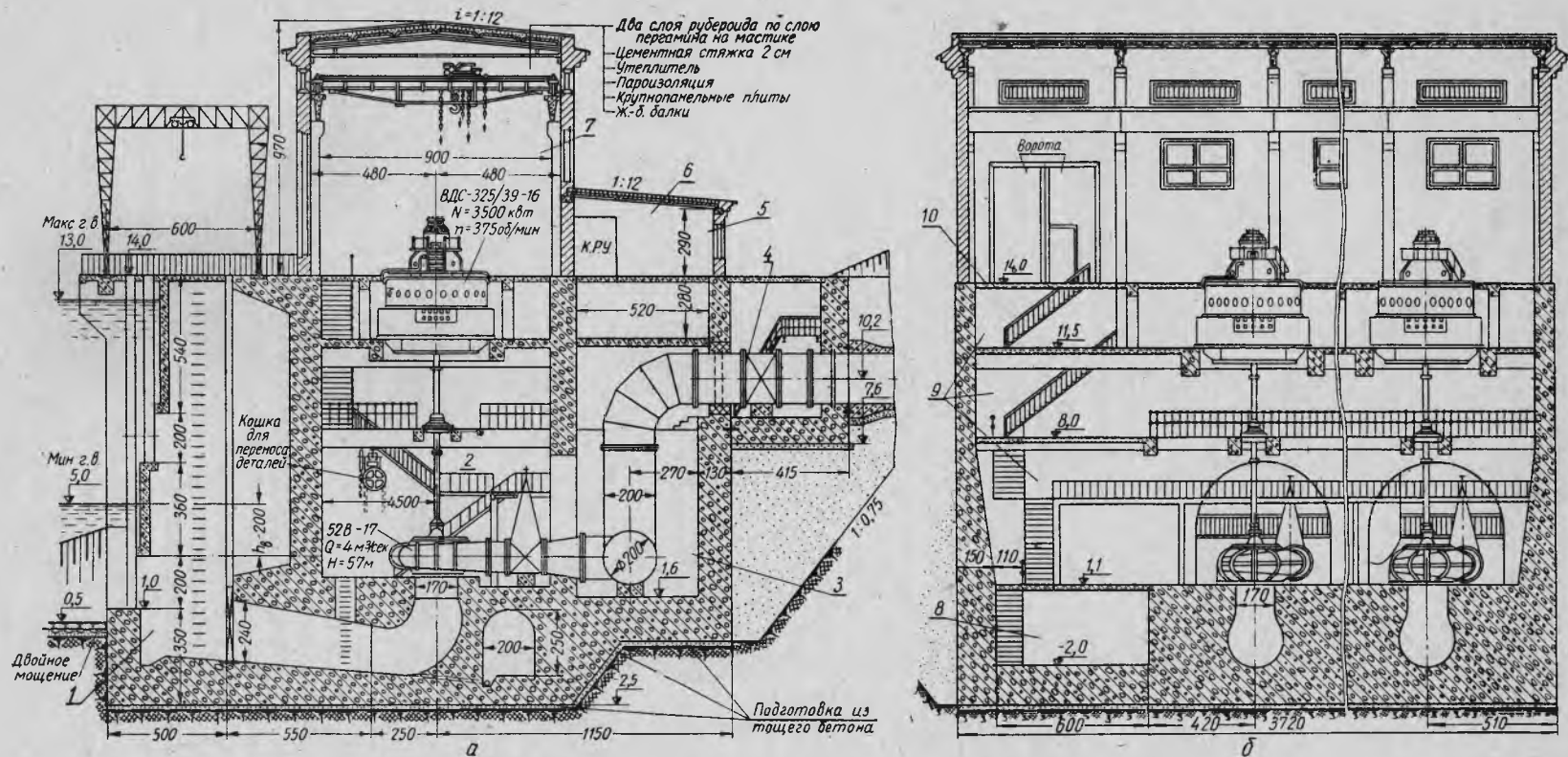


Рис. V—21. Расположение здания КРУ и ЩУ над напорными трубопроводами:

а — поперечный разрез; б — продольный разрез; 1 — водозабортное сооружение; 2 — насосное помещение; 3 — помещение напорных коммуникаций; 4 — колодезь отключающей задвижки; 5 и 6 — здание РУ и ЩУ; 7 — надземная часть; 8 — помещение для осушительных и дренажных насосов; 9 — лестничная клетка, помещение вентиляционных устройств, масляного хозяйства и др.; 10 — монтажная площадка.

(см. рис. V—4, а). Обычно в последнем случае устраивают только комплектные распределительные устройства, а ЩУ по возможности устанавливают в машинном зале.

3. При русловом типе компоновки гидротехнического узла, когда со всех сторон здания насосной станции находится вода, помещение КРУ и ЩУ размещают вдоль здания над напорными коммуникациями (рис. V—21, а) или над водозаборным сооружением аналогично случаю, представленному на рисунке V—4, а. Когда устроить помещение КРУ вдоль здания станции или над водозаборным помещением невозможно, возводят специальный этаж над машинным залом.

4. В тех случаях, когда трудно устроить РУ при здании насосной станции, здание для РУ и ЩУ возводят отдельно от здания насосной станции.

§ 4. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗДАНИЙ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Надземная часть здания насосной станции может быть бескаркасной и каркасной конструкции. Чаще всего ее выполняют из кирпичной кладки, а иногда из сборных бетонных и кирпичных моноблоков. Надземную часть насосных станций, в которых устанавливается нетяжелое оборудование (вес самой тяжелой поднимаемой детали до 3 т), выполняют в виде кирпичных стен толщиной в два кирпича. При высоте стен более 6 м для придания им большей жесткости устраивают пилястры, которые служат опорами для подкрановых балок. В зданиях насосных станций без пилястр применяют монтажные краны подвесной конструкции (рис. V—6), перемещающиеся вдоль здания по двум рельсам, прикрепленным к балкам перекрытия.

Если в зданиях насосных станций устанавливается более тяжелое оборудование (вес самой тяжелой детали до 5 т), стены подземной части выполняют в два кирпича с устройством пилястр, выступающих на полтора кирпича, которые служат опорами для подкрановых балок. На уровне основания подкрановых балок стены делают тоньше и выкладывают далее в полтора кирпича, с тем чтобы иметь возможность разместить подкрановые балки (см. рис. V—5; V—7, а; V—7, в).

Надземную часть таких насосных станций проектируют каркасной конструкции. Каркас изготовляют из сборных железобетонных деталей и заполняют кирпичной кладкой в два кирпича. Каркас устанавливают так, чтобы с наружной стороны он был защищен кирпичной кладкой толщиной не менее полкирпича, для чего в некоторых случаях делают защитные наружные пилястровые выступы. На рисунке V—22, б показана защита в полкирпича без пилястровых выступов. Стойки каркаса заделывают в стены подземной части здания не менее чем на 0,5 м, для чего оставляют колодцы, которые после установки стоек каркаса замоноличивают, или устанавливают и вместе со стенами бетонируют. На рисунке V—22 показана штраба для установки стойки б.

Ригель со стойками соединяется сваркой заложеной арматуры и последующим замоноличиванием. Узел соединения 9 показан на рисунке V—22, а. Кровлю выполняют из сборного железобетона с рулонным покрытием и утеплением из шлака, пенобетона и др. (рис. V—6). Детали из сборного железобетона следует брать по унифицированным справочникам на элементы, изготавливаемые промышленностью.

При изготовлении сборных деталей на полигоне строительства допускаются некоторые изменения в высоте стоек рам, так как размеры их, принятые в промышленном строительстве, несколько больше, чем это требуется для насосных станций.

Каркас может быть выполнен и из монолитного железобетона. Конструкция надземной части здания с монолитным каркасом показана на рисунках V—2, V—4, а с каркасом из сборных деталей — на рисунках V—21 и V—22. Ригели рам каркаса могут быть приняты под односкатную кровлю и под двускатную. Форму ригеля следует увязывать с размерами укладываемых плит перекрытия.

[illegible]

а — поперечный разрез; *б* — план: *1* — подводящий канал; *2* — аванкамера; *3* — водоприемное сооружение; *4* — блок; *5* — шахта ствола подземной части здания; *6* — штраба для установки стойки каркаса; *7* — железобетонная стойка; *8* — защитная кирпичная кладка для стойки в полкирпича; *9* — узел соединения стойки с ригелем; *10* — пристройка здания КРУ.

Для въезда на монтажную площадку устраивают теплые ворота, размер которых принимается по ГОСТ в зависимости от габаритов транспортных средств и транспортируемых деталей.

Для прохода в здание насосной станции в воротах предусматривается дверь, так как ворота обычно закрыты. Других входов в здание насосной станции делать не рекомендуется, за исключением специальных входов в здание РУ и КРУ, которыми могут пользоваться лица, имеющие допуск к высоковольтной электроаппаратуре.

Полы устраивают с различным покрытием: в машинном зале — из метлахской плитки или асфальтовые; на монтажной площадке — асфальтовые; в помещениях распределительных устройств — цементные или ксилолитовые; в служебных помещениях — деревянные или ксилолитовые. Полы в помещениях, где устанавливаются насосы, всасывающие и напорные коммуникации, должны иметь канавки с уклоном в 0,001—0,0005 к водосбросным устройствам.

Стены надземной части здания насосной станции I и II классов возводят из кирпича марки не ниже 75 на цементном растворе марки не ниже 25. Для зданий III и IV классов применяют кирпич марки не ниже 25, а раствор марки 10. Кирпич-сырец вообще не применяют.

Здание насосной станции незаглубленного типа имеет лишь надземную часть, так как подземной частью являются ленточные фундаменты, закладываемые на глубину промерзания. Ленточные фундаменты можно выполнять из различных материалов: бетона, бутовой и кирпичной кладки на растворе с прокладкой гидроизоляционного слоя между фундаментом и стенами надземной части. Гидроизоляцию между стенами надземной части и подземной части укладывают во всех случаях.

При возведении станции незаглубленного типа каркасной конструкции стойки каркаса опираются на специальные фундаменты из сборных железобетонных деталей, конструкция которых представлена на рисунке V—23.

На уровне цоколя фундамента вокруг здания устраивают асфальтированную площадку шириной 1,2—1,5 м. Между стенами надземной части основного здания насосной станции и стенами примыкающих пристроек (например, КРУ) устраивают осадочные швы соответствующей конструкции.

В зданиях насосных станций шахтно-камерного и шахтно-блочного типов с достаточной высотой шахты, где в подземной части здания возможно разместить все основное и вспомогательное оборудование, можно почти целиком отказаться от надземной части. В таких случаях надземную часть устраивают только над монтажной площадкой для транспортирования оборудования и сообщения с подземной частью здания насосной станции. На рисунке V—24 представлена насосная станция

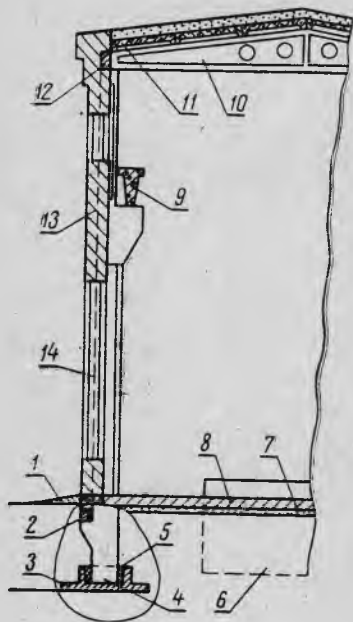


Рис. V—23. Здание насосной станции незаглубленного типа каркасной конструкции:

- 1 — отмостка; 2 — железобетонная балка для опоры кирпичного заполнения; 3 — фундаментный стакан для стойки; 4 — стойка каркаса; 5 — штрабный бетон для замоноличивания стойки; 6 — фундамент под агрегат; 7 — щебеночная подготовка; 8 — бетонный пол; 9 — подкрановая балка; 10 — балка перекрытия; 11 — плиты перекрытия; 12 — замоноличивание стойки и балки перекрытия; 13 — кирпичное заполнение каркаса; 14 — оконный проем.

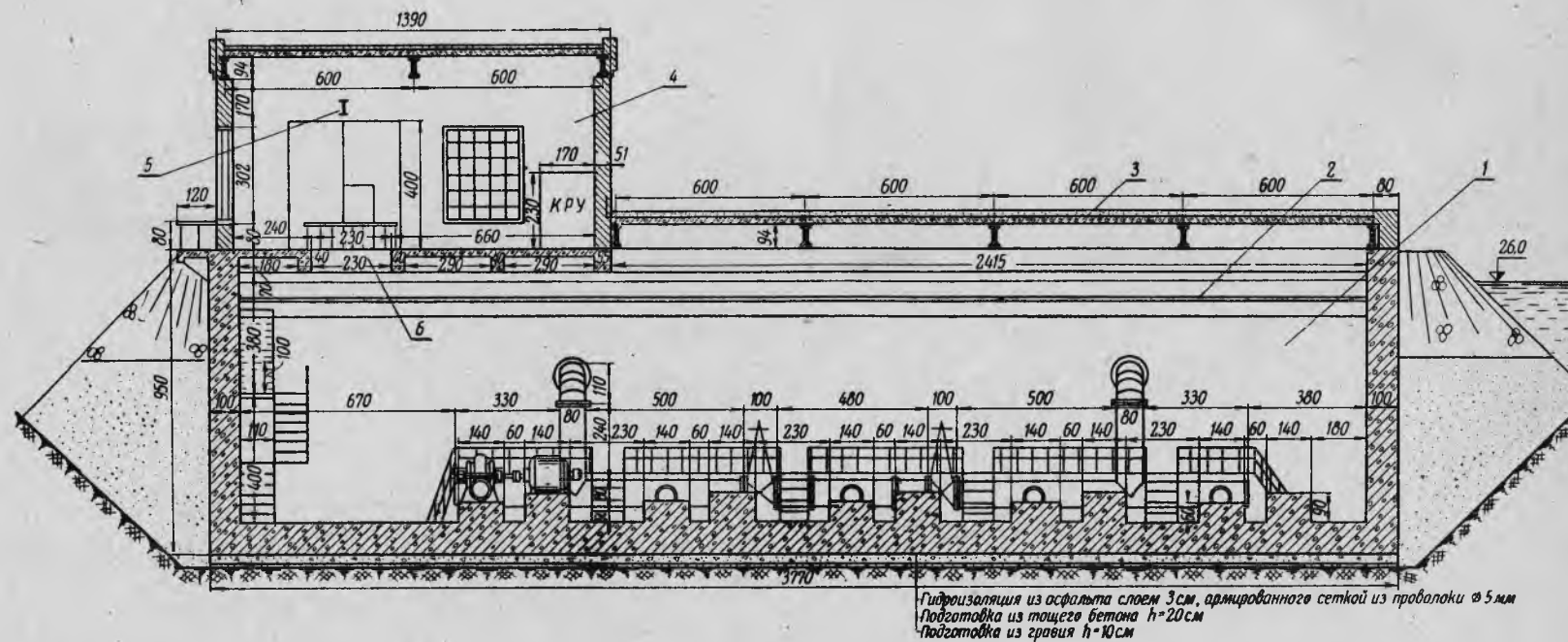


Рис. V—24. Продольный разрез здания насосной станции шахтно-камерного типа с надземной частью только над монтажной площадкой:
1 — подземная часть здания; 2 — подкрановая консоль; 3 — перекрытие; 4 — надземная часть в пределах монтажной площадки и КРУ; 5 — балка для кошки; 6 — загрузочный люк.

шахтно-камерного типа с сухой камерой, оборудованная горизонтальными насосами, у которой надземная часть располагается лишь над монтажной площадкой и КРУ. На рисунке V—25 представлена насосная станция шахтно-блочного типа для водоснабжения с вертикальными насосами Оп. Надземная часть здания располагается лишь над водоприемным сооружением для размещения механизмов вращающихся сеток и моечных устройств сеток. Для транспортирования оборудования

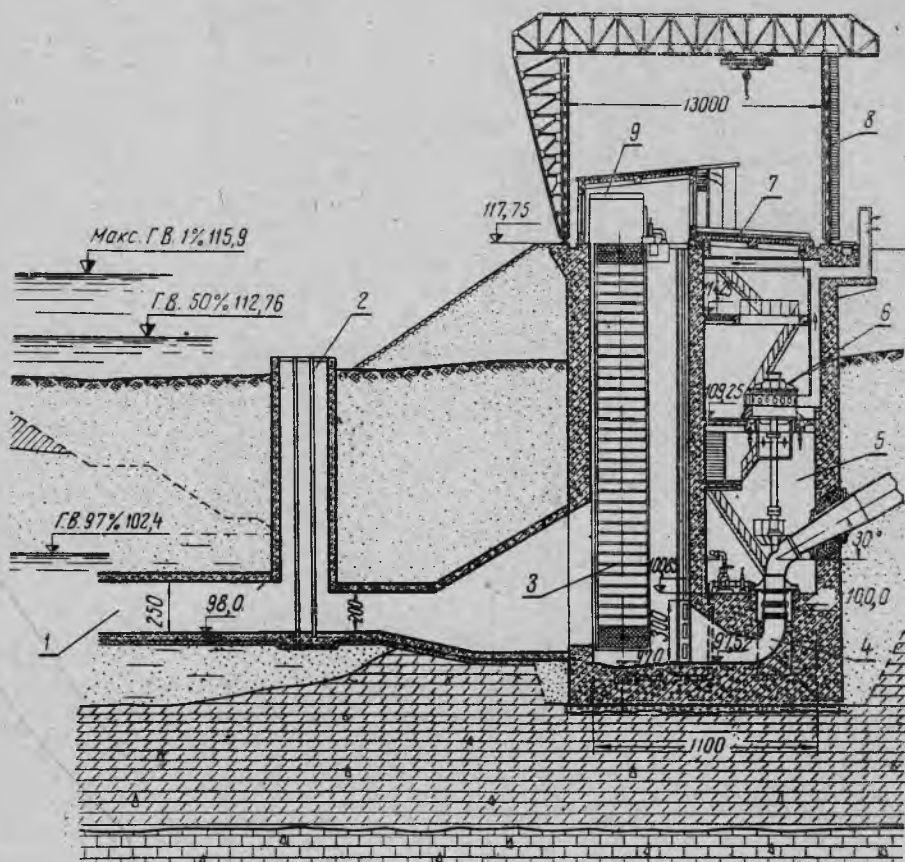


Рис. V—25. Поперечный разрез здания насосной станции шахтно-блочного типа с надземной частью только над водоприемным сооружением:

1 — самотечный трубопровод; 2 — камера затворов; 3 — водоприемная камера с установкой вращающейся сетки и плоского затвора на входном отверстии всасывающей трубы; 4 — блок; 5 — насосное помещение; 6 — машинный зал; 7 — загрузочный люк; 8 — козловый кран; 9 — помещение для установки механизмов вращающихся сеток и моечных устройств для сеток.

при монтаже и демонтаже предусмотрен козловый кран и съемное верхнее перекрытие.

В последнее время начали проектировать и строить здания насосных станций и гидроэлектростанций без надземной части. В этом случае электродвигатели и все оборудование располагают открыто на перекрытии подземной части. На зимний период электродвигатели защищают съемными колпаками. В районах с высокой летней температурой, где воздух содержит большое количество пыли, устраивают надземную часть здания или защитные колпаки.

Для обслуживания при монтаже и демонтаже оборудования в зданиях без надземной части устанавливают козловый или порталный кран, передвигающийся по рельсам, уложенным на стенах подземной части здания. На рисунке V—26 представлена открытая оросительная

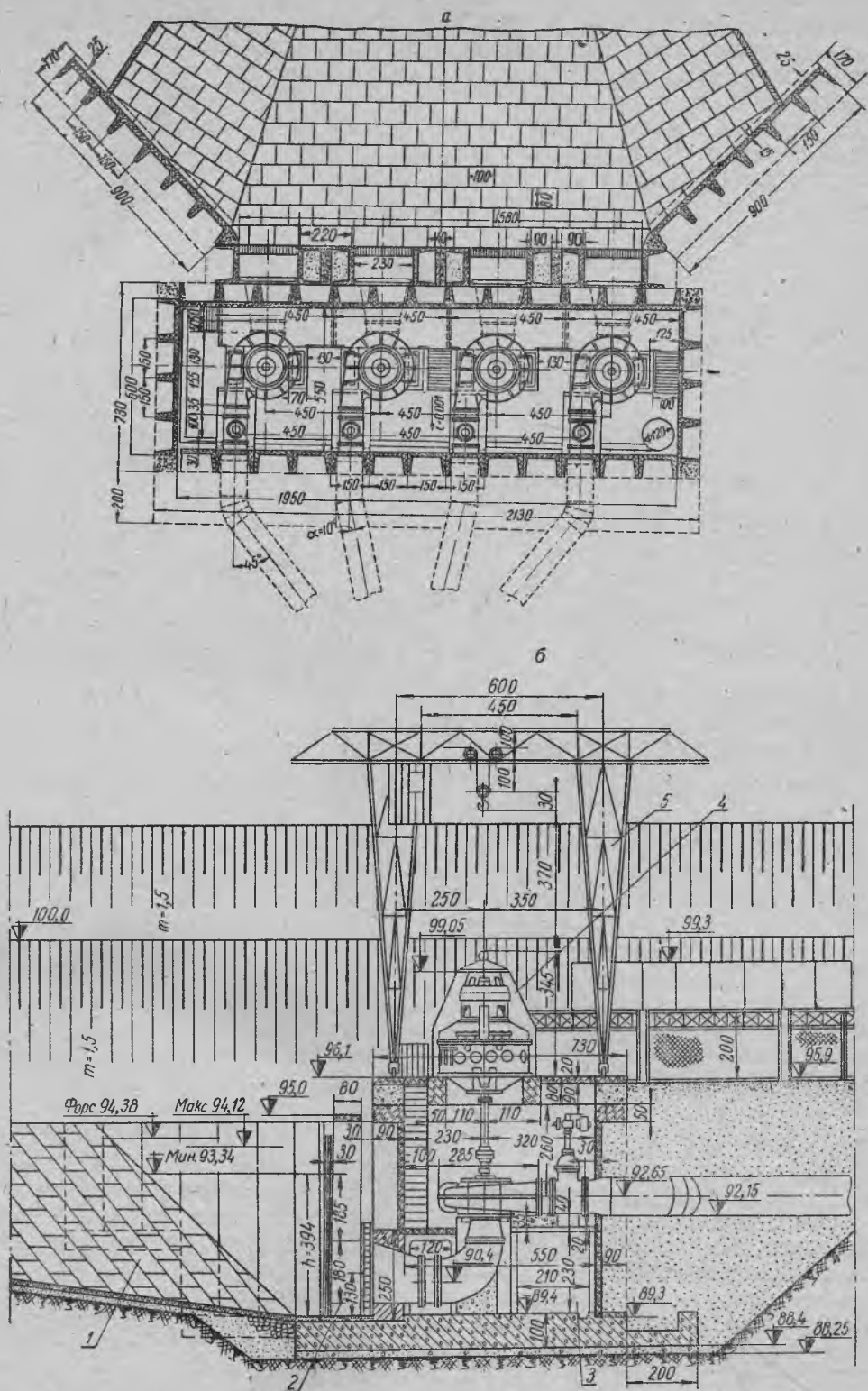


Рис. V—26. Поперечный разрез открытой оросительной насосной станции камерного типа с сухой камерой из сборных железобетонных элементов:

а — план; *б* — поперечный разрез; 1 — аванкамера; 2 — водоприемное сооружение; 3 — подземная часть здания; 4 — колпак из листовой стали; 5 — козловый кран.

насосная станция камерного типа с сухой камерой из сборных железобетонных элементов. Двигатели на этой станции закрываются съемными стальными колпаками. Для обслуживания при грузоподъемных работах установлен козловый кран.

В зданиях насосной станции всех типов, кроме незаглубленного, надземная часть опирается на подземную, стены которой служат фундаментом для надземной части здания, поэтому надземная часть может быть выполнена следующим образом:

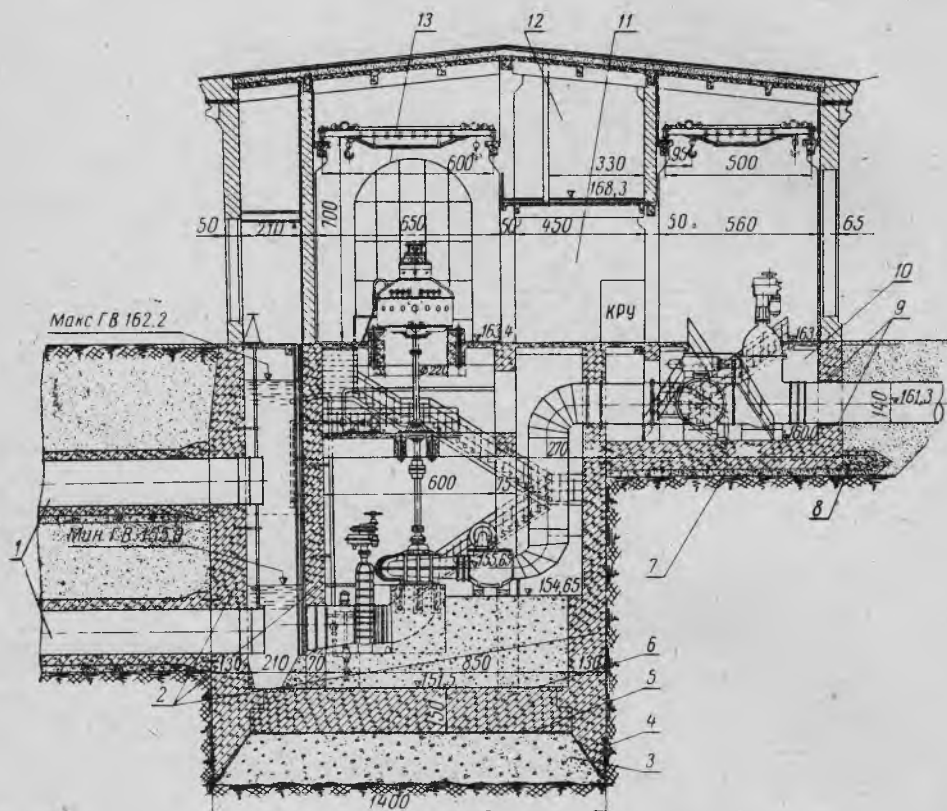


Рис. V—27. Подземная часть здания насосной станции, выполненная железобетонным опускным колодцем:

1 — самотечные трубы; 2 — опускной колодец; 3 — тощий бетон; 4 — стальной нож; 5 — гидроизоляция; 6 — дноще из армированного бетона; 7 — бетонная подготовка; 8 — дренаж вдоль здания; 9 — заделка смоляным канатом; 10 — здание напорных коммуникаций; 11 — помещение КРУ; 12 — помещение ЦУ; 13 — машинный зал.

а) с одним основным помещением для двигателей (рис. V—2); распределительные устройства размещаются в специальной пристройке;

б) с двумя смежными помещениями: для двигателей, размещенных над насосным помещением, и для КРУ, расположенных над напорными коммуникациями (рис. V—21);

в) с тремя смежными помещениями: для двигателей над насосным помещением, для КРУ над напорными коммуникациями и для управления оборудованием, расположенным в водоприемном сооружении (рис. V—27);

д) с двумя помещениями: одно для двигателей над насосным помещением и второе, двухэтажное, над водоприемником, где в нижнем этаже размещаются грузоподъемные механизмы, а в верхнем этаже — КРУ и щиты управления (рис. V—4).

Перечислены часто применяемые конструкции надземной части здания насосной станции, но могут быть и другие решения, например: одно двухэтажное помещение над насосами, нижний этаж которого служит для размещения двигателей, а верхний — для размещения КРУ и ЩУ, и другие компоновки.

Подземная часть здания насосной станции. Подземная часть насосных станций может быть монолитной конструкции из бетона и армированного бетона и сборной конструкции из железобетона.

Подземную или подводную часть насосных станций блочного или камерного типа выполняют из армированного бетона марки не ниже 150, водонепроницаемостью не ниже В-4; морозостойкость назначается исходя из местных условий, но не менее Мрз-50. При строительстве зданий насосных станций в условиях агрессивных вод применяют специальные виды цемента и бетона (ГОСТ 4795—53, СНиП—I-В. 2—62). Вода, необходимая для приготовления и ухода за бетоном, должна удовлетворять требованиям СНиП—I-В.3—62. Здание насосной станции рассчитывают как гидротехническое сооружение. Действующие силы и нагрузки на все гидротехнические сооружения, в том числе и на здание насосной станции, определяют согласно СНиП II—А.11—62.

Давление фильтрационных вод определяют согласно действующим техническим условиям и нормам проектирования гидротехнических сооружений.

Давление льда на здание насосных станций, особенно расположенных в русле реки, следует определять по ГОСТ 3440—46. Давление снега и ветра принимают по СНиП II—А.11—62; нагрузку от навала понтонов при проектировании плавучих насосных станций определяют согласно ГОСТ 3439—46.

Проектирование зданий насосных станций в сейсмических районах с сейсмичностью 7 баллов и более ведется по СНиП II—А.12—62. При расчетах силы и нагрузки разделяют на основные, дополнительные и особые согласно СНиП II—А.10—62.

При проектировании зданий насосных станций выполняют расчет на общую устойчивость. Коэффициенты запаса принимают в зависимости от капитальности сооружений по СНиП II—А.11—62.

Подземная часть здания насосной станции должна иметь надежное основание. При грунтах, обладающих достаточной несущей способностью, под здание насосной станции укладывают подготовку из гравия или щебня слоем 5—10 см, втрамбованного в грунт и выравнивающего поверхность основания, затем укладывают подготовку из тощего бетона марки 40—60 слоем 15—20 см. По подготовке укладывают гидроизоляционный слой из асфальта толщиной 2—3 см, армированного сеткой из проволоки 5—6 мм с просветами через 20—30 см, предохраняющей асфальт от выдавливания (рис. V—24). При слабых грунтах применяют различные конструкции основания: свайные (рис. V—15), опускные колодцы (рис. I—3) и др.

Подземную часть здания насосной станции монолитной конструкции можно выполнять не в открытом котловане, а опускным способом. В этом случае на выравнивающий слой из тощего бетона укладывается гидроизоляция, а затем кладется днище из армированного бетона. Стык днища со стенами подземной части осуществляется вчетверть, как это показано на рисунке V—27.

Для борьбы с фильтрацией воды наружную поверхность стен подземной части здания насосной станции на 0,5 м выше максимального горизонта воды покрывают гидроизоляцией. Поверхности подземной части здания насосной станции, не засыпаемые грунтом, а также подводные поверхности в зданиях, выполняемых опускным способом, покрывают двумя слоями торкрета с затиркой и железнением. Стены, засыпаемые грунтом, прокрашивают двумя-тремя слоями нефтебитума,

растворенного в бензине, и покрывают мешковиной или рулонным материалом.

Внутренние поверхности подземной части здания насосной станции штукатурят с церезитом и окрашивают влагоустойчивыми красками.

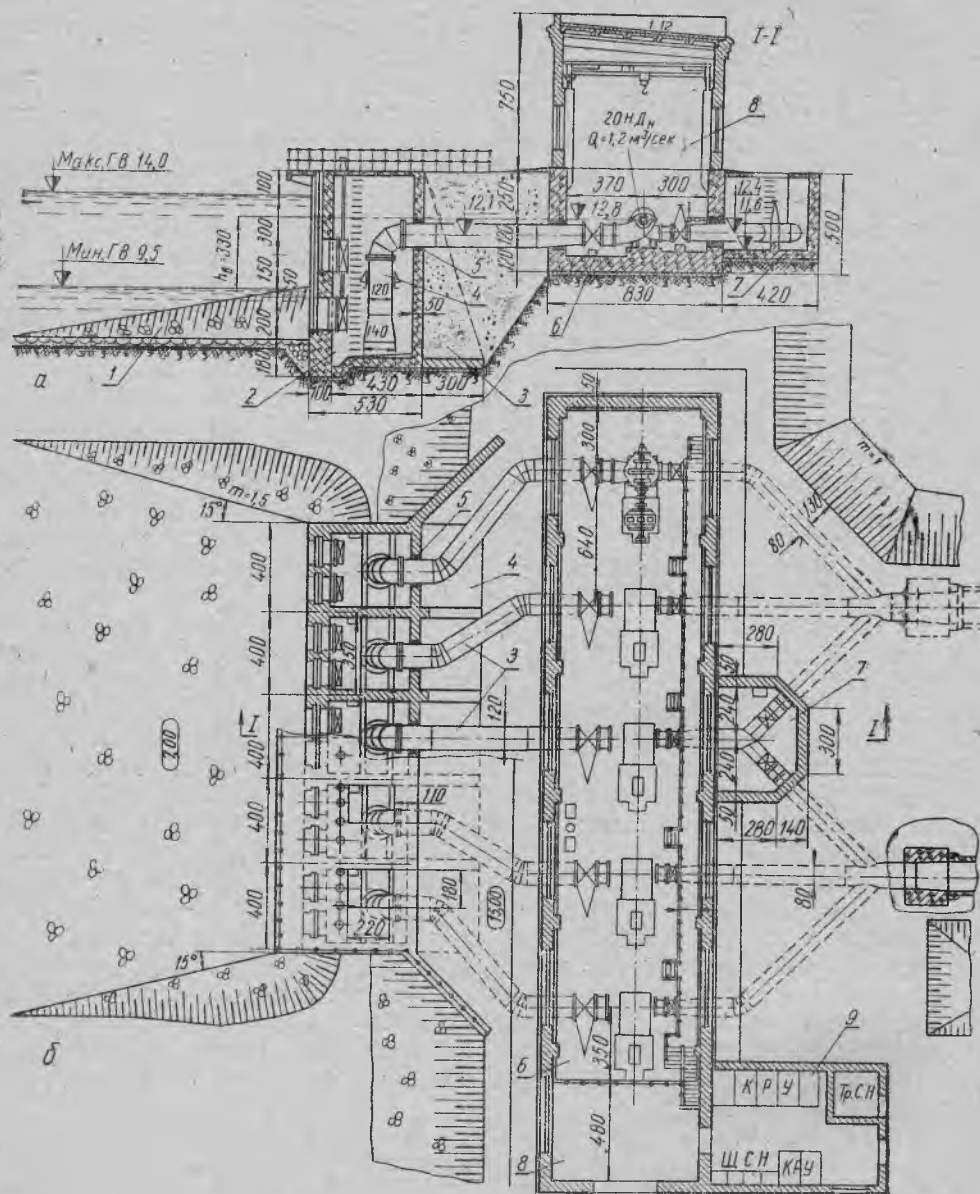


Рис. V—28. Насосная станция с сухой камерой небольшой глубины с переменной высотой всасывания:

a — поперечный разрез; *б* — план; 1 — соединяющая прорезь; 2 — водозаборное сооружение; 3 — конструкция, обеспечивающая устойчивость сооружения на сдвиг; 4 — всасывающая труба; 5 — сальниковые проходы; 6 — подземная часть здания насосной станции; 7 — камера переключающих затворов; 8 — надземная часть здания; 9 — здание электrorаспределительных устройств.

Поверхность всасывающих труб в зданиях блочного типа и мокрых камер торкретируют цементным раствором высоких марок и железнят. Колено всасывающей трубы и место примыкания к насосу в зданиях блочного типа облицовывают сталью толщиной 6—8 мм.

Конструкция подземной части здания насосной станции зависит от типа здания, компоновки здания станции с водоприемным сооружением и внутростанционного оборудования.

При раздельной компоновке водоприемного сооружения и здания насосной станции, простой коммуникации напорных трубопроводов подземная часть здания состоит из одного помещения, где располагаются насосы, всасывающие и напорные коммуникации (рис. V—9), что бывает при установке насосов с вертикальным валом, или одного помещения, в котором располагаются и насосы и двигатели (рис. V—28, а, б) при установке насосов с горизонтальным валом. При совмещенной компоновке водоприемное и насосное помещения представляют собой монолитную конструкцию (рис. V—2; V—4 и др.).

При совмещенной компоновке, но сложной напорной коммуникации внутростанционных трубопроводов (например, наличие коллекторного соединения), кроме насосного помещения, необходимо иметь помещение для напорных коммуникаций (рис. V—4 и V—21, а). Стена, разделяющая эти помещения, не должна быть сплошной для удобства сообщения во время эксплуатации (рис. V—21, а и б).

В шахтно-блочных и шахтно-камерных зданиях насосных станций на валу, соединяющем насос с двигателем, устанавливают раскрепляющие подшипники, количество которых определяется длиной вала. Их устанавливают не реже чем через 3—3,5 м. Опорами раскрепляющих подшипников являются железобетонные балки, идущие в поперечном направлении (рис. V—2), они же усиливают жесткость стен подземной части здания насосной станции. Для обслуживания раскрепляющих подшипников устраивают служебный мостик, опирающийся на эти же балки. Служебный мостик должен быть шириной 1,2 м и идти вдоль всего здания, а подход вокруг каждого подшипника — не менее 0,7 м (рис. V—29, а, б). Служебный мостик должен иметь ог-

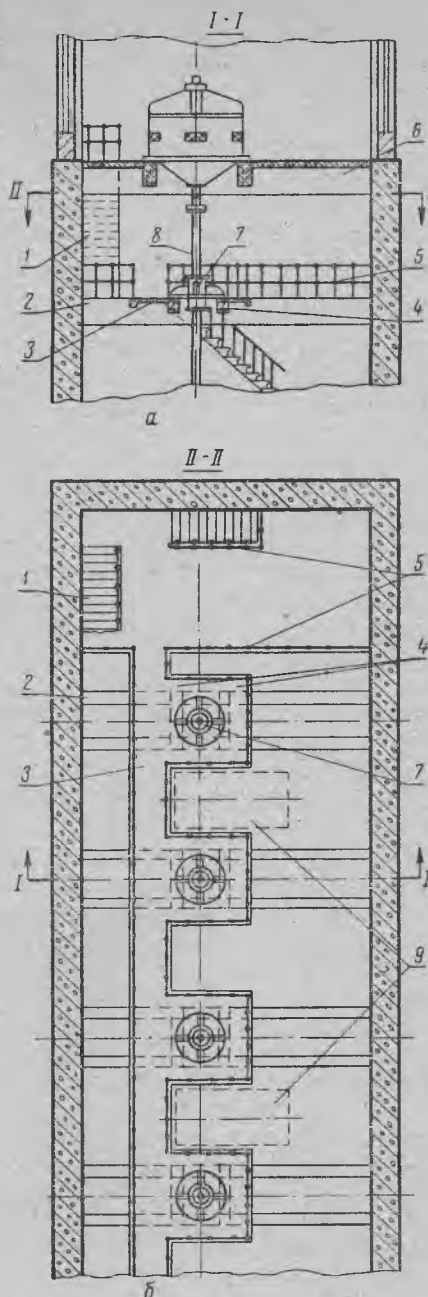


Рис. V—29. Служебный мостик для обслуживания раскрепляющих подшипников промежуточного вала:

а — поперечный разрез; б — план; 1 — лестница из надземной части здания в подземную; 2 — главные опорные балки раскрепляющего подшипника; 3 — служебный мостик; 4 — второстепенные опорные балки для крепления подшипника; 6 — ограждение; 6 — междуэтажное перекрытие; 7 — раскрепляющий подшипник; 8 — промежуточный вал; 9 — места люков в междуэтажном перекрытии (показано пунктиром) для проноса оборудования из подземной части здания на монтажную площадку.

раждения высотой 1 м. Размещение служебного мостика должно быть согласовано с люками в междуэтажном перекрытии, предназначенными для проноса деталей из подземной части. Люки не должны располагаться над служебными мостиками. На рисунке V—29, б люки показаны пунктиром 9. Балки для раскрепляющих подшипников часто служат опорами коллектора, расположенного на некоторой высоте от пола насосного помещения.

Междуэтажное перекрытие выполняется на месте из монолитного железобетона. Главные железобетонные балки, на которые опираются электродвигатели, идут поперек здания насосной станции и защемляются в стенах подземной части (рис. V—2, V—4); второстепенные балки идут вдоль здания, как неразрезные по главным балкам. В том случае, когда люки располагаются над второстепенными балками, то они идут только между главными балками.

Высота второстепенных балок, кроме статической прочности, определяется длиной фундаментных болтов электродвигателя, которая дается установочным чертежом. Толщина плиты перекрытия обычно равна 12—15 см.

Надземная и подземная части здания соединяются лестничной клеткой, расположенной, как правило, под монтажной площадкой. Заложение марша лестницы берется по СНиП, но не круче 1 : 1,25. Часто пространство под монтажной площадкой в подземной части разделяется по высоте на две части: в нижнем помещении устанавливают вспомогательное гидромеханическое оборудование, в верхнем размещают масляное хозяйство, вентиляционные устройства, пневматическую установку и др. При значительной высоте эта часть делится на три-четыре этажа (рис. V—21, б). Для выноса оборудования из подземной части здания на монтажную площадку в междуэтажном перекрытии должны быть предусмотрены люки.

Размер люка определяется возможностью проноса самой крупной детали. Если каждый насос имеет отдельное помещение, что бывает при устройстве отдельных стенок в подземной части, устраивают по одному люку на установленный насос; люк располагают перед двигателем или за ним, в зависимости от размеров деталей и удобства их транспортирования.

При общем насосном помещении обычно делают один люк на два насоса, который размещают между двигателями, в месте, удобном для монтажа и демонтажа насосов (рис. V—29, б).

В том случае, когда высота подземной части здания обеспечивает продольный пронос деталей насосного оборудования (рис. V—21, а; V—24), устраивают один люк на монтажной площадке.

Подземная часть с сухой камерой может быть:

а) глубокой, в которой размещается насосное оборудование с вертикальным валом (рис. V—4);

б) средней глубины, когда в ней размещается насосное и силовое оборудование, устанавливаемое с горизонтальным валом, что бывает при переменной высоте всасывания положительной, нулевой и отрицательной (рис. V—28) или только отрицательной (рис. I—8). В этом случае под монтажной площадкой устанавливается вспомогательное гидромеханическое оборудование, с монтажной площадки устраивается сход трапом на служебный мостик, идущий вдоль станции, с которого ведется ручное управление регулируемыми задвижками;

в) малой глубины, когда сухая камера требуется только для того, чтобы выйти выше горизонта стояния грунтовых вод; в этом случае агрегат почти или целиком выходит выше поверхности при станционной площадке (рис. V—30); монтажную площадку и помещение электрораспределительных устройств тогда размещают в пристройке на ленточном фундаменте.

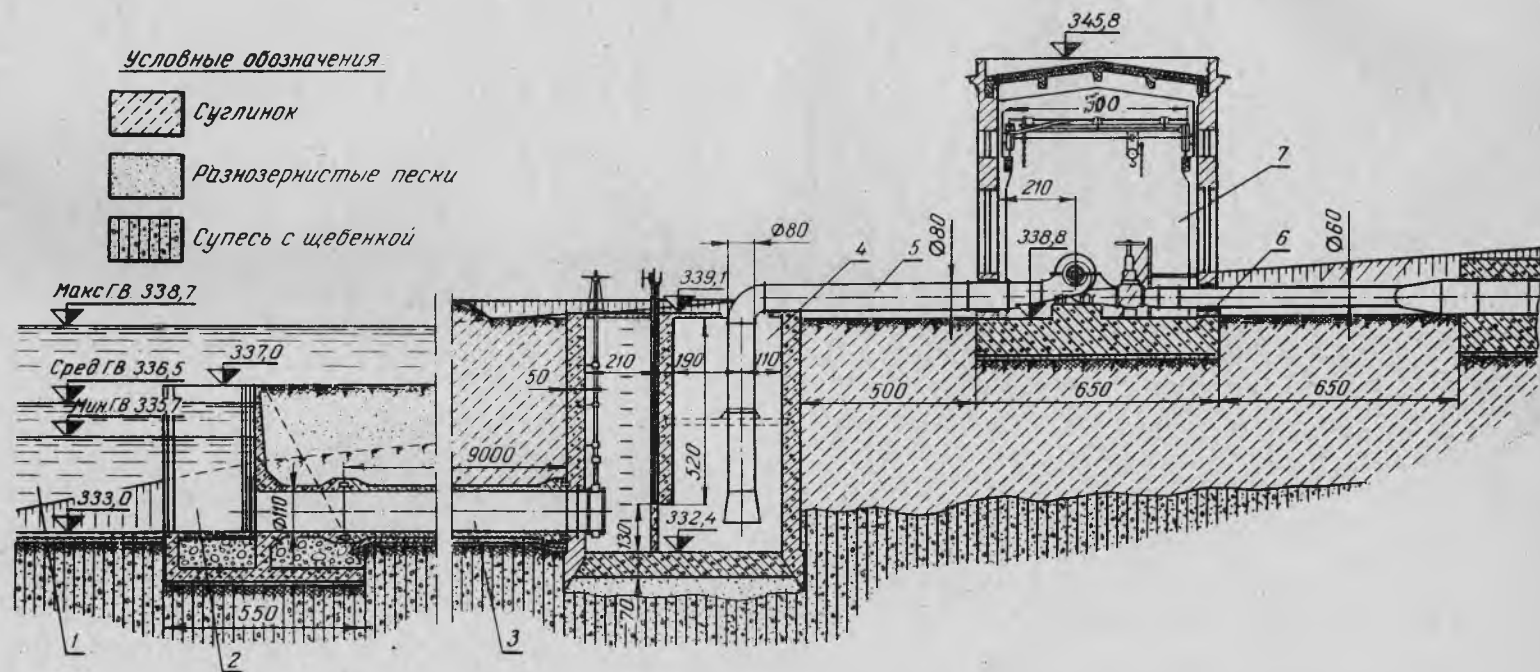


Рис. V—30. Здание насосной станции с отметкой пола на уровне стояния максимального горизонта грунтовых вод:

1 — река; 2 — водозаборное сооружение; 3 — самотечная труба; 4 — береговой колодец; 5 — всасывающая труба; 6 — днище здания станции; 7 — надземная часть здания станции.

В тех случаях, когда монтажную площадку располагают в помещении, примыкающем к зданию станции, в месте примыкания предусматривают осадочные швы.

Для подхода к задвижкам и перехода через напорные трубы, укладываемые в подземной части, устраивают железобетонные служебные мостики шириной не меньше 1,2 м (рис. I—8). В насосных станциях незаглубленного типа делают стальные служебные мостики. Так как в мелиоративных насосных станциях трубопроводы имеют значительные

размеры и переход через них возможен только по служебному мостику, то к каждому насосу устраивают металлические трапы с поручнями (рис. V—7, а, б). Служебные мостики ограждают металлической решеткой высотой не менее 1 м.

В здании насосной станции с мокрой камерой насос может быть затоплен (рис. V—5) или расположен в сухом помещении (рис. V—6). В зависимости от этого конструкция подземной части здания различна. Подземная часть здания насосной станции с затопленным насосом имеет поперечные раздельные стенки, которыми создаются камеры для размещения насосов, число камер равно числу установленных насосов. В этом случае главные балки перекрытия идут вдоль здания, опираясь на поперечные раздельные стенки.

Для обслуживания подшипников и сальников насосов вдоль всего здания должен быть служебный мостик, для прохода по которому в поперечных раздельных стенках устраивают проемы по ширине мостика. Мостик выполняют из железобетона и ограждают металлической решеткой (рис. V—5). Он должен быть расположен выше максимального горизонта воды. Подземная часть здания с мокрой камерой

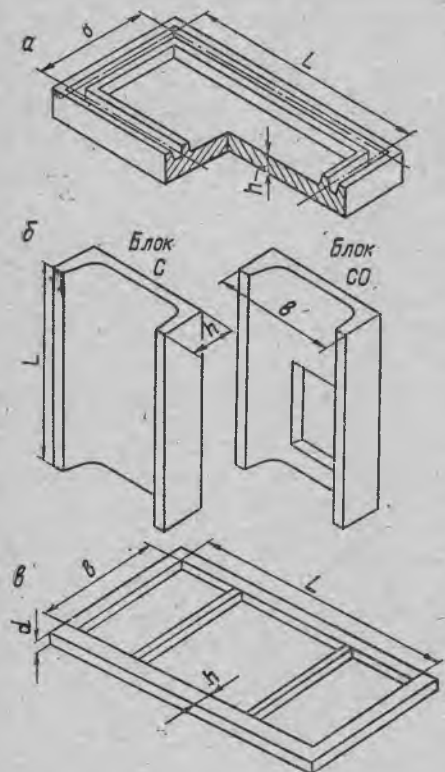


Рис. V—31. Железобетонные детали подземной части здания насосной станции:

а — монолитная плита основания (днище);
б — стеновые блоки швеллерного типа (С — стеновой блок; СО — стеновой блок с окном);
в — обвязочная рама с распорными балками.

и насосами, расположенными в сухом помещении, имеет раздельные стенки до перекрытия насосного помещения, на котором в общем помещении устанавливаются насосы (рис. V—6).

Все требования, предъявляемые к насосным станциям с сухой камерой, приемлемы для сухого помещения этого типа здания, так как насосы по существу располагаются в сухой камере.

В настоящее время при строительстве насосных станций для подземной части здания применяют сборные железобетонные элементы.

Проектными организациями разработаны типовые проекты зданий насосных станций малой и средней производительности из сборных железобетонных деталей. Это позволяет снизить капитальные затраты, а главное, сократить сроки строительства.

В имеющихся типовых проектах насосных станций для подземной части зданий применяют специальные сборные детали. На рисунке V—31 приведены основные железобетонные типовые детали подземной части

здания насосных станций с сухой камерой, оборудованных центробежными насосами с горизонтальным валом.

На рисунке V—31, а показана железобетонная монолитная фундаментная плита (днище) с гнездом по периметру для задвижки стеновых блоков по типу «стакан». Плиты разработаны двух типов — для бескаркасных и каркасных зданий станции. На рисунке приведена плита первого типа. В плите второго типа заделка стеновых блоков такая же, как и в первом типе, а для установки стоек каркаса предусматриваются подколонники. Ширина всех плит в осях $b=6$ м, длина может быть различной. Материал для изготовления плит: рабочая арматура периодического профиля из стали марки Ст-5, распределительная — круглая, горячекатаная из стали марки Ст-3, гидротехнический бетон марки БГМ-150. Армирование выполняется сварными каркасами и сетками.

Длина плит для бескаркасных зданий $L=10,5—18$ м, для каркасных $L=12—36$ м. Толщина днища для бескаркасных зданий $h=0,4—0,6$ м, для каркасных $h=0,5—0,65$ м. Днище рассчитывают, как плиту на упругом основании. На рисунке V—31, б приведены сборные стеновые блоки швеллерного типа марки С. Стеновой блок с окном марки СО устанавливают в местах прохода всасывающего и напорного трубопроводов. Блоки изготовляют из гидротехнического бетона марки БГТ-200, водонепроницаемостью В-6 и морозостойкостью Мрз-150. Рабочая арматура также принята горячекатаная периодического профиля из стали марки Ст-5, распределительная — горячекатаная круглая из стали марки Ст-3. Армирование выполняется сварными сетками и каркасами. Блоки рассчитаны, как балки, жестко заделанные одним концом в днище, а другим концом сверху опертые на обвязочную раму (с учетом восьмибалльной сейсмической нагрузки и временной нагрузки $H=30$).

Между собой блоки соединяют сваркой при помощи закладных деталей и металлических накладок. Все металлические накладки защищают от коррозии штукатуркой по металлической сетке. Рабочие чертежи блоков разработаны для их размеров: $L=2; 2,5; 3; 3,5$ и 4 м при ширине $b=0,73; 0,98$ и $1,48$ м; высота h соответственно $0,38, 0,43$ и $0,48$ м.

На рисунке V—31, в показана железобетонная монолитная обвязочная рама, укладываемая на стеновые блоки. Обвязочная рама имеет распорные балки типа БС, число которых зависит от длины здания.

Материал для изготовления рам и распорных балок: бетон марки 200, рабочая арматура горячекатаная периодического профиля из стали марки Ст-5, распределительная круглая из стали марки Ст-3. Рамы и распорки армируют каркасами. Рама, замоноличивая стеновые балки, служит для них опорой, облегчая их работу в статическом отношении, так как стеновые блоки имеют две опоры — защемление в фундаментной плите и опирание сверху на раму. Обвязочная рама представляет собой замкнутую многопролетную конструкцию.

Разработаны рабочие чертежи обвязочных рам следующих размеров:

а) для бескаркасных зданий: $b=6$ м; $L=10,5; 15$ и 18 м; $h=0,4$ и $0,45$ м;

б) для каркасных зданий: $b=6$ м; $L=12, 18, 24, 30$ и 36 м; $h=0,4, 0,45$ и $0,5$ м.

Толщина сечения обвязки рамы $d=0,3$ м.

Для этого типа зданий разработаны железобетонные колонны высотой $5,2$ м, у которых консоль для подкрановой балки расположена на расстоянии $1,3$ м от верха колонны. Сечение колонны 300×400 мм. Если высота колонны недостаточна, применяют подставки под колонны того же сечения. Подставки бывают различной длины: $1; 1,5; 2; 2,5$ и 3 м.

Сборные элементы железобетонных конструкций широко применяются в качестве каркаса надземной части здания станции и перекрытия — балки, плиты, подкрановые балки и др.

Большим недостатком существующих стандартов сборных железобетонных элементов для промышленного строительства является то, что они не предусматривают размеры балок меньше 6 и 9 м. Это вынуждает проектировщиков необоснованно увеличивать размеры зданий или отказываться от сборных деталей и переходить на монолитные конструкции. Это касается и верхней части колонн, которые имеют размер слишком большой, зачастую не нужный для зданий насосных станций. Поэтому следует провести большую унификацию сборных элементов для более широкого применения их в строительстве насосных станций.

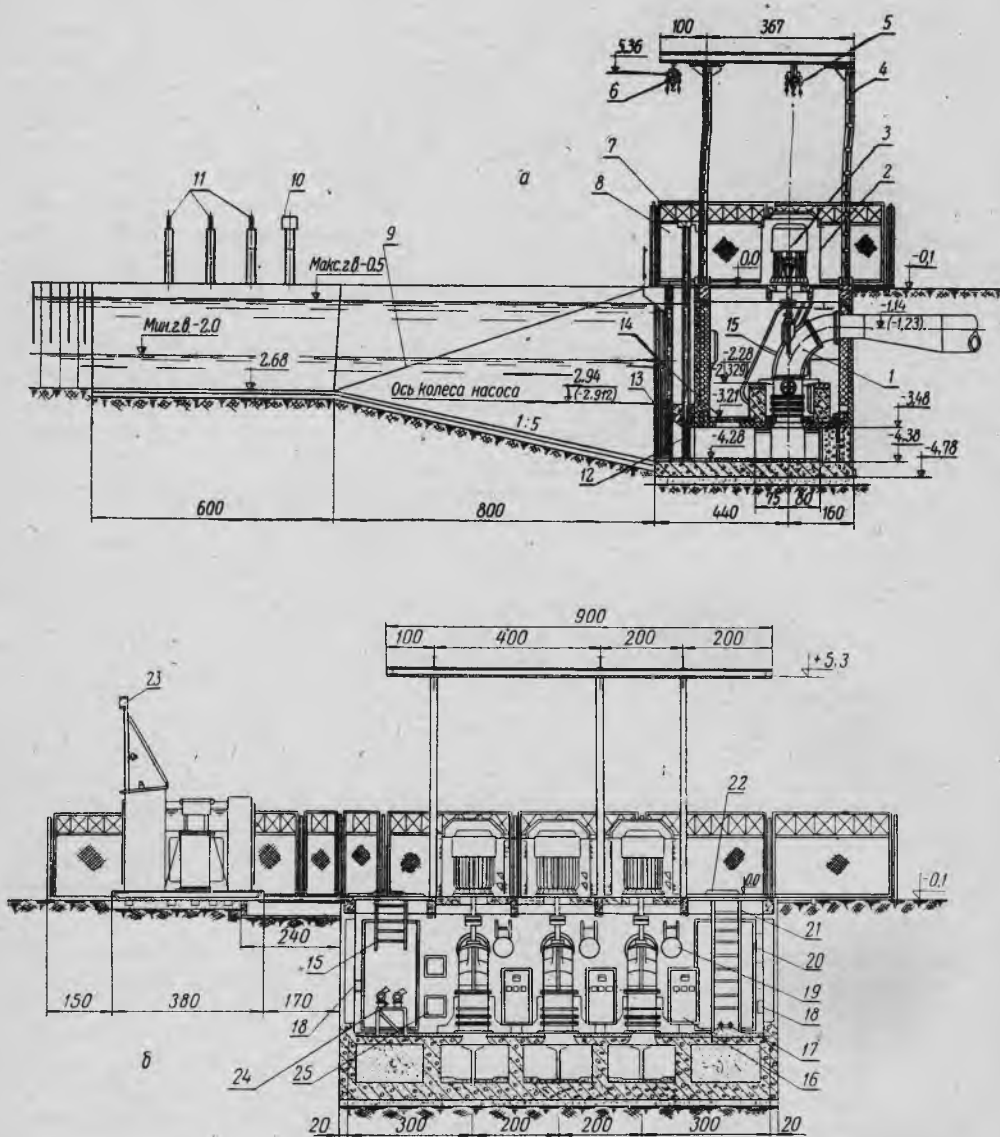


Рис. V—32. Открытая оросительная станция из сборных железобетонных элементов:

а — поперечный разрез; б — продольный разрез; 1 — осевой насос марки ОВ-47 или ОВ-55; 2 — колпаки над основными двигателями; 3 — электродвигатель; 4 — рама для подвески рельс кошек; 5 — кошка грузоподъемностью 3 т; 6 — ручная кошка грузоподъемностью 1 т; 7 — подъемник затвора; 8 — ограждение площадки станции; 9 — ныряющая стенка; 10 — датчик уровня ДСУ-1; 11 — поплавковое реле РМ-51; 12 — затвор; 13 — решетка; 14 — люк для спуска в мокрую камеру; 15 — лестница; 16 — станция управления основными агрегатами; 17 — насос 2КМ-66; 18 — ручной насос БКФ-4 с $Q = 39-59$ л/мин; 19 — дифференциальный манометр ДП-281; 20 — станция управления двигателями охлаждения подшипников; 21 — трап; 22 — люк для спуска в насосное (подземное) помещение; 23 — трансформаторная подстанция типа СКТП; 24 — насос ВС-0,9; 25 — блок измерения неэлектрических величин.

В сборных элементах, располагаемых ниже уровня воды, особое внимание следует обращать на водонепроницаемость бетона, величину защитного слоя арматуры и гидроизоляцию.

Выбор конструкции, размеров и веса сборных элементов в первую очередь должен быть увязан с имеющимися транспортными и монтажными средствами и механизмами, а также с имеющейся на месте или создаваемой базой строительной индустрии. Наибольший эффект дает применение сборных, предварительно напряженных железобетонных конструкций.

Подземная часть из сборного железобетона должна иметь тщательное соединение блоков, замоноличивание всех швов и гидроизоляцию. Гидроизоляция, помимо гудронного покрытия всей поверхности, соприкасающейся с грунтом, должна включать глиняный экран по всей высоте толщиной не менее 0,5 м. Внутреннюю поверхность штукатурят с перезитом и красят влагоустойчивыми красками и др.

На рисунке V—32 представлена конструкция здания насосной станции без надземной части и с подземной частью из сборного железобетона.

Здание насосной станции с мокрой камерой и сухим помещением для насосов оборудовано тремя осевыми насосами марок О547 или О6-55. Электродвигатели основных насосов установлены на перекрытии из сборного железобетона и защищены съемными колпаками. Вспомогательное оборудование, аппаратура управления и автоматики, контрольно-измерительная аппаратура размещены в подземной части (насосном помещении) станции.

Порядок возведения подземной части здания этой конструкции следующий: на подготовку из тощего бетона укладывают фундаментные плиты, оставляя между ними зазоры шириной, достаточной для установки ячеистых блоков и их последующего замоноличивания. Ширина фундаментных плит равна ширине мокрой камеры в свету, а длина — ширине основания станции. После установки ячеистых блоков производят замоноличивание, в результате получается монолитная жесткая конструкция с камерными подводами. Перекрытие камер подвода выполняют из сборных плит и также замоноличивают. На этом перекрытии устанавливают стеновые балки, конструкция которых представлена на рисунке V—31, б, и замоноличивают как в фундаментную плиту. Затем на стеновые балки укладывают обвязочную раму, соединяют стеновые блоки, как было указано ранее. На плиту перекрытия камер укладывают блоки фундаментов насосов.

Перекрытие над насосным помещением выполняют также из сборных элементов.

На входе в каждую камеру устанавливают в пазах сороудерживающую решетку и плоский затвор с винтовым подъемником. Для монтажа и демонтажа оборудования, подъема сороудерживающей решетки предусмотрены кошки с ручным червячным приводом. Рельсы для передвижения кошек укреплены на специальной металлической эстакаде, установленной над подземной частью здания.

В учебнике «Насосы и насосные станции» [69] на рисунках 263, а, б и 265 представлена подземная часть здания насосной станции с сухой камерой, оборудованной центробежными насосами типа Д с горизонтальным валом, со сдвижной крышей. На рисунке 264, а и б показано то же, но с центробежными насосами с вертикальным валом типа В; на рисунке 262 приведена конструкция подземной части из сборного железобетона для здания насосной станции блочного типа, оборудованной осевыми насосами. Все перечисленные здания не имеют надземной части.

Рассмотренные здания из сборного железобетона предусматривают в процессе строительства тщательное замоноличивание всех сбор-

ных деталей, в результате чего получается жесткая единая монолитная конструкция подземной части.

Плавучие насосные станции. Плавучие насосные станции по классификации относятся к насосным станциям с сухой камерой, основанием которой является вода. Корпус плавучих мелиоративных насосных станций выполняют из листовой стали и из железобетона. Раньше корпус делали и из дерева, но дерево применяли только для временных насосных станций с последующей заменой стальным или железобетонным корпусом. Учитывая сложность выполнения деревянного корпуса, тре-

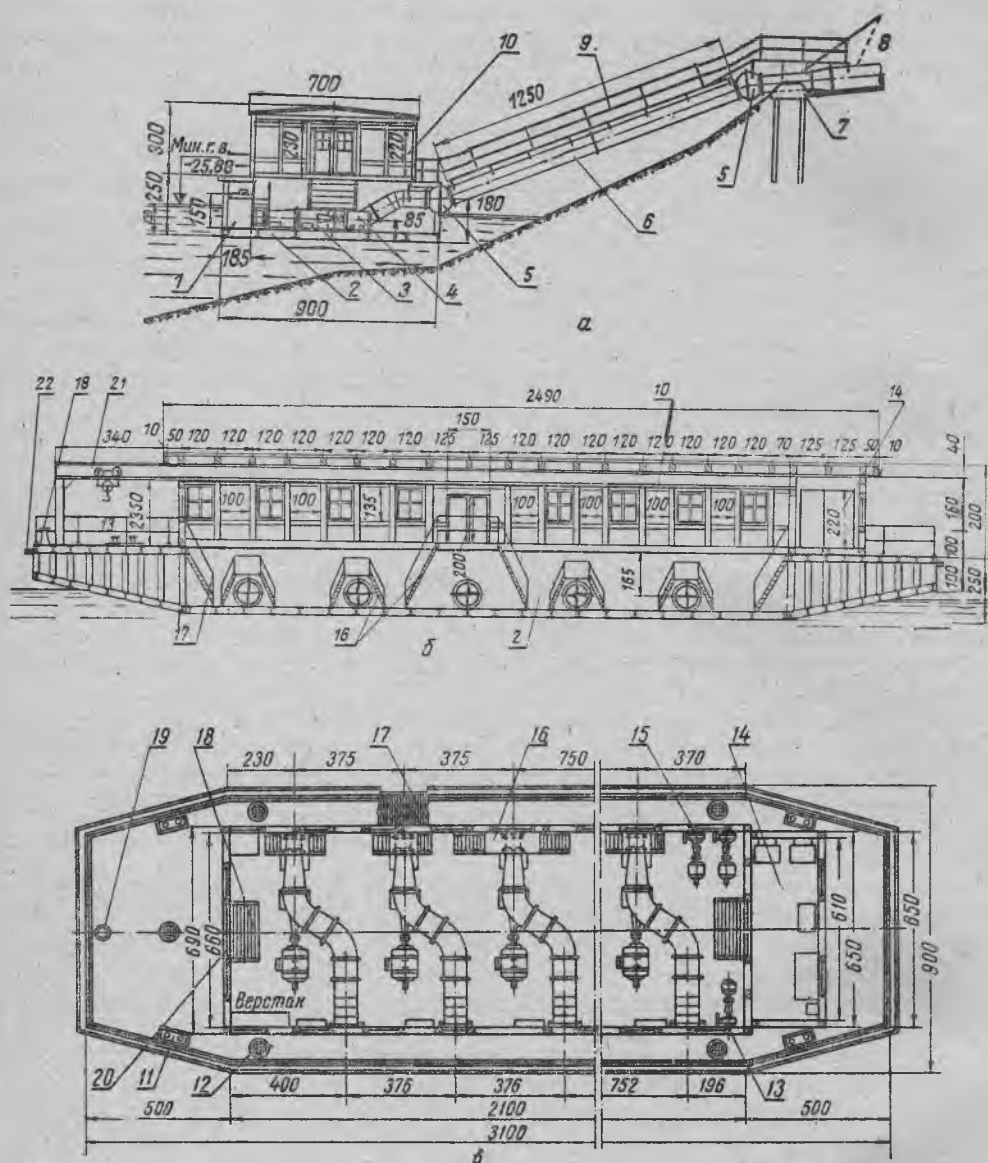


Рис. V—33. Плавучая насосная станция с металлическим корпусом:

а — поперечный разрез; б — продольный разрез; в — план; 1 — днищевой водозабор; 2 — стальной корпус; 3 — насос типа О; 4 — электродвигатель; 5 — шаровой шарнир; 6 — соединительный трубопровод; 7 — береговая опора напорного трубопровода; 8 — напорный трубопровод; 9 — служебный мост; 10 — надпалубное строение; 11 — кнехт; 12 — крышка люка; 13 — пожарный насос; 14 — рубка для распределительных устройств; 15 — балластные насосы; 16 — переходы; 17 — сороудерживающая решетка; 18 — трап; 19 — брашпиль; 20 — ворота; 21 — грузоподъемный механизм (кошка); 22 — при-
вальный брус.

бующего высококвалифицированных мастеров, и его недолговечность, плавающие насосные станции с деревянным корпусом не строят.

На рисунке V—33 представлена плавающая насосная станция со стальным корпусом. Надпалубное строение выполнено из стального каркаса с деревянной обшивкой, кровля — из жести. С конструкцией монолитного железобетонного корпуса плавучей насосной станции можно ознакомиться в учебнике [69 (рис. 275 и 276, а, б, в)]. Железобетонный корпус сборной конструкции представлен на рисунках V—34 и V—35.

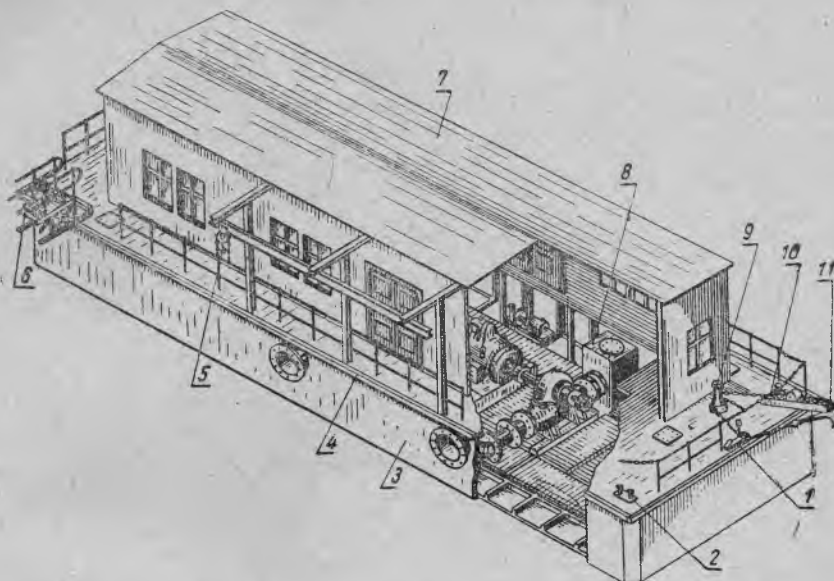


Рис. V—34. Плавающая насосная станция сборно-монолитной конструкции:

1 — глиняная планка; 2 — киль; 3 — железобетонный сборно-монолитный понтон; 4 — привальный брус; 5 — кошка; 6 — служебный мостик, соединяющий станцию с берегом; 7 — надпалубное строение из дерева; 8 — приемная коробка; 9 — ручная рукояточная шпиль; 10 — деревянная балка-крамбола; 11 — якорь.

Приведем некоторые положения, которые нужно учитывать при проектировании плавучих насосных станций.

1. Корпус плавучей насосной станции следует проектировать согласно правилам, выпущенным и утвержденным регистром СССР. Строительство плавучей насосной станции должно быть санкционировано регистром СССР.

2. Размеры элементов судна должны быть обоснованы статическими расчетами как на местную прочность, так и на общую прочность судна в продольном и поперечном направлениях.

3. Весь набор корпуса судна должен быть строго увязан с оборудованием, устанавливаемым на насосной станции.

4. Вопрос о потопляемости судна должен быть специально проработан, в связи с чем намечаются секции в корпусе судна, разделяемые водонепроницаемыми переборками.

5. Выбор материала корпуса судна должен быть обоснован условиями экономичности, водонепроницаемости оболочки корпуса, осадки судна, срока службы, производства работ и т. д.

6. В проекте должны быть решены вопросы хранения и установки плавучей насосной станции, самоходность или отбуксировка судна.

7. Конструкция и форма корпуса должны быть наиболее простыми, так как плавучие насосные станции, как правило, суда не самоходные, а буксируемые, поэтому корпусу не обязательно придавать плавную обтекаемую форму.

8. Судно должно иметь необходимое якорное, буксирное и прочее корабельное оборудование.

9. Плавучая насосная станция должна быть снабжена необходимыми пожарными и отливными средствами.

10. В корпусе судна должны быть предусмотрены балластные камеры с необходимым оборудованием для выравнивания крена и дифферента.

11. В надпалубном строении должно быть предусмотрено место для обслуживающего персонала, а также санитарно-технический узел.

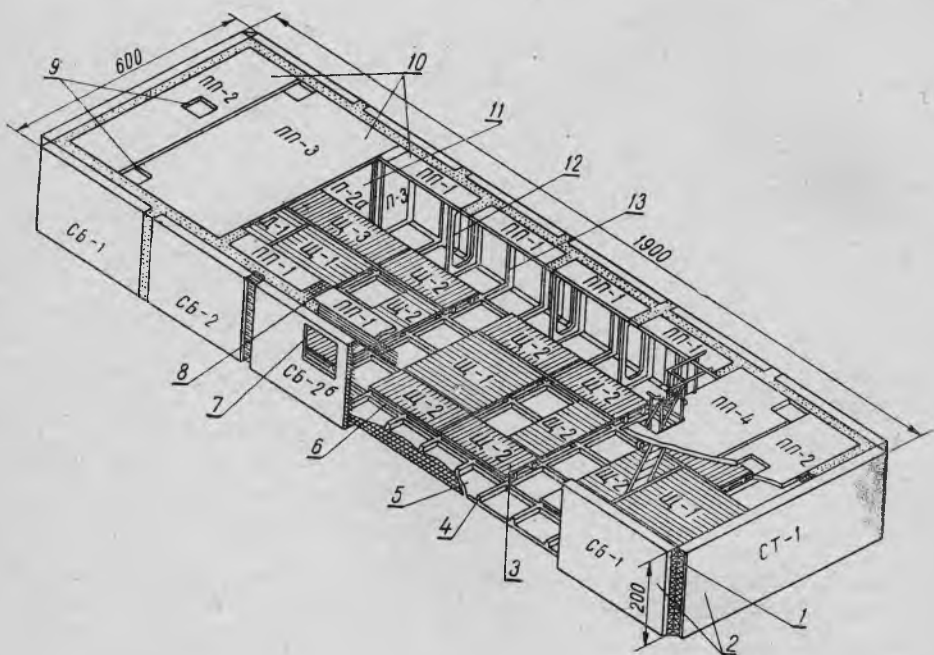


Рис. V—35. Железобетонный понтон сборно-монолитной конструкции:

1 — стык до замоноличивания; 2 — сборные железобетонные плиты бортов и транца; 3 — деревянные щиты настила трюма; 4 — железобетонный днищевой монолитный шпангоут; 5 — железобетонная днищевая монолитная плита; 6 — железобетонный монолитный кильсон; 7 — окно для выпуска напорного трубопровода; 8 — железобетонный монолитный палубный стрингер; 9 — люковое отверстие; 10 — сборные железобетонные плиты палубы; 11 — балластная цистерна; 12 — шпангоутная рама; 13 — ребро бортовой плиты.

Размеры судна. Форма корпуса судна, применяемого для плавучей насосной станции, обычно имеет вид призмы с заостренными концами, называемыми носом и кормой. На рисунке V—36 даются основные размеры судна:

L — длина судна, измеряется по палубе между внешней кромкой форштевня и крайней наружной кромкой кормы;

B — ширина судна, измеряется по горизонтальной линии между наружными поверхностями бортов в наиболее широком месте;

H — высота борта, измеряется посредине длины судна от наружной поверхности днища до верхней поверхности настила палубы.

Отношение длины корпуса к ширине для плавучих насосных станций принимают в пределах 6—7. Длину носа принимают равной $\frac{1}{8}$ длины корпуса. Корма обычно делается такой же, как и нос. В плане нос и корма сужаются, угол сужения θ принимают порядка $15\text{--}14^\circ$. Длина носа и кормы имеет подъем под углом $\theta \approx 11\text{--}12^\circ$. Высота надпалубного строения должна быть не более $H_{\text{надд}} = 4 \text{ м}$. Ширина надпалубного

строения b должна быть такой, чтобы вдоль обоих бортов оставался проход не менее 1,3—1,4 м, следовательно, $b = B - 2(1,3 - 1,4)$.

Плавучесть. Плавучестью называется способность плавающего судна уравнивать вертикальную нагрузку, равную давлению воды, которое действует на корпус судна.

Объем вытесненной судном воды называется водоизмещением и обозначается $V \text{ м}^3$.

Центр тяжести вытесненного объема воды называется центром водоизмещения, или центром величины, и обозначается ц. в. (рис. V—36). Необходимо, чтобы ц. в. и центр тяжести судна (ц. т.) лежали на одной прямой, называемой осью плавания.

Линия пересечения поверхности корпуса судна с плоскостью воды называется ватерлинией. Ватерлинию различают строевую, когда судно находится без груза, и грузовую при наибольшем нагружении. В плавучих насосных станциях грузовая ватерлиния будет при работе всех установленных насосов, когда все гидромеханическое оборудование и коммуникации трубопроводов заполнены водой. Осадкой судна T называется расстояние от уровня ватерлинии до наружной поверхности днища или киля. Соответственно ватерлинии осадка бывает грузовая и строевая. Зависимость между осадкой судна, водоизмещением V и весом судна G определяется формой судна.

Водоизмещение

$$V = LBT \delta,$$

где δ — коэффициент водоизмещения; для барж подобного типа и плавучих насосных станций он равен 0,8—0,9.

Площадь ватерлинии

$$F = LB \alpha,$$

где α — коэффициент ватерлинии — степень полноты, обычно составляет 0,7—0,9.

Общее выражение водоизмещения для любой формы судна

$$V = \int_0^T F dT.$$

Остойчивость. Под остойчивостью понимается свойство плавающего тела (судна) уравнивать действие кренящих сил и моментов.

Наклон судна около вертикальной оси от действия сил и моментов на нос или корму называется дифферентом, а на борт — креном.

Величина дифферента или крена определяется тангенсом наклона судна, определяемого по формуле, носящей название метацентрической формулы остойчивости:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{M_{\text{ост}}}{\gamma V \left(\frac{I}{\frac{b}{v} - d} \right)},$$

где $M_{\text{ост}}$ — дифференцирующий или кренящий момент (момент остойчивости);

γ — удельный вес воды;

I — момент инерции площади ватерлинии при дифференте относительно оси $z-z$, при крене относительно оси $x-x$ (рис. V—36).

Отношение момента инерции к водоизмещению судна называется метацентрическим радиусом

$$\frac{I}{V} = R.$$

Точка, лежащая выше ц. в. на величину R , называется метацентром и обозначается м. ц. Расстояние между м. ц. и ц. т. равно d . Разность между метацентрическим радиусом и расстоянием называется метацентрической высотой $R-d=h_{м.ц.}$. Если $h_{м.ц.}=0$, то $M_{ост}=0$, а при $h_{м.ц.}<0$ и $M_{ост}<0$, что обуславливает опрокидывание судна. Поэтому, чтобы судно не опрокинулось, необходимо располагать м. ц. выше центра тяжести судна не менее чем на 0,5—1 м. При эксплуатации плавучих

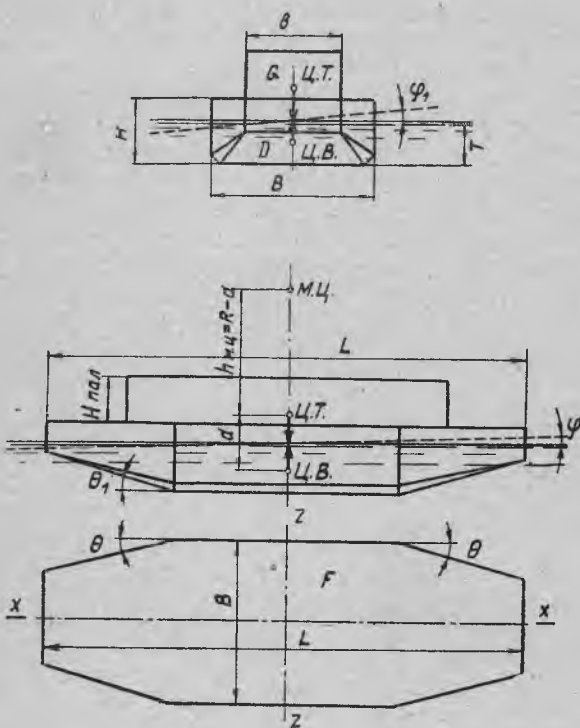


Рис. V—36. Основные размеры судна плавучей насосной станции.

По перечисленному набору корпуса идет днищевая обшивка, опирающаяся на кильсоны и шпангоуты, бортовая опирается на шпангоуты и палубная — на бимсы и комингсы. Торцовые обшивки носа и кормы называются транцами. Ограждение палубы на высоту 1 м называется фальшбортом. Снаружи на уровне грузовой ватерлинии устраивается деревянный привальный брус для смягчения ударов плавающих тел и при причаливании к стапелям, пристани и т. д.

Плавучие насосные станции с металлическим корпусом изготавливают в заводских условиях, в настоящее время освоен серийный выпуск Потийским и Бакинским заводами самоходных и несамоходных насосных станций с металлическим понтоном.

Железобетонные понтоны, как монолитные, так и сборной конструкции, могут выполняться на верфях, если имеются водные пути до места установки насосной станции для работы на оросительную систему. При отсутствии водных путей станции с железобетонным корпусом строят на месте на стапелях. Для железобетонного корпуса применяют бетон марки 300 и горячекатаную круглую арматуру из стали марки Ст-3.

Корпус монолитной конструкции изготавливают обычным способом с установкой опалубки, арматуры и тщательным бетонированием, не допускающим образования раковин.

насосных станций нельзя допускать крен или дифферент более 2—3°. Выравнивание крена или дифферента осуществляется устройством у кормы носа специальных балластных камер, в которые можно накачивать воду, являющуюся балластом.

Терминология набора корпуса судна. Набор корпуса судна показан на рисунке V—33, а и б. Он состоит из продольных балок, называемых стрингерами или кильсонами, поперечных и бортовых вертикальных балок, называемых шпангоутами; бортовых стрингеров — балок, расположенных на уровне грузовой ватерлинии. Балки, соединяющие шпангоуты, на которые опирается палубное покрытие, называются бимсами. Консоли называются комингсами.

Корпус сборной конструкции изготовляют на полигоне из деталей с расчетом на грузоподъемность крана до 5 т. Днище корпуса монолитное, все остальные элементы сборной конструкции устанавливают, после чего замоноличивают. На рисунке V—35 показаны основные элементы корпуса судна и швы замоноличивания. Основными элементами являются бортовые и транцевые плиты, которые выполняются ребристого типа, переборки — гладкие плиты, трюмные и палубные плиты. Вдоль днища корпуса идут кильсоны, выполняемые монолитно вместе с днищем. Поперек корпуса устанавливают шпангоутные рамы.

Корпус судна монолитной конструкции имеет нос и корму суженной формы по отношению к ширине корпуса, а у судна сборной конструкции корпус имеет прямоугольную форму, что упрощает строительство и уменьшает количество типов деталей. Транспортирование судна сборной конструкции несколько труднее, чем монолитной конструкции. В трюме плавучей насосной станции устанавливают основные насосы, обычно типа Д с двойным входом на рабочее колесо или осевые с горизонтальным валом, электродвигатели, всасывающие и напорные коммуникации, а также вспомогательное оборудование: осушительные, балластные и противопожарные насосные установки. Судно должно быть оборудовано якорями и другим необходимым судовым оборудованием. В надпалубном строении со стороны носа выделяется помещение для КРУ и ЩУ, а со стороны кормы находятся служебные помещения и санитарный узел.

Вода на берег подается соединительными трубопроводами, которые бывают однопролетными с шарнирными соединениями (рис. VII—15 и VII—16) или гибкими, расположенными на понтонах. При однопролетном соединительном трубопроводе насосная станция соединяется с берегом служебным металлическим мостиком с деревянным настилом, шарнирно опирающимся на понтон и береговую опору, при гибком трубопроводе для сообщения с берегом используются понтоны трубопровода. Между металлическими фермами мостика (под настилом) могут подвешиваться электрические питающие кабели, защищенные металлической сеткой.

При незатопляемом корпусе каждый агрегат размещается в отдельной секции, которая отделяется от смежной водонепроницаемой железобетонной переборкой (см. на рис. 276, а, б в учебнике. «Насосы и насосные станции»), это значительно увеличивает длину корпуса. Потопляемые баржи имеют общее трюмовое помещение, как показано на рисунках V—33 и V—35.

§ 5. ПЕРЕДВИЖНЫЕ НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

При орошении небольших участков площадью 30—100 га, базирующемся на местном стоке, нашли широкое применение передвижные насосные станции.

Передвижные насосные станции применяют при сезонной подаче небольших количеств воды, значительных колебаниях уровня воды в водоемисточнике, а также при водоснабжении нескольких близко расположенных объектов в установленной очередности. Преимущества передвижных насосных станций следующие:

а) возможно в течение короткого времени изменять место установки при повышении или понижении горизонта воды в водоемисточнике или при поливке нескольких орошаемых участков в определенной последовательности и др.;

б) не требуются монтажные и демонтажные работы по насосным агрегатам на насосных станциях, подвергающихся затоплению паводками;

Передвижные насосные станции,

Тип и марка станции	Характеристика двигателя				Характеристика	
	тип двигателя	единица мощности	мощность	число оборотов, об/мин	марка насоса	число оборотов, об/мин

Сухопутные прицепные с

СНП-25/60	Дизель Д-37М	л. с.	40	1650	4К-6	2650
СНП-50/40	Дизель Д60-Р	л. с.	60	1300	6НДв	1300
СНП-50/80	Дизель АМ-41	л. с.	90	1750	8М=9×2	1750
СНП-50/100	Дизель ЯМЗ-238	л. с.	240	2275	Центробежный двухколесный	1700
СНП-120/30	Дизель АМ-41	л. с.	90	1750	8К-18	1750
СНП-150/5	Дизель Д-37М	л. с.	40	1600	08-26Г	1600
СНП-250/18М	Дизель АМ-01	л. с.	110	1700	12Д-19	1460
СНП-500/10	Дизель АМ-01	л. с.	110	1600	ОП-50Г	930
СНП-75/15	Дизель 2ДС-3	л. с.	20	1500	8К-18, а	1500
СНПЭ-120/30	Электродвигатель АО2-82-1/Щ2/Ф2	л. с.	55	1460	8К-18м	1480
СНПЭ-240/30	Электродвигатель АО2-6М/Щ2/Ф2	л. с.	125	985	14К-13	985

Сухопутные, приво

ПНСТ-6НДв	От вала отбора мощности тракторов ДТ-54, ДТ-75	л. с.	54—75	540	6НДв-60	1200
ПНСТ-2×6НДв	От вала отбора мощности тракторов С-80, С-100	л. с.	80—100	1000	6НДв	1200
СНН-25/60	Д-37М, от вала отбора мощности трактора «Беларусь»	л. с.	40	1600	4К-6	2580

выпускаемые промышленностью

насоса			Количество агрегатов	Общий вес станций без труб, кг	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	Завод-изготовитель	Примечание
производительность, л/сек	напор, м	высота всасывания, м					
собственным двигателем							
25—40	72—53	4—5	1	1075	2	Котельниковский завод сельскохозяйственного машиностроения	г. Котельниково Волгоградской области
50—60	45—42	6	1	2300	3	«Ливгидромаш»	г. Ливны Орловской области
130—50	60—20	4,5—3,5	1	2650	3	Херсонский комбайновый завод им. Г. И. Петровского	г. Херсон
—	—	4—2,5	1	3385	4,5	Мелитопольский завод «Гидромаш»	г. Мелитополь
80—160	42—30	5—2,5	1	2300	3	Волгоградский экспериментальный завод оросительной техники (ВЭЗОТ)	г. Волгоград
120—200	6,2—3,2	1,5	1	1133	1,2	Котельниковский завод сельскохозяйственного машиностроения	г. Котельниково
125—270	26—18	6,2—3,3	1	3300	4	«Менгечаурдор-маш»	г. Менгечаур Азербайджанской ССР
550—700	11—5	2,5	1	4100	4,2	Манкентский завод сельскохозяйственного машиностроения	с. Белые воды Чимкентской области
55—90	17,5—12,7	3—2,5	1	1100	1,6	Саратовский завод «Сардизель»	Проектируемая
90—160	32—21	3,5	1	2400	2	Волгоградский экспериментальный завод оросительной техники	Проектируемая
73—360	34—21	4	1	3485	4,5	То же	То же
двигые трактором							
48—93	38—27	4	1	800	0,43	Курский ремонтно-механический завод ММиВХ СССР	г. Курск, проектируемая
48—93	38—27	4	2	1100	1,1	То же	То же
13—38	70—35	5—4	1	335	0,55	Котельниковский завод сельскохозяйственного машиностроения	г. Котельниково

Тип и марка станции	Характеристика двигателя				Характеристика	
	тип двигателя	единица мощности	мощность	число оборотов, об/мин	марка насоса	число оборотов, об/мин
СНН-75/40	От вала отбора мощности тракторов ДТ-54, ДТ-75	л. с.	54—75	2100	Одноступенчатый центробежный насос	2100

П л а

НАП-1,1 несамоходная	Дизель ЗД-6	л. с.	150	1500	20НДн	1500
СПИС-2а самоходная	Дизель Д-54, через редуктор	л. с.	54	1900	8К-18а	1900
СПИС-4 самоходная	Дизель 2ДСП-16,5/20, через редуктор	л. с.	50	1450	8К-18а	1450
Двухагрегатная несамоходная, предусматривается только параллельная работа	Электродвигатели	квт	50	730	16НДн	730
Двухагрегатная несамоходная	»	квт	75	960	О-35, О-47	960
Двухагрегатная несамоходная	»	квт	180	960—585	О-55, О-70	960 585
Двухагрегатная несамоходная	»	квт	180	585	24НДн, D ₂ =615 мм	585
Двухагрегатная самоходная	Дизель ЗД-6, через редуктор	л. с.	150	1150	12НДс, D ₂ =460 мм	1150

в) возможна переброска с одного объекта строительства на другой для выполнения водоотливных работ и работ, связанных с подачей воды на строительные нужды и др.

Обычно передвижные насосные станции изготавливают на заводах серийно, что снижает их стоимость, обеспечивает экономию строительных материалов, обуславливает хорошее качество сборки насосной установки, а также позволяет быстро вводить их в действие. Указанные свойства передвижных насосных станций при определенных условиях и мощностях делают их весьма эффективными.

Сухопутные передвижные насосные станции имеют производительность от 10 до 250 л/сек с напором от 6 до 50 м. Плавающие насосные станции имеют производительность от 50 до 3500 л/сек с напором от 8 до 40 м.

Передвижные насосные станции могут быть с электрическим двигателем или с двигателем внутреннего сгорания.

В зависимости от конструкции и способа передвижения различают:

а) сухопутные насосные станции (на салазках или тележках) с собственным двигателем — прицепные. Эти станции могут передви-

насоса			Количество агрегатов	Общий вес станции без труб, кг	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	Завод-изготовитель	Примечание
производительность, л/сек	напор, м	высота всасывания, м					
40—120	48—22	4—2,5	1	620	—	Херсонский комбайновый завод им. Г. И. Петровского	г. Херсон, проектируемая

в у ч и е

1100—1400	18—14	4—3,5	2	40 000	36,18	Астраханская судверфь им. С. М. Кирова	Запорожский судоремонтный завод
80—130	35—25	3—1,5	1	3 885	4,5	Коломенский моторемонтный завод	г. Коломна Московской области
55—90	12—18	6—5	2	4 460	5	Потийский завод гидромеханизмов	г. Потн
300—400	15—10	5	2	35 000	35	Завод «Парижская коммуна» им. Гаджиева	Расход и напор могут быть увеличены путем установки более мощного двигателя с $n = 960$ об/мин
300—900 1300—1800	10—2 10—3	—1,0 —1,0	2 2	40 000 57 000	40 60	То же » »	Только параллельная работа То же
900—1100	15—13	6,0	2	55 000	55	» »	» »
200—330	40—35	4,2	2	40 000	34	Нижеволжский судоремонтный завод	» »

гаться вдоль берега водоисточника и при больших колебаниях уровня воды, превышающих величину допустимой высоты всасывания насоса, по спланированной берме выше максимального уровня в водоисточнике;

б) сухопутные насосные станции, приводимые трактором от вала отбора мощности или от вала двигателя (спереди трактора). В этих станциях насосы монтируют на специальной раме, прикрепленной сзади или спереди к трактору (навесные насосные станции), или на специальных салазках и тележках. Последние приводятся в движение непосредственно от карданного вала (при совпадении чисел оборотов трактора и насоса) и через трансмиссию или редуктор (при разных числах оборотов их). Трактор передвигает станцию на место ее работы. В нерабочее для станции время трактор можно использовать на других работах;

в) плавучие насосные станции, которые применяются на водоисточниках с большим колебанием горизонтов воды. Плавучие станции, передвигаясь вдоль берега, могут обслуживать несколько орошаемых участков. Это дает некоторую экономию на прокладке напорных трубопроводов. Плавучие насосные станции бывают самоходные и несамоходные.

В таблице V—1 приведен перечень передвижных насосных станций различных марок, выпускаемых промышленностью.

СНП — станция насосная передвижная, оборудованная двигателем внутреннего сгорания, соединенным непосредственно или через редуктор с горизонтальным центробежным или осевым насосом. Оборудование устанавливается на сварной раме — салазках, что позволяет перемещать станцию волоком при помощи трактора или специальным автомобилем с погрузкой на него краном соответствующей грузоподъемности. Перемещение на автомашине более желательно, особенно на большие расстояния, так как предотвращает быстрый износ полозьев.

СНПЭ — то же, но с электродвигателем.

ПНСТ — передвижная насосная станция с получением мощности от трактора при помощи вала отбора мощности. В этом случае на салазках монтируются насос и редуктор.

СНН — станция насосная навесная. В этом случае насосы монтируются на раме специальной конструкции. Рама крепится впереди или сзади трактора, чем обеспечивается лучшая маневренность и транспортировка.

СПНС — самоходная плавучая насосная станция; НАП — то же, но несамоходная.

Плавучие насосные станции имеют металлические понтоны. В плавучих насосных станциях число соединительных трубопроводов равно числу насосов. Соединительные трубопроводы приняты шарнирного типа.

В таблице V—1 производительность указана для одного насоса, поэтому при установке двух насосов производительность станции увеличивается в два раза.

Применяя в центробежных насосах обточку колеса, а в осевых изменяя угол поворота лопастей и изменяя во всех случаях число оборотов, можно в довольно широких пределах варьировать расход и напор станции, при этом следует всегда согласовывать требуемую мощность с мощностью двигателя. Все изменения следует согласовывать с заводом-изготовителем станции. Гипроводхоз ММВХ СССР разработал типовые проекты плавучих насосных станций, оборудованных электродвигателями и различными насосами, как центробежными, так и осевыми. Производительность этих станций колеблется от 200 до 2000 л/сек. Все передвижные насосные станции в основном предназначены для мелиорации, но их можно применять и для других целей.

§ 1. ВСАСЫВАЮЩИЕ ЛИНИИ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Всасывающие коммуникации предназначаются для забора воды из водоприемного сооружения и подвода ее к насосу.

Всасывающие коммуникации зависят от типа здания насосной станции и насоса; допустимой и принятой высоты всасывания; материала всасывающих труб и числа насосов.

Основным требованием, предъявляемым к всасывающим трубам, является их воздухопроницаемость, поэтому все соединения отдельных деталей трубопровода должны быть герметичными, так как проникновение воздуха во всасывающую трубу значительно снижает расход насоса, уменьшает его к. п. д., а иногда срывает вакуум, вследствие чего прекращается подача воды насосом. На основании лабораторных исследований было установлено, что при попадании воздуха в насос в количестве 3% производительность насоса снижается на 16%, а к. п. д. насоса при этом уменьшается на 9%, при попадании воздуха в количестве 10% производительность насоса снижается на 44%, а к. п. д. — на 28%. Дальнейшее увеличение содержания воздуха приводит к срыву вакуума*. На рисунке VI—1 представлена характеристика работы насоса ЗК-6 в зависимости от содержания воздуха в воде: $\alpha = \frac{Q_{\text{воздуха}}}{Q_{\text{воды}}}$.

Воздух во всасывающие трубы и в насос может попадать следующим образом:

- 1) через неплотности стенок труб или их соединений;
- 2) в случае прорыва воздуха через входное отверстие всасывающей трубы при образовании воздушных воронок вследствие недостаточного заглубления входного отверстия под горизонт воды и неблагоприятных условий подхода воды к трубам;
- 3) при образовании вихревых воронок с вертикальной осью вращения, появляющихся с резким изменением направления движения воды при подходе к входному отверстию всасывающей трубы (рис. VI—2);
- 4) вследствие выделения воздуха, растворенного в воде, и скапливания его в воздушных мешках на всасывающих линиях.

Техническими условиями на проектирование всасывающих труб должны быть предусмотрены необходимые мероприятия, предотвращающие попадание воздуха в насос.

Всасывающие трубы классифицируются по следующим основным признакам:

- 1) по высоте всасывания — с положительной высотой всасывания находящиеся под вакуумметрическим давлением, и расположенные ниже минимального горизонта воды, испытывающие избыточное давление;

* По исследованиям Т. М. Ясинецкой.

2) по расположению относительно здания насосной станции — расположенные в пределах здания насосной станции и вне здания;

3) по применяемому материалу — металлические, бетонные, железобетонные и асбестоцементные;

4) по способу укладки — открыто уложенные, прокладываемые в специальных штольных и уложенные в грунте.

В результате опыта проектирования мелиоративных насосных станций можно рекомендовать следующие технические условия и нормы проектирования и строительства по всасывающим трубам.

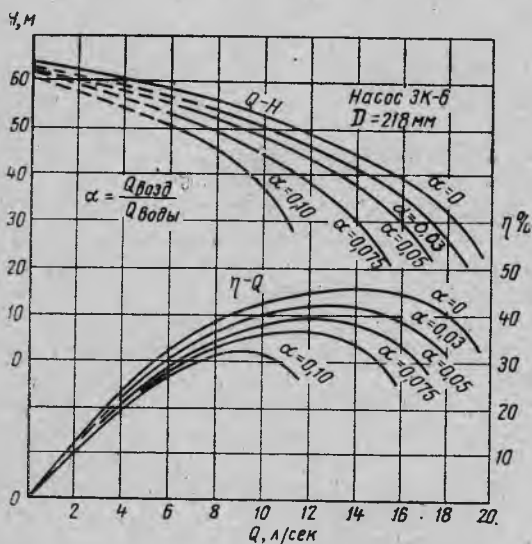


Рис. VI—1. Характеристика работы насоса ЗК-6 при пуске воздуха во всасывающую трубу и характер изменения к. п. д. насоса.

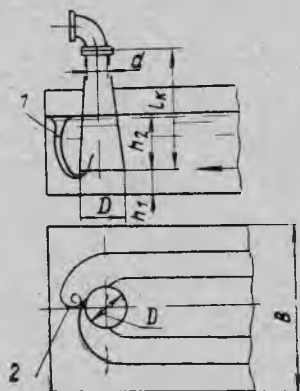


Рис. VI—2. Схема вихреобразования:

1 — вихрь; 2 — зона вихреобразования.

1. Число всасывающих труб следует принимать равным числу установленных насосов. В случаях технической необходимости устройства меньшего числа всасывающих труб, чем число насосов, что чаще всего бывает в насосных станциях для сельскохозяйственного водоснабжения при относительно большой длине труб диаметром не более 300 мм и сложных условиях водоприемного колодца, число всасывающих труб можно принимать из расчета одной трубы на два установленных насоса.

2. Диаметры всасывающих труб, уложенных вне здания насосной станции, определяются по допустимым скоростям движения воды: во входном сечении всасывающей трубы 0,8—1 м/сек, в трубе 1—1,2 м/сек. В исключительных случаях и при коротких всасывающих трубах можно допустить входную скорость не более 1,2 м/сек, а в трубе — 1,5 м/сек.

3. Всасывающие трубы, имеющие положительную высоту всасывания, рекомендуется выполнять стальными, с фланцевыми или сварными соединениями, с тщательной проверкой на держание вакуума. Фланцевые соединения осуществляют обычно с резиновыми прокладками в трубах, укладываемых на поверхности земли или в специально сделанных штольных. Трубы с фланцевыми соединениями засыпать грунтом не рекомендуется, так как болтовые соединения быстро приходят в негодность, что влечет за собой расстройство стыка и нарушение герметичности.

4. Укладываемые на поверхности земли всасывающие трубы должны иметь опоры, устанавливаемые с учетом глубины промерзания.

Расстояние между опорами определяется статической работой трубы как неразрезной многопролетной балки.

5. Расстояние от низа трубы до спланированной поверхности земли принимается таким, чтобы можно было периодически проводить осмотр, окраску и другие работы. Это расстояние принимается от 0,3 до 1 м, в зависимости от диаметра трубы: для D до 0,5 м расстояние принимается 0,3 м; для $D=2$ м и более — 1 м.

6. Размеры штольни назначаются из условия нормальной эксплуатации монтажа и демонтажа труб. Минимальную высоту штольни принимают 1,8 м с таким расчетом, чтобы от трубы до потолка штольни было расстояние не менее 1 м. Ширина штольни при укладке одной

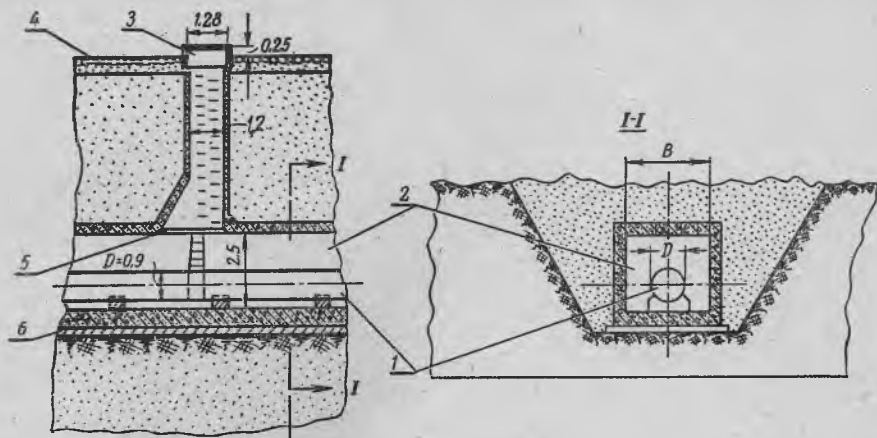


Рис. VI—3. Штольня для укладки всасывающей трубы с монтажным колодезем:

1 — всасывающая труба; 2 — штольня; 3 — монтажный колодез; 4 — одиночное мощение; 5 — вход в штольню; 6 — бетонная подготовка.

трубы диаметром D составляет $B=D+2\times 0,9$. При укладке двух труб $B=2D+2,2$. Между трубами должно быть расстояние 1 м. Трубы укладывают на опоры так, чтобы труба диаметром до 1 м была от пола на расстоянии минимум 0,2—0,3 м; диаметром до 2 м — на расстоянии 0,5—0,6 м. Сообщение со штольней осуществляется через монтажный колодез (рис. VI—3).

7. Для предотвращения скапливания воздуха во всасывающих трубах и слива воды при остановке работы насоса всасывающие трубы укладывают с непрерывным подъемом к насосу с уклоном не менее 0,005.

8. Засыпаемые грунтом всасывающие трубопроводы укладывают на подготовку толщиной 5—10 см из крупнозернистого песка или щебня, мелкого гравия.

9. Наружную поверхность всасывающих трубопроводов, укладываемых в грунт, покрывают битумной гидроизоляцией с обертыванием строительной бумагой или мешковиной. Всасывающие трубы, укладываемые на поверхности, окрашивают масляной краской.

10. Всасывающие линии должны иметь минимум поворотов (не более 4), с тем чтобы из-за увеличения гидравлических сопротивлений не снижалась геометрическая высота всасывания.

11. Длину всасывающей линии не рекомендуется делать более 25 м.

12. Конусы сужения, устанавливаемые на всасывающих трубах (рис. V—2), могут иметь центральный угол конусности от 8 до 16°, что определяет длину конуса $l_k=3,5 \div 7,0 (D_{вх}-d)$, где $D_{вх}$ — входной диаметр; d — диаметр трубы. Исходя из допустимых скоростей, $D \cong 1,25d$.

13. Размещение всасывающих труб в водоприемных камерах аналогично размещению насосов в мокрой камере (см. внутростанционные трубы зданий с мокрой камерой). При заборе воды из общей камеры или непосредственно из водоисточника всасывающие трубы должны размещаться на расстоянии не менее $10 D_{вх}$ друг от друга.

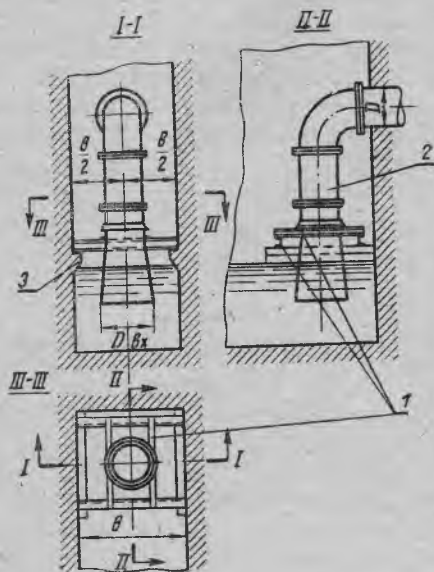


Рис. VI—4: Крепление всасывающей трубы в водоприемной камере на стальной раме:
1 — стальная опорная рама; 2 — всасывающая труба; 3 — железобетонные выступы.

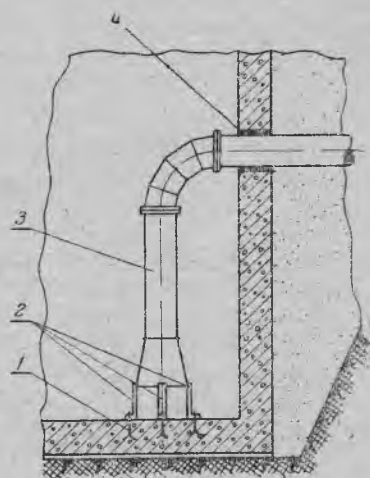


Рис. VI—5. Крепление всасывающей трубы к днищу водоприемной камеры:

1 — анкерные болты; 2 — опора трубы;
3 — всасывающая труба; 4 — сальнико-
вый проход через стену.

14. Всасывающие трубы следует закреплять в водоприемных камерах, с тем чтобы исключить вибрационные явления в период их работы. Хорошей опорой для всасывающей трубы можно считать сталь-

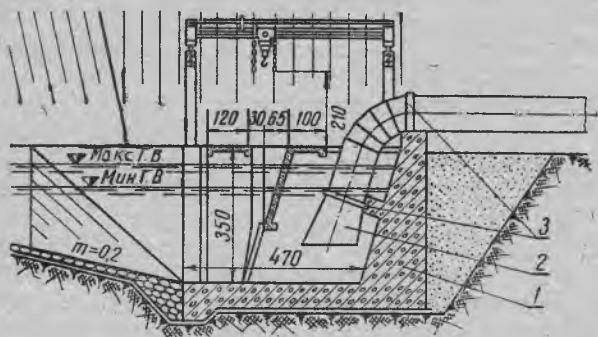


Рис. VI—6. Крепление всасывающей трубы стальными хомутами на стене водоприемного сооружения:

1 — подпорная стенка водоприемного сооружения; 2 — всасывающая труба; 3 — стальные хомуты, которые крепятся анкерными болтами.

ную раму, уложенную и закрепленную на железобетонных выступах стенок водоприемной камеры (рис. VI—4). Трубу можно закреплять к днищу камеры, как показано на рисунке VI—5.

В оросительных станциях незаглубленного типа, расположенных на каналах, всасывающие трубы крепятся стальными хомутами на наклонной стенке приемной камеры (рис. VI—6).

15. Проход всасывающей трубы через стенку приемной камеры и здания насосной станции должен быть без жесткой заделки, с тем чтобы при различных осадках водоприемного сооружения и здания насосной станции всасывающая труба не испытывала бы возникающих усилий от осадочных явлений. При закладке всасывающей трубы

ниже уровня воды в водоисточнике или ниже уровня грунтовых вод следует проход через стены водоприемного сооружения и здания насосной станции устраивать сальниковой конструкции (рис. VI—7, а, б). На рисунке VI—7, а показан проход всасывающей трубы через стенку водоприемного сооружения при помощи стального сальникового устройства сварной конструкции. В стальном патрубке 1, заложенном в стене при бетонировании, приварено кольцо 2, являющееся упором для сальниковой набивки 3, которая уплотняется нажимным фланцем 4 при помощи шпилек с гайками 5.

На рисунке VI—7, б показан проход через стену всасывающей трубы при помощи сальника из джутовой обмотки. Труба обматывается джутом, пропитанным смолой и гудроном 1, свободное пространство штрабного отверстия забивается паклей, пропитанной в горячем растворе гудрона и смолы 2, с внутренней стороны закладывается проволока с паклей и штукатурится 3, с наружной стороны делается гидроизоляция из джутового мата, пропитанного гудроном и смолой 4, джутовый мат прижимается деревянным щитом 5.

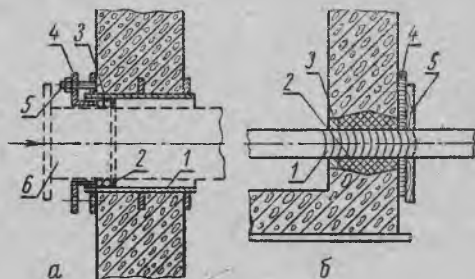


Рис. VI—7. Сальниковый проход трубы через стену:

а — стальной конструкции; 1 — сварной ребристый патрубок; 2 — упорное кольцо; 3 — набивка сальника из пеньки; 4 — нажимной фланец; 5 — шпильки с гайками для натяжки фланца; б — всасывающая труба; 6 — из джутовой обмотки; 1 — джутовая обмотка; 2 — пакля, пропитанная горячим гудроном и смолой; 3 — проволока с паклей; 4 — джутовый мат; 5 — деревянный щит.

16. При заливке всасывающей линии и насоса перед пуском без применения вакуум-насоса на входе во всасывающую трубу устанавливается приемный пятовой клапан. Конструкция приемных клапанов разнообразна. Промышленностью выпускаются приемные клапаны из чугуна, литья и стальные сварной конструкции. Приемные клапаны сложны в эксплуатации (очистка, ремонт), кроме этого, они создают большие гидравлические сопротивления, поэтому не рекомендуется ставить приемные клапаны диаметром более 300 мм, а при диаметрах всасывающих труб более 300 мм насос следует заливать только при помощи вакуум-насоса.

§ 2. ВСАСЫВАЮЩИЕ КОММУНИКАЦИИ, РАСПОЛОЖЕННЫЕ ВНУТРИ ЗДАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Компоновка внутристанционных коммуникаций всасывающих труб зависит от типа здания насосной станции, типа насосов и их количества. Учитывая то, что мелиоративные насосные станции имеют короткие всасывающие трубы больших диаметров, переключающие коллекторы устраивать не рекомендуется, так как это увеличивает размеры здания насосной станции и усложняет эксплуатацию, особенно при автоматическом управлении.

В том случае, когда число всасывающих труб меньше числа установленных насосов, для обеспечения забора воды любой всасывающей трубой устанавливается всасывающий коллектор с переключающими затворами на нем.

На рисунке VI—8 дана схема подвода воды двумя всасывающими трубами к четырем насосам. На всасывающих трубах 1 установлены задвижки 2 для отключения одной всасывающей трубы и монтажные вставки 3; на коллекторе 4 установлены две переключающие задвижки 5 и между ними монтажная вставка 6. Переключающие

задвижки дают возможность работать половиной насосов в случае ремонта какой-либо задвижки или монтажной вставки (2, 3, 5, 6, 7, 8). Для большей маневренности в особо ответственных насосных станциях переключающие задвижки дублируют, что дает возможность при ремонте переключающей задвижки работать при подводе воды обеими всасывающими трубами. У насосов на всасывающем патрубке устанавливают отключающие задвижки 8 с монтажными вставками 7. Приведенный пример наглядно показывает, что устройство всасывающего коллектора значительно усложняет всасывающую коммуникацию и увеличивает размеры здания.

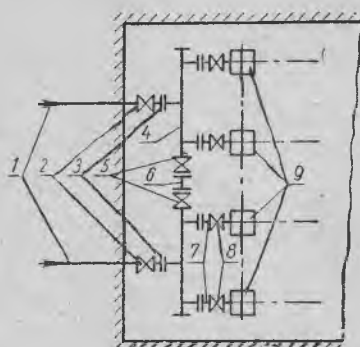


Рис. VI—8. Схема всасывающих внутростанционных коммуникаций с коллектором:

1 — всасывающие трубы; 2 — отключающие задвижки; 3 — монтажные вставки; 4 — всасывающий коллектор; 5 — переключающие задвижки; 6 — монтажная вставка; 7 — монтажные вставки; 8 — задвижки на всасывающих патрубках насоса; 9 — насосы.

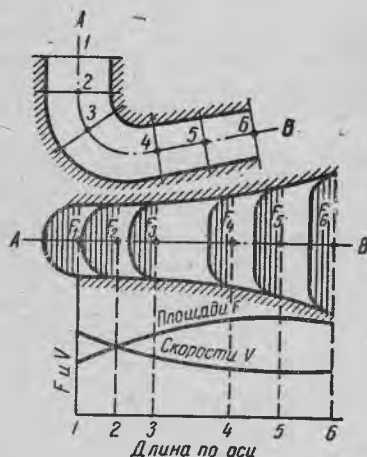


Рис. VI—9. График построения изогнутой всасывающей трубы.

трубы даются заводом-изготовителем насоса, так как она является неотъемлемой частью насоса. К сожалению, еще до сих пор в большинстве случаев заводы не дают габаритов всасывающих труб, поэтому проектировщикам насосных станций самим приходится устанавливать форму и размеры всасывающих труб.

Можно рекомендовать следующий способ конструирования сечений всасывающей трубы. Зная расход насоса, устанавливают скорость во всасывающем патрубке v_v м/сек. Входную скорость принимают согласно рекомендациям в § 1 0,8—1 м/сек. Чтобы осуществить плавный переход скоростей от входной до v_v , намечают для принятой формы трубы ее ось А—В (рис. VI—9), на которой намечают характерные сечения 1, 2, 3 и т. д. Затем на графике по оси абсцисс откладывают

Устройство всасывающего коллектора возможно в здании насосной станции с сухой камерой и незаглубленного типа. Диаметр всасывающего коллектора определяют по допустимой скорости, не превышающей 1 м/сек, с тем чтобы не получить слишком больших потерь напора при отключении одной всасывающей трубы. При положительной высоте всасывания насоса задвижки, устанавливаемые на всасывающих коммуникациях, должны иметь тщательно выполненные сальниковые устройства. Кроме этого, их желательно устанавливать в лежащем положении.

При большой производительности насоса (более 2 м³/сек) для уменьшения потерь напора во всасывающей линии необходимо осуществить плавный подвод воды к насосу с постепенным изменением скоростей во всасывающих трубах. С этой целью всасывающие трубы устраивают в бетонном блоке криволинейного очертания по типу отсасывающих труб турбин (отсюда и тип здания называется блочным). Количество всасывающих труб всегда принимают по числу устанавливаемых насосов. В здании этого типа применяют центробежные насосы типа В и осевые насосы (пропеллерные) с вертикальным валом, устанавливаемые с отрицательной или нулевой высотой всасывания. Форма и размеры всасывающей

в развернутом виде ось трубы, а по оси ординат — величину скорости и площади живого сечения.

Диаграмма скоростей должна быть прямой линией, соединяющей $v_{вх}$ и $v_{в}$, или близкой к ней. После этого строят подбором профили сечений трубы F_1, F_2, F_3 и т.д. с расчетом постепенного перехода их от формы крайних сечений, обычно от входного прямоугольного до круглого во всасывающем патрубке. После подбора сечений их соединяют касательными линиями, плавность которых показывает правильность решения задачи. В противном случае исправляют подбор до желаемого результата. Длину трубы можно принять из зависимости

$$F_{вх} = F_{в} (0,65l + 1); \quad l = \frac{F_{вх} - F_{в}}{0,65F_{в}},$$

где $F_{вх}$ — площадь входного сечения, m^2 ;

$F_{в}$ — площадь во всасывающем патрубке насоса, m^2 .

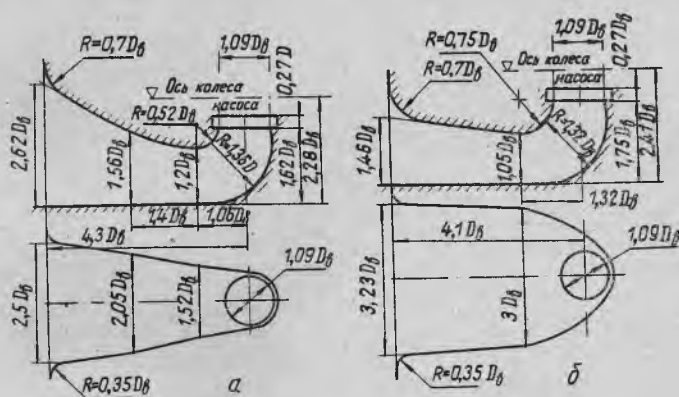


Рис. VI—10. Всасывающая труба осевого насоса коленчатой формы:

а — суженная в плане; б — уширенная в плане.

При проектировании всасывающей трубы, расположенной в блоке, следует учитывать, что с увеличением ее размеров уменьшаются гидравлические потери, а значит, уменьшается расход энергии на преодоление этих потерь. Однако с увеличением размеров всасывающей трубы увеличиваются размеры блока, а следовательно, и строительная стоимость здания и эксплуатационные расходы за счет отчисления в фонд восстановления и на ремонт. Поэтому необходимо найти такое рациональное решение, которое обеспечило бы наименьшие капиталовложения при наибольшей экономической эффективности всасывающих труб.

Всасывающие трубы, расположенные в бетонном блоке, раньше проектировали по аналогии с отсасывающими трубами турбин, что неверно, так как для отсасывающих труб характерно диффузорное течение потока, а для всасывающих — конфузорное.

В настоящее время уже имеется целый ряд разработанных всасывающих труб, которые предназначены для установки с насосами. Так, для крупных осевых насосов типа О и Оп по ГОСТ 9366—60 Всесоюзным научно-исследовательским институтом Гидромашиностроения рекомендуется подвод воды к насосу осуществлять всасывающей трубой коленчатой формы (рис. VI—10). Всасывающая труба, представленная на рисунке VI—10, а, имеет суженные размеры в плане и уменьшенное по высоте входное отверстие, а представленная на рисунке VI—10, б — уширенные размеры в плане и увеличенную высоту. Очевидно, что при большой глубине воды в водоприемном сооружении, что обуславливает-

ся значительной отрицательной высотой всасывания, следует применять всасывающую трубу, изображенную на рисунке VI—10, а, и при малой глубине — на рисунке VI—10, б.

Для насосов О и Оп с диаметром колеса меньше 1 м рекомендуется всасывающая труба с камерным подводом (рис. VI—11).

Для крупных насосов типа В в каталогах также даются формы и размеры всасывающих труб. Если в каталогах нет данных о размерах всасывающих труб, то предварительно можно определять их размеры

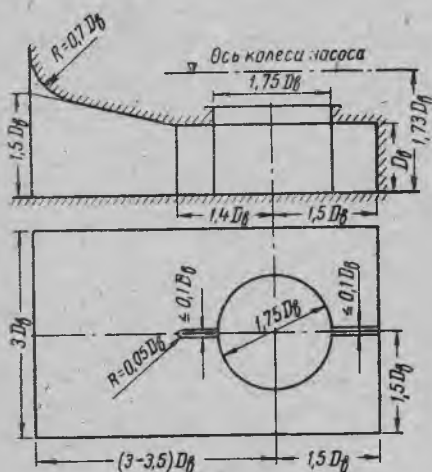


Рис. VI—11. Всасывающая труба осевого насоса камерной формы.

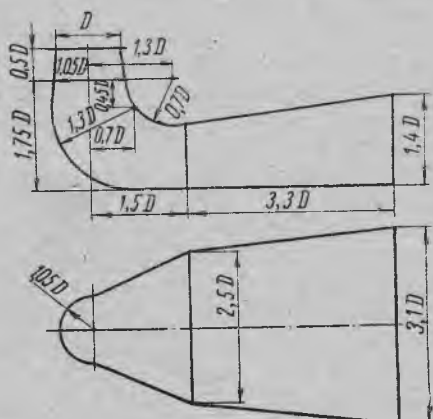


Рис. VI—12. Всасывающая труба колечной формы для центробежных насосов типа В.

в зависимости от диаметра всасывающего патрубка насоса $D_{\text{в}}$ (рис. VI—12) с последующим уточнением согласно данным завода-изготовителя.

В 1954 г. были проведены исследования в области всасывающих труб ассистентом кафедры насосов и насосных станций бывшего Московского института инженеров водного хозяйства Н. А. Грецовым. Основной принцип, который был положен в основу проектирования и исследования всасывающих труб в насосных станциях блочного типа, состоял в том, чтобы найти такую форму всасывающей трубы и вид движения жидкости в ней, при которых наблюдался бы минимум вихревых и вращательных движений на повороте при компактных габаритах ее. Был исследован ряд всасывающих труб, о гидравлической эффективности которых можно судить по коэффициенту сопротивления всасывающей трубы

$$\zeta_{\text{в.т}} = \frac{h_{\text{в.т}} 2g}{v_{\text{в}}^2}$$

и по коэффициенту полезного действия всасывающей трубы

$$\eta_{\text{в.т}} = \frac{1}{1 + \zeta_{\text{в.т}}},$$

где $h_{\text{в.т}}$ — потерянный напор на гидравлические сопротивления во всасывающей трубе, м;

$v_{\text{в}}$ — скорость движения жидкости во всасывающем патрубке насоса, м/сек.

Приводим результаты исследований для некоторых труб, которыми можно воспользоваться при проектировании насосных станций.

На рисунке VI—13 представлена всасывающая труба насосной станции канала им. Москвы для насоса ВП-250, которая была исследована в натуре, в результате чего были получены $\zeta_{в.т}=0,476$ и $\eta_{в.т}=67,7\%$. На рисунке VI—14, а дана всасывающая труба с камерным подводом с отодвинутой задней стенкой, а на рисунке VI—14, б — с придвинутой задней стенкой полукруглой формы и плавным входом в патрубок насоса. Размеры этих всасывающих труб даны на рисунке в зависимости от диаметра всасывающего патрубка насоса D_B . В результате исследований были получены:

для всасывающей трубы (рис. VI—14, а) $\zeta_{в.т}=0,577$; $\eta_{в.т}=63,4\%$;

для всасывающей трубы (рис. VI—14, б) $\zeta_{в.т}=0,388$; $\eta_{в.т}=74,7\%$.

В насосных станциях камерного типа с мокрой камерой всасывающими трубами являются сужающиеся конусы. Всасывающие трубы устанавливают самостоятельно для каждого насоса с забором воды из отдельной камеры.

На основании исследований, проведенных кафедрой насосов и насосных станций бывшего Московского института инженеров водного хозяйства,

всасывающая труба должна быть размещена вплотную к торцевой стенке мокрой камеры, так как это уменьшает возможность образования воронок около всасывающей трубы. При размещении всасывающей трубы вплотную к торцевой стороне входную кромку трубы заглубляют под минимальный горизонт воды на величину $h_2=0,5 D_{вх}$ (рис. VI—15). В этом случае,

когда всасывающая труба располагается на расстоянии $\delta=0,25 D_{вх}$ от стенки, образуется вихревая воронка при работе насоса. Поэтому, чтобы избежать захвата воздуха, входную кромку всасывающей трубы надо заглублять на $h_2=2 D_{вх}$.

В мелиоративных насосных станциях входной диаметр всасывающей трубы может иметь большой размер, что обусловит значительную глубину мокрой камеры, поэтому можно рекомендовать делать заглубление входной кромки всасывающей трубы под минимальный горизонт h_2 не более 1 м, а для $D_{вх}$ менее 0,5 м принимать $h_2=2 D_{вх}$.

При заборе воды всасывающими трубами из большого водоема или больших размеров камеры можно на входном отверстии всасывающей трубы устроить диафрагму диаметром $3 D_{вх}$ и уменьшить заглубле-

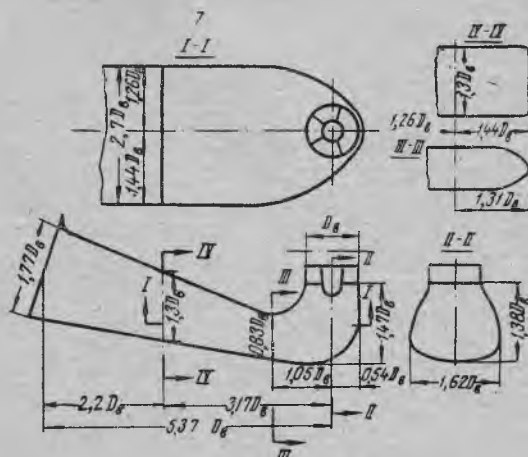


Рис. VI—13. Всасывающая труба насосной станции канала им. Москвы для насоса ВП-250 в зависимости от D_B .

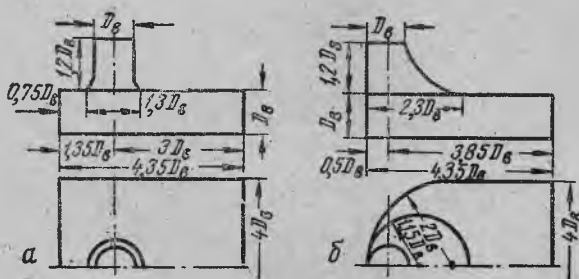


Рис. VI—14. Всасывающая труба с прямоугольным камерным подводом:

а — с отодвинутой задней стенкой; б — с полукруглой придвинутой стенкой и плавным входом в патрубок.

ние в два раза. Расстояние от дна камеры до входной кромки всасывающей трубы принимают $h_1 = 0,5 - 0,6 D_{\text{вх}}$, а ширину камеры $B = 1,5 - 2 D_{\text{вх}}$.

Экспериментальные исследования по забору воды из различных по ширине камер показали, что ширина камеры влияет на коэффициент гидравлических сопротивлений всасывающей трубы $\zeta_{\text{в.т}}$, при меньшей ширине камеры величина $\zeta_{\text{в.т}}$ возрастает. Так, при расположении всасывающей трубы вплотную к торцовой стенке ($\delta = 0$) для $B = 3 D_{\text{вх}}$ $\zeta_{\text{в.т}} = 0,26$; для $B = 2 D_{\text{вх}}$ $\zeta_{\text{в.т}} = 0,278$; для $B = 1,5 D_{\text{вх}}$ $\zeta_{\text{в.т}} = 0,285$. По значениям $\zeta_{\text{в.т}}$ можно выбирать ширину камеры B .

Исследования 1969 г. показали, что с увеличением ширины камеры B значительно ухудшается работа крайних камер, поэтому рекомендуется принимать ширину камеры $1,5 D_{\text{вх}}$, при этом уменьшаются размеры аванкамеры, а значит, снижаются капиталовложения по гидроузлу.

Коэффициент сопротивления $\zeta_{\text{в.т}}$ зависит и от h_1 — расстояния входной кромки всасывающей трубы до дна камеры. Для конической трубы, имеющей отношение $D_{\text{вх}}$ к диаметру всасывающего патрубка $D_{\text{в.п}}$,

$K = \frac{D_{\text{вх}}}{D_{\text{в.п}}} = 4$. При h_1 больше $0,6 D_{\text{вх}}$ $\zeta_{\text{в.т}} = 0,2$ остается постоянным, а для $h_1 = 0,35 D_{\text{вх}}$ $\zeta_{\text{в.т}} = 0,35$.

Для цилиндрической трубы, у которой $K = \frac{D_{\text{вх}}}{D_{\text{в.п}}} = 1$, коэффициент сопротивления $\zeta_{\text{в.т}}$ приблизительно в пять раз больше, чем для конической; для цилиндрической трубы h_1 следует принимать $\approx 1,2 D_{\text{вх}}$, при котором $\zeta_{\text{в.т}} = 1,25$; при $h_1 = 0,35 D_{\text{вх}}$ $\zeta_{\text{в.т}} = 2,3$.

Коэффициент сопротивления $\zeta_{\text{в.т}}$ от h_2 не зависит. Минимальная длина камеры определяется исходя из коэффициента водообмена — отношения минимального объема камеры к максимальному секунднему расходу насоса.

Коэффициент водообмена K можно принимать в зависимости от производительности и типа насоса:

$$\begin{aligned} \text{для } Q < 0,5 \text{ м}^3/\text{сек} \quad K &= 25 - 30; \\ \text{для } Q > 0,5 \text{ м}^3/\text{сек} \quad K &= 15 - 20. \end{aligned}$$

Большую величину K следует принимать при установке осевых насосов, меньшую — при установке центробежных насосов. Следовательно, минимальная длина камеры

$$L_{\text{кам.мин}} = \frac{KQ}{B(h_1 + h_2)},$$

где Q — расход насоса, $\text{м}^3/\text{сек}$;

B — ширина камеры, м ;

h_1 — расстояние входной кромки всасывающей трубы от дна камеры, м ;

h_2 — заглубление всасывающей трубы под минимальный горизонт воды, м .

Большая длина камеры, чем $L_{\text{кам.мин}}$, определяется условиями размещения оборудования.

Всасывающие трубы, расположенные под углом 15° к вертикали, почти не имеют мест образования воздушных воронок. Угол наклона всасывающей трубы не влияет на величину коэффициента сопротивления.

В насосных станциях камерного типа с сухой камерой всасывающие коммуникации могут быть выполнены по-разному, в зависимости от типа насоса, высоты всасывания и т. д. Рассмотрим несколько примеров.

1. Устанавливаются вертикальные центробежные насосы типа В с отрицательной высотой всасывания с отдельной всасывающей линией к каждому насосу (рис. VI—16). В этом случае всасывающая линия

состоит из одностороннего конуса сужения 1, стального, сварной конструкции, жестко заделанного в стену здания приваренными к конусу ребрами, задвижки 2, монтажной вставки 3 и колена переменного сечения 5, имеющего опорную плиту 4. Колено, отлитое из чугуна, поставляется заводом комплектно с насосом, но может выполняться из листовой стали сварной конструкции. Конус сужения должен иметь угол конусности не более $15\text{--}16^\circ$. Конус соединяется с задвижкой при помощи фланцев с резиновой прокладкой. Задвижка устанавливается в том случае, если нет другого затвора, способного перекрыть входное отверстие

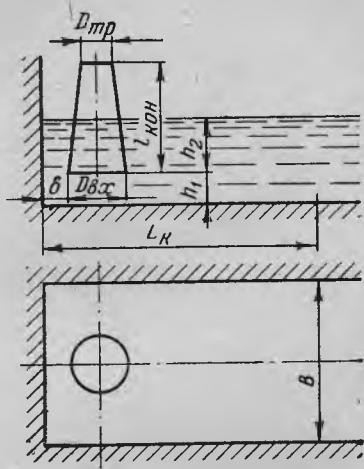


Рис. VI—15. Расположение всасывающей трубы в мокрой камере.

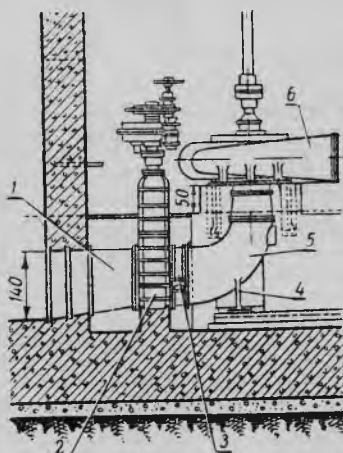


Рис. VI—16. Всасывающая коммуникация к насосу типа В:

1 — конус сужения; 2 — задвижка с укороченным корпусом; 3 — монтажная вставка; 4 — опора колена; 5 — колено переменного сечения; 6 — центробежный насос типа В.

всасывающей трубы. Задвижка, как правило, полностью открыта и закрывается только на случай ремонта насоса или другого оборудования на всасывающей линии, поэтому управление задвижкой может быть ручное, и тогда ее следует устанавливать горизонтально, что облегчает подход к штурвалу управления и обуславливает лучшую герметичность, так как сальник задвижки будет находиться ниже минимального горизонта воды. Обычно задвижки на всасывающих линиях устанавливаются с укороченным корпусом, на рабочее давление $2,5 \text{ кг/см}^2$. Монтажная вставка — сальникового типа, сварной конструкции, берется по диаметру задвижки. Колено 5 соединяется со всасывающим патрубком насоса фланцами с резиновой прокладкой и закрепляется на фундаменте анкерными болтами.

2. Устанавливаются горизонтальные центробежные насосы с отрицательной высотой всасывания и числом всасывающих труб, равным числу насосов. В этом случае всасывающая коммуникация состоит из одностороннего конуса сужения, отключающей задвижки диаметром, равным всасывающему патрубку насоса, и монтажной вставки (рис. V—3). Задвижку устанавливают, если других затворов в водоприемнике нет.

3. Устанавливаются горизонтальные центробежные насосы с переменной высотой всасывания от положительной до отрицательной и числом всасывающих труб, равным числу насосов. В этом случае всасывающая коммуникация состоит из одностороннего конуса сужения с переходом от диаметра всасывающей трубы к диаметру всасывающего патрубка насоса и монтажной вставки (рис. VI—17). Задвижку в этом случае не устанавливают, так как имеются затворы в водоприемном сооружении, перекрывающие вход во всасывающую камеру.

Во всех рассмотренных насосных станциях могут быть устроены всасывающие коллекторы, тогда всасывающие коммуникации будут проектироваться по принципу, указанному на рисунке VI—8. При проектировании всасывающих коммуникаций необходимо избегать устройства воздушных мешков и отжимов потока при подходе к насосу. Во всех этих случаях следует руководствоваться указаниями, данными на рисунке 192 учебника [69].

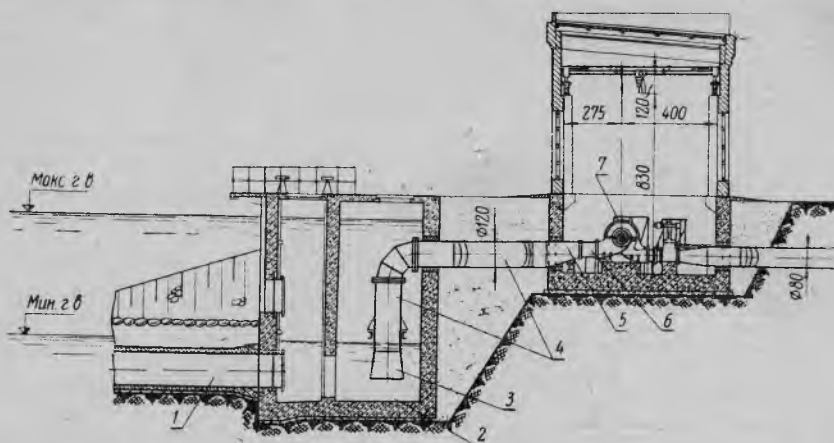


Рис. VI—17. Всасывающая коммуникация к насосу типа Д с горизонтальным валом и переменной высотой всасывания:

1 — подводная самотечная труба; 2 — камера всасывающей трубы; 3 — входной всасывающий конус; 4 — всасывающая труба; 5 — односторонний конус сужения; 6 — монтажная вставка; 7 — насос типа Д.

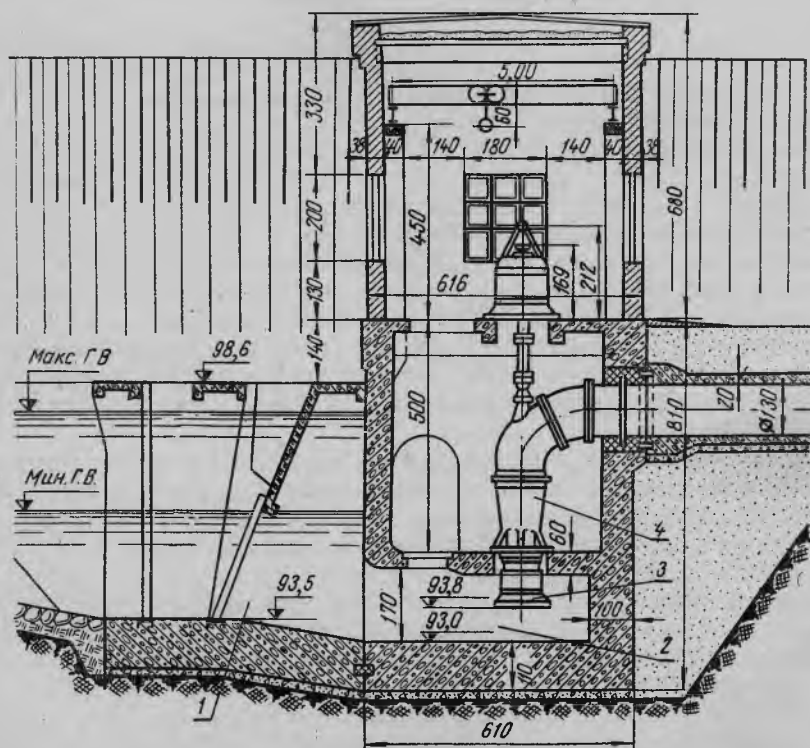


Рис. VI—18. Всасывающая коммуникация к вертикальному осевому насосу в насосной станции с мокрой камерой:

1 — водоприемное сооружение; 2 — мокрая камера; 3 — входной всасывающий конус;
4 — осевой насос.

В насосных станциях с мокрой камерой всасывающие трубы представляют собой конусы с вертикальной осью (рис. VI—18). Обычно входные конусы являются неотъемлемой частью насоса и поставляются в комплекте с насосом.

При размещении насосов и конусов в мокрой камере следует пользоваться рекомендациями по проектированию мокрой камеры.

В насосных станциях незаглубленного типа при числе всасывающих труб, равном числу насосов, внутростанционные всасывающие коммуникации состоят из одних конусов сужения, обеспечивающих переход от диаметра всасывающей трубы к диаметру всасывающего патрубка (рис. V—7, а, б).

При устройстве всасывающего коллектора компоновка всасывающих коммуникаций решается так же, как в рассмотренных ранее примерах. Всасывающие трубы следует укладывать над полом не ниже 0,3 м; все задвижки должны опираться на фундаменты под них.

§ 3. КОМПОНОВКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАПОРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Напорные коммуникации служат для транспортирования воды от насосов к основным напорным трубопроводам, подводящим воду к потребителю. Они могут располагаться полностью в здании станции или частично выноситься за здание и располагаться в грунте открыто или в специальных зданиях для коммуникаций. В тех случаях, когда число внешних водоводов меньше числа насосов, напорные коммуникации предназначаются для переключения насосов на любой внешний трубопровод. Сложность переключений и оборудования, устанавливаемого на напорных коммуникациях, зависит от условий, в которых работает станция, и технических требований, предъявляемых к насосной станции. Схема коммуникации напорных трубопроводов зависит от целевого назначения насосной станции и бесперебойности подачи воды. Так, оросительные насосные станции, имеющие большую производительность и допускающие временную остановку отдельных насосов и даже всей станции, дают возможность значительно упростить коммуникацию напорных трубопроводов внутри насосной станции. Осушительные же станции или станции для водоснабжения, не допускающие перерыва в работе, усложняют внутростанционные напорные коммуникации.

Практикой проектирования мелиоративных насосных станций разработан ряд положений для проектирования внутростанционных напорных коммуникаций. Насосные станции, предназначенные для орошения и обводнения, имеют чаще всего большую производительность, что обуславливает устройство напорных коммуникаций из труб больших диаметров, поэтому в отличие от насосных станций для целей водоснабжения напорные коммуникации должны быть выполнены как можно проще.

В напорных коммуникациях необходимо создать постепенный переход от большой скорости в напорном патрубке насоса, порядка 5—7 м/сек, к скорости в отводящих напорных трубопроводах, порядка 1,6—2 м/сек. Такой переход осуществляется при помощи диффузоров с центральным углом от 8 до 12°. Скорости в трубах напорных коммуникаций не должны превышать 2,2—2,5 м/сек.

Напорные коммуникации бывают без переключений, когда число напорных трубопроводов равно числу установленных насосов, и с переключениями, когда число напорных трубопроводов меньше числа установленных насосов. Переключение может быть частичное и полное. Частичное переключение предусматривает подачу воды определенной группы насосов на определенный трубопровод (рис. V—7, б). Полное переключение дает возможность подать воду любым насосом на любой

трубопровод (рис. V—4, б). Для полного переключения прокладывают переключательный трубопровод, называемый коллектором, и устанавливают на нем переключательные затворы. Диаметр коллектора определяется по скорости, несколько меньшей, чем скорость в трубах напорной коммуникации. Скорость в коллекторе при пропуске максимального расхода одного насоса обычно равна 1,5 м/сек. Уменьшенная скорость берется из-за того, что при пропуске увеличенных расходов по коллектору во время выключения одного из отводящих трубопроводов скорость в коллекторе значительно увеличится. Это может вызвать большие гидравлические сопротивления, а следовательно, снизить производительность насоса и его к. п. д.

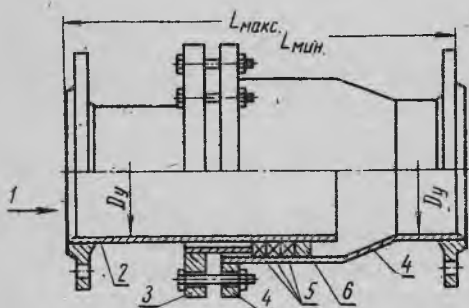


Рис. VI—19. Монтажная вставка сварной конструкции:

1 — направление течения; 2 — внутренний патрубок; 3 — подвижной фланец; 4 — наружный патрубок; 5 — сальниковая набивка; 6 — упорное кольцо.

В схему напорной внутристанционной коммуникации без устройства переключений входят следующие элементы при установке центробежного насоса (рис. V—7, а): монтажная вставка 7, принимаемая по диаметру нагнетательного патрубка насоса; регулирующая задвижка 8, выбираемая также по диаметру напорного патрубка насоса; расходящийся конус 9, большее сечение которого определяется по скорости 2,2—2,5 м/сек; ребристый патрубок 10, закладываемый в стену здания насосной станции и жестко в нее заделываемый.

Монтажная вставка предназначена для обеспечения свободы при монтаже и демонтаже гидромеханического оборудования в здании насосной станции и восприятия линейных деформаций трубопровода. В качестве монтажной вставки широко применяются сальниковые компенсаторы сварной конструкции (рис. VI—19).

Регулирующие задвижки при отсутствии обратного клапана, что бывает в мелиоративных насосных станциях, должны быть автоматического управления. Автоматическое управление задвижек осуществляется при помощи электропривода или гидропривода. Задвижки с электроприводом удобны при дистанционном и автоматическом управлении, требуют меньших размеров помещения, но менее надежны в работе по сравнению с задвижками с гидравлическим управлением, особенно при больших давлениях. Задвижки с гидроприводом рекомендуется применять в тех случаях, когда задвижки с электроприводом не могут быть обеспечены двумя независимыми источниками питания, а также когда на насосной станции имеется система регулирования, оборудованная масляно-пневматическим хозяйством.

Отечественные заводы выпускают задвижки для давлений до 25 кг/см² из чугуна (серого или ковкого), для давлений более 25 кг/см² из стали. В таблице VI—1 приводится перечень задвижек, выпускаемых отечественными заводами, с указанием условий их установки. С основными деталями, их конструкциями и габаритами следует ознакомиться в соответствующих каталогах.

По конструкции затвора задвижки делятся на параллельные и клинкетные. В параллельных задвижках проход в корпус задвижки перекрывается двумя подвижно соединенными между собой шиберами, которые раздвигаются одним или двумя расположенными между ними клиньями, чем достигается плотное перекрытие проходного отверстия. В параллельных задвижках уплотняющие кольца и шибера распо-

ТАБЛИЦА VI-1

Наименование задвижек	Диаметр условного прохода, мм	Рабочее давление $P_{\text{раб}}$, кг/см ²	Условное обозначение	Требуемое положение при установке
<i>I. С ручным приводом</i>				
1. Параллельные чугунные:				
а) с выдвижным шпинделем	50—400	10	30ч 66р	Можно устанавливать с горизонтальным и вертикальным (любым) расположением шпинделя
б) с невымвдвжжым шпжнделем, с конической зубчатой передачей	600—1000	10—6	30ч 146р	Только с вертикальным расположением шпинделя
в) с невымвдвжжым шпжнделем	500	10	30ч 146р	С любым расположением шпинделя
г) с невымвдвжжым шпжнделем	50—400	16	МТР	То же
2. Клиновые чугунные с невымвдвжжым шпжнделем и укороченным корпусом	500—700 800—1000	2,5 2,5	30ч 256р 30ч 256р	» » Только с вертикальным расположением шпинделя маховиком вверх
3. Клиновые стальные:				
а) с невымвдвжжым шпжнделем	150—300	64	30с 756р	С любым расположением шпинделя
б) то же, с червячной передачей	500	64	30с 756р	Только с вертикальным расположением шпинделя редуктором вверх
в) то же	400—700	75	30с 377нж	То же
г) то же	500—800	25	30с 3276р	» »
д) с выдвижным шпинделем	50—200	16	30с 616р	С любым расположением шпинделя
е) то же	100—250	25	30с 646р	То же
ж) то же, с конической передачей	300—500	25	30с 572нж	Только с вертикальным расположением шпинделя редуктором вверх
з) с выдвижным шпинделем	50—400	64	30с 766р	С любым расположением шпинделя
<i>II. С электроприводом</i>				
1. Параллельные чугунные:				
а) с выдвижным шпинделем	100—400	10	30ч 9066р	Только с вертикальным расположением шпинделя приводом вверх
б) с невымвдвжжым шпжнделем	500—1600	6	30ч 9146р	То же
в) то же	500—1600	10	30ч 9156р	» »
2. Клиновидные чугунные:				
а) с невымвдвжжым шпжнделем и укороченным корпусом	800—2000	2,5	30ч 9256р	» »
б) то же, с нормальным корпусом	1200—1600	10	30ч 9306р	» »
3. Клиновидные стальные:				
а) с выдвижным шпинделем, двухдисковые	200—500	25	30с 9726р	» »
б) то же	300—1000	25	30с 9646р	» »
в) с невымвдвжжым шпжнделем	500—800	25	30с 9276р	» »

Наименование задвижек	Диаметр условного прохода, мм	Рабочее давление $P_{\text{раб}}$, кг/см ²	Условное обозначение	Требуемое положение при установке
г) с невымдвижным шпинделем	400—700	75	30с 977нж	Только с вертикальным расположением шпинделя приводом вверх
4. Конусные чугунные, с невымдвижным шпинделем	200—800	10	32ч 9026р	То же
III. С гидроприводом				
а) чугунные параллельные нормальные	150—1000	10	МТГ-150 до 1000	» »
б) то же	250—300	10	30ч 7066р	» »
	500—800	10	30ч 7156р	» »
в) клиновые, с укороченным корпусом	500	2,5	КГ-500	» »
	700	2,5	КГ-700	» »
г) конусные, автоматические	200—800	10	32ч 7016р	В горизонтальном трубопроводе в вертикальном положении

жены перпендикулярно оси задвижки. В клинкетных задвижках проход в корпусе перекрывается одним круглым диском, имеющим форму клина, который помещается в гнезде между наклонно установленными уплотняющими кольцами. В клинкетных задвижках обработка и притирка уплотняющих колец сложнее, чем в параллельных, износ уплотняющих колец в клинкетных задвижках происходит быстрее, закрытые длительное время клинкетные задвижки начинают заедать и поэтому требуют больших усилий на их открытие.

Все это говорит о том, что при выборе конструкции задвижки предпочтение следует отдавать параллельным задвижкам.

Параллельные и клинкетные задвижки изготавливаются с выдвигным и невымдвижным шпинделем. Выдвигной шпиндель совершает только поступательное движение, его резьбовая часть помещается вне корпуса задвижки и поэтому легко доступна для осмотра, очистки, смазки и т. д. Недостаток этого шпинделя в том, что для его размещения требуются большие размеры по высоте. Невымдвижной шпиндель совершает только вращательное движение, его резьбовая часть находится внутри корпуса, по которой поступательно движутся в крышку задвижки запорные диски. Такой шпиндель требует меньших габаритов для размещения, но для доступа к резьбе необходимо снимать крышку задвижки.

По форме корпусов задвижки делятся на овальные, плоские и круглые. Для средних и больших давлений наиболее распространена овальная форма. Круглые задвижки применяют только при высоких давлениях, а плоские — при малых.

Задвижки, выпускаемые заводами, пока еще не стандартизованы. Стандартизованы только длина (ГОСТ 3706—54) и размеры присоединительных фланцев (ГОСТ 1234—54).

Для давлений до 2,5 кг/см² выпускаются задвижки с укороченным корпусом. Их широко применяют для установки на всасывающих коммуникациях. Задвижки выпускаются для диаметров максимум 1600 мм. Кроме рассмотренных задвижек, применяют конусные задвижки, изготавливаемые диаметром 200—800 мм как с электродвигателем, так и с гидроприводом. Затвором является пробка конусной формы со сквозным отверстием, равным диаметру перекрываемого трубопровода. При открытии затвора пробка приподнимается на небольшую высоту и поворачивается на 90°, открывая проходные отверстия. Закрытие произ-

ходит таким же образом, но в обратном направлении. Преимущества конусных затворов перед дисковыми задвижками состоят в следующем:

1) минимальные потери напора вследствие того, что в открытом положении затвор имеет круглое отверстие такого же диаметра, которое он перекрывает;

2) легкость и быстрота открытия и закрытия;

3) напорный трубопровод предохраняется от гидравлического удара вследствие того, что закрытие отверстия при посадке пробки в гнездо происходит значительно медленнее, чем у обычных задвижек.

Технические условия для установки задвижек, их расположение по отношению к трубопроводам приняты по ГОСТ 5762—51. Длина корпуса чугунных задвижек овальной формы $L=D_0+200$ мм; круглой формы $L=1,5D_0+500$ мм; для стальных задвижек овальной формы $L=D_0+200$ мм, круглой формы $L=2D_0+150$ мм, где D_0 — диаметр условного прохода. Длина задвижек с укороченным корпусом $L_{\text{укор}}=1,5D_0+150$ мм. Задвижки с гидравлическим приводом могут быть переделаны из задвижек с ручным приводом. В этом случае диаметр гидравлического привода может быть определен по формуле

$$d_{\text{прив}} = \sqrt{\frac{1,5kp_{\text{раб}} - D_0^2}{p_{\text{прив}}}} \text{ см},$$

где $p_{\text{раб}}$ — давление в трубопроводе, кг/см²;

D_0 — диаметр задвижки, см;

k — коэффициент трения для бронзы по бронзе ($k=0,2$);

$p_{\text{прив}}$ — давление рабочей жидкости в цилиндре гидропривода, кг/см²;

1,5 — коэффициент запаса.

Для трубопроводов диаметром более 1600 мм применяют дисковые поворотные затворы с вертикальной осью поворота с ручным приводом, электроприводом и гидроприводом (дроссельные затворы). Дроссельные затворы быстрее открываются по сравнению с обычными задвижками. Например, для открытия дроссельного затвора $D_0=2000$ мм ручным способом требуется одна минута, а для ручной задвижки $D_0=1000$ мм — один час. При полном открытии дроссельные затворы имеют несколько большие гидравлические потери, чем обычные задвижки. Дроссельные затворы менее плотно перекрывают отверстие, чем другие типы затворов, поэтому, если необходимо создать герметичность, устанавливают по два таких затвора. Уплотнение у дроссельных затворов применяют резиновое шланговое.

В таблице VI—2 приводятся величины протечки в дисковых затворах по данным заводских испытаний.

ТАБЛИЦА VI—2

Диаметр затвора, м	Давление воды при испытании, м	Протечки, л/мин	Площадь затвора, м ²	Протечки, л/мин на 1 м ²	Диаметр затвора, м	Давление воды при испытании, м	Протечки, л/мин	Площадь затвора, м ²	Протечки, л/мин на 1 м ²
0,915	56,3	3,4	0,66	5,15	1,83	98,5	21,0	2,63	8,0
0,915	91,5	5,1	0,66	7,75	1,83	148,0	135,0	2,63	51,8
1,22	98,5	7,8	1,17	6,17	2,59	35,2	25,2	5,10	4,95
1,37	46,5	25,4	1,48	17,2	3,28	59,2	212,0	8,18	26,0
1,52	45,7	34,0	1,82	18,7	3,28	59,2	31,1	8,18	3,8
1,83	77,5	74,2	2,63	28,2	3,28	59,2	104,8	8,18	12,85

Расход протечки можно выразить эмпирической зависимостью

$$H = 29 + 2,3q,$$

где q — расход протечки, л/мин · м²;

H — давление, м.

Например, для $H=50$ м и $D_0=2$ м величина

$$q = \frac{50 - 29}{2,3} = 13,5 \text{ л/мин} \cdot \text{м}^2.$$

Величина протечки

$$Q = \frac{\pi D_0^2}{4} q = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} 13,5 = 42 \text{ л/мин}.$$

Как видно, дисковые затворы не обладают такой герметичностью, как задвижки. Дисковые затворы должны открываться, как правило, в условиях уравновешенного с обеих сторон давления, что достигается

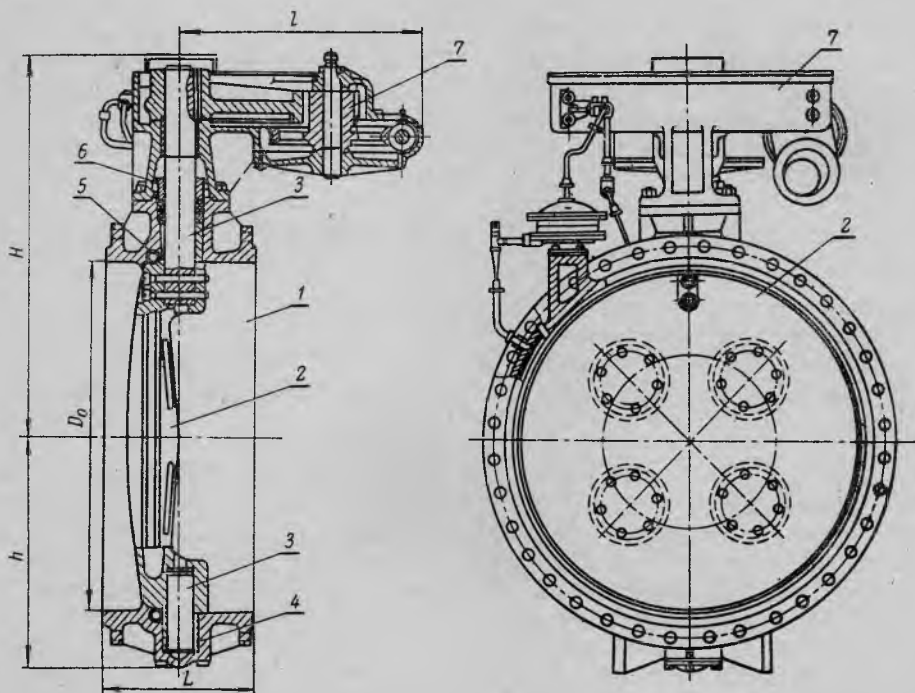


Рис. VI—20. Поворотный дисковый затвор (дроссель) $D_0=1200-1600$ мм с электроприводом (324904 бр):

1 — корпус; 2 — поворотный диск; 3 — полуоси; 4 — опорная часть; 5 — шланговое уплотнение; 6 — сальниковое уплотнение; 7 — электропривод.

устройством обводных труб (байпасов). Достоинства дисковых затворов: быстрота открытия и закрытия; малые габариты, вес и стоимость по сравнению с другими типами затворов; возможность перекрывать трубопроводы больших диаметров, так как диаметр задвижек, выпускаемых отечественными заводами, ограничен. Дроссельные затворы различных конструкций приведены на рисунках VI—20; VI—21 и VI—22.

Основные детали дроссельного затвора показаны на рисунке VI—20: корпус 1; поворотный диск 2; шланговое уплотнение 5; две полуоси 3, жестко связанные с диском; опорная часть 4; сальниковое уплотнение 6; электропривод 7. Основные данные дроссельных затворов, выпускаемых заводами, приведены в таблице VI—3.

Габариты дроссельных затворов следует брать в каталоге-справочнике «Промышленная трубопроводная арматура» (издание Главгидромаш, 1955 г.) и в других справочниках, а также по таблицам VI—4, VI—5 и VI—6.

Ребристые патрубки, заделываемые в стену, выполняют из стальных трубопроводов; их заделка в кладку стены должна быть рассчита-

ТАБЛИЦА VI-3

Наименование затвора	Диаметр условного прохода, мм	Рабочее давление $P_{\text{раб.}}$, кг/см ²	Условное обозначение	Требуемое положение при установке
С ручным приводом	500—1500	3	—	Вертикальное
С электроприводом	1200—1400	10	32 ч 904 р	То же
С гидроприводом	1200—1400	10	32 ч 704 р	» »
То же	1600	6	32 ч 704 р	» »
» »	500—2000	10	—	» »
» »	500—2000	6	—	» »

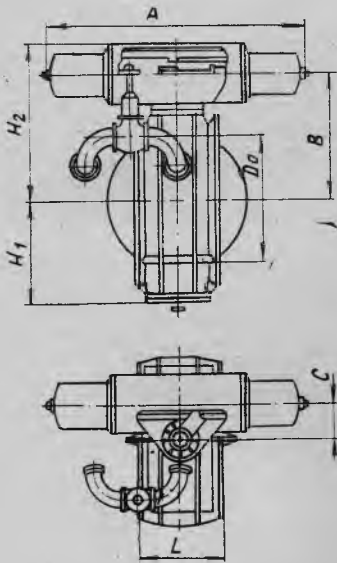


Рис. VI-21. Поворотный дисковый затвор (дроссель) с гидроприводом.

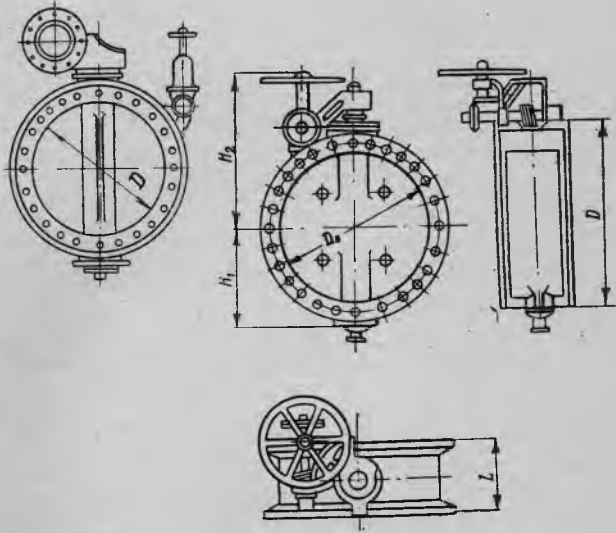


Рис. VI-22. Поворотный дисковый затвор с ручным приводом.

ТАБЛИЦА VI-4

Размеры дроссельных затворов (мм) с электроприводом (32 ч 904 р и 32 ч 704 р) к рисунку VI-20

Диаметр условного прохода D_0	L	H	h	l	Вес, кг
1200	500	1370	750	982	2718
1400	600	1500	925	982	3500
1600	600	1611	1025	982	4046

на на возможное максимальное усилие, возникающее со стороны насоса или со стороны внешнего напорного трубопровода.

Максимальное усилие, направленное в сторону внешних трубопроводов, определяется величиной

$$P_1 = p_n \frac{\pi D_0^2}{4} T,$$

где $p_n = H_n \gamma$ — максимальное давление, создаваемое насосом, т/м²; (H_n — максимальный возможный напор, взятый по характеристике насоса, м);

D_0 — диаметр регулирующей задвижки, м;

γ — объемный вес воды, т/м³.

Максимальное усилие, направленное в сторону насоса, определяется величиной

$$p_2 = p \frac{\pi D_{\text{тр}}^2}{4} T,$$

где $p = H_{\text{ст}} \gamma$ — максимальное давление (т/м²), создаваемое статическим напором $H_{\text{ст}}$, равным разности отметок верхнего бьефа и оси патрубка, заделываемого в стену;

$D_{\text{тр}}$ — диаметр напорного трубопровода, м.

Ребристые заделки могут быть выполнены и из диффузоров, у которых наварено ребро для заделки в стену (рис. V—2).

Все соединения напорных коммуникаций, расположенных внутри здания станции, выполняются фланцевыми, так как эти стыки позволяют осуществлять быстрое соединение и разъединение, а также воспринимать растягивающие усилия. Раструбные соединения в этих случаях требуют дополнительных устройств в виде специальных упоров, а также чеканки раструбного шва, поэтому желательно раструбные трубы не применять.

При установке осевых насосов напорная коммуникация очень простая, так как нет переключений, насос устанавливается под заливом

ТАБЛИЦА VI—5

Размеры дросселей (мм) с гидравлическим приводом к рисунку VI—21

Диаметр условного прохода D_0	A	B	C	D	H_1	H_2	L
Максимальное допускаемое давление $p_{\text{раб}} = 10 \text{ кг/см}^2$							
500	810	460	135	725	370	570	500
600	1100	550	160	825	440	680	500
800	1450	730	210	1100	590	910	600
1000	1830	920	270	1300	735	1130	600
1250	2300	1145	335	1580	915	1420	700
1500	2770	1375	400	1830	1100	1700	800
1750	3200	1600	465	2100	1280	1750	1000
2000	3600	1830	535	2350	1470	2000	1000

Максимальное допускаемое давление $p_{\text{раб}} = 5 \text{ кг/см}^2$

500	800	450	105	700	365	500	400
600	950	530	125	800	435	600	400
800	1250	680	170	1050	570	800	500
1000	1570	850	210	1250	710	1000	500
1250	2000	1050	200	1530	870	1250	700
1500	2400	1250	320	1780	1050	1500	700
1750	2750	1460	365	2050	1210	1750	900
2000	3140	1650	420	2300	1380	2000	1000

ТАБЛИЦА VI—6

Размеры дросселей (мм) с ручным приводом на $p_{\text{раб}} = 3 \text{ кг/см}^2$ к рисунку VI—22

Диаметр условного прохода D_0	H_1	H_2	L	Диаметр условного прохода D_0	H_1	H_2	L
500	330	480	400	1000	655	960	500
600	395	580	400	1500	825	1200	600

(рис. VI—23). В этом случае коммуникация состоит из отвода 2 с углом $\theta=30^\circ$ и диффузора 3, заделываемого в стену здания станции. Фланец патрубка или диффузора должен отстоять от стены не менее чем на 25—30 см. Это расстояние нужно для осуществления болтовых соединений. При отсутствии отвода, что бывает у осевых насосов с патрубком, повернутым на 90° , или с продолжением напорной коммуникации по оси выходного патрубка, устанавливается монтажная вставка между насосом и диффузором (рис. VI—24).

При значительной длине напорных трубопроводов (более 300 м) и установке осевых насосов напорные коммуникации приходится выполнять с частичным или полным переключением. Поэтому, чтобы включить в работу осевой насос, необходима сбросная труба с предохранительным клапаном в дополнение к обычной коммуникации (байпас).

На рис. VI—25 показана коммуникация напорных трубопроводов при установке осевых насосов, работающих на общий напорный трубопровод. Чтобы включить в работу осевой насос параллельно с другим насосом, необходимо начать включение насоса 5 при закрытой задвижке, установленной на напорной коммуникации 7, и открытой за-

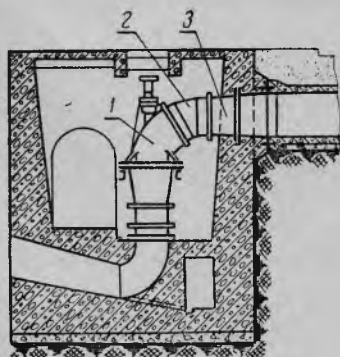


Рис. VI—23. Напорная коммуникация при установке осевого насоса:

1 — осевой насос; 2 — отвод; 3 — диффузор.

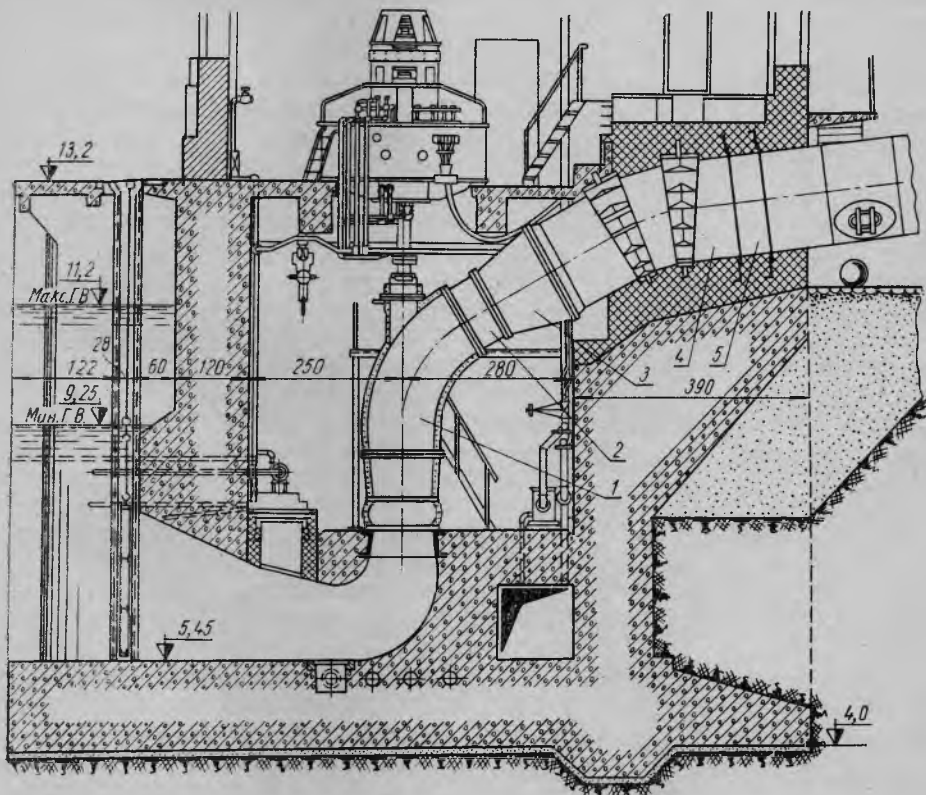


Рис. VI—24. Напорная коммуникация, направленная по оси выходного патрубка насоса:

1 — осевой насос; 2 — монтажная вставка; 3 — диффузор; 4 — отвод; 5 — ребристая заделка трубопровода.

движке 2, установленной на сбросной трубе 1. Сбросная труба должна быть выведена под минимальный горизонт нижнего бьефа. На сбросной трубе, кроме задвижки, устанавливается монтажная вставка 3 и предохранительный клапан 4. Диаметр сбросной трубы составляет четверть диаметра напорного трубопровода насоса ($\sim 0,25D_n$).

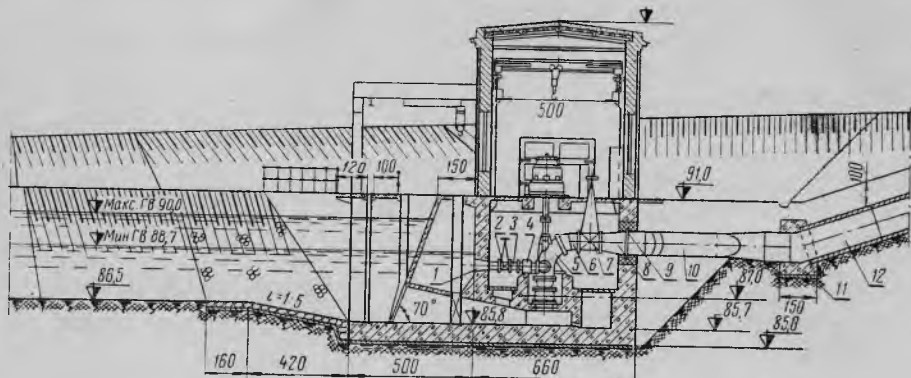


Рис. VI—25. Напорная коммуникация при установке осевых насосов, работающих на общий трубопровод:

1 — сбросная труба; 2 — задвижка на сбросной трубе; 3 — монтажная вставка; 4 — предохранительный клапан; 5 — осевой насос; 6 — отвод; 7 — регулирующая задвижка; 8 — диффузор; 9 — ребро для заделки; 10 — трубы переключения; 11 — соединительная опора; 12 — напорный железобетонный трубопровод сборной конструкции.

В начале пуска насоса вода подается через сбросную трубу в нижний бьеф, чем избегается работа насоса при расходе, равном нулю, и перегрузка электродвигателя. Далее постепенно открывают задвижку 7 на напорной коммуникации и постепенно закрывают задвижку 2 до тех пор, пока насос не начнет полностью подавать воду в напорный трубопровод. Этот процесс должен быть автоматизирован. Напорная коммуникация в этом случае состоит из отвода 6, который выполняет и роль монтажной вставки, регулирующей задвижки 7, диффузора 8, ребристого патрубка 9, переключающих труб 10.

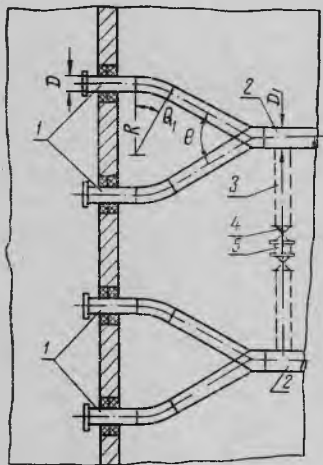


Рис. VI—26. Схема соединения четырех трубопроводов 1, идущих от насосов с двумя напорными трубопроводами 2; 3 — связка; 4 — переключающие задвижки; 5 — монтажная вставка.

Частичное переключение осуществляется в мелиоративных насосных станциях незаглубленного типа, с сухой камерой и в станциях блочного типа, имеющих незначительную глубину подземной части. В этом случае внутри здания размещают коммуникации, состоящие из монтажных вставок, регулирующих задвижек, диффузоров и ребристых патрубков, а само переключение выносят за пределы здания и плавно выполняют из стальных труб сварной конструкции.

На рисунке VI—26 показано частичное переключение для четного числа агрегатов и отводящих напорных трубопроводов. Соединение двух трубопроводов в один осуществляется под углом $\theta = 60^\circ$. На расстоянии 0,5 м от стены здания приваривается отвод с углом $\theta_1 = 30^\circ$; $R \cong 4 \div 5D$. Диаметр трубопровода после соединения двух труб определяется исходя из равенства скоростей в трубах до и после соединения, следовательно $D_1 \cong 1,4D$.

Соединение в общий трубопровод, вынесенное за пределы здания станции, зависит от числа насосов и напорных трубопроводов. Так, в случае четырех насосов и двух ниток напорного трубопровода переключение может быть только частичное (рис. VI—26). Если появится необходимость в полном переключении, то можно рекомендовать устройство связи между напорными трубопроводами. Связка на рисунке показана пунктиром. На связке для переключения устанавливаются две задвижки с монтажной вставкой между ними, а на напорных трубопроводах — отключающие задвижки с монтажными вставками. Переключающие и отключающие задвижки при прокладке коммуникаций в грунте размещаются в специальных колодцах. На рисунке VI—27, а, б дана насосная станция с устройством связи, которая размещается в специальном здании.

Для трех насосов и двух ниток напорного трубопровода переключения выполняют по схеме, представленной на рисунке VI—28. Трубопроводы соединяют под углом $\theta = 45^\circ$.

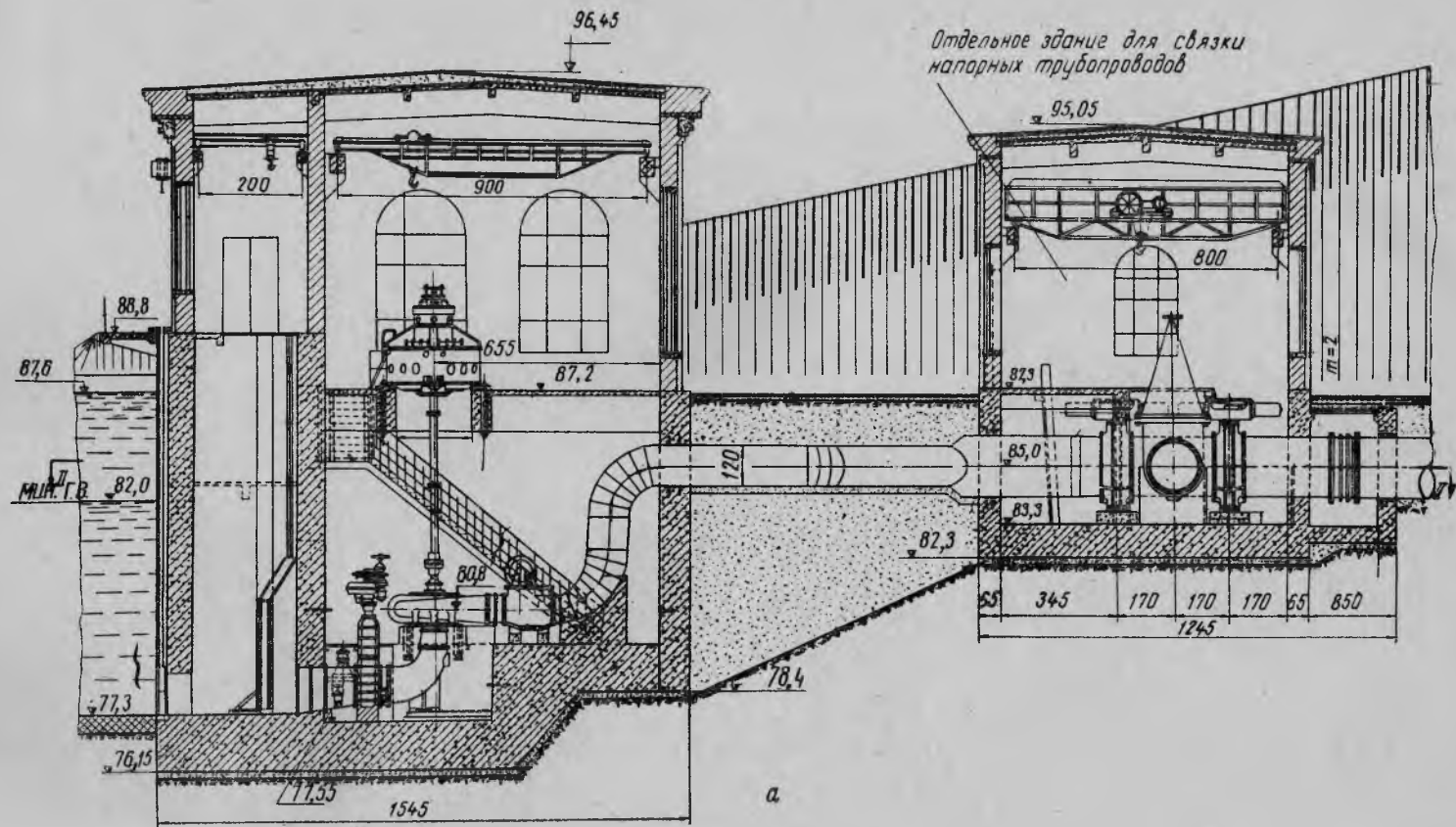
Для пяти насосов и двух ниток трубопровода переключения осуществляют по схеме, представленной на рисунке VI—29. Трубы объединяют под углом $\theta = 45^\circ$. Как видно из рисунков, для нечетного числа агрегатов коммуникации переключений аналогичны коллекторной связи, вынесенной за пределы здания и несколько упрощенной отсутствием отключающих затворов на напорных трубопроводах.

Чтобы иметь коммуникацию с полным переключением, следует на напорных трубопроводах установить отключающие затворы.

В шахтно-камерных и шахтно-блочных головных насосных станциях можно использовать шахту для устройства переключения насосов на трубопроводы при помощи напорного коллектора. В практике проектирования применяют следующие основные схемы напорных коммуникаций с устройством коллекторной связи.

В схеме, приведенной на рисунке VI—30, напорная коммуникация состоит из монтажной вставки 1, регулирующей задвижки 2, диффузора 3, коллектора 4, уложенного на одной отметке с осью насоса; от коллектора отходят общие напорные трубопроводы 5, на которых устанавливаются отключающие затворы 6, монтажные вставки 7, ребристые патрубки 8, заделанные в стену штрабным бетоном. Для переключения насосов на любой трубопровод устанавливаются переключающие задвижки 9 и между ними помещается монтажная вставка 10. Такую схему можно принять при небольшой глубине заложения напорного трубопровода (4—5 м). Если же глубина шахты большая, то такая схема требует заложения на большую глубину и напорного трубопровода, что не является целесообразным, поэтому в данном случае можно принять схему, представленную на рисунке VI—31, которая отличается от предыдущей компоновкой общих напорных трубопроводов. В этой схеме общие напорные трубопроводы от коллектора поднимаются стояками 5 вверх; от каждого стояка идет колено 6, далее идет ребристый патрубок 7, отключающая задвижка 8, монтажная вставка 9, напорный трубопровод 10, который проходит через сальниковое устройство в стене колодца 11. Эта схема дает возможность вывести напорные трубопроводы на любую нужную отметку и уменьшить ширину подземной части здания за счет того, что отключающие задвижки с монтажными вставками можно вынести в специальные колодцы небольших размеров, прилегающие к основному зданию насосной станции.

На рисунке VI—32 представлена другая схема, которая отличается от предыдущей расположением коллектора на одной отметке с общими напорными трубопроводами. В этом случае стояками будут не общие напорные трубопроводы, а напорные трубы, идущие от каждого насоса. Эта схема более желательна при очень глубоких шахтах, так как расположение коллектора сверху облегчает его обслуживание. Опорами для



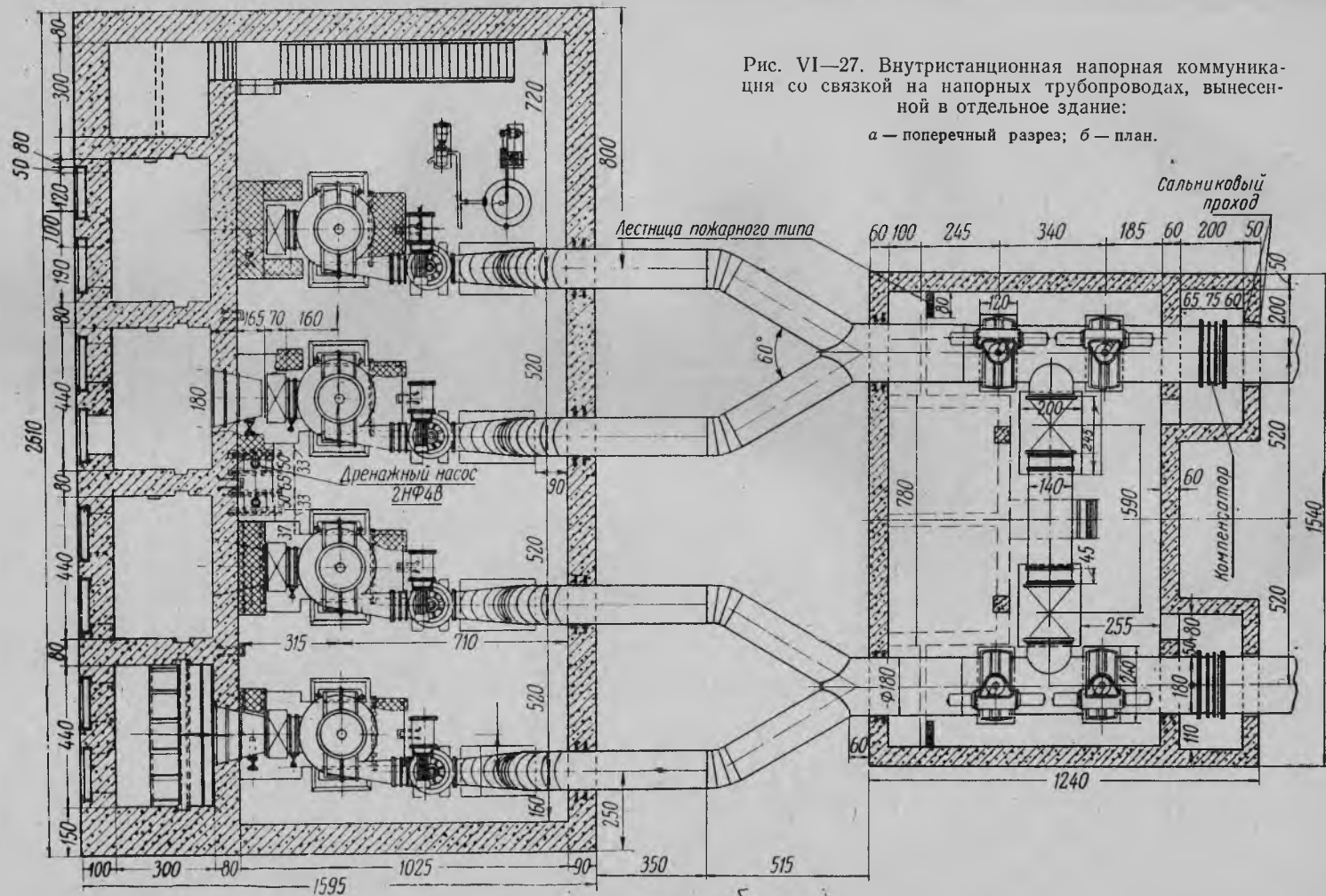


Рис. VI—27. Внутростанционная напорная коммуникация со связкой на напорных трубопроводах, вынесенной в отдельное здание:

а — поперечный разрез; б — план.

Рис. VI—29. Схема соединения пяти трубопроводов 1, идущих от насосов с двумя напорными трубопроводами 2; 3 — переключающие задвижки; 4 — монтажные вставки.

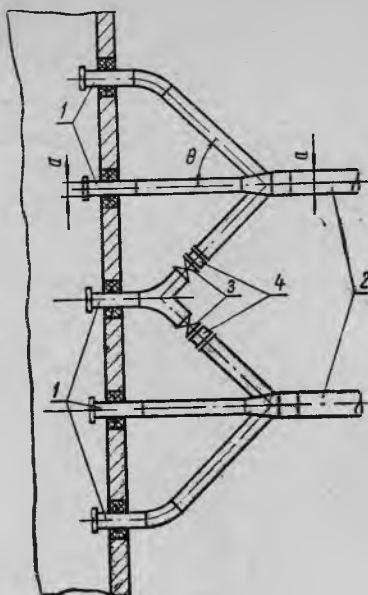
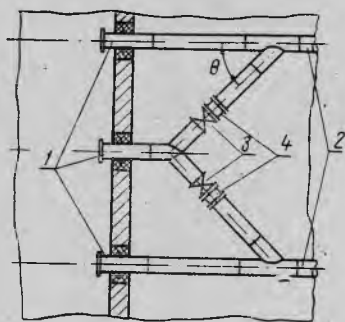


Рис. VI—28. Схема соединения трех трубопроводов 1, идущих от насосов с двумя напорными трубопроводами 2; 3 — переключающие задвижки; 4 — монтажные вставки.

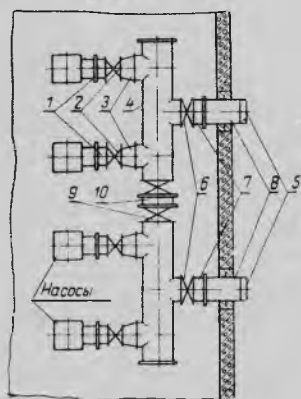
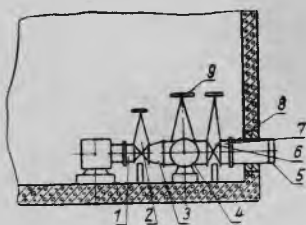


Рис. VI—30. Схема внутриванционной напорной коммуникации с коллекторной связью, расположенной на уровне оси напорного патрубка насоса:

1 — монтажная вставка; 2 — регулирующая задвижка; 3 — диффузор; 4 — коллектор; 5 — напорный трубопровод; 6 — отключающая задвижка; 7 — монтажная вставка; 8 — ребристый патрубок; 9 — переключающая задвижка; 10 — монтажная вставка на коллекторе.

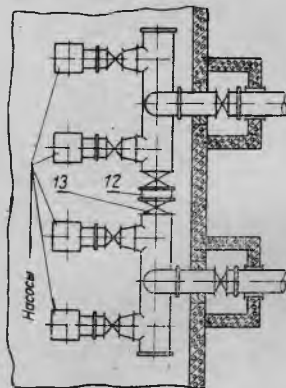
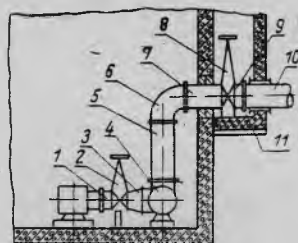


Рис. VI—31. Схема внутриванционной коммуникации с коллекторной связью, расположенной на уровне оси напорного патрубка насоса, с напорными трубопроводами, отходящими от коллектора стояками вверх:

1 — монтажная вставка; 2 — регулирующая задвижка; 3 — диффузор; 4 — коллектор; 5 — стояк; 6 — колено; 7 — ребристый патрубок; 8 — отключающая задвижка; 9 — монтажная вставка; 10 — напорный трубопровод; 11 — колодец отключающей задвижки; 12 — монтажная вставка на коллекторе; 13 — переключающие задвижки.

коллектора могут служить балки, на которых устанавливаются промежуточные раскрепляющие подшипники вала, соединяющего насос и двигатель.

При расположении коллектора сверху возможно уменьшить ширину подземной части за счет объединения диффузора 3 и колена 4 в одну деталь — колено переменного сечения, обычно сварной конструкции.

При такой комбинации ширина здания уменьшается на длину диффузора. При желании сократить размеры подземной части здания насосной станции и избежать загромождения здания напорными коммуникациями коллектор можно вынести в отдельное здание аналогично устройству связки, как показано на рисунке VI—27, а б. Коллектор может быть расположен и в середине шахты, в этом случае сочетаются рассмотренные вторая и третья схемы, то есть к коллектору будут подходить стояками трубы от насосов, а от коллектора отходить общие трубопроводы прямо или стояки в зависимости от отметки расположения напорных трубопроводов.

Выбор той или иной схемы напорной коммуникации решается на основе экономического сравнения вариантов, эксплуатации станции и технической целесообразности.

В мелиоративных насосных станциях для коротких напорных трубопроводов (в пределах 50 м) при установленных насосах, затопленных минимальным горизонтом воды, и количестве напорных трубопроводов, равном числу насосов, может быть предложена напорная коммуникация без установки регулирующих задвижек. В этом случае в пределах здания станции устанавливают лишь один диффузор, который может быть заделан в стену здания без ребристого патрубка. Для прекращения притока воды в напорные трубопроводы из машинного канала имеются затворы в водовыпускном сооружении на выходных отверстиях из напорных трубопроводов. Следует иметь в виду, что пусковой момент электродвигателя при центробежных насосах будет наибольшим, так как без регулирующей задвижки начальная производительность насоса будет наибольшая.

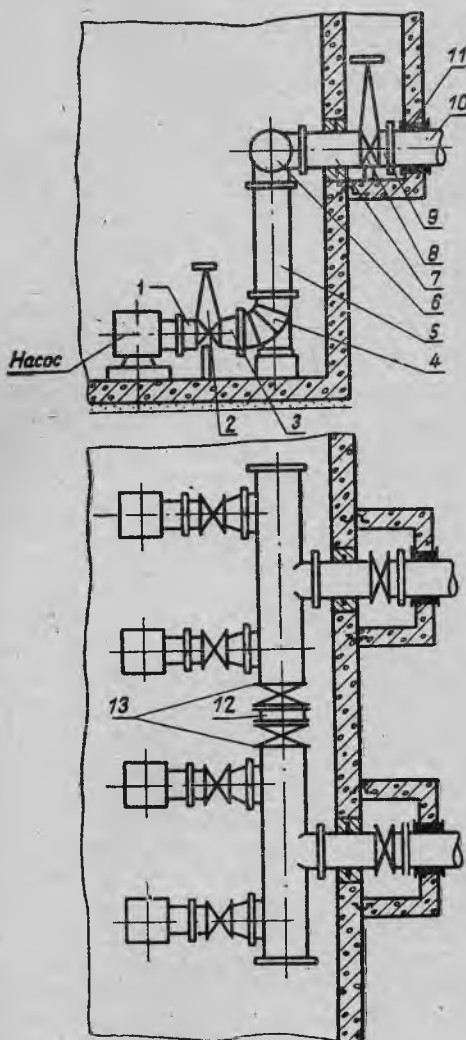


Рис. VI—32. Схема внутростанционной напорной коммуникации с коллекторной связью, расположенной выше уровня напорного патрубка насоса:

1 — монтажная вставка; 2 — регулирующая задвижка; 3 — диффузор; 4 — колено; 5 — стояк; 6 — коллектор; 7 — ребристый патрубок; 8 — отключающая задвижка; 9 — монтажная вставка; 10 — напорный трубопровод; 11 — сальниковый проход через стенку колодца; 12 — монтажная вставка коллектора; 13 — переключающие задвижки.

Кроме изложенных выше указаний по проектированию напорных коммуникаций, следует учитывать следующие общие требования, предъявляемые к напорным коммуникациям.

1. Трубопроводы внутростанционных коммуникаций диаметрами меньше 300 мм рекомендуется укладывать в соответствующих каналах ниже отметки пола здания насосной станции, с тем чтобы избежать загромождения машинного зала. Управление же задвижками надлежит выводить в машинный зал.

2. Трубопроводы диаметром более 350 мм укладываются над полом, для их обслуживания и перехода через них предусматриваются служебные мостики.

3. Внутростанционные трубопроводы окрашивают масляной краской или каменноугольным лаком.

4. Для опорожнения трубопроводов должны быть предусмотрены сливные трубы с установленными на них задвижками с ручным управлением. Диаметр сливных труб принимается приблизительно равным 0,25 диаметра опоражниваемой трубы, чаще всего коллектора.

5. Напорные коммуникации рекомендуется выполнять из стальных труб на сварке или с фланцевыми соединениями. Можно применять фланцевые чугунные трубы. При раструбных чугунных трубах необходимо предусмотреть соответствующие упоры в местах закруглений и ответвлений для восприятия силы гидростатического давления.

6. Во избежание скопления воздуха в трубопроводах их не рекомендуется устанавливать в повышенных местах. Если же это неизбежно, то в этих местах следует установить вантузы.

7. Диаметр коллектора следует определять из условия пропускания количества воды, равного максимальной производительности одного насоса, со скоростью течения 1,5 м/сек.

При проектировании напорных коммуникаций возникают затруднения в расчете по определению гидравлических сопротивлений, так как принятые коммуникации в мелиоративных станциях не исследовались. Кафедрой насосов и насосных станций МГМИ по заданию Гипроводхоза ММиВХ СССР были проведены исследования наиболее часто применяемых коммуникаций*.

Было исследовано 10 схем, представленных на рисунке VI—33. В схемах *a, в, г, ж, и* все косые соединения осуществлялись под углом 90°, в схемах *б, е, д* — под углом 60°. Схема *м* отличается от схемы *к* косым присоединением коллектора к напорному трубопроводу под углом 45°. Исследуемые модели были выполнены из жести на фланцевых соединениях. Давления замеряли в 1 и 2 створах. Створ 1 располагался на расстоянии $3d$ до начала коммуникации, створ 2 — на расстоянии $24D$ от фасонных частей, потери на трение по длине на участке напорного трубопровода длиной $24D$ исключались, таким образом, были получены только местные сопротивления в коммуникациях напорных трубопроводов.

ТАБЛИЦА VI—7

Работают насосы				Наименование схемы					
1	2	3	4	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>
	—			0,439	0,365	0,319	0,453	—	—
—	—	—	—	—	—	0,422	0,443	0,462	0,402
—	—	—	—	0,434	0,398	0,383	0,441	0,476	0,420
—	—	—	—	—	—	0,462	0,437	0,465	0,385
—	—	—	—	—	—	—	—	0,460	0,422
—	—	—	—	—	—	—	—	0,465	0,387

* По исследованиям инж. М. Е. Шольца, выполненным в 1967—1968 гг. под руководством проф. В. В. Рычагова.

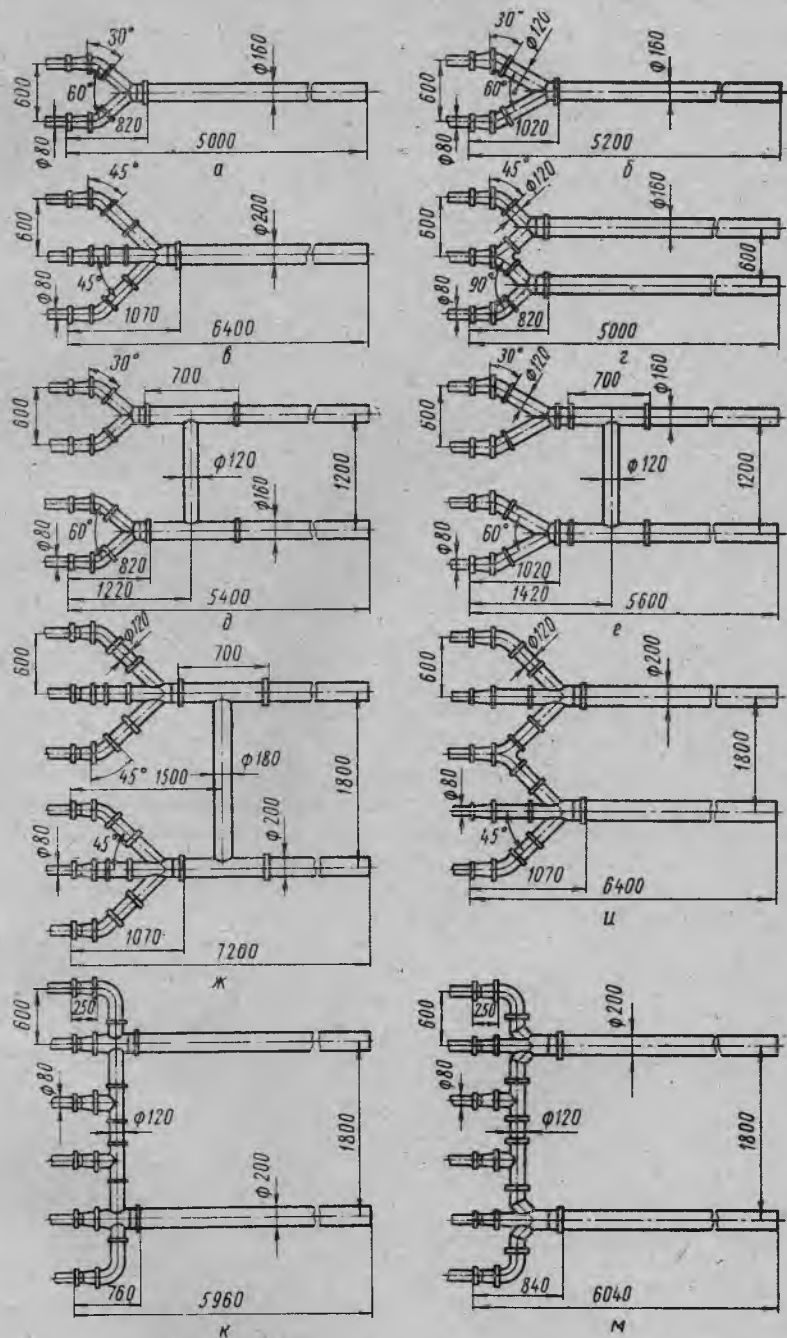


Рис. VI—33. Схемы напорных коммуникаций, исследованных в лаборатории насосных установок МГМИ.

Работают насосы						Наименование схемы			
1	2	3	4	5	6	ж	и	к	м
						0,420	0,421	0,629	0,570
						0,393	0,395	—	—
						—	0,360	—	—
						—	0,451	—	—
						0,433	—	0,647	0,579
						0,446	—	0,675	0,608
						0,420	—	0,560	0,510
						0,393	—	0,495	0,468
						0,472	—	0,694	0,628
						0,393	—	0,555	0,532

В таблицах VI—7 и VI—8 приводятся коэффициенты потерь напора для моделей различных коммуникаций и различных сочетаний работающих насосов, отнесенные к скорости в напорном патрубке насоса. В модели диаметр напорного патрубка насоса $d=80$ мм.

Чтобы перейти от модели к натуре с учетом и разницы в материалах модели (жесть) и натуре (сталь) следует пересчитывать коэффициенты сопротивлений модели, приведенные в таблицах VI—7 и VI—8, по формуле

$$\zeta_n = \zeta_m \frac{1,83}{d_m^{0,07}} \left(\frac{d_m}{d_n} \right)^{0,293},$$

где ζ_n — коэффициент сопротивлений натуре;
 ζ_m — коэффициент сопротивлений модели;
 d_m — диаметр напорного патрубка модели, мм;
 d_n — диаметр напорного патрубка натуре, мм.

Для пересчета ζ_m на ζ_n можно воспользоваться номограммой, приведенной на рисунке VI—34, построенной по приведенной формуле. Пользование номограммой можно уяснить из следующего примера. Рассматривается коммуникация по схеме е при работе насосов 1, 2 и 3.

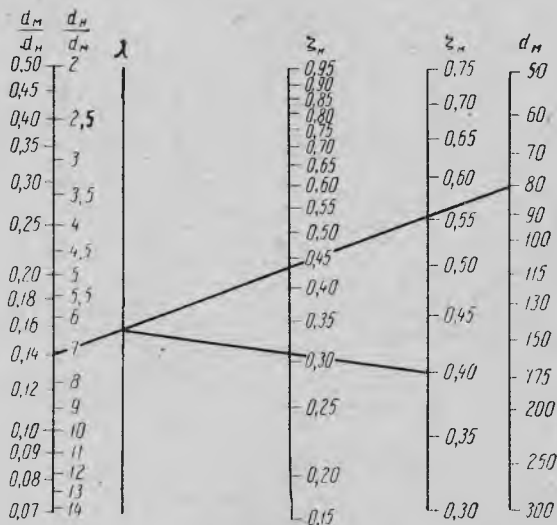


Рис. VI—34. Номограмма пересчета коэффициента гидравлических сопротивлений напорных коммуникаций насосных станций натуре по коэффициенту сопротивления модели.

Пусть размеры напорных трубопроводов этой станции в семь раз больше, чем на модели, следовательно исходные данные для номограммы следующие:

$$d_m = 80 \text{ мм}; \quad \zeta_m = 0,402; \quad \frac{d_m}{d_n} = \frac{1}{7} = 0,14.$$

На номограмме проводим прямую, соединяющую d_m с $\frac{d_m}{d_n}$, то есть 80 на шкале d_m и 0,14 на шкале $\frac{d_m}{d_n}$ и получаем точку на шкале λ . Проводя прямую от точки на шкале λ до значения на шкале $\zeta_m = 0,402$, получаем пересечение этой прямой со шкалой ζ_n , определяющее значение $\zeta_n = 0,31$. Необходимо отметить, что предложенная формула проверена при отношении модели к натуре не более 1:10, 1:12.

Исследования показали, что если пользоваться суммированием отдельных сопротивлений без учета их влияния друг на друга, то разница в потерях получается в среднем для схем *а*, *б* и *в* в сторону уменьшения на 30%.

Приведенные схемы, конечно, не охватывают всех возможных, рассмотренных в данной главе, поэтому отклонения от исследованных схем могут быть учтены определением дополнительных потерь методом суммирования.

До проведения новых исследований в этой области ориентировочно можно пользоваться предложенной рекомендацией.

§ 1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Напорные трубопроводы — это гидротехнические сооружения, транспортирующие воду, находящуюся под давлением (напором), из мест с пониженными отметками в места с более высокими отметками (трубопроводы насосных станций) или из высокорасположенных мест в места с более низкими отметками (трубопроводы гидроэлектрических станций, трубопроводы систем водоснабжения из источников, имеющих командное расположение над объектом водоснабжения) и др.

Напорные трубопроводы являются ответственным элементом в узле сооружений мелиоративной насосной станции. Стоимость их иногда превышает стоимость станции с оборудованием.

Напорные трубопроводы можно классифицировать по различным признакам:

1) в зависимости от материала стенок на железобетонные, стальные, чугунные, асбестоцементные, деревянные и из новых материалов (пластмассовые, стеклянные и др.); последние не нашли еще применения в насосных станциях;

2) в зависимости от напора, под которым работает трубопровод, на низконапорные (напор до 2 *ати*), средненапорные (напор от 2 до 4—5 *ати*) и высоконапорные (напор более 4—5 *ати*);

3) в зависимости от способа укладки на открытые (не засыпаемые землей) и закрытые (засыпаемые сверху землей);

4) в зависимости от назначения на основные, резервные, переключающие, соединительные, сбросные.

В практике мелиоративных насосных станций не получили распространения деревянные и чугунные трубопроводы. Первые потому, что материал стенок их не соответствует условиям сезонной (прерывной) работы, вторые из-за тяжелого веса и большой стоимости. Внутри насосных станций, а также при монтаже асбестоцементных и железобетонных трубопроводов используют чугунные фасонные части. Однако при диаметрах, больших 500 мм, стремятся применять стальные сварные фасонные части.

При проектировании и строительстве трубопроводов пользуются следующими основными нормами и техническими условиями:

СН 83—60 «Технические условия на производство и приемку работ по устройству магистральных трубопроводов»;

СН 161—61 «Технические указания на производство и приемку работ по устройству наружных трубопроводов водоснабжения и канализации»;

ТУ 9—51 «Технические условия и нормы проектирования. Трубопроводы стальные для гидроэлектрических станций»;

СН 195—61 «Инструкция по прокладке напорных трубопроводов внешних водопроводных сетей из асбестоцементных труб»;

СНиП II—А.12—69 «Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования»;

СН 55—59 «Нормы и технические условия проектирования бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений»;

СН 292—64 «Указания по проектированию железобетонных предварительно напряженных труб».

Основные технические условия проектирования напорных трубопроводов и их опор приведены в учебнике [69].

Стенки напорных трубопроводов могут быть стальными, асбестоцементными и железобетонными (сборными или монолитными). Класс капитальности узла сооружений насосной станции определяется на основании СНиП II—И. 1—62, в соответствии с чем и устанавливаются расчетные условия и нормы проектирования и строительства трубопроводов.

Материал, диаметр и число ниток напорных трубопроводов выбирают на основании технико-экономических расчетов, с учетом местных условий строительства, назначения и капитальности сооружения. Если трубопровод выполнен смешанным (на нижних участках с большим напором — стальным, а на верхних с меньшим напором — железобетонным или если напорный трубопровод имеет значительную длину и значительный напор, то следует в этих случаях его разбить на участки (в зависимости от материала труб и толщины стенок) и для каждого участка выбрать экономический диаметр с учетом усложнения производства работ. За расчетный напор на каждом участке трубопровода принимается гидростатический напор, отнесенный к оси трубопровода в самой нижней точке этого участка, плюс гидравлические сопротивления во всей вышерасположенной части трубопровода и плюс величина повышения напора при гидравлическом ударе.

В настоящее время в зависимости от величины внутреннего рабочего давления и диаметра трубопровода на основании данных практики и выполненных расчетов можно рекомендовать для меллиоративных насосных станций следующие приближенные пределы применения трубопроводов из различных материалов.

1. Асбестоцементные трубопроводы рекомендуется использовать при максимальном внутреннем рабочем давлении до 12 *ати*. При этом максимальный диаметр труб $D_y = 500$ *мм*. Однако ГОСТом разрешается при отсутствии железобетонных труб больших диаметров по требованию потребителя и согласованию с планирующими органами изготавливать по республиканским техническим условиям асбестоцементные трубы марок ВТЗ и ВТ6 с условным проходом 600, 700, 800, 900 и 1000 *мм* с цилиндрическими асбестоцементными муфтами под зачеканку.

2. Железобетонные монолитные трубопроводы, выполняемые на месте укладки, следует применять при диаметрах более 1,5 *м* и рабочем давлении до 4—5 *ати*.

3. Железобетонные сборные предварительно напряженные (без стального цилиндра) трубопроводы рекомендуются при диаметрах от 0,6 до 1,5 *м* и рабочем давлении до 10 *ати*. При рабочем давлении до 20 *ати* такие трубы уже применялись, но со стальным цилиндром. Есть данные об изготовлении таких труб на давление 30 *ати* и более. Диаметр и длина труб ограничиваются грузоподъемностью транспортных и укладочных средств.

4. Стальные трубопроводы практически могут быть изготовлены любого диаметра и на любое давление. Есть примеры выполненных трубопроводов на давление более 150 *ати*. Стальные трубы следует применять при диаметрах более 1,5 *м* и давлении более 10 *ати*.

В настоящее время накоплен опыт применения сборных железобетонных трубопроводов и монолитных, укладываемых на месте [7].

На канале Днепр—Кривой Рог были применены сборные железобетонные трубопроводы: 0,7 *км* с предварительным напряжением и 4,5 *км* без предварительного напряжения. Диаметр трубопроводов 2,8 *м*, давле-

ние 4,0 ат, длина звеньев труб 3 м, вес 18 т. Конструкция стыка этих труб и его уплотнения с трехкулачковой резиной показана на рисунке VII—13.

На Кубань-Калаусских гидроэлектростанциях применены сборные предварительно напряженные железобетонные трубопроводы диаметром 4 м, длиной звена 3 м и давлением (с учетом гидравлического удара) 8 ат; стык труб уплотнен трехкулачковой резиной.

Ширина траншей по дну принимается в соответствии с данными таблицы VII—1.

ТАБЛИЦА VII—1

Способ укладки трубопроводов	Ширина траншей, м
В виде плетей и отдельных секций независимо от диаметров D_n (наружный диаметр с учетом изоляции)	$D_n + 0,3$
Отдельными трубами диаметром D_n до 0,5 м	$D_n + 0,5$
Отдельными трубами диаметром D_n более 0,5 м	$D_n + 0,8$

При устройстве креплений следует указанную ширину траншей увеличивать: при глубине до 2 м для обычного крепления на 0,1 м, для шпунтового ограждения на 0,4 м; при глубине до 3 м для обычного крепления на 0,2 м, для шпунтового ограждения на 0,6 м; при глубине более 3 м на каждый метр заглубления добавлять к ширине траншеи 0,2 м.

Минимальная ширина должна соответствовать размерам режущей кромки рабочего органа землеройной машины, принятой и обоснованной в проекте расчетом.

Если подвоз материалов предусматривается по траншее для укладки трубопроводов, то ее размеры должны обеспечить это.

Траншеи должны быть вырыты без нарушения естественной структуры грунта в основании. Подчистку дна траншей до проектных отметок, а также приямки для стыковых соединений выполняют непосредственно перед укладкой трубопроводов.

Отвалы грунта следует, как правило, размещать с одной стороны траншеи, на расстоянии не менее 0,5 м от бровки. Траншеи должны быть защищены от затопления поверхностными водами. Для этого отвалы грунта размещают с нагорной стороны, а при необходимости выполняют планировку примыкающей территории, устраивают водоотводные и нагорные канавы, оградительные обвалования и др. При сыпучих и легких грунтах, слагающих траншею, отвалы располагают с подветренной стороны, чтобы избежать заноса ее легким грунтом из отвалов.

Фасонные части и задвижки устанавливают одновременно с укладкой труб, а предохранительные клапаны, вентузы и другую арматуру — после окончательного испытания трубопровода.

При установке фланцевых фасонных частей и задвижек нельзя создавать растягивающие напряжения в материале. Смежное с фланцем соединение (муфта, раструб, сварной стык) выполняют после равномерной и полной затяжки всех болтов на фланце. Материалом прокладок во фланцевых соединениях может быть паранит или фибра толщиной не более 3 мм и резина толщиной 3—5 мм. Фланцевые соединения не должны иметь перекосов. Устранение перекосов скошенными прокладками не допускается.

Фланцевые соединения для засыпаемых трубопроводов применять не рекомендуется, но, если их избежать нельзя, должна быть обеспечена антикоррозийная защита болтов. Перед укладкой трубы и фасонные части тщательно осматривают и отбраковывают, очищают от грязи и окалины.

Минимальную величину засыпки над верхом трубопровода принимают 0,8 м на участках земли, используемых для нужд сельского хозяй-

ства и для проезда автотранспорта, строительных и сельскохозяйственных машин, и 0,5 м на землях, не используемых для перечисленных целей.

При засыпке уложенных трубопроводов нельзя допускать нарушения прочности, плотности и положения их. Особо тщательному послойному трамбованию подвергается подсыпка под покрытиями шоссейных дорог. Присыпка асбестоцементных трубопроводов до окончательной механизированной засыпки выполняется на высоту 50 см над шельгой трубы. При засыпке трубопроводов, уложенных по склонам крутизной 20° и более, принимают меры против оползания грунта и размыва его ливневыми водами — устраивают глиняные и деревянные перемычки и др.

Подземные трубопроводы должны иметь противокоррозийную защиту от почвенной коррозии, которая должна соответствовать СН 161—61.

На основании проведенных полевых исследований и выявленной степени агрессивности грунтовых условий устанавливают тип противокоррозийной изоляции: нормальная, усиленная и весьма усиленная. Противокоррозийную изоляцию выполняют на основе битумных или полимерных материалов.

Типы изоляции, допуски на толщину изоляционного покрытия и условная толщина изоляционного покрытия в миллиметрах приведены в таблице VII—2.

ТАБЛИЦА VII—2

Тип изоляции	Нормальная		Усиленная		Весьма усиленная	
	толщина	допуск	толщина	допуск	толщина	допуск
Битумная с минеральным наполнителем	3,3	—0,3	6	—0,5	9	—0,5
Битумно-резиновая с бризолом и гидроизолом	—	—	5,5	—0,5	8,5	—0,5
Заводская битумная изоляция на стеклорогоже	2,5	—0,8	6	—0,5	9	—0,5
Пластмассовые ленты с учетом толщины клея	0,2—0,3	—	0,4—0,6	—	0,4—0,8	
Битумно-резиновая	3	—0,3	5,5	—0,5	—	—

Внутреннюю поверхность труб при агрессивности воды, наличии истирающих наносов и взвесей защищают соответствующими битумными покрытиями.

Для защиты надземных участков трубопроводов от коррозии применяют покрытия из атмосферостойких лакокрасочных материалов. Для металлических трубопроводов применяется защита от коррозии блуждающими токами, выполняемая по техническим условиям СН 83—60. В условиях мелиоративных насосных станций прибегать к такой защите металлических трубопроводов, как правило, не приходится, так как места укладки обычно удалены от источников возникновения блуждающих токов (трамвай, электрические железные дороги и др.).

Переход напорных трубопроводов от меньшего диаметра к большему рекомендуется осуществлять с помощью диффузора длиной $L=6\div7 (D_2-D_1)$, где D_2 и D_1 — величины внутренних диаметров сопрягаемых трубопроводов. Это соответствует центральному углу конусности 8—10°. Переход следует выполнять из металла или железобетона. Переход от большого диаметра к меньшему можно выполнять более коротким: $L=3\div4 (D_1-D_2)$.

Переходы напорных трубопроводов через водные преграды (реки, каналы и др.), прокладку их под автомобильными и железными дорогами, над землей и над водой выполняют в соответствии с техническими указа-

ниями СН 161—61, с учетом местных естественно исторических условий, конструкции и условий эксплуатации объектов, через которые их прокладывают. Трубопроводы подземной прокладки на указанных переходах рекомендуется укладывать с усиленной или с весьма усиленной антикоррозийной изоляцией. Проекты переходов (конструкция, сроки и методы производства работ) должны быть согласованы с организациями, ведущими эксплуатацию пересекаемых трубопроводами сооружений и водных преград. Необходимо учитывать наличие других подземных сооружений в местах переходов трубопроводов. Переходы шоссежных и железных дорог трубопроводами следует выполнять закрытым способом (проталкивание, горизонтальное бурение, штольневая проходка и др.), не допуская перерывов движения. Прокладку рекомендуется осуществлять в футлярах.

Напорные трубопроводы в соответствии с техническими указаниями СН 161—61 должны быть испытаны внутренним давлением на прочность и плотность. Подземные напорные трубопроводы, укладываемые в траншеях, испытывают два раза:

предварительно (на прочность) испытательным давлением на каждом участке до засыпки и установки арматуры;

окончательно (на плотность) после засыпки и окончания всех работ на данном участке трубопровода.

Предварительное испытание проводится после закрепления трубопровода подбивкой пазух и устройства упоров.

К началу испытаний все стыки (раструбные, муфтовые) и упоры (временные и постоянные) должны иметь достаточную прочность.

Плотность (герметичность) трубопроводов проверяют во время предварительного испытания путем осмотра трубопровода, находящегося под давлением. При окончательном испытании определяют утечки (при гидравлическом испытании) или величину падения давления (при пневматическом испытании). Стальные, чугунные и железобетонные трубопроводы можно испытывать гидравлическим и пневматическим способом. Асбестоцементные напорные трубопроводы испытывают только гидравлическим способом. Пневматическое испытание стальных трубопроводов проводится в соответствии с временной инструкцией СН 62—59, а железобетонных — с учетом требований, дополнительно разрабатываемых при составлении проекта.

Пневматический способ испытания железобетонных трубопроводов допускается при рабочих давлениях в них до 5 *ати*, при этом для предварительного испытания устанавливается испытательное давление 1,5 *ати*, а для окончательного — 6 *ати*.

Испытание трубопроводов проводят без предохранительных клапанов и вантузов; на места их установки во время испытания ставят заглушки. Использовать задвижки и затворы для отключения испытываемого участка трубопровода от действующего трубопровода не допускается; в этом случае необходимо устанавливать заглушки. Испытание напорных трубопроводов рекомендуется проводить участками длиной не более 1 км, при этом предназначенный к испытанию участок следует подвергать испытанию на всей длине, что контролируется показаниями манометров, устанавливаемых по концам испытываемого участка. За рабочее давление испытываемого участка принимается давление в самой пониженной его точке. Оно должно быть определено расчетами в проекте.

Испытательное давление принимается равным:

1) для стальных трубопроводов — рабочему давлению с коэффициентами 1,25, но не менее 10 *ати*; оно должно превышать рабочее давление не менее чем на 5 *ати*;

2) для чугунных трубопроводов — рабочему давлению плюс 5 *ати*;

3) для асбестоцементных трубопроводов при рабочем давлении более 6 *ати* — рабочему давлению плюс 3 *ати*, а при рабочем давлении менее 6 *ати* — рабочему давлению с коэффициентом 1,5;

4) для железобетонных трубопроводов — рабочему давлению плюс 3 *ати*;

5) для подводных трубопроводов — двойному рабочему давлению, но не менее 12 *ати*.

Для испытаний напорных трубопроводов применяют пружинные манометры класса точности 1,5 с диаметром корпуса не менее 150 мм и шкалой на номинальное давление, составляющее $\frac{4}{3}$ измеряемого. Манометры должны быть проверены и опломбированы.

При предварительном испытании трубопровод под испытательным давлением находится не менее 10 мин, потом давление снижается до величины рабочего, и трубопровод осматривают. В этом случае для поддержания испытательного и рабочего давлений допускается подкачка воды. Считается, что трубопровод выдержал предварительное испытание, если не произошло разрыва труб и нарушения стыков, а при рабочем давлении не обнаружено утечек воды. Окончательное испытание проводится не ранее чем через 24 часа после засыпки трубопровода и заполнения его водой. Железобетонные трубопроводы диаметром от 0,6 до 1 м испытывают не ранее чем через 48 часов, а диаметром от 1,1 до 1,5 м — не ранее чем через 72 часа после засыпки.

Утечка воды при окончательном гидравлическом испытании напорного трубопровода не должна превышать величин, приведенных в таблице VII—3.

ТАБЛИЦА VII—3

Внутренний диаметр трубопровода, мм	Допустимая утечка на весь участок длиной 1 км и более, л/мин			
	при испытательном давлении			при рабочем давлении
	стальные трубы	чугунные трубы	асбестоцементные трубы	железобетонные трубы
100	0,28	0,7	1,4	—
500	1,1	2,2	3,14	3,2
1000	1,5	3,0	4,42	4,4
1400	1,75	—	—	5,0
1500	—	—	—	5,2

Если длина испытательного участка меньше 1 км, то величина допустимой утечки соответственно уменьшается. Трубопровод считается выдержавшим гидравлическое испытание, если при испытательном давлении не было обнаружено нарушений его целостности, а при рабочем давлении не обнаружено утечек воды. О проведении испытаний составляют акты по установленной форме.

§ 2. СТАЛЬНЫЕ НАПОРНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Стальные трубопроводы, укладываемые открыто, проектируют в соответствии с ТУ 9—51. При проектировании трубопроводов, укладываемых в траншеи с засыпкой, можно пользоваться методикой, изложенной в нормах и технических условиях проектного института «Теплоэлектропроект» (Москва, 1960 г.).

Оболочку трубопровода рассчитывают на устойчивость, прочность и жесткость. Если толщина заводской трубы недостаточна, ее усиливают кольцами жесткости, которые рассчитывают на устойчивость и прочность. Увеличение толщины оболочки выпускаемых заводами труб не

рекомендуется и должно быть обосновано. Проверку устойчивости оболочки труб внутренним диаметром 0,5 м и менее при глубине засыпки до 3 м не выполняют.

Поворот оси трассы можно осуществить переходными вставками с углами излома до $15\text{--}22,5^\circ$ таким образом, чтобы ось трубы вписывалась в кривую с радиусом не менее $2D_y$. Шаг колец жесткости на поворотах и переходах рекомендуется уменьшать на 15% по сравнению с шагом их на прямых участках трубопровода. Кольца жесткости можно изготовлять из угловой, тавровой и швеллерной прокатной стали. Овальность труб не должна превышать величины $0,01 D_y$, а в торцах монтажных звеньев — $0,005 D_y$. В стыках расхождение кромок не должно превышать одной четверти толщины стенок соединяемых труб ($0,25 \delta$). Сварные фасонные части (тройники, штаны-развилки и др.) рекомендуется усиливать тягами, полукольцами, кольцами. Увеличение толщины стенок фасонных частей должно быть обосновано расчетом. Наиболее распространенным соединением трубопроводов является сварка их. Поперечные и продольные сварные швы выполняют встык. Фланцевые соединения применяют только в примыканиях трубопроводов к оборудованию или при установке на трубопроводах затворов, сальников и др. Клепанные швы применяют редко. Оболочку, кольца жесткости и другие расчетные элементы трубопровода сваривают электродами, обеспечивающими одинаковый предел текучести и относительное удлинение сварных швов и основного материала. Для изготовления оболочки труб, колец жесткости и других расчетных элементов применяют углеродистую сталь марки М16С (ГОСТ 6713—53), рекомендуемую для сварных конструкций. При соответствующем обосновании можно применять специальные низколегированные стали. Способ и объем контроля сварочных работ устанавливают в зависимости от класса сооружения и способов сварки.

Трубопроводы рекомендуются засыпать на высоту $0,75 D_n$ от подошвы сыпучим грунтом с послойным уплотнением. Уплотнение бульдозерами допускается на ту же высоту в нижней половине пазух при одинаковой засыпке с двух сторон трубопровода и обязательном чередовании работы бульдозера с той и другой стороны его. Для засыпки трубопроводов (пазух, промежутков) нельзя использовать мерзлый грунт, тяжелые глины, илистые грунты, торф и суглинки в виде комьев.

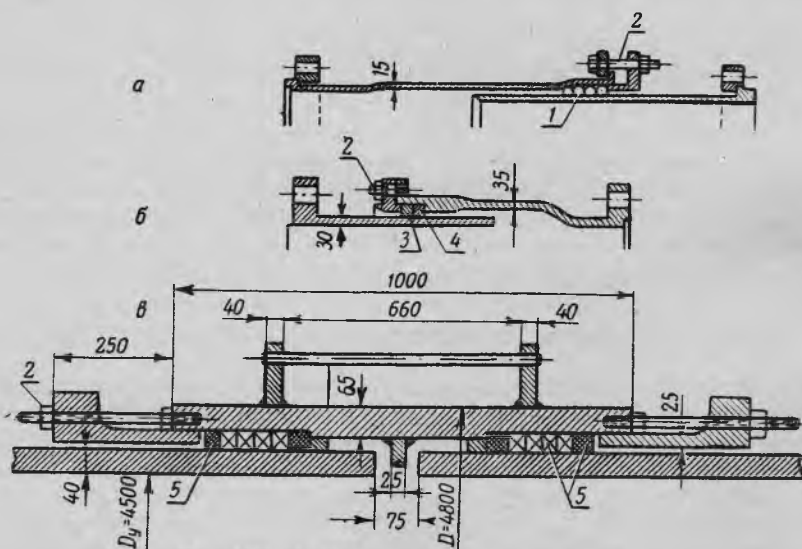


Рис. VII—1. Сальниковые компенсаторы:

a — при толщине стенки трубы $\delta < 15$ мм; *б* — при $\delta \geq 15$ мм; *в* — при $\delta \approx 35\text{--}40$ мм;
1 — пенка с резиновым ядром; 2 — болт для затяжки набивки; 3 — кожа; 4 — бронза; 5 — пенковая или резиновая набивка.

Рассмотрим в дополнение к учебнику [69] отдельные конструктивные элементы стальных трубопроводов.

На рисунке VII—1 приведены различные конструкции сальниковых компенсаторов. Компенсаторы обеспечивают возможность продольных и поперечных перемещений трубопроводов в результате ожидаемых деформаций, размеры которых определяют расчетами. При малых напорах и больших диаметрах трубопроводов применяют тарельчатые и линзообразные, а при больших напорах — сальниковые компенсаторы. Уплотнение сальниковых компенсаторов является ответственной деталью и выполняется из резины, просмоленной пеньки, пенькового шнура с резиновой сердцевинкой и асбеста. Уплотняющий материал рекомендуется пропитывать животным жиром с графитным порошком. При больших напорах, кроме перечисленных набивок, применяют дополнительно уплотняющие кольца из свинца или уплотнения в виде кожаных манжет с бронзой.

Анкерные и промежуточные опоры выполняют из бетона или железобетона. Опоры обычно изготовляют из бетона марки 100.

При укладке стальных трубопроводов выше поверхности земли их можно располагать на эстакадах, выполняемых из типовых сборных железобетонных элементов.

Соединительные трубопроводы плавучих насосных станций следует выполнять только стальными, однопролетными с шаровыми шарнирами. Конструкция шарового шарнира приведена на рисунке 283 учебника [69]. Пролет соединительного трубопровода (расстояние между центрами шаровых шарниров) зависит от величины допускаемого усилия, которое можно передать на борт понтона насосной станции, и прочности оболочки трубы. Оболочку трубы при необходимости усиливают ребрами жесткости.

Соединительные трубопроводы и их детали, а также береговые опоры должны быть рассчитаны с учетом усилий от действия веса трубы и заполняющей его воды, силы ветра и навала понтона, частичного заклинивания шарнира, временных и постоянных нагрузок (служебный мост и др.), гидродинамического давления.

Есть примеры соединительных трубопроводов с шаровыми шарнирами для значительных диаметров трубопроводов, например 1000 мм (рис. VII—15 и VII—16). Гидравлическое уплотнение в шарнирах аналогично уплотнению в сальниках. В последнее время все реже применяют соединительные трубопроводы, состоящие из нескольких звеньев трубопроводов, расположенных на понтонах и соединенных между собой гибкими резиновыми шлангами, армированными стальной проволокой.

Экономический диаметр соединительного трубопровода рекомендуется определять, как для сложного короткого трубопровода, не на один погонный метр, а на всю длину его. Расчетный расход $q_{p,т}$ выбирают в зависимости от схемы соединения трубопроводов.

§ 3. ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ НАПОРНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Монолитные железобетонные напорные трубопроводы проектируют в соответствии с нормами и техническими условиями СН 55—59.

Предварительно напряженные железобетонные трубопроводы проектируют в соответствии с указаниями СН 292—64.

Стенки железобетонных трубопроводов рассчитывают на трещиностойкость и на прочность. Прочность стенок трубопроводов должна быть проверена без учета внутреннего давления. Расчет на трещиностойкость для трубопроводов считается основным.

Монолитные напорные железобетонные трубопроводы, набиваемые на месте укладки, выполняют при толщине стенки до 7 см с одиночной арматурой, располагаемой в середине оболочки трубы, а при толщине

оболочки трубы 8 см и более — с двойной арматурой, располагаемой у наружной и внутренней граней оболочки. На рисунке VII—2 показан железобетонный монолитный напорный трубопровод постелистого типа, то есть имеющий основание в виде горизонтальной плоскости шириной, равной наружному диаметру трубопровода. В зависимости от характера грунта ширина основания может быть и меньшей, равной внутреннему диаметру. При значительных диаметрах монолитных трубопроводов (1,2—1,5 м) рекомендуется основание постелистого типа. В основании монолитного трубопровода укладывают подготовку из тощего бетона (марка 50) толщиной 0,1—0,15 м. Сечение оболочки и рабочей арматуры определяется расчетом. Диаметр стержней кольцевой арматуры принимается 6 мм и более. Шаг кольцевой арматуры должен быть не более

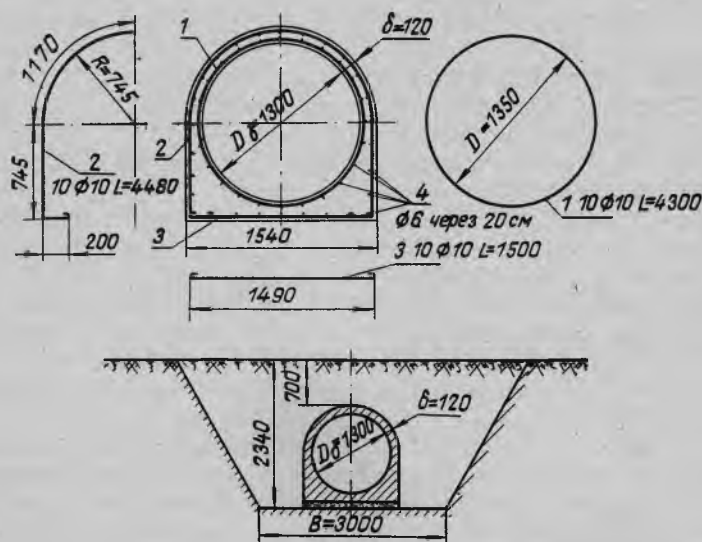


Рис. VII—2. Монолитный железобетонный трубопровод и его укладка в траншее по подготовке из тощего бетона слоем 10 см (размеры в мм).

1,5 толщины оболочки трубопровода ($1,5 \delta$), но и не более 17 см, то есть рекомендуется укладывать не менее шести стержней на 1 пог. м трубопровода. Следует помнить, что частое расположение арматуры более мелкого сечения имеет преимущества. Но очень частое ($< 9-10$ см) расположение арматуры может затруднить производство бетонных работ.

Продольную арматуру принимают сечением около 0,6 диаметра кольцевой арматуры и располагают внутри нее. Расстояние между продольными стержнями рекомендуется принимать в пределах 15—20 см. Толщина оболочки, марка бетона и количество арматуры должны быть обоснованы технико-экономическим расчетом с учетом назначения и условий работы трубопровода.

Толщину оболочки трубопровода можно приближенно определить из соотношения

$$\delta = 3,5 + 0,06(D_y - 15) \text{ см,}$$

где D_y — внутренний диаметр трубопровода, см.

При расчете трубопроводов на растяжение учитывается и работа бетона на растяжение. Монолитные трубопроводы рекомендуется изготавливать из бетона марок БГТ-200-500 водонепроницаемостью не ниже В-4. Морозостойкость устанавливается по местным условиям. Щебень для приготовления бетона не следует принимать крупнее $\frac{1}{5}$ толщины

оболочки трубы. Нельзя допускать перерыва в бетонировании, если кольцо трубопровода не сомкнуто, так как могут получиться поверхности раздела в бетонной кладке, нормальные к действующим по окружности силам.

При прокладке железобетонных трубопроводов в агрессивных грунтовых условиях особое внимание нужно обращать на свойство применяемых цементов и устройство соответствующей изоляции. В этом случае применяют цементы, устойчивые к данному виду агрессивности. Бетоны должны быть повышенной плотности.

Для изготовления арматуры в монолитных трубопроводах применяют сталь горячекатаную и периодического профиля марок Ст-3 и Ст-5, с пределом текучести не ниже 2500 кг/см^2 . Защитный слой должен быть не менее 3 см. Практически не следует применять трубопроводы с количеством кольцевой арматуры менее 0,3—0,5%. Монолитные трубопроводы армируют сварными каркасами. Рабочую кольцевую арматуру диаметром до 10 мм изготавливают в виде спирали, а при диаметрах арма-

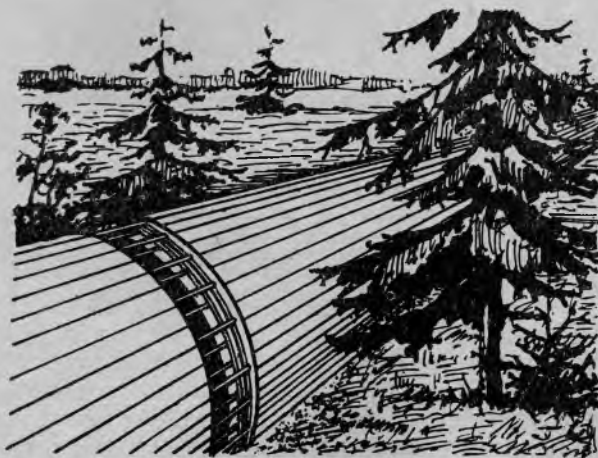


Рис. VII—3. Температурно-усадочный шов на монолитном железобетонном трубопроводе.

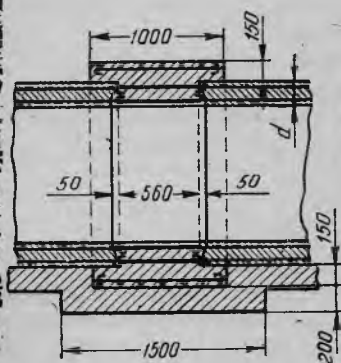


Рис. VII—4. Конструкция муфты — заделки железобетонного монолитного трубопровода.

туры более 10 мм — в виде отдельных колец. Внешний и внутренний каркасы рекомендуется сваривать в общий каркас; это можно выполнять в зависимости от размеров трубопровода в арматурной мастерской или на месте укладки. При необходимости арматурные каркасы проверяют на нагрузки, связанные с производством работ (транспорт материалов и др.).

При укладке монолитных трубопроводов устраивают температурно-усадочные, а где необходимо, и осадочные швы. Расстояние между температурно-усадочными швами определяется расчетом. В практике обычно эти расстояния принимаются в пределах 25—50 м.

На рисунке VII—3 показан температурно-усадочный шов на монолитном железобетонном трубопроводе. Замыкание трубопровода осуществляется при минимальной температуре, которая возможна при эксплуатации. Монолитная неподвижная заделка такого шва (типа муфты), выполняемая на месте при малых колебаниях температуры, показана на рисунке VII—4.

При значительных колебаниях температуры эти швы могут быть заделаны так, как показано на рисунках VII—6 и VII—23, или устроены V-образные компенсаторы и др. В этих случаях, а также при значительном влиянии усадки длина непрерывно бетонируемых участков трубо-

проводов иногда уменьшается (рис. VII—5). Для этого случая может быть также применено муфтовое соединение, показанное на рисунке VII—6.

Монолитные железобетонные трубопроводы диаметром 2,5—2,8 м, общей длиной 15 км, со стыками через 20 м уложены на канале Северный Донец — Донбасс. Стыки секций выполнены с уплотнением трехкулачковой резиной. Максимальное давление в трубопроводах 5 атм. Трубопровод армирован армоблоками, состоящими из двух плоских арматурных каркасов.

Для снижения величин действующих усилий (изгибающих моментов) при расчете напорных железобетонных трубопроводов применяются различные способы, дающие значительный экономический эффект.

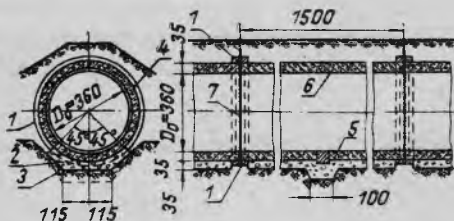


Рис. VII—5. Железобетонный трубопровод:

1 — муфта; 2 — бетонная постель; 3 — дренаж; 4 — окраска гудроном; 5 — слой асфальтового картона; 6 — штукатурка; 7 — шов (размеры в мм).

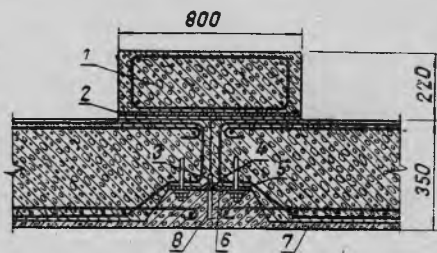


Рис. VII—6. Соединительная муфта железобетонного трубопровода:

1 — муфта; 2 — два слоя асфальтового картона; 3 — просмоленная веревка; 4 — пенковая веревка; 5 — один слой асфальтового картона; 6 — медный лист толщиной 1 мм; 7 — торкрет; 8 — свинец.

Так, на Сенгелевской ГЭС применены напорные железобетонные трубопроводы не круглого, а овоидального сечения ($D \sim 4,6$ м, $L \approx 1$ км). На канале Северный Донец — Донбасс в напорных трубопроводах армоблоки (которыми они армированы) до бетонирования подвергались обжатию (стягиванию) в диаметральном направлении специальными стяжными устройствами. Это предварительное напряжение создает в стенке трубопровода усилия, обратные изгибающим моментам от действия засыпки, собственного веса и веса воды в трубе. После бетонирования и достижения бетоном необходимой прочности натяжные устройства удалялись.

Есть случаи устройства непрерывно бетонируемых (без швов) трубопроводов. Это допускается при малых колебаниях температуры, соответствующих цементах (безусадочные, с малым тепловыделением при твердении), хороших геологических условиях и хорошем качестве выполнения работ.

При ожидаемых осадках трубопровода применяют швы типа, показанного на рисунке VII—27, а также муфтового типа с зачеканкой мягкими уплотняющими материалами или резиновым уплотнением. При значительной величине ожидаемых осадок расстояния между швами уменьшают и применяют конструкции швов, допускающие большие повороты, или переходят на сборные или металлические трубопроводы.

Круглые железобетонные трубопроводы долговечнее (выше коррозионная стойкость) и экономичнее металлических. Еще эффективнее предварительно напряженные трубопроводы. Они на 25—45% дешевле металлических и требуют для изготовления на 55—62% меньше металла.

В таблице VII—4 для сравнения приведены технико-экономические показатели по сборным предварительно напряженным железобетонным трубопроводам с тонкостенным стальным цилиндром и металлическим трубопроводом (по данным треста «Закавказметаллургстрой»).

Внутренний диаметр трубопровода, м	Стоимость укладки 1 пог. м трубопровода, руб.		Снижение стоимости укладки железобетонного трубопровода в сравнении с металлическим	Расход металла на 1 пог. м трубопровода, кг		Экономия металла в железобетонном трубопроводе в сравнении с металлическим
	железобетонного	стального		железобетонного	металлического	

При напоре 6 атм

0,90	23,8	45,7	В 1,9 раза	42,8	224	В 5,3 раза
1,50	54,8	80,5	В 1,47 раза	110	519	В 4,7 раза

При напоре 10 атм

0,90	25,4	45,7	В 1,8 раза	50,2	268	В 5,3 раза
1,50	61,0	80,5	В 1,32 раза	130	519	В 4 раза

Технико-экономические характеристики сборных железобетонных трубопроводов Кубань-Калаусских ГЭС, изготовляющихся на полигонах, близки к приведенным. Расчетами доказано, что если количество укладываемых труб незначительно (менее 1000 пог. м), то создавать базу (полигон) для изготовления сборных труб экономически невыгодно. В этом случае можно применять монолитные железобетонные трубы, а иногда и металлические.

Напорный монолитный железобетонный трубопровод Сengelеевской ГЭС (с 1952 г.) и железобетонные монолитные трубопроводы канала Северный Донец — Донбасс (с 1958÷1961 гг.) за весь период работы не вызвали никаких эксплуатационных затрат.

Из дренажных систем,строенных в основании, нет выходов воды, это свидетельствует о хорошем состоянии трубопроводов.

Металлический трубопровод требует регулирования компенсаторов, опорных конструкций, восстановления антикоррозийных покрытий и даже нанесения теплоизоляции, то есть эксплуатационные затраты по нему больше, чем по железобетонному, а в имеющихся нормах это не отражено и в сравнительных расчетах не учитывается.

Предварительно напряженные железобетонные трубы для условий мелиоративных насосных станций практически могут охватить все необходимые напоры.

Предварительно напряженные железобетонные напорные трубопроводы по конструкции могут быть разделены на две группы:

а) с предварительно напряженной спиральной и продольной арматурой, без стального цилиндра, изготовляемые методом вибрирования, центрифугирования или вибропрессования. Эти трубопроводы применяют на давление 10 атм и более;

б) со стальным цилиндром (для обеспечения водонепроницаемости) и предварительно напряженной спиральной арматурой, изготовляемые методом вибрирования или центрифугирования. Напоры для этих трубопроводов могут быть 10—15 атм и более.

Конструкции этих типов трубопроводов представлены на рисунке VII—7. Сердечник изготавливается из бетона марки БГТ 300—500. Наиболее употребителен при напорах до 10 атм бетон марок 300 и 400. Защитный слой выполняется из цементного раствора тех же марок, что и бетонный сердечник, изготовляемый на расширяющемся цементе (ВРЦ), и наносится слоем 1—2 см.

Вначале изготавливается бетонный сердечник или бетонный сердечник с металлическим цилиндром с наружной стороны в специальных формах. В первом случае бетонный сердечник армируется продольной

предварительно напряженной арматурой. После того как бетон сердечника достигнет 70% расчетной прочности, на него навивают напряженную спираль из высокопрочной проволоки и при помощи торкрет-машины наносят защитный слой. Толщину сердечника принимают в пределах $(0,1 \div 0,07) D_y$, причем первое значение для труб малого диаметра ($\sim 0,5$ м), а второе — для таких же труб большего диаметра ($\sim 2,5$ м). В качестве арматуры для предварительно напряженных труб следует принимать: для спиральной рабочей арматуры стальную проволоку углеродистую холоднотянутую диаметром 2,5—8 мм, а для продольной — стальную проволоку холоднотянутую высокопроч-

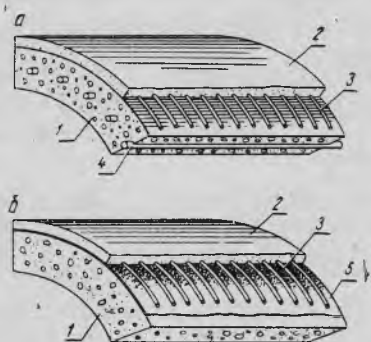


Рис. VII—7. Конструкции железобетонных предварительно напряженных напорных трубопроводов:

а — со спиральной и продольной предварительно напряженной арматурой; б — с тонкостенным металлическим цилиндром; 1 — бетонный сердечник; 2 — защитный слой; 3 — спиральная напряженная арматура; 4 — продольная напряженная арматура; 5 — стальной цилиндр.

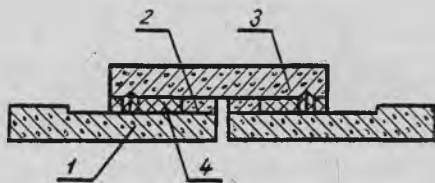


Рис. VII—8. Жесткий стык сборного железобетонного напорного трубопровода:

1 — напряженно-армированная железобетонная труба; 2 — пропитанная пенкой прядь; 3 — напряженно-армированная железобетонная муфта; 4 — цементный раствор.

ную периодического профиля. Арматуру следует выбирать на основании технико-экономического расчета, так как стоимость проволоки возрастает с увеличением ее прочности. Стальные цилиндры можно изготовлять из тонколистовой стали марки Ст-3 толщиной 0,8—6 мм, а соединительные обечайки (обрамление раструбов) — из листовой стали марок Ст-0 и Ст-3 толщиной 4—6 мм.

Значительный интерес представляют ведущиеся разработки по изготовлению трубопроводов из напрягающего цемента, который, создавая расширение бетона, обеспечивает натяжение арматуры (спиральной и продольной), то есть без соответствующих механизмов достигается необходимое напряженное состояние в стенках труб. Это упростит изготовление трубопроводов и снизит их стоимость.

Стыки сборных железобетонных трубопроводов являются одним из слабых мест их, особенно это касается гибких и подвижных стыков. Предложено очень много конструкций стыков, но все же самым совершенным стыком в настоящее время является гибкий стык с применением резинового уплотнения. Резиновые кольца (из каучука) при хорошей защите их служат несколько десятков лет. Существуют два основных типа стыка: жесткий и гибкий. Жесткий стык, показанный на рисунке VII—8, требует хорошего естественного основания или устройства бетонного, что повышает стоимость трубопровода. Жесткие стыки плохо воспринимают температурные деформации.

Гибкие стыки, представленные на рисунке VII—9, не обладают указанными недостатками и для сборных железобетонных труб являются более удачными. Они аналогичны стыкам, применяемым для металлических (в основном чугунных) труб.

В стыке, показанном на рисунке VII—9, а, трубы имеют металлическое обрамление концов. Уплотнение достигается резиновыми кольцами. Такое обрамление усложняет изготовление труб, поэтому его иногда не

устанавливают, а обеспечивают гладкость и правильность цилиндрической формы бетонной поверхности концов труб. Значительным недостатком этого стыка является соприкосновение после засыпки трубопровода металлических деталей с землей и необходимость тщательного антикоррозионного их покрытия.

На рисунке VII—9, б приведен стык, разработанный НИИЖБ, с гофрированной муфтой с антикоррозионным покрытием.

На рисунке VII—10 показан раструбный стык, разработанный Институтом ВОДГЕО, с резиновым уплотнением. Некоторое изменение этого стыка предложено НИИЖБ для труб без стального цилиндра, в котором гладкий конец трубы не имеет металлического обрамления, а металлическое обрамление имеет только внутренняя поверхность раструба. Это сделано для упрощения изготовления труб.

На рисунке VII—11 представлен муфтовый стык сборного железобетонного предварительно напряженного трубопровода диаметром 1 м, применяемый в ГДР. Уплотнением служат резиновые кольца. Муфта чугунная. Поверхности гладких концов трубы и внутренняя поверхность муфты должны быть гладкими.

На рисунке VII—12 показан муфтовый стык сборного предварительно напряженного железобетонного трубопровода со стальным, разработанный ЛОТЭП (Ленинградским отделением института «Теплоэлектропроект»), с использованием конструкции стыка, приведенного

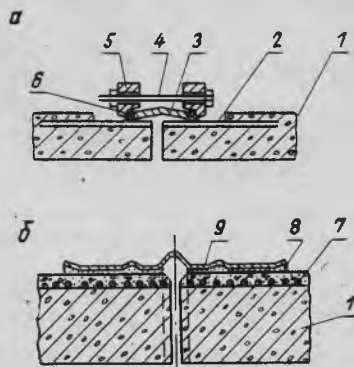


Рис. VII—9. Гибкие стыки напорных трубопроводов:

а — гибкий фланцевый с резиновым уплотнением; б — гибкий с гофрированной стальной муфтой; 1 — сборная железобетонная труба с гладкими концами; 2 — обечайка гладкого конца; 3 — распорное стальное кольцо; 4 — стяжной болт; 5 — фасонный фланец; 6 — уплотнение; 7 — спиральная арматура; 8 — уплотнение прядью с зачеканкой цементным раствором и др.; 9 — стальная гофрированная муфта.

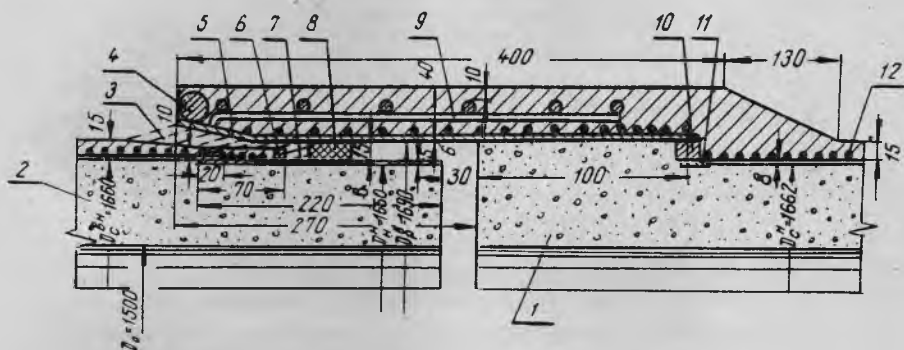


Рис. VII—10. Гибкий раструбный стык сборных железобетонных трубопроводов конструкции ВОДГЕО:

1 — раструбная часть напряженно-армированной трубы; 2 — гладкий конец напряженно-армированной трубы; 3 — цементный раствор; 4 — кольцо жесткости; 5 — раструбная обечайка из стального листа; 6 — замок; 7 — гладкая обечайка; 8 — резиновое кольцо; 9 — сетка; 10 — переходное кольцо; 11 — подкладное кольцо; 12 — спиральная арматура.

на предыдущем рисунке. В обоих случаях гладкие концы железобетонного трубопровода не имеют стальных обечаек.

Институтом «Гидропроект» разработан стык для сборных и монолитных железобетонных трубопроводов больших диаметров с применением уплотнения из специальной фасонной трехкулачковой резины,

который может быть, согласно имеющемуся опыту и проведенным испытаниям, применен для давления до 10 ат. Конструкция этого стыка показана на рисунке VII—13, где приведен чертеж предварительно напряженной железобетонной трубы с внутренним диаметром 4 м и длиной 3 м.

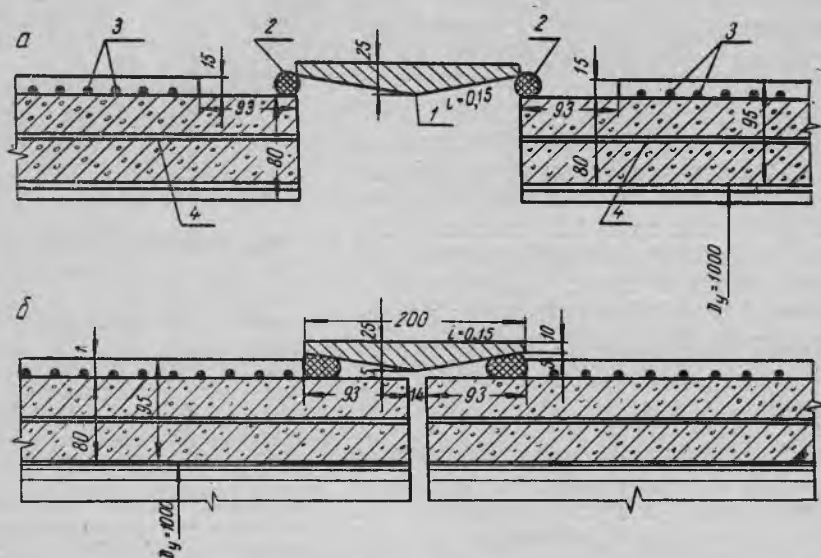


Рис. VII—11. Муфтовый стык сборных предварительно напряженных железобетонных трубопроводов:

а — до монтажа; б — после монтажа; 1 — чугунная муфта; 2 — резиновое кольцо; 3 — предварительно напряженная спиральная арматура; 4 — продольная напряженная арматура (размеры в мм).

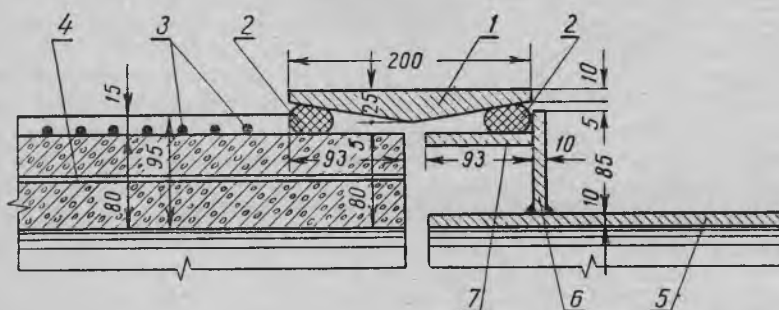


Рис. VII—12. Муфтовый стык соединения предварительно напряженного железобетонного и стального трубопроводов:

1 — чугунная муфта; 2 — резиновое кольцо; 3 — предварительно напряженная спиральная арматура; 4 — предварительно напряженная продольная арматура; 5 — стальной трубопровод $D_y=1000$ мм; $\delta=10$ мм; 6 — стальное ребро $\delta=10$ мм; 7 — стальное кольцо $\delta=10$ мм (размеры в мм).

Согласно Временным техническим условиям на напорные железобетонные предварительно напряженные трубы и муфты к ним (ТУ 67—51 МСПТИ), в отечественной практике предварительно напряженные трубы без стального цилиндра приняты диаметром от 300 до 1500 мм, длиной 5 м для рабочих напоров 6, 8 и 10 ат. Поворот трубы в гибком раструбном стыке допускается до $1,5^\circ$, а взаимно продольное смещение — до 5 мм.

Опытное производство предварительно напряженных труб со стальным цилиндром было осуществлено в тресте «Закавказьметаллург».

строй» по проекту, разработанному проектным институтом «Водока-
налпроект» (ТЧ77—57 МСПМ и ХП). На рисунке VII—14 приведена
конструкция такой трубы диаметром 1000 мм для напора 10 атм. Гиб-
кие раструбные стыки этих труб допускают поворот в стыке до 3°. Гиб-
кие раструбные стыки этих труб допускают поворот в стыке до 3°. Гиб-
кие раструбные стыки этих труб допускают поворот в стыке до 3°. Применение стального цилиндра хорошо решает вопрос водонепрони-
цаемости труб, но вызывает перерасход металла и удорожает их.

Для получения бетонов с хорошими по водонепроницаемости пока-
зателями необходимо применять соответствующие цементы (быстро-
твердеющие, безусадочные, расширяющиеся и др.) с различными до-
бавками: пластифицирующие добавки (улучшающие удобоукладывае-

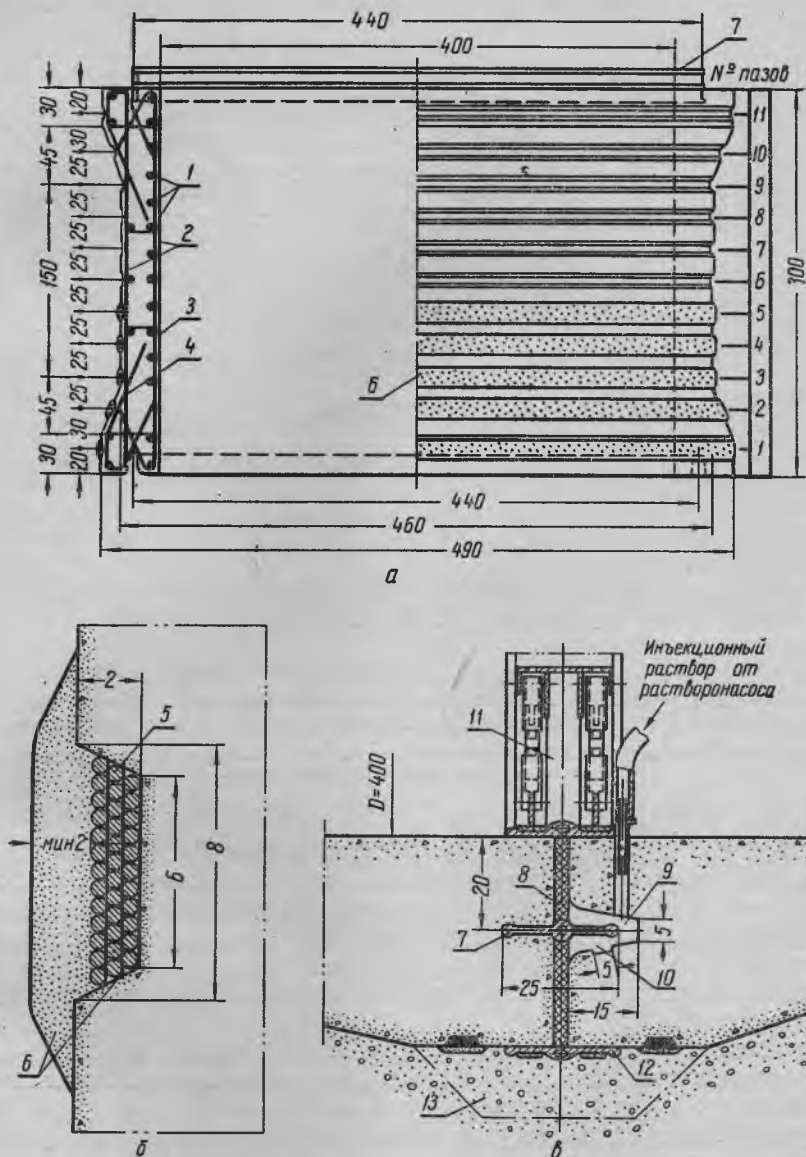


Рис. VII—13. Звено и стык труб Кубань-Калаусских ГЭС:

а — звено трубы; *б* — пучок напрягаемой арматуры; *в* — стык труб; 1 — кольцевая арматура диаметром 14 мм; 2 — арматурный каркас; 3 — осевая арматура диаметром 16 мм; 4 — то же, диаметром 12 мм; 5 — высокопрочная проволока диаметром 5 мм (навивается на трубу с натяжением 2200 кг); 6 — защитный цементно-песчаный раствор; 7 — трехлапчатая резиновая шпонка; 8 — битумный мат; 9 — инъекционный цементно-песчаный раствор состава 1:2; 10 — анкерный паз (образуется резиновым кольцом, натянутым на пазообразователь поддона); 11 — инвентарное приспособление для уплотнения внутренней части паза в период инъекции стыка; 12 — то же, для уплотнения наружной части паза; 13 — траншея в основании трубопровода (засыпается после инъекции стыка),

мость бетонной смеси и уменьшающие водоцементное отношение), добавки, реагирующие с минералами, входящими в состав цемента, и стимулирующие увеличение цементного камня при твердении, тонкомолотые добавки (уменьшающие объем пор и уплотняющие цементный камень), добавки ускорителей твердения (содействуют гидратации и улучшению структуры цементного камня), добавки эмульсий, нерастворимых в воде (заполняют поры и создают их несмачиваемость), и др.

Очень хорошие результаты по водонепроницаемости бетонов были получены с добавками различных солей (хлористого кальция, хлористого натрия) в сочетании с добавкой мелкозернистого песка. Хорошие

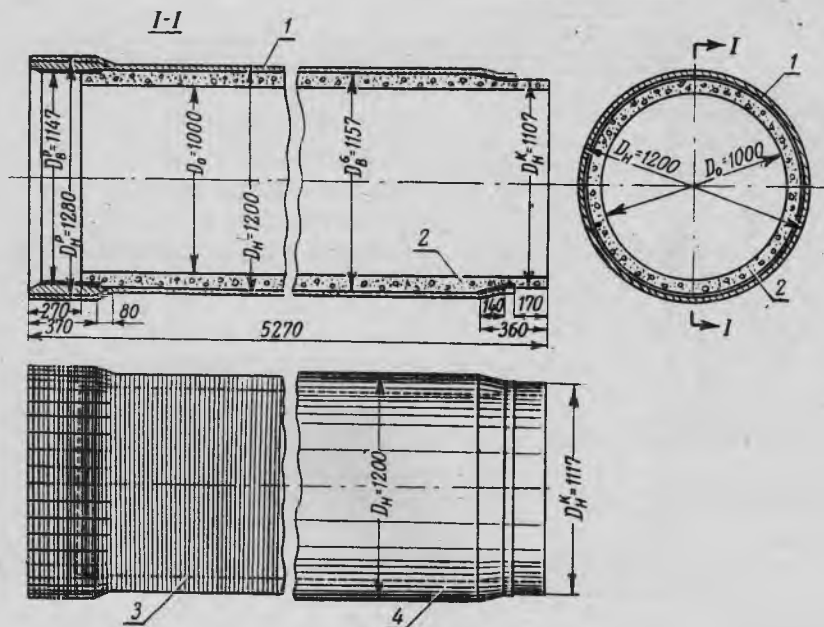


Рис. VII—14. Напряженно-армированная железобетонная труба диаметром 1 м со стальным цилиндром конструкции Водоканалпроекта для напора 10 атм:

1 — цементный раствор марки 300; 2 — бетон марки 300; 3 — внешний вид сердечника; 4 — внешний вид трубы (размеры в мм).

результаты по водонепроницаемости бетонов были получены при пропитке их водостойкими материалами из различных искусственных смол, а также при обработке кремнисто-органическими составами. Есть сведения о получении высоких показателей водонепроницаемости бетонов при большом расходе высокоактивного цемента.

Особо жирные растворы могут давать большие усадки и могут дать обратные результаты.

В настоящее время ведутся работы по применению цементно-песчаных мелкозернистых бетонов, которые при заводском изготовлении тонкостенных труб могут получить практическое значение.

Важное значение имеет уплотнение бетонной массы при укладке ее в формы. Лучшим способом уплотнения следует считать вибрирование.

Поворот оси железобетонных трубопроводов под углом более $3 \div 5^\circ$ и $R \sim 2 D_y$ (резкий поворот) в монолитных и сборных трубопроводах, как и в металлических трубопроводах, осуществляется с помощью анкерных опор. Для монолитных трубопроводов это представляет собой местное увеличение размеров оболочки. В сборных трубопроводах поворот осуществляется непосредственно в анкерной опоре, а сборные трубы

могут быть заделаны в опору. При слабых и просадочных грунтах при-
мыкание трубопроводов к опоре в зависимости от принятой конструкции
трубопровода и местных условий устраивают нежесткое, допускающее
некоторое взаимное перемещение деталей трубопровода.

§ 4. АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫЕ НАПОРНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Конструкции, условия применения и укладка асбестоцементных
труб даны в учебнике [69].

§ 5. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИЙ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Пример 1. Напорный трубопровод крупной оросительной
плавучей насосной станции (проект разработан Гипроводхозом). На насос-
ной станции установлено семь насосов производительностью до $1,9 \text{ м}^3/\text{сек}$ и напором
около 60 м каждый. Станция передает воду на берег по семи отдельным шарнирным
соединительным трубопроводам. На берегу семь соединительных трубопроводов объеди-
няются в две нитки стальных трубопроводов, переходящих потом в железобетонные,
заканчивающиеся железобетонным прямоотным водовыпуском сифонного типа.

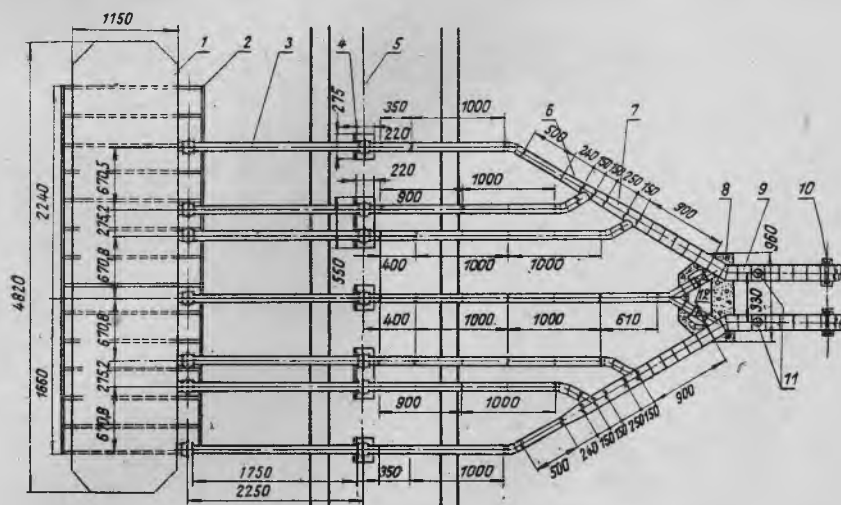


Рис. VII—15. План берегового узла соединений напорных трубопроводов плавучей на-
сосной станции:

1 — понтон; 2 — стапель; 3 — соединительный трубопровод $\varnothing 1000 \text{ мм}$; 4 — анкерная опора бере-
говых шаровых шарниров; 5 — ось этой опоры; 6 — переход $1000 \times 1400 \text{ мм}$; 7 — переход $1400 \times 1700 \text{ мм}$;
8 — анкерная опора № 1; 9 — стальной трубопровод $\varnothing 1700 \text{ мм}$; 10 — промежуточная подвижная опо-
ра № 1; 11 — лазы; 12 — задвижка $D_y = 1000 \text{ мм}$.

Внутренние диаметры трубопроводов: соединительных — 1000 мм, стальных —
1700, железобетонных — 2000 мм. Общая длина трассы трубопроводов от насосной
станции до водовыпуска около 1000 м.

На рисунке VII—15 показан план берегового узла соединений напорных трубо-
проводов этой станции. Рабочее давление в соединительных трубопроводах около
6 ат, а расчетное — до 9 ат. Толщина оболочки соединительных трубопроводов
9 мм. Пролет их, считая в осях шаровых шарниров, 22,5 м. Для увеличения жестко-
сти и уменьшения прогибов соединительные трубопроводы усилены продольными реб-
рами жесткости, выполненными из листовой стали. Угол поворота шаровых шарниров
около 20° . Уплотнение в сальниках шарниров резиновое. Шаровые шарниры на пон-
тоне станции не заделаны в борт, а выступают в виде консоли, что не совсем удачно,
так как требуют для обеспечения необходимой устойчивости понтона увеличения бал-
ластных камер. Шарниры целесообразнее располагать так, чтобы ось их совпадала с
бортом понтона.

На рисунке VII—16 приведен профиль напорных трубопроводов берегового узла,
на котором показаны положения рассматриваемой станции при разных уровнях воды
в водонестнике, береговые опоры и укладка трубопроводов. Соединительные и бере-
говые трубопроводы (укладываемые с засыпкой и открыто) покрывают стойкими
антикоррозийными составами.

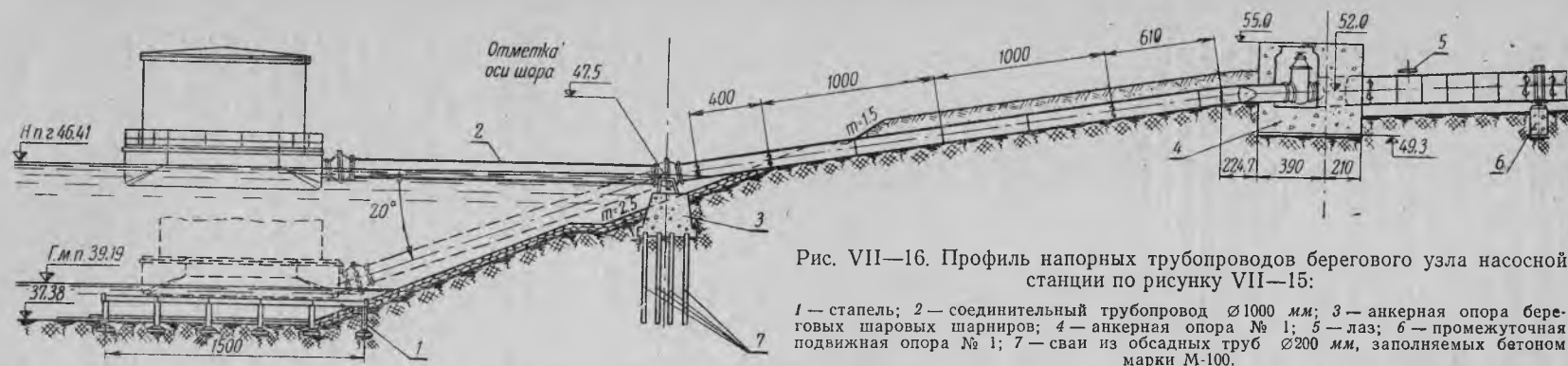


Рис. VII—16. Профиль напорных трубопроводов берегового узла насосной станции по рисунку VII—15:

1 — стале́ль; 2 — соединительный трубопровод $\varnothing 1000$ мм; 3 — анкерная опора береговых шаровых шарниров; 4 — анкерная опора № 1; 5 — лаз; 6 — промежуточная подвижная опора № 1; 7 — сваи из обсадных труб $\varnothing 200$ мм, заполняемых бетоном марки М-100.

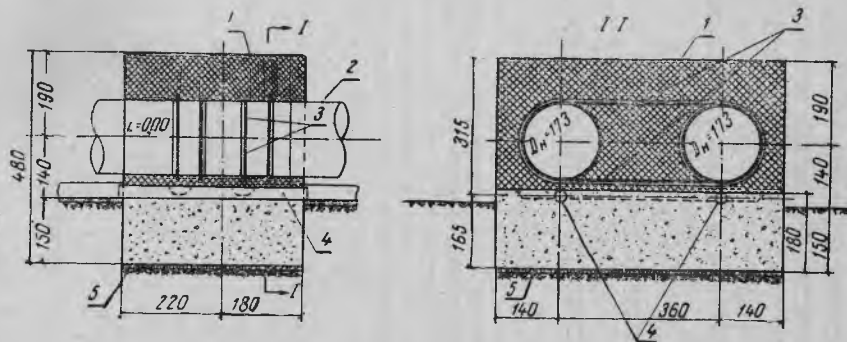
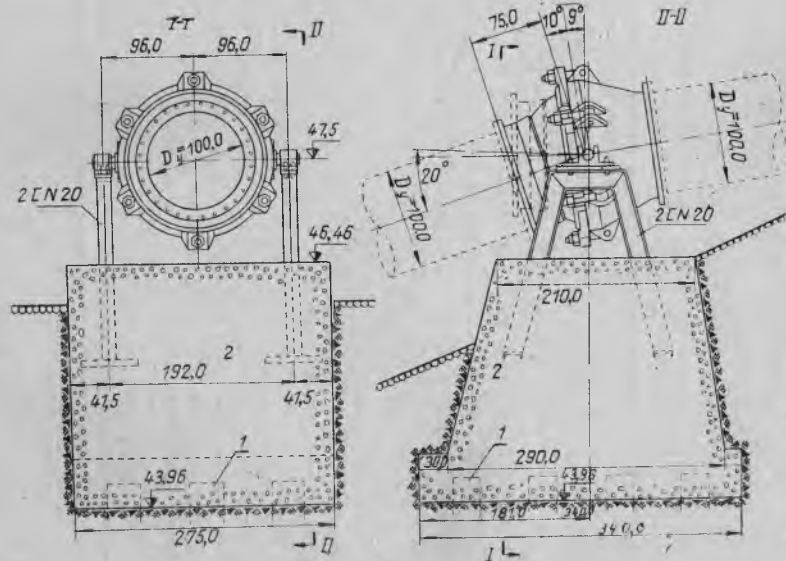


Рис. VII—18. Анкерная опора на прямом участке стального трубопровода:

1 — монтажный бетон, укладываемый после окончания монтажа трубопровода на этом участке; 2 — стальной трубопровод; 3 — угловая сталь $100 \times 100 \times 10$ мм; 4 — асбестоцементные трубы $D_y = 300$ мм; 5 — подготовка из тощего бетона.

Рис. VII—17. Береговая опора шаровых шарниров:

1 — сваи; 2 — тело опоры, выполненное из бетона марки БПМ-100, В-2, Мрз-50.

На рисунке VII—17 показана береговая опора шаровых шарниров. Переходы от стального трубопровода диаметром 1000 мм к трубопроводу диаметром 1700 мм показаны на рисунке VII—15.

Стальной трубопровод диаметром 1700 мм от анкерной опоры № 1 до начала железобетонного трубопровода уложен открыто в две нитки; толщина оболочки трубопровода 12 мм. Анкерные опоры трубопровода расположены через 120—150 м, а промежуточные — через 10,5 м. Конструкция промежуточной опоры каткового типа с кольцами жесткости приведена на рисунке VII—22. На рисунке VII—18 приведена анкерная опора на прямом участке трубопровода. На этом рисунке показано устройство лотка для отвода дренажных вод, которые пропускаются через анкерную опору по асбестоцементным трубам, заложенным в ней.

В учебнике [69] приведено устройство для впуска воды в трубопровод при разрыве сплошности потока в нем. Разрыв сплошности потока в трубопроводе, который может образоваться при остановке насоса, служит причиной возникновения гидравлического удара. Ликвидация в этом случае явлений гидравлического удара, точнее

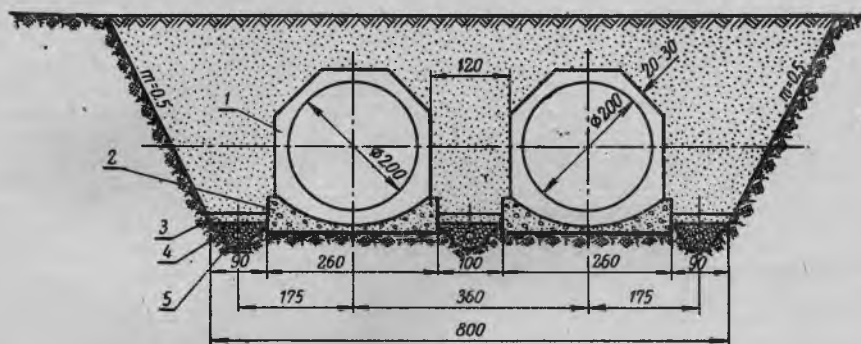


Рис. VII—19. Конструкция и укладка железобетонного монолитного напорного трубопровода:

1 — монолитный железобетонный трубопровод; 2 — бетонная подготовка; 3 — второй слой дренажа — песок крупнозернистый; 4 — первый слой дренажа — галляка 2—5 см; 5 — дырчатая асбестоцементная труба ВТЗ $L_{ВТЗ} = 141$ мм.

снижение его величины, может быть достигнуто впуском воды или воздуха через специальные устройства.

Место образования разрыва сплошности потока и необходимый объем воды для заполнения образующейся пустоты определяют специальным расчетом. В данном примере резервуар имеет емкость 45 м³ и заполняется водой из трубопровода через трубку заливочной системы, которая снабжается специальным отрегулированным клапаном (например, регулирующим клапан прямого действия «после себя» типа 25 ч 10 нж). Клапан регулируется так, чтобы в резервуаре поддерживался определенный уровень воды. В местах примыкания облицовки резервуара к анкерной опоре уплотнение достигается закладкой листовой оцинкованной стали толщиной 1,5 мм. Впуск воды из резервуара в напорный трубопровод (при образовании разрежения в последнем) происходит через обратный клапан, который при нормальной работе трубопровода отделяет его от резервуара.

Укладка железобетонного монолитного напорного трубопровода показана на рисунке VII—19. Максимальный напор в трубопроводе: рабочий 3 атм, расчетный 4,5 атм. Толщина оболочки трубопровода имеет два размера: в нижней части 30 см, а в верхней — 20 см; марка бетона оболочки БГТ-200, В-8, Мрз-50. Трубопровод армирован сварными каркасами наружной и внутренней арматуры. Нормальная строительная длина арматурных каркасов 8300 мм, а с учетом длины выпусков для сварки их накладными швами — 8500 мм. Внутренняя кольцевая арматура располагается через 90 мм, наружная — через 100 мм. Продольная (распределительная) арматура расположена через 270 мм и внутри кольцевой арматуры. Толщина защитного слоя арматуры 3,5 см.

Трубопровод выполняется секциями длиной по 25 м, соединенными между собой металлическими V-образными компенсаторами, заделываемыми в соединяемые секции. Размер шва 100 мм. С наружной стороны компенсаторы закрывают листовым железом и заливают битумом. Наружные грани трубопровода для упрощения опалубочных работ запроектированы плоскими, ломаного очертания. Толщина засыпки над верхом трубопровода принята 80 см.

Во время строительства станции (при выполнении береговых опор) была допущена неточность, обусловившая разницу в длинах соединительных трубопроводов до 70 мм. В эксплуатации это не вызвало заметных осложнений, и трубопроводы работают нормально. Неточность монтажных работ к длине соединительных трубопроводов

составила $\frac{70}{22\ 500} 100 = 0,31\%$, а к фронту трубопроводов по понтону $\frac{70}{32\ 340} 100 = 0,22\%$.

Несмотря на это, следует считать, что точность выполнения этих работ должна быть выше и отклонения не должны быть больше 20 мм, или 0,1%.

При эксплуатации станции была отмечена нестойкость резины в уплотнениях шаровых шарниров, вызванная высокой температурой наружного воздуха и нагревом металлических трубопроводов. В этом случае более правильным было бы применение для уплотнения сальников шаровых шарниров прографиченных и просмоленных или просаленных пенковых материалов.

Отмечено также заклинивание некоторых шарниров, работа рывками. Это, правда, не вызвало аварий, но говорит о необходимости повышения точности изготовления



Рис. VII—20. Участок открыто уложенного стального трубопровода $\varnothing 1700$ мм. Видны промежуточные опоры каткового типа и анкерные опоры.

деталей и производства строительно-монтажных работ, а также о необходимости обеспечения некоторого люфта шаровых шарниров. Вообще рассмотренные трубопроводы в эксплуатации работали удовлетворительно. Расход металла на 1 пог. м трубопровода составил: по металлическому трубопроводу около 620 кг, по железобетонному около 250 кг.

На трубопроводах (стальном и железобетонном) через 200 м предусмотрены смотровые герметически закрываемые лазы с отверстиями диаметром 0,8 м. Железобетонный трубопровод внутри торкретируется и железнится, а снаружи покрывается битумом.

На рисунке VII—20 показан внешний вид открыто уложенного стального трубопровода диаметром 1700 мм.

Расчетами была установлена целесообразность в данном случае устройства сообщения плавучей насосной станции с берегом по самостоятельно устроенному мостику (а не по трубопроводам) и укладки питающих электрических кабелей по этому служебному мостику под настилом, а не по дну водоема или воздушной подвеской.

Пример 2. Напорные трубопроводы крупной оросительной стационарной насосной станции (проект выполнен Гипроводхозом).

На станции установлено шесть вертикальных центробежных насосов производительностью около 5 м³/сек и напором около 10 атм каждый.

На рисунке VII—21 показана компоновка околостанционного узла напорных трубопроводов (план и профиль). Шесть насосов по три объединяются в два стальных трубопровода, переходящих потом в два железобетонных трубопровода. Около станции на обоих стальных трубопроводах предусмотрено устройство температурно-осадочных компенсаторов в виде двух близко расположенных сальниковых компенсаторов. Между первой и второй анкерной опорой предусмотрена установка вставки Вентури, к которой примыкает температурный компенсатор. Около станции трубопроводы укладывают в специальных железобетонных коридорах.

Общая длина трассы напорных трубопроводов от насосной станции до водовыпускного сооружения около 2230 м, из которых длина трассы стальных трубопроводов около 1100 м, а железобетонных — около 1130 м. Расчетный напор стальных трубопроводов находится в пределах 5—10,2 атм, и толщина оболочки трубопровода в связи с этим имеет три значения — 12, 14 и 18 мм. Расчетный напор железобетон-

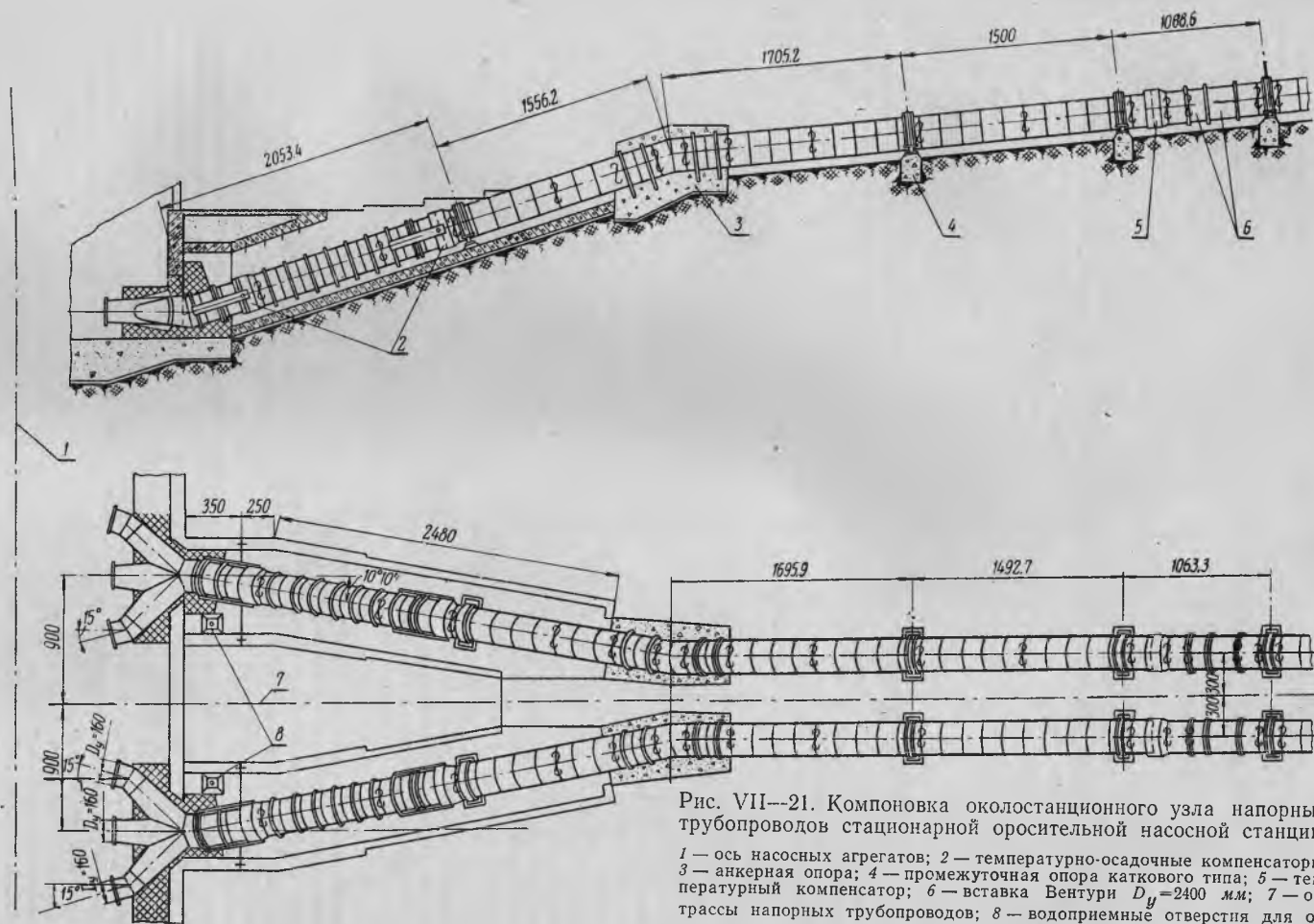


Рис. VII--21. Компоновка околостанционного узла напорных трубопроводов стационарной оросительной насосной станции:

1 — ось насосных агрегатов; 2 — температурно-осадочные компенсаторы; 3 — анкерная опора; 4 — промежуточная опора каткового типа; 5 — температурный компенсатор; 6 — вставка Вентури $D_y=2400$ мм; 7 — ось трассы напорных трубопроводов; 8 — водоприемные отверстия для отвода дренажных вод.

ного трубопровода находится в пределах 0,5—5 ат; толщина его оболочки на отдельных участках равна 35, 45, 50 и 60 см. Внутренний диаметр стального трубопровода $D_y=2400$ мм, а железобетонного — 2600 мм. Стальные трубопроводы уложены открыто, а железобетонные засыпаны.

Укладка стальных трубопроводов показана на рисунке VII—22. Анкерные опоры (АО) размещаются через 165 м. Это расстояние уменьшается около станции, что обусловлено рельефом и заглублением трубопровода. В промежутке между анкерными опорами около вышерасположенной опоры устраивается сальниковый компенсатор. Минимальный уклон оси трубопровода 0,004 и максимальный у станции 0,33. Промежуточные опоры каткового типа с опорными кольцами жесткости расположены через 15 м. Это расстояние при подходе к насосной станции несколько уменьшается из-за изменения расстояния между анкерными опорами и размещения компенсаторов. Основание промежуточных опор выполнено из сборных железобетонных блоков.

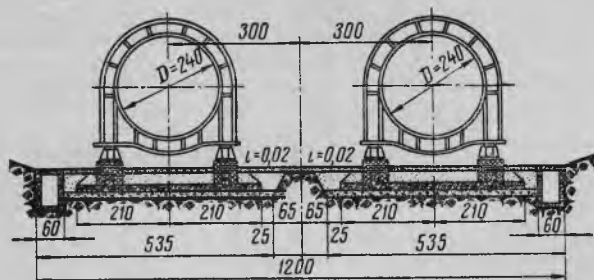


Рис. VII—22. Укладка стального трубопровода диаметром 2400 мм. Промежуточная опора каткового типа с жестким опорным кольцом.

Монолитные железобетонные трубопроводы выполнены из бетона марки не ниже, БГТ-250, В-2, Мрз 50. Трубопроводы постелистого типа с шириной постели основания 2,5 м ($D_{в}=2,95—3,25$ м) уложены на подготовку из тощего бетона.

Железобетонные трубопроводы армированы каркасами, состоящими из двух парных колец (два внутренних и два наружных кольца кольцевой арматуры), жестко сваренных и в продольном и радиальном направлениях. В радиальном направлении кольца арматуры (внутреннее и наружное) сваривают арматурными стержнями, направленными под углом к радиусу, которые образуют косую арматуру в поперечном сечении оболочки водовода, жестко связывая кольца арматуры. Расстояние между кольцевой арматурой 25 см. Парные кольца устанавливают через 25 см и сваривают продольной арматурой, расположенной у наружных колец через 27—28 см, а у внутренних колец через 30 см. Защитный слой бетона для арматуры не менее 3—3,5 см. Трубопровод бетонируют секциями длиной по 25 м. Отдельные секции соединяют по типу раструбного стыка. Гладкий конец, выполненный из листового железа толщиной 8 мм, привариваемого к внутренней арматуре, бетонируют заподлицо с внутренней образующей трубы; он выступает от торца трубы на 20 см. Раструб получается в результате увеличения диаметра внутренней кольцевой арматуры и приварки к ней листового железа той же толщины ($\delta=8$ мм), образующего обечайку раструба глубиной 30 см. Внутренняя поверхность обечайки раструба имеет диаметр, обеспечивающий после ввода гладкого конца кольцевой зазор размером 2 см. Этот зазор должен быть водонепроницаемым и обеспечивать возможность небольших поперечных и продольных взаимных перемещений секций трубопровода.

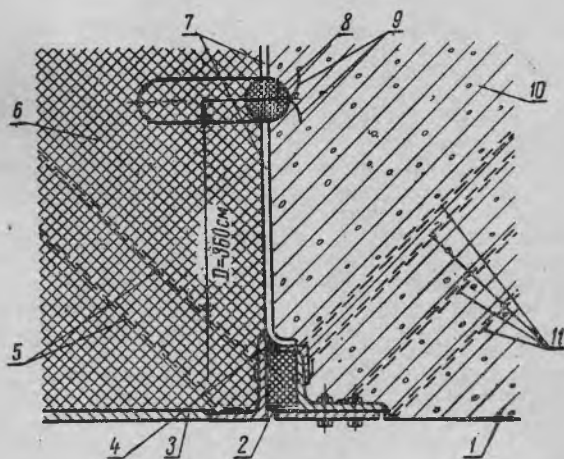


Рис. VII—23. Стык соединения стального и железобетонного монолитного напорных трубопроводов:

1 — внутренняя поверхность монолитного железобетонного трубопровода $D_y=2600$ мм; 2 — смоленый пеньковый канат $d=63,7$ мм; 3 — оболочка стального трубопровода $D_y=2600$ мм; 4 — просмоленная пакля; 5 — анкер; 6 — тело анкерной опоры; 7 — битумные маты толщиной 1 см; 8 — смоленый пеньковый канат $d=63,7$ мм, $l=11,5$ м; 9 — арматура $\varnothing 20$ мм, 20 шт. по периметру; 10 — тело монолитного железобетонного трубопровода; 11 — анкеры.

На рисунке VII—23 дана конструкция шва соединения стального и железобетонного монолитного напорных трубопроводов, осуществляемого около анкерной опоры стального трубопровода, внутри которой одновременно выполняется переход стального трубопровода от диаметра 2400 мм к диаметру 2600 мм.

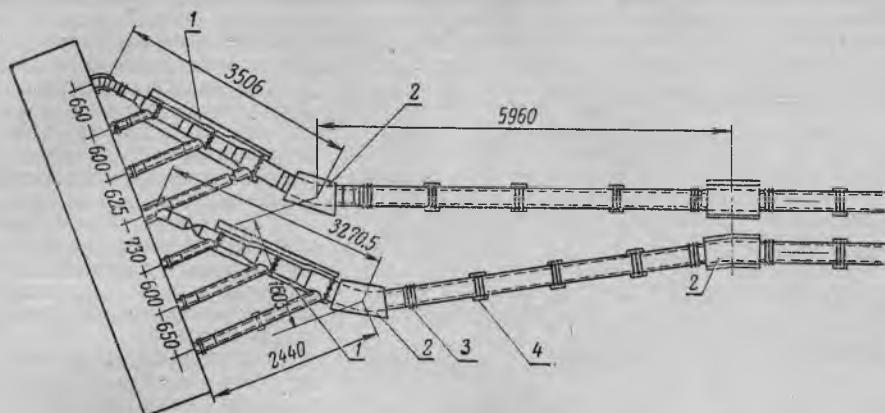


Рис. VII—24. Компонровка околостанционного узла напорных трубопроводов:

1 — коллекторные опоры; 2 — анкерные опоры; 3 — сальниковые компенсаторы; 4 — промежуточные опоры.

Внутренняя поверхность железобетонного трубопровода торкретируется и железнится, наружная покрывается битумным покрытием. Высота засыпки над железобетонным трубопроводом 0,8 м.

Наружная поверхность металлических трубопроводов покрывается атмосферостойким покрытием.

Пример 3. Напорные трубопроводы крупной оросительной стационарной насосной станции (проект выполнен Укргипроводхозом).

На станции установлено семь насосов производительностью 5,2 м³/сек и напором 6,2 ати каждый. Компонровка околостанционного узла напорных трубопроводов показана на рисунке VII—24. Как видно из рисунка, около станции все семь трубопроводов, идущих от насосов (трубопроводы стальные диаметром $D_y = 1400$ мм) объединяются в два напорных стальных трубопровода диаметром 2800 мм, причем трубопровод насоса № 4 (среднего) подключается на оба напорных трубопровода (на обоих переключающих трубопроводах установлены затворы) и может подавать воду и на любой трубопровод и на оба сразу. Остальные насосы (по три) подключены на отдельные трубопроводы. Выход трубопроводов из станции показан на рисунке VII—25, где видны сальниковые компенсаторы у стены здания, соединения труб с применением усиливающих ребер (воротников) и анкеровка трубопроводов. Трубопроводы уложены открыто, длина

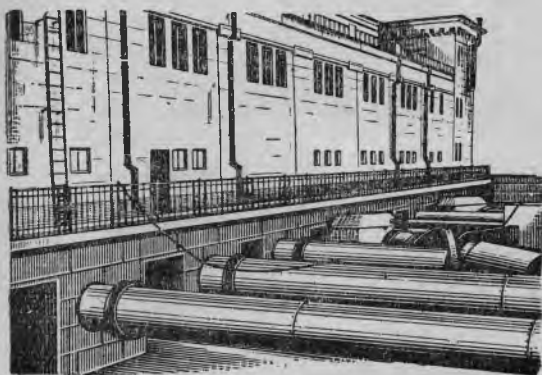


Рис. VII—25. Выход напорных трубопроводов из здания станции (по рис. VII—24). Видны сальниковые компенсаторы и соединения труб с применением усиливающих ребер.

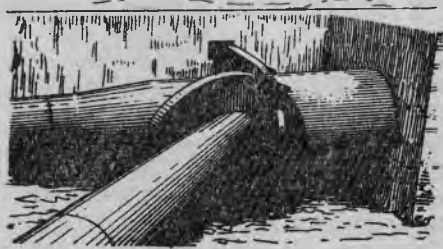


Рис. VII—26. Соединения напорных трубопроводов с применением усиливающих ребер в стыках и крепление трубы у опоры.

трассы их около 600 м. Толщина оболочки трубопроводов (диаметром 2800 мм) колеблется от 8 до 14 мм; через 3 м установлены ребра жесткости.

Трубопровод принят разрезной конструкции с анкерными опорами через 115 м и с промежуточными опорами каткового типа, размещаемыми через 13,5 м. С обеих сторон анкерных опор устроены температурно-усадочные компенсаторы. При практически непросадочных грунтах основания расстояние между анкерными опорами можно увеличить в 1,5 раза. Устанавливать компенсаторы с обеих сторон анкерных опор (удвоенное их количество) в этих условиях не следует, тем более что на промежуточных опорах не предусмотрено никаких мероприятий против осадочных явлений. Для защиты станции от ливневых вод и от воды при разрыве трубопроводов устроены специальные водоотводы.

На рисунке VII—26 показаны соединения напорных трубопроводов, усиленные специальными ребрами (воротниками) и анкеровка трубопроводов на опоре.

Пример 4. Напорные трубопроводы оросительной стационарной насосной станции. На описываемые ниже напорные трубопроводы подключено четыре насоса производительностью около 4 м³/сек и напором до 2,3 атм каждый. Начальный участок трубопроводов (у станции длиной около 80 м) выполнен из стальных трубопроводов диаметром 1400 мм. На этом участке установлены затворы и выполнен отвод стальных трубопроводов для аварийного питания канала, что осуществлено в специальном здании (камере переключения), расположенном на расстоянии около 34 м от здания станции.

Далее, на расстоянии около 80 м от станции четыре нитки стальных напорных трубопроводов переключаются на двухочковый железобетонный монолитный трубопровод с сечением каждого очка 2200 × 2200 мм. Стальные трубопроводы соединены с железобетонной анкерной опорой. Рабочий напор железобетонного трубопровода около 1,8 атм, а расчетный 2,5 атм. Толщина стенки трубопровода 35 см. Трубопроводы уложены в траншее и засыпаны. Слой засыпки над железобетонным трубопроводом составляет приблизительно 1 м. Железобетонный трубопровод разделен температурно-усадочными швами через 50 м. Конструкция температурно-усадочного шва показана на рисунке VII—27.

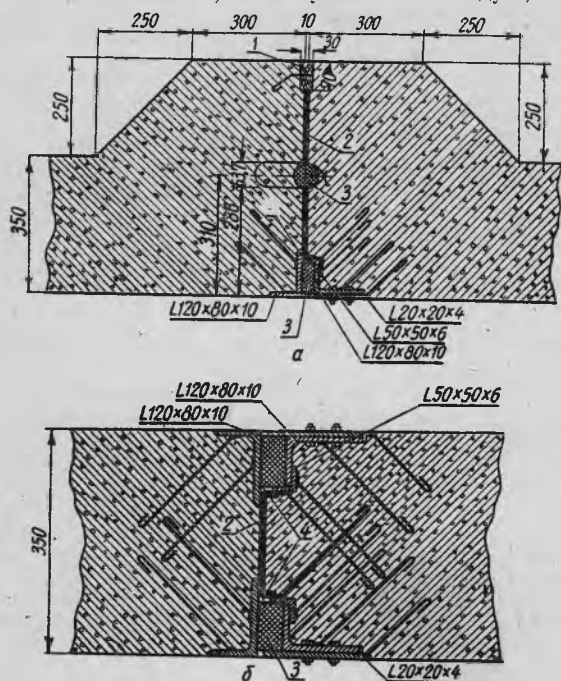


Рис. VII—27. Конструкция швов в стыках напорного монолитного железобетонного прямоугольного двухочкового трубопровода:

а — наружных стенок; б — средней стенки; 1 — просмоленная доска размером 30 × 70 мм; 2 — битумный мат толщиной 10 мм; 3 — смоляной пеньковый канат Ø 63,7 мм; 4 — просмоленная пакля (размеры в мм).

× 2200 мм. Длина железобетонного трубопровода около 720 м. Стальные трубопроводы соединены с железобетонной анкерной опорой. Рабочий напор железобетонного трубопровода около 1,8 атм, а расчетный 2,5 атм. Толщина стенки трубопровода 35 см. Трубопроводы уложены в траншее и засыпаны. Слой засыпки над железобетонным трубопроводом составляет приблизительно 1 м. Железобетонный трубопровод разделен температурно-усадочными швами через 50 м. Конструкция температурно-усадочного шва показана на рисунке VII—27.

§ 6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ*

При эксплуатации насосных станций включение и выключение насосных агрегатов, открытие и закрытие затворов на напорных коммуникациях и трубопроводах вызывают изменение скорости течения воды в последних, в результате чего возникают гидравлические удары и происходит повышение давления в них. Вследствие этого могут произойти значительные аварии с трубопроводами и сооружениями, расположенными рядом, если не будут предусмотрены необходимые технические меры, обоснованные расчетами по гидравлическому удару. Наиболее частой причиной возникновения гидравлического удара является внезапное отключение электропитания насосных агрегатов. Максимальное повыше-

* Теория гидравлического удара подробно излагается в курсах гидравлики.

ние давления в трубопроводе* при мгновенном закрытии задвижки для потока без нарушения его сплошности достигает величины

$$\Delta H = \frac{v_0 a}{g} \text{ м,}$$

где ΔH — повышение давления воды в трубопроводе сверх напора в трубопроводе до закрытия задвижки, м вод. ст.;

v_0 — первоначальная скорость движения потока воды в трубопроводе, м/сек;

g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/сек²;

a — скорость распространения ударной волны (повышения и понижения давления) в трубопроводе, м/сек.

Величина a зависит от материала стенок, размеров трубопровода и объемного модуля упругости жидкости:

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{2,1 \cdot 10^4 d}{E \delta}}} \text{ м/сек,}$$

где E — модуль упругости материала стенок трубопровода, кг/см²;

d — внутренний диаметр трубопровода, см;

δ — толщина стенок трубопровода, см.

В этой формуле учтены: объемный модуль упругости воды $\varepsilon = 2,1 \cdot 10^4$ кг/см², объемный вес воды и ускорение силы тяжести. Для частичного прикрытия задвижки и частичного снижения скорости движения воды в трубопроводе величина повышения давления будет

$$\Delta H = \frac{\Delta v_0 a}{g},$$

где Δv_0 — величина изменения первоначальной скорости воды в трубопроводе.

Как видно, изменением скорости закрытия задвижки (увеличением времени закрытия) можно получить снижение величины повышения давления от гидравлического удара. Мгновенное закрытие сечения трубопровода практически не осуществляется. Если время закрытия меньше, чем время пробегания ударной волны, то создаются благоприятные условия для образования гидравлического удара значительной силы, близкого к случаю мгновенного закрытия.

Две причины — малое время закрытия затвора и малое время разгона насосного агрегата при относительно большой длине трубопровода — могут создать указанные выше условия.

При проведении исследований по гидравлическому удару Н. Е. Жуковским было установлено:

а) при малых скоростях течения воды в трубопроводе наибольшее давление в нем наблюдалось в первой фазе хода изменения давления, то есть непосредственно после закрытия задвижки;

б) при больших скоростях наибольшие давления возникали во второй фазе хода изменения давления. Между первой и второй фазой происходило понижение давления до величины ниже атмосферного, с отрывом колонны воды от задвижки, что и служило причиной образования во второй фазе гидравлического удара большей величины, чем в первой фазе предыдущего случая.

В тех условиях при имевшемся оборудовании практически достаточным мероприятием для борьбы с гидравлическим ударом было регули-

* Н. Е. Жуковский. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. Избранные сочинения, т. II. Государственное издательство технико-теоретической литературы, М. — Л., 1948.

рование скорости закрытия задвижки. Развитие техники и необходимость подачи больших количеств воды явились возможностью и причиной применения быстроходных центробежных насосов большой производительности, приводимых в действие электродвигателями.

Эти агрегаты, обладая небольшой инерцией вращающихся частей (роторов насосов и электродвигателей), при отключении электродвигателей относительно быстро останавливаются. В результате этого вода перестает подаваться через насос, а продолжающееся по инерции движение колонны воды по трубопроводу может вызвать при определенных условиях разрыв сплошности потока в трубопроводе. При затухании этого движения и образовании обратного тока вода с огромной скоростью устремляется в область пониженного давления, в результате возникает гидравлический удар большой силы, вызывающий повышение давления, в несколько раз большее величины $\frac{av_0}{g}$. По исследованиям ВНИИ

Водгео, повышение давления может достигнуть $\Delta H = \frac{av_0}{g} + 2H_{ст}$,

а напор в трубопроводе — величины $H = \frac{av_0}{g} + 3H_{ст}$,

где $H_{ст}$ — статический (геометрический) напор насосной станции, равный разности отметок уровней воды в верхнем и нижнем бьефах ее.

Минимальная величина давления в месте разрыва сплошности может быть равна упругости паров жидкости. Возможность образования разрыва сплошности потока, место его нахождения, количество мест разрыва (их может быть несколько), объем зоны разрыва и величина создаваемого повышения давления зависят от характеристики насосных агрегатов, режима их работы и характеристики трубопровода (профиль, длина, режимы работы, скорости течения воды, изменение диаметра, наличие отводов воды, материал стенок).

Закрытие затвора на трубопроводе при соответствующих скоростях движения воды и давлении также может вызвать образование разрыва сплошности потока за затвором. Образованию разрыва сплошности потока предшествует появление кавитации.

Максимальная величина скорости распространения ударной волны $a = 1425$ м/сек. По опытным данным ВНИИ Водгео, величина a редко превышает 1000 м/сек, снижаясь в отдельных случаях до 500 м/сек, что может быть объяснено наличием в воде неразтворенного воздуха и газов. Для расчетов (при стальных и железобетонных трубопроводах) в Указаниях Водгео [72] рекомендуются следующие значения a (табл. VII—8).

ТАБЛИЦА VII—8

Диаметр трубопровода, мм	Расчетные значения a , м/сек	
	наибольшие	наименьшие
< 100	1200	600
100—600	1100	550
> 600	1000	500

Для асбестоцементных трубопроводов Указания рекомендуют принимать эти данные с коэффициентом 0,6.

Практика выполнения расчетов по гидравлическому удару показала, что изменения a незначительно влияют на величину наибольшего ударного давления. На основании этого и допущено округление значений a для целого ряда диаметров.

Имеются опытные и расчетные данные*, устанавливающие связь величины a с количеством неразтворенного воздуха и газов в воде,

статическим напором и скоростью движения воды, согласно которым при содержании в воде газов в количестве $0,5 \div 1,5\%$ отношение скорости распространения ударной волны a к наибольшему ее значению при полном отсутствии нерастворенных газов в воде составит:

при статическом напоре	10 м	40—20%
»	»	»
»	25 м	55—30%
»	»	»
»	50 м	70—40%

Отмечено незначительное повышение величины a при увеличении скорости движения воды в трубопроводе.

В практике расчетов по гидравлическому удару величина вакуума в месте разрыва сплошности потока принимается не более 8 м вод. ст.

Предохранительная аппаратура, установленная у насоса, при разрыве сплошности потока в трубопроводе в удалении от насоса не сможет обеспечить необходимого снижения ударного давления в месте образования разрыва.

Если при остановке насоса или закрытии задвижки не происходит разрыва сплошности потока, повышение давления сверх допустимого или принятого по расчету можно предотвратить установкой предохранительного клапана, подбором времени закрытия задвижки, сбросом необходимого количества воды через насос или в обход его и т. д.

При разрыве сплошности потока необходимо в местах его образования предусмотреть устройства для впуска воды или воздуха, чтобы не допустить падения давления ниже атмосферного, или установить обратные клапаны, которые отсекают верхнюю колонну воды, исключая ее набегание в место разрыва, и т. д.

Разбивка трубопровода запорной автоматически действующей арматурой на несколько участков также является одним из способов борьбы с недопустимым повышением ударного давления.

Наиболее опасными в отношении образования явления гидравлического удара являются относительно длинные трубопроводы (500 м и более), имеющие профиль трассы с резкими изломами, со значительными скоростями движения воды. Для таких трубопроводов расчеты по гидравлическому удару обязательны.

Образование вакуума в трубопроводе при гидравлическом ударе также представляет опасность для его прочности.

Допустимая величина повышения давления от гидравлического удара, технические средства по ограничению этого повышения должны быть обоснованы технико-экономическими расчетами на основании рассмотрения нескольких технически целесообразных вариантов.

Защиту водоводов от гидравлического удара выполняют, если она дает экономический эффект в сравнении с необходимым увеличением прочности трубопровода при расчете его на повышенное давление.

Следует иметь в виду, что утечки воды из трубопроводов (через насосы и др.) нежелательны. При всех расчетах их необходимо учитывать. В мелиоративных насосных станциях — станциях большой производительности — не рекомендуется устанавливать обратные клапаны на напорных трубопроводах из-за больших гидравлических сопротивлений. Более того, если длина трубопровода небольшая и насосы работают непараллельно, то у насосов, если это не нужно по условиям пуска и остановки, никаких затворов ставить не следует. В этом случае ограничиваются приспособлениями на водовыпусках, не допускающими обратного тока воды из водоприемника, проверкой и обеспечением безопасности обратного вращения агрегатов, а при недопустимости и торможением их. Устройства в водовыпусках, не допускающие обрат-

* В. С. Дикаревский, А. А. Маркин. Скорости распространения волн гидравлического удара в водоводах. «Водоснабжение и санитарная техника» № 2, 1967.

ного тока воды, следует выполнять только при большой емкости водоприемника или при выходе в него нескольких напорных трубопроводов.

Для расчета по гидравлическому удару необходимо иметь полную рабочую характеристику насосного агрегата и двигателя, а также характеристику трубопровода (профиль, длина, диаметр, схема соединений, материал трубопровода, режимы работы). Желательно иметь четырехквadrантные характеристики насоса.

Переходные режимы работы насосного агрегата и образцы характеристик насосов для расчетов приведены на рисунках 294 и 295 учебника [69]. Характеристики насосных агрегатов должны содержать время остановки и разгона агрегата; производительность, напор, число оборотов и их изменение при переходных режимах; маховой момент и момент инерции. При отсутствии последних их можно определить приближенно по формулам.

Допустимость обратного вращения насосного агрегата или необходимость его торможения указывается заводом-изготовителем.

В качестве руководства для выполнения расчетов по гидравлическому удару в трубопроводах насосных станций рекомендуются Указания по защите водоводов от гидравлического удара, разработанные ВНИИ Водгео [72]. В них изложен аналитический метод расчета гидравлического удара, требующий с учетом потерь напора большой точности расчетов, которые еще более усложняются при введении условий разрыва сплошности потока. В связи с этим в Указаниях разработана методика расчетов по предварительной оценке возможности возникновения и опасности гидравлического удара и выбора средств для защиты трубопровода. Если предварительный расчет недостаточен, проводят детальные и трудоемкие расчеты по гидравлическому удару. Эти расчеты сильно облегчаются при применении электронной цифровой вычислительной машины. В настоящее время разработана «Инструкция по расчету на ЭВЦМ «Урал-2» гидравлического удара, вызываемого внезапным выключением электропитания насосных агрегатов» [26]. Программой, приводимой в инструкции, предусмотрено выполнение детальных расчетов по гидравлическому удару при отсутствии мер защиты, а также при перечисляемых ниже мерах защиты и их комбинациях.

1. Сброс воды через насосы в обратном направлении при их свободном вращении или при полном торможении.

2. Впуск и заземление воздуха в местах образования разрывов сплошности потока в водоводе.

3. Впуск воды в водовод для предотвращения образования в нем разрывов сплошности потока.

4. Установка обратных клапанов выше мест образования разрывов сплошности потока, отсекающих отошедшие колонны воды.

5. Сброс воды через предохранительные клапаны или диафрагмы, разрушающиеся при повышении давления сверх заданного предела. Кроме аналитического метода расчета гидравлического удара, можно применять графический метод [2]. В работе [2] расчеты по гидравлическому удару изложены в соответствии с Указаниями [72].

Графические расчеты по гидравлическому удару позволяют при выполнении расчетов вручную значительно снизить трудоемкость.

Внутреннее давление в трубопроводе для расчета его на прочность, согласно СНиП II-Г.3—62, устанавливается как наибольшее из двух величин: наибольшего возможного рабочего давления без учета повышения его при гидравлическом ударе или наибольшего возможного давления с учетом гидравлического удара, умноженного на коэффициент K_y . Для стальных трубопроводов $K_y=0,85$; для железобетонных, асбестоцементных, чугунных — 1; для пластмассовых в зависимости от вида пластмассы по техническим условиям на их изготовление — $0,5 \div 0,7$.

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОВЫПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ*

Водовыпускное сооружение входит в состав гидротехнического узла машинного водоподъема и предназначено для соединения напорных трубопроводов с сооружениями, транспортирующими воду к потребителю.

В оросительных системах водовыпускное сооружение принято называть напорным бассейном, который соединяется с машинным каналом и обеспечивает командную отметку оросительной системы.

В осушительных системах водовыпускные сооружения соединяются непосредственно с водоприемником (рекой) или каким-либо сооружением (быстротоком, перепадом, лотком и т. п.), подводящим воду к водоприемнику.

В системах водоснабжения из напорных трубопроводов вода может подаваться либо в напорный бак, либо в смеситель очистных сооружений, либо непосредственно в разводящую сеть. В последнем случае водовыпускные сооружения не устраивают.

Водовыпускные сооружения мелиоративных насосных станций должны выполнять следующие функции:

1) соединять напорные трубопроводы с машинным каналом и обеспечивать плавный выпуск потока в отводящий канал или водоприемник с возможно минимальными потерями кинетической энергии потока, выходящего из напорных трубопроводов;

2) делить поток воды, если вода подается в несколько отводящих каналов;

3) отключать напорные трубопроводы при внезапной остановке насоса для предотвращения обратного тока воды из водовыпускного сооружения в напорные трубопроводы.

Для выполнения перечисленных функций должно быть построено такое гидротехническое сооружение, которое обладало бы достаточной прочностью и устойчивостью и имело размеры и конфигурацию, обеспечивающие благоприятные гидравлические условия протекания через него жидкости. Совершенно очевидно, что это сооружение должно одновременно обеспечивать удобную и надежную эксплуатацию его.

В результате накопленного опыта по проектированию, строительству и исследованиям мелиоративных насосных станций были сделаны некоторые обобщения и дана классификация водовыпускных сооружений по следующим признакам:

1) по принадлежности к той или иной мелиоративной системе — на оросительные и осушительные (насосные станции, работающие для целей обводнения, относятся к оросительным);

* В основу § 1, 2 и 3 этой главы положены материалы исследований, выполненных на кафедре «Насосы и насосные станции» Московского гидромелиоративного института доц. А. А. Третьяковым.

2) по соединению с каналом — на прямоточные и делители. Прямоточные водовыпускные сооружения соединяются с одним отводящим каналом, ось которого является продолжением оси водовыпускного сооружения (рис. VIII—1). Делители соединяются с двумя или несколькими отводящими оросительными каналами (рис. VIII—2);

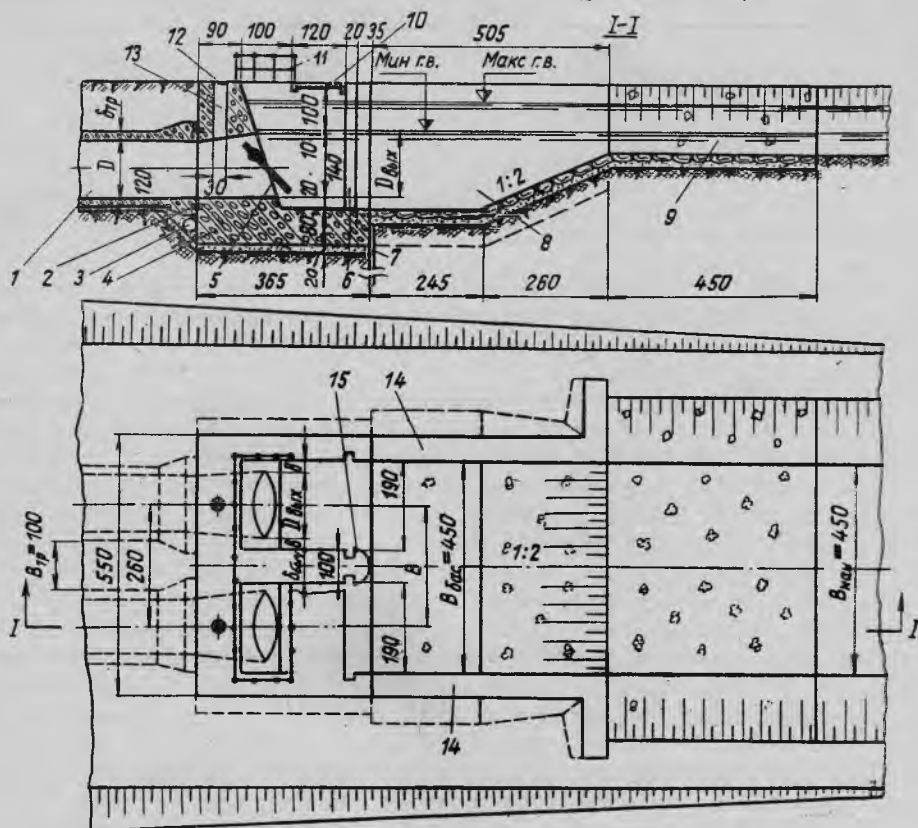
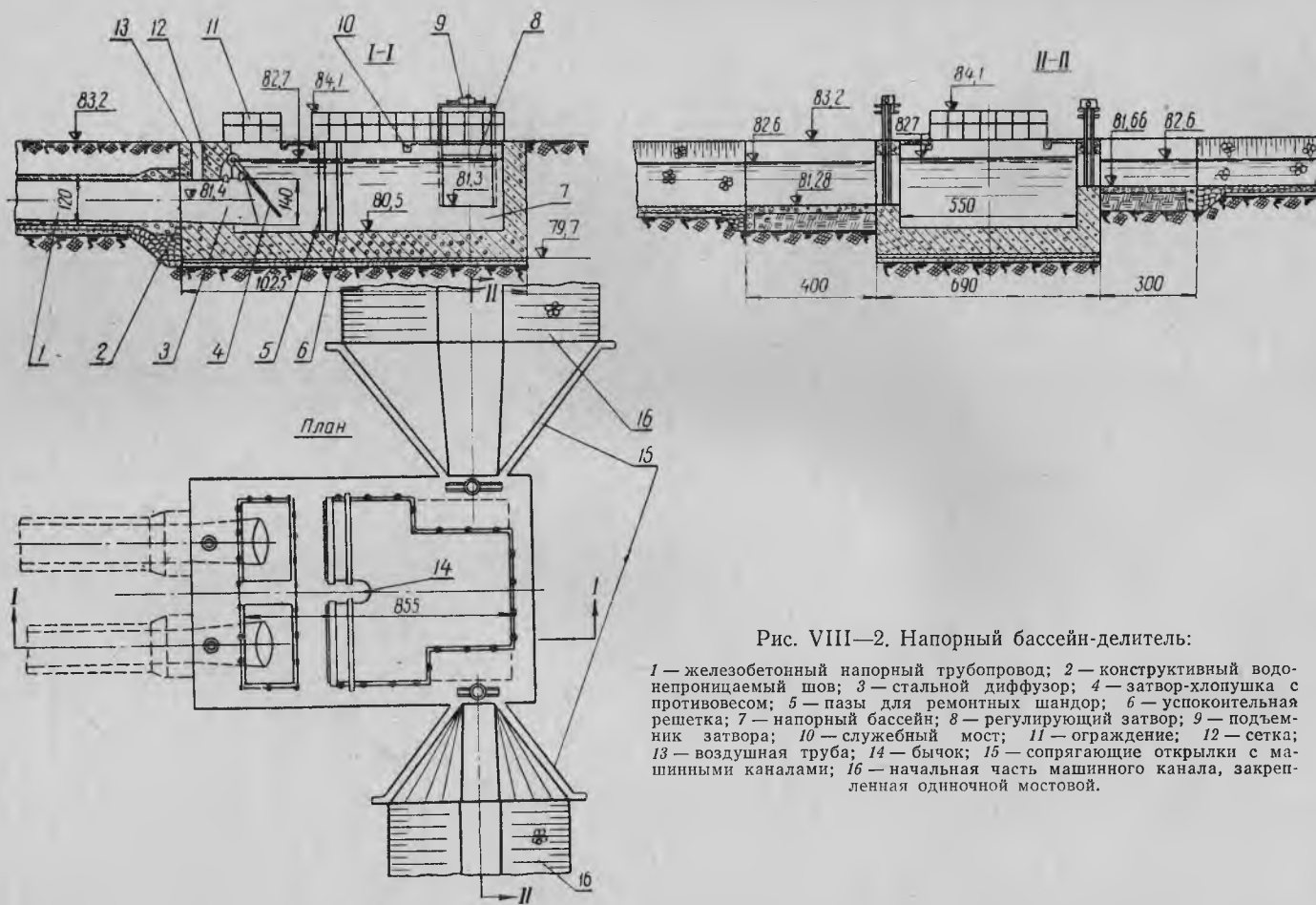


Рис. VIII—1. Напорный бассейн прямоточного типа с затвором механического действия: 1 — железобетонный напорный трубопровод; 2 — конструктивный водонепроницаемый шов; 3 — дренаж в обратном фильтре; 4 — головная часть напорного бассейна; 5 — дроссельный затвор; 6 — пазы ремонтных шандор; 7 — шпунт; 8 — колодец напорного бассейна; 9 — начальная часть машинного канала, закрепленная одиночной мостовой; 10 — служебный мостик; 11 — ограждение; 12 — сетка; 13 — воздушная труба; 14 — подпорные стенки напорного бассейна; 15 — бычок.

3) по соединению с водоприемником — на постоянно затопленные и периодически затопляемые. На рисунке VIII—3 представлено постоянно затопленное водовыпускное сооружение. Такое сооружение устраивают в том случае, когда в водоприемнике большие колебания горизонтов воды, русло реки сопрягается с поймой, примыкающей к берегу с крутым рельефом, обычно затапливаемому и поэтому требующему обвалования. Как видно из рисунка, водовыпускное сооружение имеет большую высоту, с дамбой обвалования соединяется служебным мостом, по пойме проложен канал, затопленный горизонтом низких вод. Сооружение выполнено массивным из армированного бетона, обеспечивающего достаточную устойчивость.

На рисунке VIII—4 показано периодически затопляемое водовыпускное сооружение. Оно состоит из водовыпуска, сопрягающегося с быстротоком по типу прямоточного бассейна, транспортирующего воду к водоприемнику в периоды стояния в нем горизонтов воды ниже максимального. Такое сооружение необходимо при пологих берегах реки. Быстроток соединяется или с руслом реки или (при наличии поймы) с пойменным каналом, затопленным минимальным горизонтом воды.



Периодически затопляемое водовыпускное сооружение не может быть рекомендовано, так как оно вызывает большой перерасход энергии, поэтому должно быть проведено экономическое сравнение с вариантом постоянно затопленного водовыпуска, который в энергетическом отношении имеет явные преимущества;

4) по соединению со зданием насосной станции — на составляющие одно целое со зданием без раздельных швов (рис. VIII—5), на примыкающие к зданию (рис. VIII—6) и на раздельные (см. рис. I—7).

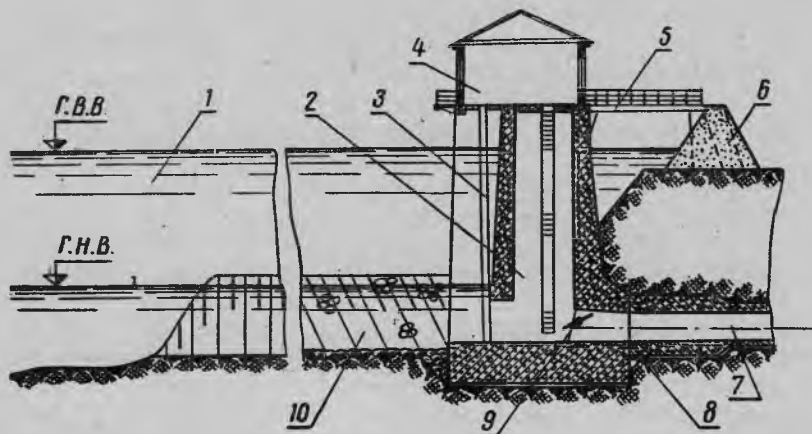


Рис. VIII—3. Постоянно затопленное водовыпускное сооружение:

1 — водоприемник (река); 2 — водовыпускное сооружение; 3 — паз ремонтного затвора; 4 — помещение обслуживания оборудования водовыпускного сооружения; 5 — служебный мост; 6 — дамба обвалования; 7 — напорный трубопровод; 8 — конструктивный водонепроницаемый шов; 9 — дроссельный затвор; 10 — мощение сопрягающей прорези.

Водовыпускное сооружение, составляющее одно целое со зданием насосной станции, обуславливается сочетанием геодезической высоты подъема с габаритами и типом насоса. В этом случае чаще всего применяют вертикальные осевые насосы, при этом высота подъема такая, что напорный трубопровод не устраивают. Подземная часть здания должна быть из железобетона или армированного бетона, а основанием сооружения должна служить прочная геологическая порода (скала, плотный суглинок и т. п.), не дающая неравномерных осадок.

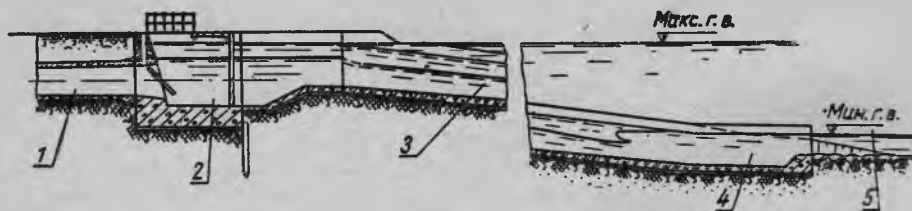


Рис. VIII—4. Периодически затопляемое водовыпускное сооружение:

1 — железобетонный напорный трубопровод; 2 — водовыпускное сооружение; 3 — быстроток; 4 — водобойный колодец; 5 — водоприемник (река).

При относительно большой высоте насоса и небольшой высоте подъема, более слабых грунтах и массивных стенах здания станции, что бывает в случае применения бетона, армированного бетона или другого материала, выполнить конструкцию как одно целое водовыпускного сооружения и здания станции не представляется возможным, по-

этому устраивается раздельный водонепроницаемый осадочный шов в месте примыкания водовыпускного сооружения к зданию станции. Раздельная компоновка применяется в тех случаях, когда разница в отметках оси напорного патрубка насоса и горизонтов воды в отводящем канале значительная, что требует устройства напорного трубопровода;

5) по конструктивному признаку и применяемому материалу — на железобетонные, массивные (из армированного бетона, бетонные бутовые, кирпичные и т. п.) и смешанные; последние выполняются упрощенной конструкции из различных материалов.

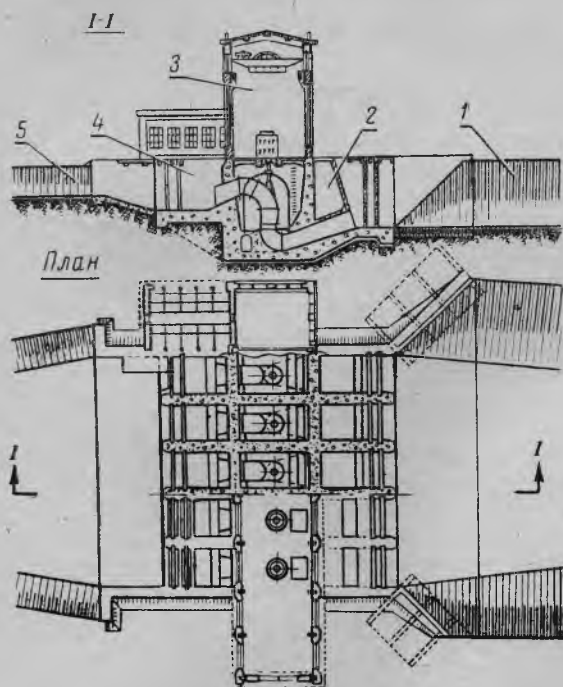
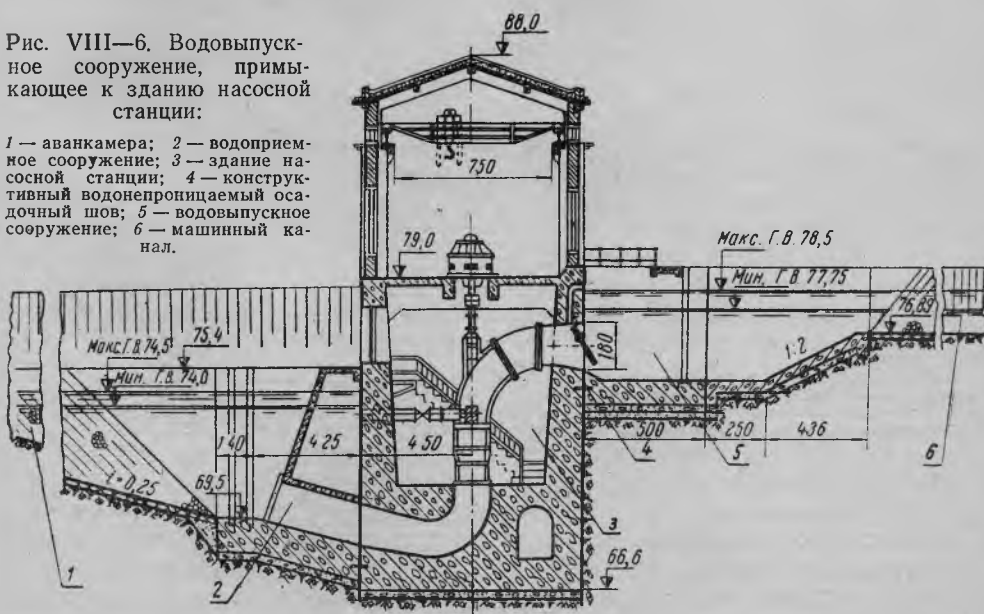


Рис. VIII—5. Водовыпускное сооружение, составляющее одно целое с зданием насосной станции:

1 — аванкамера; 2 — водоприемное сооружение; 3 — здание насосной станции; 4 — водовыпускное сооружение; 5 — переходная часть машинного канала.

Рис. VIII—6. Водовыпускное сооружение, примыкающее к зданию насосной станции:

1 — аванкамера; 2 — водоприемное сооружение; 3 — здание насосной станции; 4 — конструктивный водонепроницаемый осадочный шов; 5 — водовыпускное сооружение; 6 — машинный канал.



Железобетонные водовыпускные сооружения возводят при больших глубинах воды в них (более 6 м) и при наличии в основании грунтов с малой несущей способностью. Вследствие этого стенки сооружения должны быть легкими и жестко связанными с фундаментной плитой.

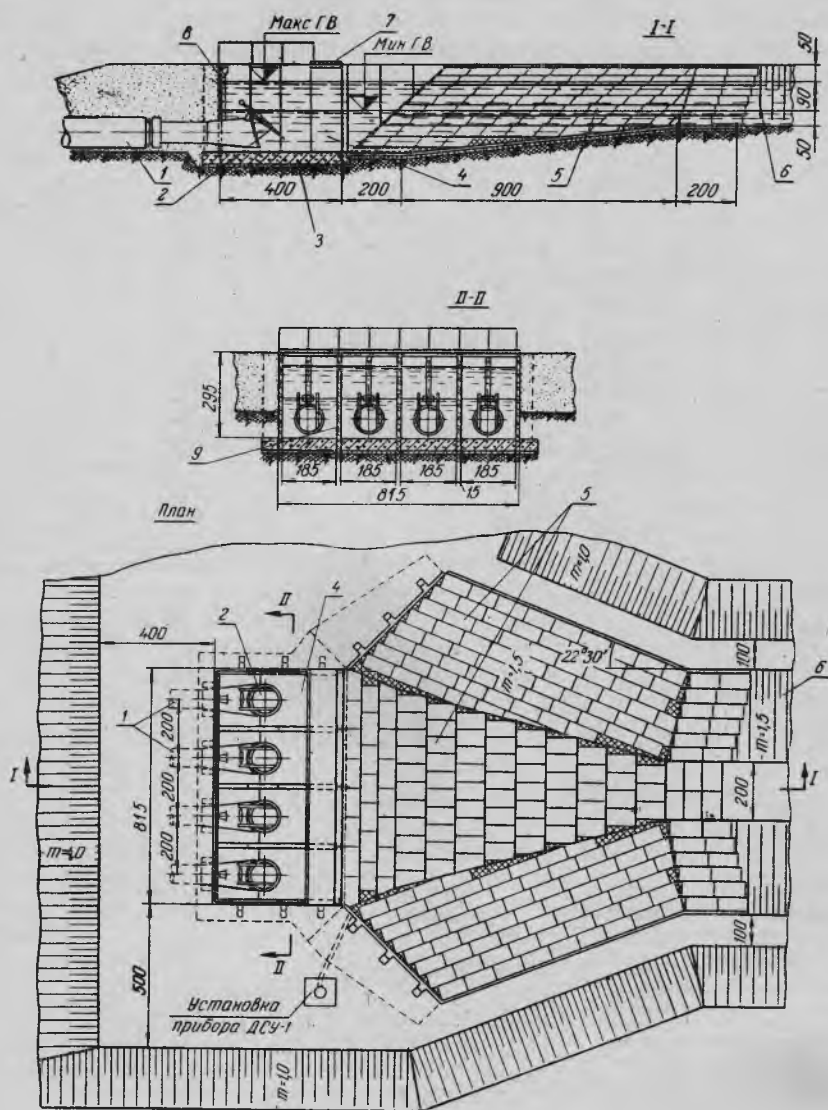


Рис. VIII—7. Напорный бассейн прямоточного типа из сборного железобетона с затворами механического действия:

1 — напорный трубопровод; 2 — затвор-хлопушка с противовесом; 3 — монолитная железобетонная плита; 4 — водовыпускное сооружение; 5 — переходная часть машинного канала, укрепленная железобетонными плитами на гравелистой подготовке; 6 — машинный канал; 7 — служебный мостик из железобетонных плит; 8 — сборные железобетонные блоки торцевой стены таврового сечения; 9 — раздельные стенки из железобетонных блоков.

Железобетонные водовыпуски могут быть выполнены монолитными или сборной конструкции.

На рисунке VIII—7 представлено водовыпускное сооружение из сборного железобетона.

Водовыпускные сооружения массивной конструкции возводят при средних глубинах воды в них и наличии в основании грунтов с допустимой нагрузкой свыше $1,5\text{--}2 \text{ кг/см}^2$. Бассейн такой конструкции представлен на рисунке VIII—1, из которого видно, что массивная монолитная часть выполняется в пределах отдельных бычков, а в переходной части конструкция более облегченная, состоящая из отдельно стоящих бетонных подпорных стен и мощеного дна между ними.

На рисунке VIII—8 представлено упрощенное сооружение, состоящее из соединяющей подпорной стенки с отводящим каналом, в начальной части закрепленным мощением. Такие сооружения применяют для малой производительности ($0,5\text{--}1 \text{ м}^3/\text{сек}$) при одной нитке напорного трубопровода и при отсутствии бычков, разделяющих выходные отверстия напорных трубопроводов;

б) по способу отключения подаваемого потока на бассейны: прямоточного типа с затвором механического действия, прямоточного типа с сифонным водовыпуском, прямоточного типа с приемным резервуаром-водосливом, делители с затворами механического действия.

Устройство делителей другого типа (сифонные водовыпуски, приемные резервуары) не получили распространения в практике из-за их громоздкости.

На ранних стадиях развития мелиоративных насосных станций (1931—1936 гг.) напорные бассейны проектировали с выпуском нескольких трубопроводов в общую камеру. Некоторые проектные организации, очевидно, в целях экономии бетонных работ предлагают не делать разделительных бычков, а выпускать из всех трубопроводов потоки воды в общую камеру (рис. VIII—9). Исследованиями установлено, что при отсутствии бычков сам поток образует мертвые зоны, заменяющие собой бычки.

На рисунке VIII—10 представлены материалы исследования: характер потока при работе тремя напорными трубопроводами в общую камеру бассейна без разделительных бычков.

На рисунке VIII—10, а даны линии тока у дна бассейна, определяющие характер потока при работе тремя трубопроводами при отсутствии бычков, заштрихованная часть представляет собой водоворотные зоны, как бы создающие бычки; на рисунке VIII—10, б дана фотография этого потока, где отчетливо виден верхний общий валец и языки вальцов, разделяющих выходящие из трубопроводов потоки. Учитывая то, что наличие бычков позволяет выключать при необходимости один из трубопроводов, не останавливая работы остальных, следует признать целесообразным устройство разделительных бычков.

Выбор того или иного типа водовыпуска определяется условиями компоновки узла сооружений насосной станции и обосновывается технико-экономическими расчетами.

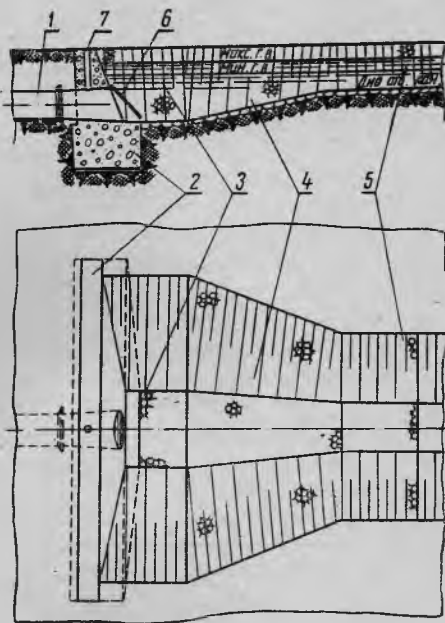


Рис. VIII—8. Напорный бассейн прямоточного типа упрощенной конструкции:

1 — напорный трубопровод; 2 — подпорная стенка; 3 — колодец напорного бассейна; 4 — переходная часть машинного канала, закрепленная одиночной мостовой; 5 — закрепленная мостовой начальная часть машинного канала; 6 — хлопушка; 7 — воздушная труба.

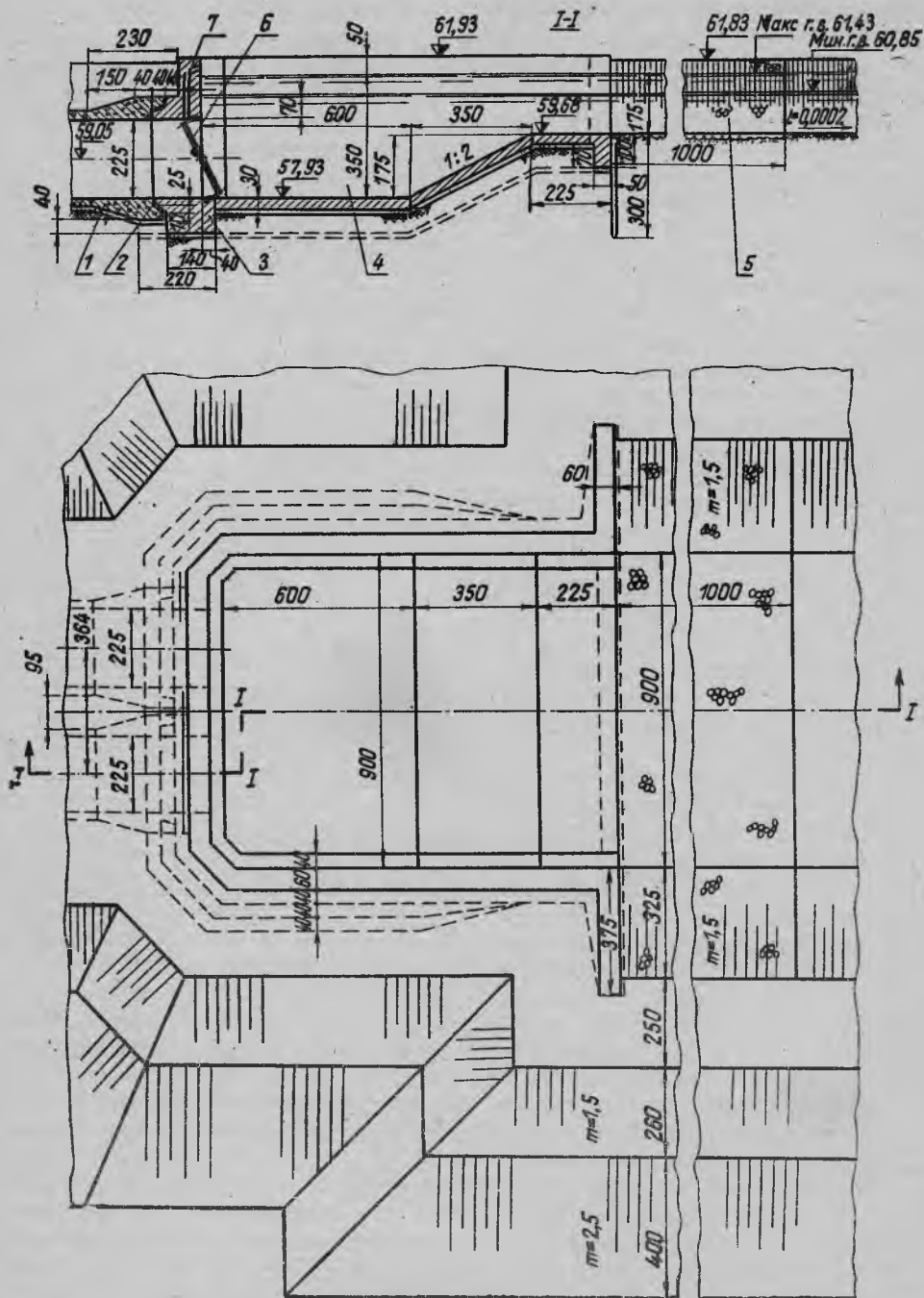


Рис. VIII—9. Напорный бассейн с общей камерой для нескольких напорных трубопроводов:

1 — напорный трубопровод; 2 — конструктивный осадочный шов; 3 — подпорная стенка; 4 — камера напорного бассейна, замощенная бетонными плитами; 5 — начальная часть машинного канала, покрытая одиночной мостовой; 6 — дроссельный затвор; 7 — воздушная труба.

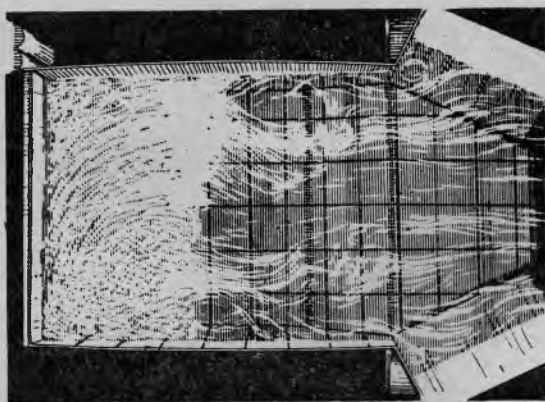
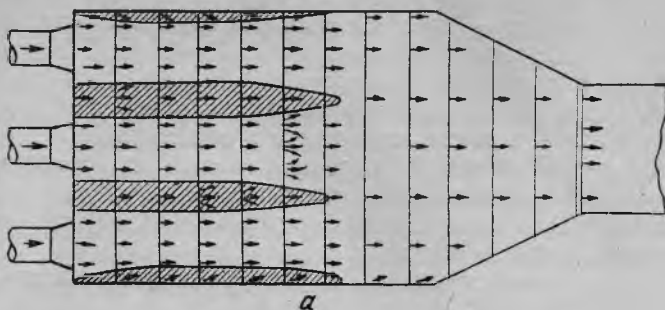


Рис. VIII—10. Характер потока в случае работы трех трубопроводов при отсутствии бычков (а) и фотография выходящего потока из трех напорных трубопроводов в общую камеру напорного бассейна (б).

б

§ 2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДОВЫПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Конструкция сооружения в целом и отдельных его элементов должна быть прочной и устойчивой под действием внешних нагрузок. Поэтому отдельные элементы и сооружение в целом подвергаются статическому расчету в соответствии с действующими нормами и условиями на проектирование гидротехнических сооружений.

Конфигурация внутренних поверхностей бассейна должна обеспечивать благоприятные гидравлические условия для протекания поступающих в него масс воды. Длина подземного контура должна быть проверена на фильтрацию из канала машинного орошения в сторону водоисточника. Необходимо установить целесообразность устройства обратных фильтров во избежание суффозии и выпора грунтов, залегающих на пути возможной фильтрации.

Размеры бассейна должны быть такими, чтобы не произошло всплывания его при опорожнении для ремонта. Проверку следует выполнять для случая, когда аварийные затворы в одной секции закрыты и в отводящем канале имеется вода. Сопряжение напорного бассейна с отводящим каналом должно обеспечивать достаточную длину контура сопряжения в отношении боковой фильтрации.

Длина крепления примыкающего участка отводящего канала должна гарантировать отсутствие размывов последнего.

Основные размеры напорного бассейна (ширина, высота, длина) определяют как на основании гидравлических расчетов, так и из условий монтажа и демонтажа оборудования и удобства эксплуатации.

Отметка дна бассейна определяется условиями размещения выходного отверстия напорного трубопровода под минимальный горизонт воды так, чтобы верхняя кромка трубопровода (шелыга) была затоп-

лена на величину, равную одному — трем скоростным напорам (считая по скорости выхода из трубопровода), но не менее 0,05—0,1 м. Расстояние низа трубы от дна определяется размерами уплотняющих конструкций для затворов, устанавливаемых на выходном отверстии, или специальными требованиями в зависимости от типа водовыпуска.

Высота подпорных стенок бассейна устанавливается из условия возвышения их верха над форсированным горизонтом воды на величину от 0,3 до 0,6 м. Этот запас в высоте стен берется в зависимости от величины форсированного расхода воды в отводящем канале.

Ширина бассейна определяется числом трубопроводов и расстоянием между осями трубопроводов, которое можно принять равным (рис. VIII—1)

$$B = D_{\text{вых}} + \delta_{\text{быч}} + 2b,$$

где $D_{\text{вых}}$ — внутренний диаметр или ширина выходного отверстия трубопровода;

$\delta_{\text{быч}}$ — толщина раздельного бычка (при отсутствии бычков $\delta_{\text{быч}} = 0$, а вместо $2b$ нужно брать b);

b — конструктивный запас между выходным отверстием и стенками или бычками бассейна. Обычно $b = 0,25—0,3$ м.

Полученное расстояние между осями трубопроводов должно обеспечивать возможность их укладки в месте примыкания к напорному бассейну, при необходимости оно может быть несколько увеличено.

Дно колодца следует делать заподлицо с низом трубопровода, если не требуется размещать уплотняющие конструкции затворов. Для устройства уплотняющих конструкций расстояние от трубы до стен и дна колодца обычно принимается равным 0,25—0,3 м.

Глубина колодца определяется разностью отметок дна бассейна и дна отводящего канала.

Длина колодца бассейна устанавливается гидравлическими расчетами из условия обеспечения спокойного выхода из него.

Между колодцем бассейна и отводящим каналом устраивается переходная часть канала, обеспечивающая поступление воды в канал с равномерными скоростями. Конфигурация переходной части канала зависит от соотношения ширины бассейна и ширины канала по дну.

Могут быть следующие конструкции соединений:

а) ширина канала равна ширине бассейна $B_{\text{кан}} = B_{\text{бас}}$ (рис. VIII—11, а); в этом случае, надо полагать, должны быть благоприятные гидравлические условия, так как скорости при выходе из бассейна будут близки к скоростям в канале, поэтому переходная часть отсутствует, и канал начинается непосредственно от бассейна;

б) ширина канала по дну больше ширины бассейна $B_{\text{кан}} > B_{\text{бас}}$ (рис. VIII—11, б); в этом случае скорости при выходе из бассейна постепенно уменьшаются, что в гидравлическом отношении является наиболее благоприятным. Угол расширения должен быть таким, чтобы не могло произойти отрыва потока от стенок канала. Центральный угол расширения может быть принят 30—40°;

в) наиболее часто встречающийся тип соединения, когда ширина канала по дну меньше ширины бассейна — $B_{\text{кан}} < B_{\text{бас}}$ (рис. VIII—11, в). В этом случае скорости в переходной части увеличиваются, сходящиеся стенки канала создают подпор выходящего потока, чем вызывают дополнительные завихрения в бассейне. В этом случае канал нужно крепить на большую длину, чем в других случаях. Центральный угол сужающейся переходной части канала в практике проектирования принимается 50—40°.

Напорные бассейны должны быть оборудованы запорными приспособлениями, не допускающими обратного излива воды из отводящего

канала через напорные трубопроводы в водоисточник при внезапной потере насосом привода от двигателя. Кроме того, должна быть предусмотрена возможность установки ремонтных и регулирующих щитов или шандор, а также необходимых подъемных механизмов и служебных мостиков.

Запорные приспособления, не допускающие обратного излива воды, бывают механического и гидравлического действия.

Запорные приспособления механического действия.

1. Обратный клапан типа «хлопушка» с металлическим или деревянным диском, с противовесом или без него. На рисунке VIII—12 дана схема обратного клапана типа «хлопушка» без противовеса, шарнирно соединенного с диффузором напорного трубопровода. Такие затворы можно применять для трубопроводов диаметром до 0,6 м.

На рисунке VIII—13 дана конструкция «хлопушки» с противовесом,

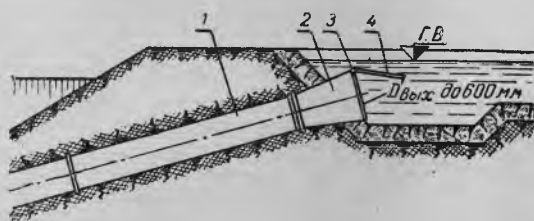


Рис. VIII—12. Обратный клапан типа «хлопушка»:

1 — напорный трубопровод; 2 — диффузор; 3 — шарнир «хлопушки»; 4 — диск «хлопушки».

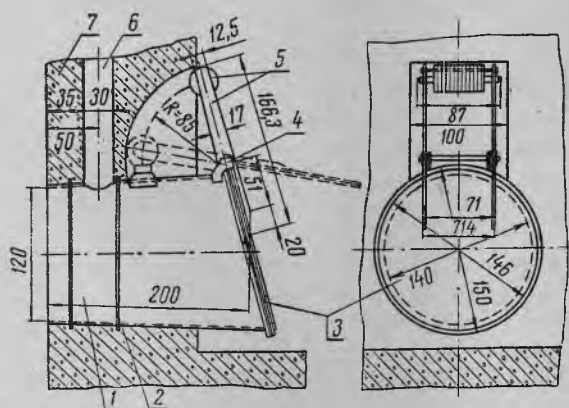


Рис. VIII—13. Обратный клапан «хлопушка» с противовесом:

1 — стальной диффузор; 2 — ребра для заделки; 3 — диск «хлопушки»; 4 — шарнир; 5 — противовес; 6 — воздушная трубка; 7 — стена напорного бассейна.

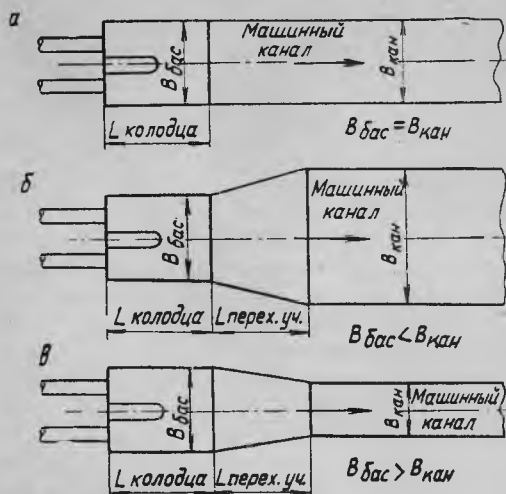


Рис. VIII—11. Схемы конфигурации переходной части машинного канала.

который ставится при более тяжелых затворах для большего открытия затвора силой вытекающей воды и тяжестью противовеса, а также для уменьшения силы удара при закрытии «хлопушки» в случае остановки насоса. Такие затворы применяются для трубопроводов диаметром до 1,2 м. При больших диаметрах трубопроводов, чтобы уменьшить вес затвора и ослабить силу удара при закрытии, ставят несколько клапанов на один трубопровод, располагая их оси вращения по вертикали через равные промежутки. Затворы типа «хлопушка» просты по устройству и, как показала практика, в эксплуатации работают хорошо. Их основным недостатком является создание значительных гидравлических сопротивлений ($\approx 12—15$ см).

Затворы типа «хлопушка» большого диаметра (3—4 м) можно применять лишь с принудительным подъемом и опусканием при помощи лебедки. При отсутствии автоматического управления лебедкой такие затворы применять не рекомендуется.

«Хлопушки» диаметром более 1,2 м очень громоздки, поэтому их применяют в исключительных случаях.

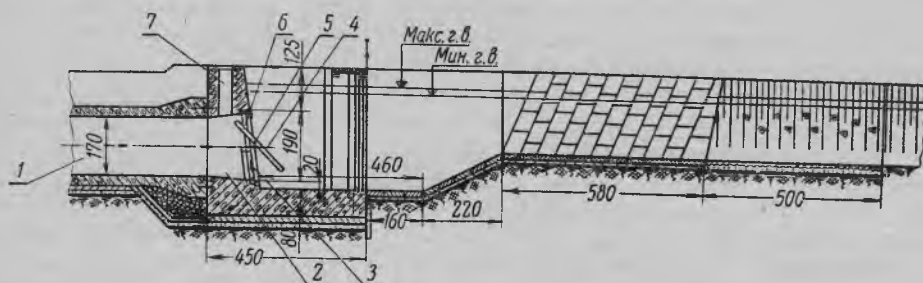


Рис. VIII—14. Напорный бассейн с дроссельным затвором:

1 — напорный трубопровод; 2 — диффузор в бетонной стенке; 3 — уплотняющие устройства; 4 — ось выходного отверстия; 5 — ось вращения диска дросселя; 6 — диск дросселя; 7 — воздушная труба.

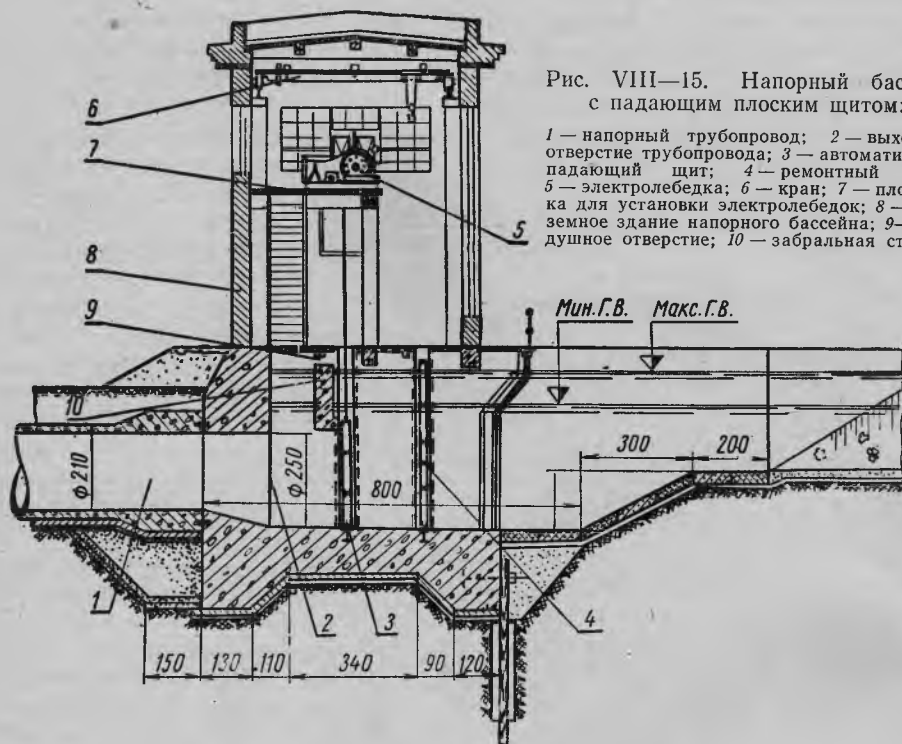


Рис. VIII—15. Напорный бассейн с падающим плоским щитом:

1 — напорный трубопровод; 2 — выходное отверстие трубопровода; 3 — автоматически падающий щит; 4 — ремонтный щит; 5 — электролебедка; 6 — кран; 7 — площадка для установки электролебедок; 8 — надземное здание напорного бассейна; 9 — воздушное отверстие; 10 — забральная стенка.

2. Для выходных диаметров трубопроводов более 1 м широкое применение нашли затворы дроссельного типа с горизонтально расположенной осью, поставленной эксцентрично. На рисунке VIII—14 приведена схема установки затвора дроссельного типа. Эксцентричная постановка оси образует пару сил, благодаря чему осуществляется открытие дросселя на больший угол и смягчается удар при внезапном закрытии. Затворы этого типа рекомендуется применять для выходного отверстия трубопровода диаметром до 2 м.

3. Для трубопроводов диаметром более 2 м вместо перечисленных ранее затворов применяют плоские, вертикальные, автоматически опу-

скающиеся и поднимающиеся щиты (рис. VIII—15). Щит делается такой высоты, чтобы перекрыть только выходное отверстие, а остальная высота перекрывается забральной стенкой, как это показано на рисунке. Верх забральной стенки возвышается над максимальным уровнем воды на 0,4 м и является порогом отверстия, предназначенного на случай перелива воды при запуске насоса при закрытом затворе. Площадь этого отверстия должна составлять 0,7 площади напорного трубопровода. Дно колодца бассейна устраивается заподлицо с низом выходного отверстия. Механизмы управления щитами (электролебедки) размещаются в надземной части напорного бассейна. При открытой установке механизмов надземную часть не устраивают. Все основные рассмотренные типы механических затворов установлены на многих мелиоративных и обводнительных насосных станциях, длительное время находятся в эксплуатации и зарекомендовали себя как достаточно простые и надежные конструкции.

В напорных бассейнах, кроме устанавливаемых механических затворов, предусматриваются аварийные (ремонтные) затворы в виде шандор с уплотнением или плоских щитов. Устройство аварийных затворов позволяет проводить ремонт основных затворов без остановки работы всей насосной станции. Конструкции щитов и шандор обычные, применяемые в гидротехнических сооружениях. Чтобы не допустить образования в трубопроводах вакуума при их опорожнении, перед затворами типа «хлопушка» и дроссельным устраивают специальные вертикальные трубы для впуска воздуха (рис. VIII—1). Диаметр трубки d для впуска воздуха равен диаметру воздушной трубы клапана срыва вакуума. Ориентировочно можно принимать $d = \frac{1}{5} - \frac{1}{6} D$.

Верхнее отверстие воздушной трубы выводится выше максимального горизонта воды в напорном бассейне и перекрывается сеткой для защиты от засорения. В напорных бассейнах с падающими щитами при опорожнении напорных трубопроводов воздух поступает через сбросное отверстие, устроенное над забральной стенкой. В напорных бассейнах типа делителя в выходных отверстиях устанавливают регулирующие затворы в виде плоских щитов (деревянных или металлических) с подъемными механизмами и мостиками для их обслуживания.

Запорные приспособления гидравлического действия. 1. Выпуск воды в напорный бассейн осуществляется при помощи сифона, и в случае внезапной остановки насоса сифон автоматически разряжается впуском воздуха через клапан срыва вакуума, чем и предотвращается обратный излив воды из напорного бассейна. Конструкция напорного бассейна прямоточного типа с сифонным водовыпуском представлена на рисунке VIII—45.

2. Выпуск воды через водосливные стенки приемного резервуара, расположенные на отметке выше возможного максимального горизонта воды в канале. Конструкция напорного бассейна прямоточного типа с приемным резервуаром-водосливом представлена на рисунке VIII—16. Вода поступает из напорного трубопровода в специальный резервуар, откуда через его стенки переливается и поступает в канал. При остановке насоса вода из канала в трубопровод попасть не сможет благодаря водосливным стенкам приемного резервуара, отметка гребня которых расположена выше, чем отметка максимального горизонта воды в канале. Этот тип бассейна удобен тем, что он лишен каких бы то ни было механизмов, от которых зависит работа бассейна: затворов механического действия, клапанов срыва вакуума. Недостатком бассейна с приемным резервуаром-водосливом является перерасход энергии из-за излишней высоты подъема, поэтому его можно с успехом применять при постоянном горизонте воды в машинном канале или при незначительных колебаниях горизонтов воды.

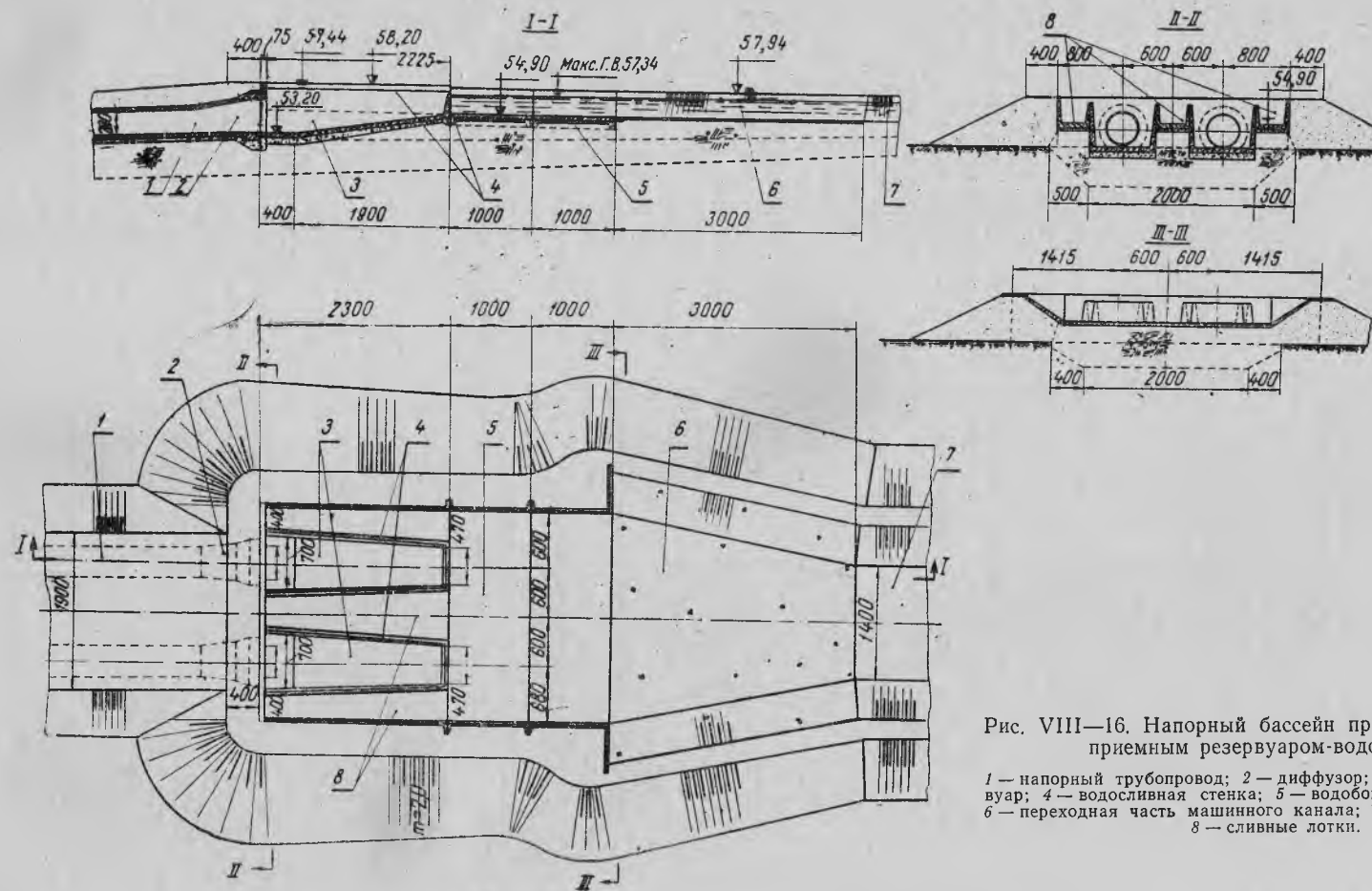


Рис. VIII—16. Напорный бассейн прямоточного типа с приемным резервуаром-водосливом:

1 — напорный трубопровод; 2 — диффузор; 3 — приемный резервуар; 4 — водосливная стенка; 5 — водобойная часть бассейна; 6 — переходная часть машинного канала; 7 — машинный канал; 8 — сливные лотки.

Место расположения напорного бассейна выбирают на основании технико-экономических расчетов. Вследствие этого напорный бассейн обычно располагают в полувыемке-полунасыпи относительно отметки максимального горизонта воды в напорном бассейне, являющейся командной отметкой оросительной системы.

При круглогодичной работе напорного бассейна его необходимо защищать от сильного промерзания и снежных заносов временным настилом или специальным сооружением.

Соединение бассейна с напорными трубопроводами должно быть осуществлено конструктивными водонепроницаемыми и осадочными швами, конструкция которых дается в разделе напорных трубопроводов. Основные требования к соединению трубопроводов с бассейном зависят от типа напорного трубопровода.

Монолитные железобетонные трубопроводы должны примыкать к стенке напорного бассейна впритык. Шов примыкания должен быть вер-

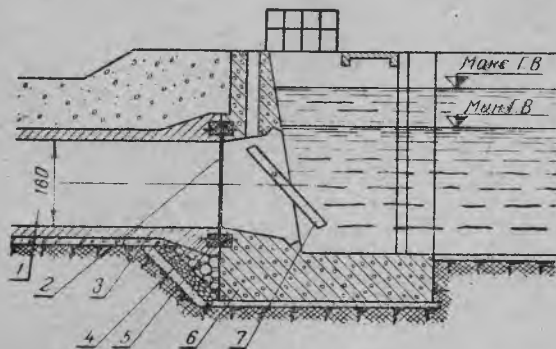


Рис. VIII—17. Присоединение монолитного железобетонного трубопровода к напорному бассейну:

1 — железобетонный напорный трубопровод; 2 — конструктивный водонепроницаемый шов; 3 — уголки стенок трубопровода; 4 — стальная гофрированная труба; 5 — гудронное заполнение; 6 — стена напорного бассейна; 7 — затвор.

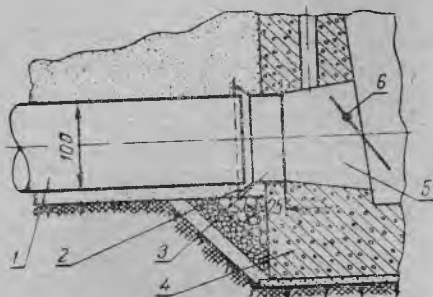


Рис. VIII—18. Присоединение чугунного трубопровода к напорному бассейну:

1 — чугунный трубопровод; 2 — заделка цементной массой; 3 — патрубок — фланец-раструб; 4 — стена напорного бассейна; 5 — диффузор; 6 — затвор.

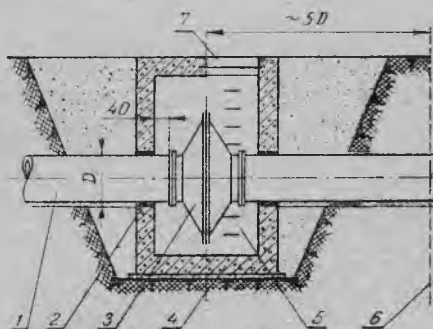


Рис. VIII—19. Тарельчатый компенсатор, установленный в колодце:

1 — стальной напорный трубопровод; 2 — сальниковый проход через стену; 3 — стальной сварной тарельчатый компенсатор; 4 — колодец компенсатора; 5 — скобы для спуска в колодец; 6 — грань стены напорного бассейна; 7 — стальная крышка люка.

тикальным, благодаря чему обеспечивается самостоятельная осадка трубопровода и бассейна. Следует иметь в виду, что железобетонные трубопроводы к бассейну подходят всегда засыпанными грунтом. Конструкция присоединения монолитного железобетонного трубопровода к бассейну показана на рисунке VIII—17.

Металлические трубопроводы при прокладке их в земле имеют сварные (для стальных труб) или раструбные (для чугунных) соединения. Чугунные трубы соединяются с бассейном при помощи фасонной детали раструб-фланец, фланцевый конец которой жестко заделывается в переднюю стенку напорного бассейна, а трубопровод входит в рас-

труб с соответствующей заделкой стыка (рис. VIII—18). Благодаря гибкости самого стыка каких-либо специальных дополнительных устройств не требуется.

На стальных трубопроводах, имеющих по длине сварные соединения и прокладываемых в земле или на поверхности грунта у передней стенки напорного бассейна, устанавливают компенсатор во избежание передачи на стенку температурных усилий, которые могут достигать значительных величин. При укладке труб в земле компенсатор должен быть установлен в специальном колодце (рис. VIII—19). Компенсатор должен также обеспечить самостоятельную вертикальную осадку трубопровода и бассейна.

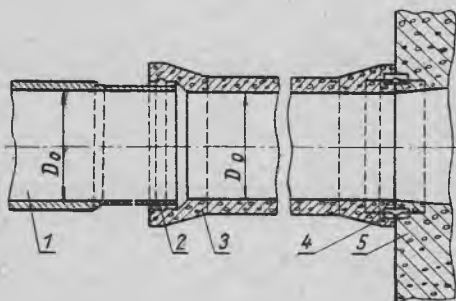


Рис. VIII—20. Присоединение асбестоцементной трубы к напорному бассейну при помощи железобетонной переходной вставки:

1 — асбестоцементная труба; 2 — зачеканка цементной массой; 3 — железобетонная переходная вставка (труба); 4 — конструктивный водонепроницаемый шов; 5 — стена напорного бассейна.

Асбестоцементные трубопроводы соединяются с напорным бассейном при помощи стальных, чугунных или железобетонных переходных вставок (рис. VIII—20).

§ 3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАПОРНОГО БАССЕЙНА

Основные размеры напорного бассейна определяют на основании гидравлических расчетов. Гидравлические расчеты, рекомендуемые при проектировании напорных бассейнов, основаны на материалах исследований, проведенных кафедрой «Насосы и насосные станции» Московского гидромелиоративного института и Институтом гидрогеологии и гидротехники Академии наук Украинской ССР. Рассмотрим конкретные примеры расчета напорных бассейнов всех типов и видов.

Напорный бассейн прямоточного типа с затворами механического действия. Исходные данные для расчета напорного бассейна.

Максимальный расход станции $Q_{\text{макс}} = 3 \text{ м}^3/\text{сек}$ подается в бассейн тремя напорными трубопроводами диаметром $D = 0,8 \text{ м}$, оканчивающимися диффузорами. Диаметр выходного отверстия диффузора рекомендуется принимать $D_{\text{вых}} = 1,1 \div 1,2D$. Принято $D_{\text{вых}} = 1,1D = 1,1 \cdot 0,8 \approx 0,9 \text{ м}$.

Минимальный расход насосной станции $Q_{\text{мин}} = 1 \text{ м}^3/\text{сек}$ подается по одной нитке трубопровода, что обуславливает выходную скорость:

$$v_{\text{вых}} = \frac{4Q_{\text{мин}}}{\pi D_{\text{вых}}^2} = \frac{4 \cdot 1}{3,14 \cdot 0,9^2} = 1,57 \text{ м/сек.}$$

Отводящий канал имеет ширину по дну $b_k = 3 \text{ м}$; заложение откосов $m = 1$; уклон дна канала $i = 0,00022$; зависимость глубины наполнения канала от пропускаемого расхода $Q = f(h_k)$ представлена графиком на рисунке VIII—21.

Расчет. Расчетная схема дана на рисунке VIII—22. Выходное отверстие рекомендуется заглублять под минимальный горизонт воды на величину

$$h_{\text{загл. мин}} = (1 \div 3) \frac{v_{\text{вых}}^2}{2g}, \text{ но не менее } 0,05 \text{—} 0,1 \text{ м.}$$

Минимальная скорость соответствует расходу, подаваемому одним насосом. Минимальный расход следует устанавливать в зависимости от схемы внутростанционной напорной коммуникации; так, при коллекторной схеме, обуславливающей равномерное распределение расхода по всем отводящим трубопроводам, очевидно, минимальным расходом трубопровода будет расход одного насоса, деленный на число ниток трубопровода. При частичном переключении, когда к одному трубопроводу присоединяют два насоса, минимальным расходом трубопровода является расход одного насоса.

В данном случае $v_{\text{вых}} = 1,57 \text{ м/сек}$, следовательно,

$$h_{\text{загл. мин}} = \frac{v_{\text{вых}}^2}{2g} = \frac{1,57^2}{19,62} = 0,13 \text{ м.}$$

По выходному диаметру $0,9 \text{ м}$ следует установить затвор типа «хлопушка» с противовесом, поэтому для устройства уплотняющих конструкций дно колодца нужно сделать ниже низа выходного отверстия. Принимаем величину $p = 0,2 \text{ м}$. Минимальная глубина воды в колодце бассейна

$$H_{\text{мин. кол}} = D_{\text{вых}} + h_{\text{загл. мин}} + p = 0,9 + 0,13 + 0,2 = 1,23 \text{ м.}$$

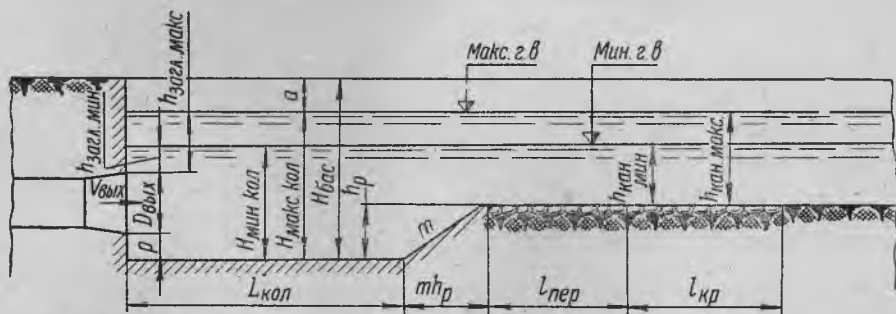


Рис. VIII—22. Расчетная схема напорного бассейна прямоточного типа.

Минимальная глубина в канале берется по графику $Q = f(h_k)$. Минимальному расходу станции $Q_{\text{мин}} = 1 \text{ м}^3/\text{сек}$ (рис. VIII—21) соответствует $h_{\text{кан. мин}} = 0,56 \text{ м}$, следовательно, высота порога или глубина колодца

$$h_p = H_{\text{мин. кол}} - h_{\text{кан. мин}} = 1,23 - 0,56 = 0,67 \text{ м.}$$

Максимальная глубина воды в колодце бассейна

$$H_{\text{макс. кол}} = h_p + h_{\text{кан. макс}} = 0,67 + 1,04 = 1,71 \text{ м,}$$

где $h_{\text{кан. макс}}$ берется по кривой $Q = f(h_k)$ для пропуска форсированного расхода насосной станции; в нашем примере форсированный расход равен максимальному $Q_{\text{макс}} = 3 \text{ м}^3/\text{сек}$ (форсированный расход следует принимать равным производительности всех установленных основных насосов на станции, то есть включая резервный насос).

Максимальное затопление шельги выходного отверстия напорного трубопровода

$$h_{\text{загл. макс}} = H_{\text{макс. кол}} - D_{\text{вых}} - p = 1,71 - 0,9 - 0,2 = 0,61 \text{ м.}$$

Принимая запас до бермы над максимальным горизонтом воды $a = 0,44 \text{ м}$, имеем полную высоту стен бассейна

$$H_{\text{бас}} = H_{\text{макс. кол}} + a = 1,71 + 0,44 = 2,15 \text{ м.}$$

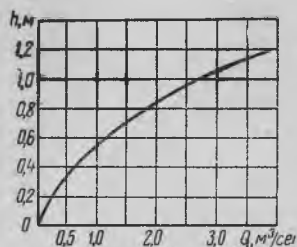


Рис. VIII—21. Зависимость пропускаемого расхода от глубины отводящего канала $Q = f(h_k)$.

Величина a принимается в зависимости от пропускаемого максимального (форсированного) расхода (табл. VIII—1).

ТАБЛИЦА VIII—1

$Q_{н-ст} \text{ м}^3/\text{сек}$	До 1	1—10	10—30	Свыше 30
$a, \text{ м}$	0,30	0,40	0,50	0,6 и больше

Длина колодца определяется по формуле

$$L_{\text{кол}} = Kh_{\text{загл. макс}},$$

где K — коэффициент, зависящий от формы порога и его величины. Значения K для круглого выходного отверстия напорного трубопровода, вертикального и наклонного (1:2) порога колодца можно брать по кривой зависимости $K=f(K_{D_{\text{вых}}})$, представленной на рисунке VIII—23,

где $K_{D_{\text{вых}}} = \frac{h_p}{D_{\text{вых}}}$ — отношение высоты порога колодца бассейна к выходному диаметру трубопровода.

В нашем случае для наклонного порога 1:2 и

$$K_{D_{\text{вых}}} = \frac{0,67}{0,9} = 0,75; \quad K = 6,2,$$

следовательно, $L_{\text{кол}} = 6,2 \cdot 0,61 \approx 3,8 \text{ м}$. Таким образом, общая длина бассейна, состоящая из длины колодца и длины порога, $L_{\text{бас}} = L_{\text{кол}} + mh_p = 3,8 + 2 \cdot 0,67 = 5,15 \text{ м}$.

Расстояние между осями трубопроводов в плане определится величиной

$$B = D_{\text{вых}} + 2b + \delta_{\text{быч}},$$

где b — конструктивный запас, зависящий от уплотняющих конструкций, в данном случае можно принять $b = 0,3 \text{ м}$; $\delta_{\text{быч}}$ — толщина бычка, принимаемая в зависимости от высоты бычка и размеров пазовых конструкций ремонтных затворов. Обычно минимальная толщина бычка принимается 0,6 м. Общая ширина бассейна

$$B_{\text{бас}} = (n - 1)B + D_{\text{вых}} + 2b,$$

где n — число ниток трубопровода.

Следует иметь в виду, что при плоских затворах, управляемых автоматически, $b = 0$. Для нашего расчетного случая $B = 0,9 + 2 \cdot 0,3 + 0,6 = 2,1 \text{ м}$. Общая ширина бассейна при трех нитках напорного трубопровода

$$B_{\text{бас}} = (3 - 1)2,1 + 0,9 + 2 \cdot 0,3 = 5,7 \text{ м}.$$

Расстояние между осями трубопроводов необходимо согласовать с возможностью производства работ, для чего надо определить расстояние в свету между трубопроводами (рис. VIII—1):

$$B_{\text{тр}} = B - D - 2\delta_{\text{тр}} = 2,1 - 0,8 - 2 \cdot 0,15 = 1 \text{ м},$$

где $\delta_{\text{тр}} = 0,15 \text{ м}$ — толщина стенок напорного железобетонного трубопровода. Расстояние $B_{\text{тр}} = 1 \text{ м}$ вполне достаточно для выполнения работ. Если же потребуются большее расстояние, то его лучше увеличить за счет толщины бычка, так как увеличение размера b ухудшает

структуру потока из-за образования боковых водоворотных зон большего размера.

Бассейн сопрягается с каналом переходной воронкой, за которой начальная часть канала закрепляется мощением на длину $L_{кр} = 4 \div 5 h_{кан.макс}$, установленную в результате проведенных лабораторных исследований. Это мероприятие необходимо предусмотреть во избежание размыва вследствие неравномерности скоростей в начальной части канала.

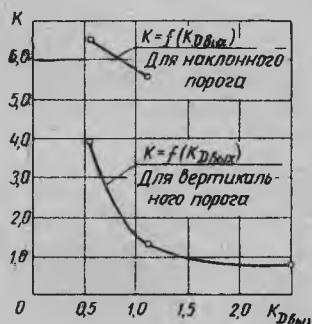


Рис. VIII—23. Кривая зависимости коэффициента K (при определении длины колодца) от отношения глубины порога h_p к $D_{вых}$.

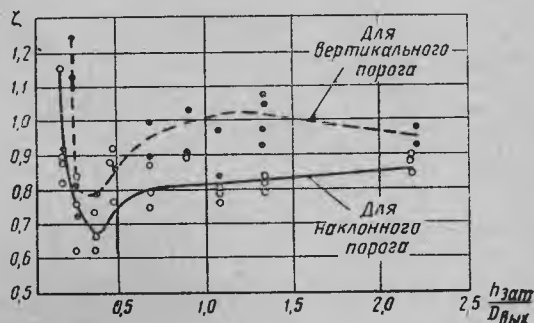


Рис. VIII—24. Кривая зависимости коэффициента сопротивления напорного бассейна с порогом высотой $0,6 D_{вых}$ от отношения глубины затопления трубопровода к выходному диаметру $\zeta = f\left(\frac{h_{зат}}{D_{вых}}\right)$.

В напорном бассейне происходит потеря напора на гидравлические сопротивления. Для определения полного напора насоса потери напора в бассейне подсчитываются по формуле

$$h_{w \text{ бас}} = \zeta \frac{v_{вых}^2}{2g}.$$

где ζ — коэффициент гидравлических сопротивлений можно принять по графику зависимости коэффициента сопротивлений ζ от отношения глубины затопления выходного отверстия $h_{зат}$ к выходному диаметру напорного трубопровода $D_{вых}$, полученному в результате лабораторных исследований.

График зависимости $\zeta = f\left(\frac{h_{зат}}{D_{вых}}\right)$ для наклонного (1:2) и вертикального порогов представлен на рисунке VIII—24. В нашем случае при минимальном затоплении $\frac{h_{зат}}{D_{вых}} = \frac{0,13}{0,9} = 0,15$ коэффициент сопротивления бассейна $\zeta = 1,1$, а при максимальном затоплении, равном $\frac{0,61}{0,9} = 0,68$, коэффициент $\zeta = 0,8$. Потери напора в затворе, установленном в конце трубопровода, этим коэффициентом не учитываются.

Как видно из графика на рисунке VIII—24, минимальные потери соответствуют отношению $\frac{h_{зат}}{D_{вых}} \cong 0,4$ для бассейна с наклонным порогом 1:2, чему соответствует $\zeta = 0,67$. Так как величина затопления — величина переменная и зависит от подаваемого расхода насосной станцией, то и коэффициент сопротивления, а значит, и потери напора в бассейне будут изменяться, что следует учитывать при определении напора насоса для различных эксплуатационных случаев.

Напорный бассейн проточного типа с приемным резервуаром-водосливом. Исходные данные для определения основных размеров напорного бассейна приняты следующие:

1) максимальный расход насосной станции $Q_{\max} = 4 \text{ м}^3/\text{сек}$;

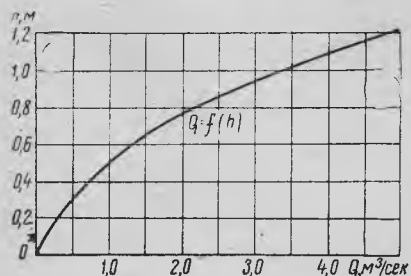
2) минимальный расход насосной станции $Q_{\min} = 1 \text{ м}^3/\text{сек}$;

3) к напорному бассейну подходят две нитки напорных трубопроводов $D = 1,2 \text{ м}$;

4) диаметр выходного отверстия трубопровода $D_{\text{вых}} = 1,4 \text{ м}$;

5) отводящий канал трапециевидной формы имеет ширину по дну $b_{\text{кан}} = 3 \text{ м}$; заложение откосов $m = 1,5$; уклон дна $i = 0,0001$; кривая зависимости глубины наполнения канала от пропускаемого расхода представлена на рисунке VIII—25. Расчетная схема дана на рисунке VIII—26.

Рис. VIII—25. Кривая зависимости расхода от глубины наполнения канала $Q = f(h)$.



Напорные бассейны с резервуаром могут иметь резервуар переменной и постоянной глубины. Для резервуара с постоянной глубиной шельфа выходного отверстия трубопровода размещается на уровне макси-

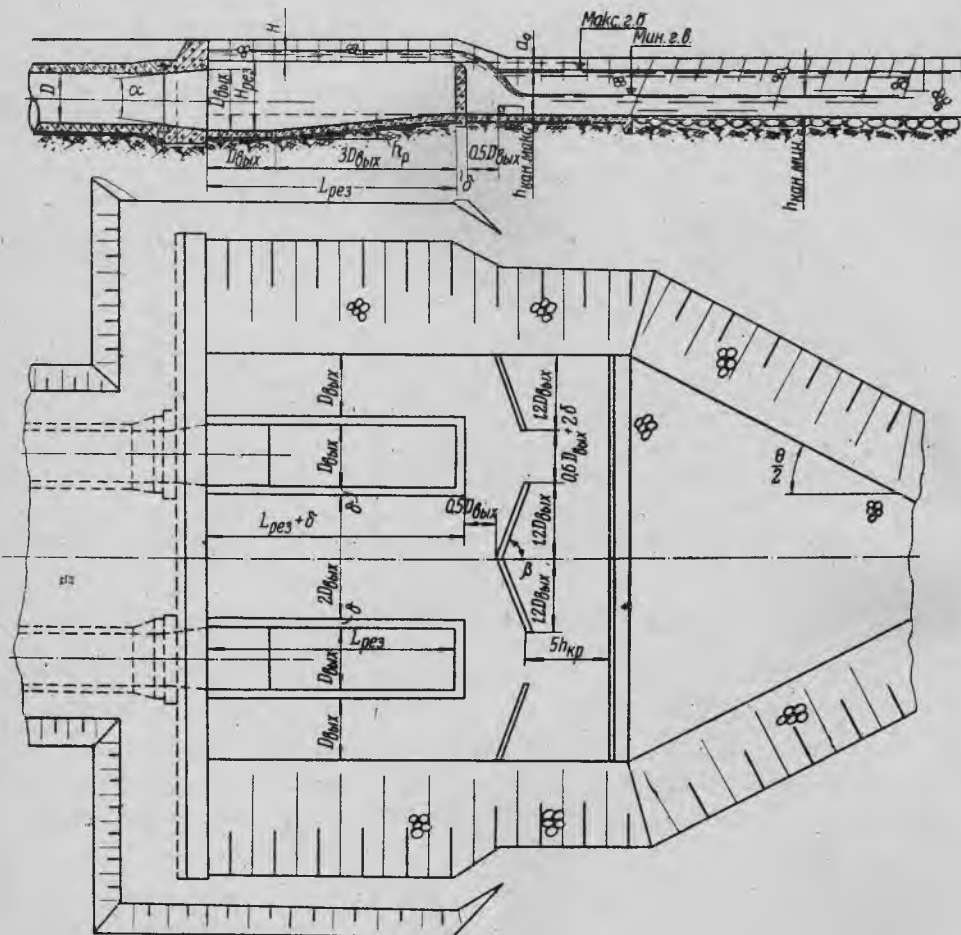


Рис. VIII—26. Расчетная схема напорного бассейна с приемным резервуаром-водосливом.

мального горизонта воды в отводящем канале, для резервуара с переменной глубиной — на уровне минимального горизонта воды в канале. При постоянной глубине резервуара вода в канал подается через гребень водослива, имеющего постоянную отметку независимо от величины расхода. Это обуславливает подъем воды на лишнюю высоту относительно горизонта воды в канале, а следовательно, и значительный перерасход энергии, что является основным недостатком данного типа напорного бассейна. Резервуар с переменной глубиной дает возможность в зависимости от горизонта воды в канале увеличивать или уменьшать высоту стен резервуара и уменьшать перерасход энергии, так как подъем воды будет соответствовать горизонту воды в канале. В обеих конструкциях подъем воды будет всегда выше горизонта воды в канале на величину запаса стенки резервуара a_0 (обычно 0,1 м) и величину напора на гребне водослива $H_{гр}$. Обеспечить переменную глубину в резервуаре возможно путем устройства стенок его в виде шандор, что, несомненно, более сложно в эксплуатации, чем при постоянной глубине резервуара. Общая строительная высота стенок резервуара с постоянной глубиной значительно меньше, чем с переменной.

Постоянная глубина резервуара определяется величиной $H_{рез} = D_{вых} + a_0 = 1,4 + 0,1 = 1,5$ м, так как низ выходного отверстия трубопровода располагается на одной отметке с дном резервуара.

Максимальная глубина воды в канале (рис. VII—25) $h_{кан.макс} = 1,08$ м, следовательно, высота порога резервуара $h_p = D_{вых} - h_{кан.макс} = 1,4 - 1,08 = 0,32$ м. При переменной глубине резервуара максимальная его глубина будет:

$$H'_{рез} = D_{вых} - h_{кан.мин} + h_{кан.макс} + a_0 = 1,4 - 0,5 + 1,08 + 0,1 = 2,08 \text{ м,}$$

а высота порога резервуара $h'_p = D_{вых} - h_{кан.мин} = 1,4 - 0,5 = 0,9$ м, что приблизительно в три раза больше, чем при резервуаре постоянной глубины.

Как видно, при переменной глубине размеры резервуара значительно увеличиваются.

Во избежание образования боковых вальцов, усложняющих характер потока, ширину резервуара следует делать равной ширине выходного отверстия, то есть $D_{вых}$.

Длина приемного резервуара, согласно рекомендации Института гидрологии и гидротехники Академии наук Украинской ССР, принимается равной $4D_{вых}$. Следовательно, $L_{рез} = 4D_{вых} = 4 \cdot 1,4 = 5,6$ м или может быть определена по экономическим соображениям по формуле

$$L_{рез} = \frac{1}{2} \left\{ \left[\frac{\frac{4}{3} \frac{\gamma Q_{ср.куб} t y}{102 \eta_{н.у}} \left(\frac{Q_{ср.куб}}{m n \sqrt{2g}} \right)^{2/3}}{p \chi} \right]^{3/5} - b \right\},$$

где $Q_{ср.куб} = \sqrt[3]{\frac{\sum Q^3 \Delta t}{\sum \Delta t}}$ — среднекубический расход станции, м³/сек;

t — число часов работы насосной станции в течение года;

y — стоимость 1 кВт · ч электроэнергии в рублях;

$\eta_{н.у}$ — к.п.д. насосной установки;

χ — стоимость 1 пог. м резервуара в рублях;

p — процент ежегодных отчислений в фонд восстановления и на ремонт;

m — коэффициент расхода;

n — число резервуаров;

$b = D_{вых}$ — ширина резервуара, м.

В разбираемом примере длина гребня водослива

$$l = 2L_{рез} + b = 2 \cdot 5,6 + 1,4 = 12,6 \text{ м.}$$

Средний геометрический напор на гребне водослива определяется по формуле

$$H_{гр} = \left(\frac{Q_{\max}}{m_1 n l \sqrt{2g}} \right)^{2/3} \text{ м},$$

где m_1 — коэффициент расхода, принимаемый по графику, представленному на рисунке VIII—27.

На рисунке VIII—27 даны графики значений m_1 , m и ε ; m — это коэффициент расхода, отнесенный к напору H_0 , учитывающий кинетическую энергию скорости подхода $\frac{v_0^2}{2g}$; ε — отношение скоростного напора подходной скорости v_0 к скоростному напору скорости при выходе из напорного трубопровода $v_{\text{вых}}$, следовательно $\varepsilon = \frac{v_0^2}{v_{\text{вых}}^2}$ — отношение

квадрата скорости подхода к гребню водослива к квадрату скорости в выходном сечении диффузора напорного трубопровода, имеющего угол $\alpha \cong$ до 11° . Значение m определялось по формуле

$$m = 0,44 \left(0,7 + 0,185 \frac{H_{гр}}{\delta} \right),$$

где δ — толщина водосливной стенки.

Сплошной линией на графике (рис. VIII—27) даны значения m_1 , m и ε по опытам Института гидрологии и гидротехники Академии наук УССР, а пунктиром — экстраполяция. Как видно, при $q \cong 0,1 \text{ м}^3/\text{сек}$ водослив практически превращается в водослив с широким порогом, имеющим коэффициент расхода $m=0,3$.

Гребень водослива следует выполнять толщиной поверху $0,5\delta$, где δ — толщина железобетонной стенки резервуара, определяемая статическим расчетом.

Определяем напор на гребне водослива для пропуска максимального расхода $Q_{\max}=4 \text{ м}^3/\text{сек}$ при числе резервуаров $n=2$. Единичный расход

$$q = \frac{Q_{\max}}{nl} = \frac{4}{2 \cdot 12,6} = 0,16 \text{ м}^3/\text{сек} \cdot \text{пог. м}.$$

Согласно графику (рис. VIII—27), $m_1=0,32$, следовательно,

$$H_{гр} = \left(\frac{4}{0,32 \cdot 2 \cdot 12,6 \sqrt{19,62}} \right)^{2/3} = 0,232 \text{ м}.$$

Скорость в выходном отверстии трубопровода

$$v_{\text{вых}} = \frac{4Q_{\max}}{\pi l D_{\text{вых}}^2} = \frac{4 \cdot 4}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,4^2} = 1,3 \text{ м/сек}.$$

Квадрат скорости подхода $v_0^2 = \varepsilon v_{\text{вых}}^2 = 0,995 \cdot 1,30^2 = 1,68$. Следовательно,

$$H_0 = H_{гр} + \frac{v_0^2}{2g} = 0,232 + \frac{1,68}{19,62} = 0,318 \text{ м}.$$

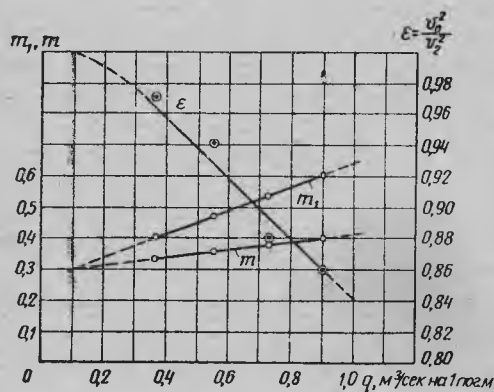


Рис. VIII—27. Графики значений величин m , m_1 и ε .

Пользуясь способом проведенного расчета, можно определить напор на гребне водослива для любого пропускаемого расхода, что дает возможность определить потребное количество энергии и выяснить влияние напорного бассейна на работу насоса.

Гидравлические явления при сопряжении потоков, выходящих из приемных резервуаров, с потоком в канале довольно сложные, и поэтому практически гидравлический расчет сводится к определению условий, обеспечивающих выравненные скорости в части канала, примыкающей к напорному бассейну. Выравнивание скоростей достигается, по рекомендации Института гидрологии и гидротехники Академии наук УССР, устройством гасителя, состоящего из двух рядов зубьев: первый ряд из косых в плане зубьев, второй ряд сплошной из прямых зубьев. Расположение зубьев показано на рисунке VIII—26.

Ширину сливных лотков можно принять равной $D_{\text{вых}}$, что обуславливает ширину среднего лотка $b_{\text{ср.л}} = 2D_{\text{вых}} = 2 \cdot 1,4 = 2,8 \text{ м}$ (рис. VIII—26).

Высота зуба определяется в зависимости от критической глубины сливного лотка. В рассматриваемом примере при подаче максимального расхода насосной станцией в средний лоток будет идти расход $Q = 2 \text{ м}^3/\text{сек}$, а на 1 м ширины лотка

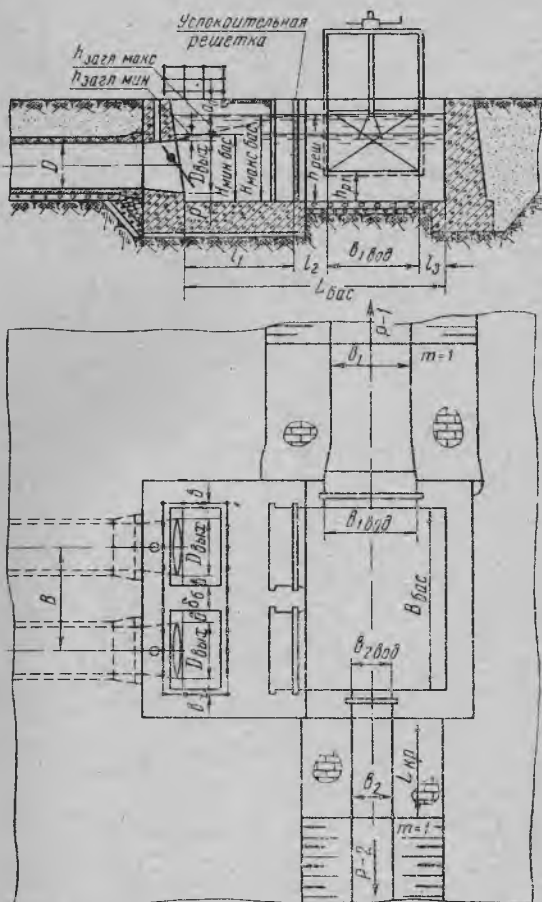


Рис. VIII—28. Расчетная схема напорного бассейна-делителя.

$$q_{\text{л}} = \frac{Q}{b_{\text{ср.л}}} = \frac{2}{2,8} = 0,715 \text{ м}^3/\text{сек псг. м.}$$

Критическая глубина

$$h_{\text{кр.ср.л}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q_{\text{л}}^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 0,715^2}{9,81}} = 0,373 \text{ м,}$$

что меньше 1,04 м глубины в канале, следовательно, поток спокойный. Высота зуба первого порога $c_1 = 0,35h_{\text{кр.ср.л}} = 0,35 \cdot 0,373 = 0,13 \text{ м}$. Угол между направлением порогов и осью канала принимается $\beta = 60-70^\circ$. Вершина центрального угла между порогами в среднем центральном лотке располагается при прямоугольном очертании резервуаров на

0,5 $D_{\text{вых}}$ ниже створа, проведенного в конце приемных резервуаров, а при полуциркульном очертании — на этом створе. Ширина порогов равна 1,2 $D_{\text{вых}}$. Второй сплошной порог располагается от первого примерно на расстоянии

$$5h_{\text{кр.ср.л}} = 5 \cdot 0,373 = 1,85 \text{ м.}$$

Высота зуба этого порога $c_2 = (0,6-0,8)c_1 \cong 0,1 \text{ м.}$

Напорный бассейн типа делителя*. Исходные данные для расчета напорного бассейна-делителя, представленного на рисунке VIII—28, следующие:

а) общий максимальный расход насосной станции $Q_{\text{макс}} = 4 \text{ м}^3/\text{сек};$

б) максимальный расход подается в бассейн двумя напорными трубопроводами диаметрами $D = 1,2 \text{ м}$, оканчивающимися диффузором с диаметром выходного отверстия $D_{\text{вых}} = 1,4 \text{ м} \approx 1,2D$. Следовательно, максимальный расход по трубопроводу $Q_{\text{макс.тр}} = \frac{Q_{\text{макс}}}{2} = 2 \text{ м}^3/\text{сек},$

а выходная максимальная скорость

$$v_{\text{вых}} = \frac{4Q_{\text{макс.тр}}}{\pi D_{\text{вых}}^2} = \frac{4 \cdot 2}{3,14 \cdot 1,4^2} = 1,3 \text{ м/сек};$$

в) минимальный расход насосной станции $Q_{\text{мин}} = 2 \text{ м}^3/\text{сек}$, следовательно, каждой ниткой трубопровода подается $Q_{\text{мин.тр}} = 1 \text{ м}^3/\text{сек}$, что обеспечивает минимальную выходную скорость

$$v_{\text{вых.мин}} = \frac{4 \cdot 1}{3,14 \cdot 1,4^2} = 0,65 \text{ м/сек};$$

г) от напорного бассейна отходят два канала трапецидальной формы — Р-1 и Р-2. Канал Р-1 имеет ширину по дну $b_1 = 2 \text{ м}$, заложение откосов $m = 1$, уклон дна $i_1 = 0,00011$; $Q_1 \text{ макс} = 2,8 \text{ м}^3/\text{сек}$; $Q_1 \text{ мин} = 1,4 \text{ м}^3/\text{сек}$; этому соответствует $h_1 \text{ макс} = 1,24 \text{ м}$; $v_1 \text{ макс} = 0,7 \text{ м/сек}$; $h_1 \text{ мин} = 0,87 \text{ м}$; $v_1 \text{ мин} = 0,56 \text{ м/сек}$. Для Р-2 имеем: $b_2 = 1 \text{ м}$; $m = 1$,

$$i_2 = 0,00018, Q_2 \text{ макс} = 1,2 \text{ м}^3/\text{сек}; Q_2 \text{ мин} = 0,6 \text{ м}^3/\text{сек};$$

$$h_2 \text{ макс} = 0,91 \text{ м}; v_2 \text{ макс} = 0,7 \text{ м/сек}; h_2 \text{ мин} = 0,62;$$

$$v_2 \text{ мин} = 0,59 \text{ м/сек}.$$

Исследованиями, проведенными в лаборатории кафедры «Насосы и насосные станции» Московского гидромелиоративного института [24], было установлено, что для выравнивания скоростей в бассейне необходимо иметь его длину, равную примерно 10 $D_{\text{вых}}$. Для сокращения длины бассейна применяли успокоительные решетки, которые оказывали хорошее действие на выравнивание потока при незначительном повышении статического давления в напорном трубопроводе — всего около 1,5% от заглубления выходного сечения трубопровода под горизонт воды в бассейне. Поэтому рекомендуется устраивать напорные бассейны типа делителя с успокоительными решетками. На рисунке VIII—28 представлена расчетная схема напорного бассейна-делителя с устройством успокоительной решетки и затворами механического действия.

Высотные размеры бассейна и размеры по ширине определяются аналогично размерам напорного бассейна прямоточного типа с затворами механического действия. Привязка всех размеров бассейна обычно ведется к отводящему каналу большего сечения, в данном примере Р-1.

Выходное сечение напорного трубопровода заглубляется под минимальный горизонт на величину

* По исследованиям А. П. Исаева.

$$h_{\text{загл.мин}} = (1 \div 3) \frac{v_{\text{вых.мин}}^2}{2g} = 3 \cdot \frac{0,65^2}{19,62} = 0,065 \text{ м},$$

но не менее 0,1 м. Принимаем $h_{\text{загл.мин}} = 0,1 \text{ м}$.

По выходному диаметру $D_{\text{вых}} = 1,4 \text{ м}$ следует установить затвор дроссельного типа, поэтому для устройства уплотняющих конструкций нужно дно колодца расположить ниже низа выходного отверстия на величину $p = 0,2 \text{ м}$.

Минимальная глубина воды в колодце бассейна

$$H_{\text{мин.бас.}} = D_{\text{вых}} + h_{\text{загл.мин}} + p = 1,4 + 0,1 + 0,2 = 1,7 \text{ м}.$$

Высота порога Р-1, или глубина колодца

$$h_{p1} = H_{\text{мин.бас.}} - h_{1 \text{ кан.мин}} = 1,7 - 0,87 = 0,83 \text{ м},$$

где минимальная глубина в канале соответствует $Q_{1 \text{ мин}} = 1,4 \text{ м}^3/\text{сек}$. Максимальная глубина воды в бассейне определяется из условия пропуска воды в водовыпуск наибольшей производительности, в рассматриваемом примере в Р-1. Единичный расход в водовыпускном отверстии определяется по эмпирической формуле, полученной в результате исследований:

$$q_{\text{вод}} = (1,2 \div 1,5) h_{\text{кан.макс}} v_{1 \text{ макс}},$$

где $1,2 \div 1,5$ — коэффициент, который зависит от одежды примыкающей части отводящего канала; для слабого крепления коэффициент принимается 1,2, для бетонной одежды — 1,5;

$h_{1 \text{ кан.макс}}$ — максимальная глубина в канале, м;

$v_{1 \text{ макс}}$ — максимальная скорость в канале, м/сек.

Принимая коэффициент равным 1,4 для бетонной одежды, имеем

$$q_{1 \text{ вод}} = 1,4 \cdot 1,24 \cdot 0,7 = 1,2 \text{ м}^3/\text{сек},$$

следовательно, ширина водовыпуска в Р-1

$$b_{1 \text{ вод}} = \frac{Q_{1 \text{ макс}}}{q_{1 \text{ вод}}} = \frac{2,8}{1,2} = 2,3 \text{ м}.$$

Критическая глубина

$$h_{\text{кр}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q_{1 \text{ вод}}^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 1,2^2}{9,81}} = 0,545 \text{ м}.$$

Максимальная глубина в напорном бассейне над порогом водовыпуска при затопленном истечении определяется по формуле

$$H_{\text{зат}} = \sqrt{(h_{\text{кан.макс}} - H_{\text{пред}})^2 + (H_{\text{незат}} - H_{\text{пред}})^2} + H_{\text{пред}},$$

где $H_{\text{пред}} = kh_{\text{кр}}$ — предельная глубина воды в канале относительно порога водовыпуска, превышение которой ведет к затоплению водовыпуска;

$H_{\text{незат}} = \frac{q_{\text{вод}}^{2/3}}{m^{2/3} \sqrt[3]{2g}}$ — глубина воды в напорном бассейне относительно

порога водовыпуска при незатопленном истечении;

$k = \frac{0,385}{m}$ — коэффициент связи между $H_{\text{пред}}$ и $h_{\text{кр}}$;

m — коэффициент расхода, учитывающий условия высотного расположения напорных трубопроводов и порога водовыпуска;

$$m = 0,324 + 0,015(2 - \eta),$$

где $\eta = \frac{h_p}{\frac{D_{\text{вых}}}{2} + p}$, значения h_0 , $D_{\text{вых}}$ и p даны ранее. Подставляя соответствующие величины, имеем:

$$m_1 = 0,324 + 0,015 \left(2 - \frac{0,83}{\frac{1,4}{2} + 0,2} \right) = 0,342;$$

$$H_{\text{пред}} = \frac{0,385}{0,342} \cdot 0,545 = 0,614 \text{ м};$$

$$H_{\text{незат}} = \frac{1,2^{2/3}}{0,342^{2/3} \sqrt[3]{19,62}} = \frac{1,13}{0,489 \cdot 2,7} = 0,855 \text{ м};$$

$$H_{\text{зат}} = \sqrt{(1,24 - 0,614)^2 + (0,855 - 0,614)^2} + 0,614 = 1,284 \text{ м}.$$

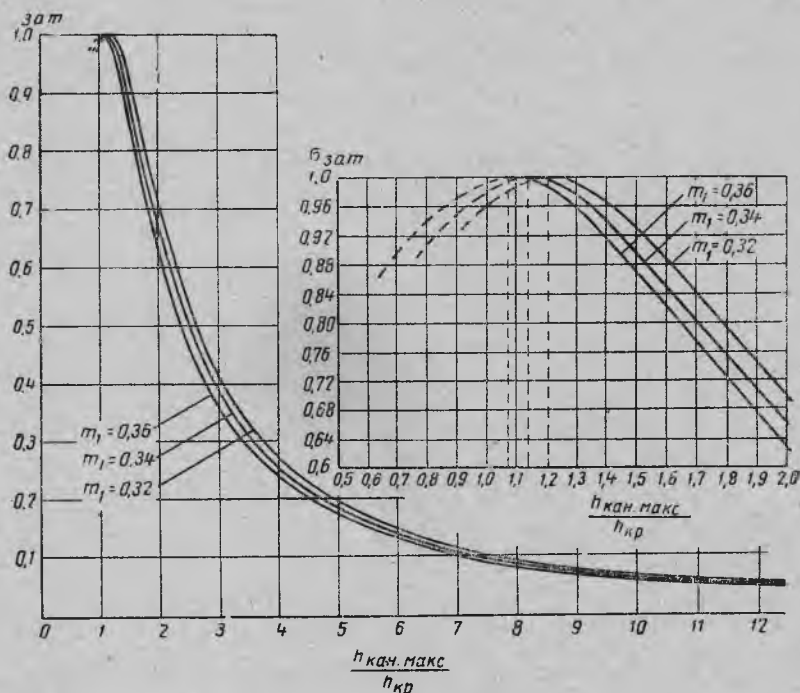


Рис. VIII—29. График зависимости коэффициента затопления $\sigma_{\text{зат}}$ от отношения максимальной глубины в канале $h_{\text{кан.макс}}$ к критической глубине $h_{\text{кр}}$.

Следовательно, максимальная глубина воды в напорном бассейне будет равна сумме глубин воды в колодце h_p и над порогом водовыпуска $H_{\text{зат}}$:

$$H_{\text{макс.бас}} = h_{p1} + H_{\text{зат}} = 0,83 + 1,284 \approx 2,11 \text{ м}.$$

Величину $H_{\text{зат}}$ можно определить при помощи коэффициента затопления:

$$\sigma_{\text{зат}} = f \left(\frac{h_{\text{кан.макс}}}{h_{\text{кр}}} \right),$$

который берется по графику, представленному на рисунке VIII—29.

Для $\frac{h_{\text{кан.макс}}}{h_{\text{кр}}} = \frac{1,24}{0,545} = 2,28$ и $m_1 = 0,342$ величина $\sigma_{\text{зат}} = 0,57$.

$$H'_{\text{зат}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q_{1\text{ вод}}^2}{m_1^2 \sigma_{\text{зат}}^2 \cdot 2g}} = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 1,2^2}{0,342^2 \cdot 0,57^2 \cdot 19,62}} = \sqrt[3]{\frac{1,58}{0,745}} = 1,285 \text{ м},$$

что близко к полученному ранее $H_{\text{зат}} = 1,284 \text{ м}$.

Принимая превышение стен бассейна над уровнем максимального горизонта воды $a_0 = 0,34 \text{ м}$, имеем полную глубину бассейна

$$H_{\text{бас}} = H_{\text{макс.бас}} + a_0 = 2,11 + 0,34 = 2,45 \text{ м}.$$

Максимальное заглубление шельги выходного отверстия

$$h_{\text{загл.макс}} = H_{\text{макс.бас}} - D_{\text{вых}} - p = 2,11 - 1,4 - 0,2 = 0,51 \text{ м}.$$

Высота порога при выходе в Р-2

$$h_{p2} = H_{\text{мин.бас}} - h_{2\text{ кан.мин}} = 1,7 - 0,62 = 1,08 \text{ м}.$$

Ширину остальных водовыпусков, в данном случае в Р-2, определяют, исходя из максимальной глубины над порогом

$$H_{2\text{ зат}} = H_{\text{макс.бас}} - h_{p2} = 2,11 - 1,08 = 1,03 \text{ м}$$

и максимальной глубины в канале $h_{2\text{ кан.макс}} = 0,91 \text{ м}$.

Коэффициент расхода:

$$m_2 = 0,324 + 0,015 \left(2 - \frac{h_{p2}}{\frac{D_{\text{вых}}}{2} + p} \right) = 0,324 + 0,015 \left(2 - \frac{1,08}{\frac{1,4}{2} + 0,2} \right) = 0,336.$$

Коэффициент затопления $\sigma_{\text{зат}}$ берется из графика на рисунке VIII—30 в зависимости от m и от отношения

$$\frac{h_{2\text{ кан.макс}}}{H_{2\text{ зат}}} = \frac{0,91}{1,03} = 0,885.$$

Следовательно, $\sigma_{2\text{ зат}} = 0,83$.

Единичный расход водовыпуска в канал Р-2

$$q_{2\text{ вод}} = m_2 \sigma_{2\text{ зат}} \sqrt{2g H_{2\text{ зат}}^{3/2}} = 0,336 \cdot 0,83 \cdot 4,43 \cdot 1,03^{3/2} = 1,285.$$

Ширина водовыпуска в Р-2

$$b_{2\text{ вод}} = \frac{Q_{2\text{ макс}}}{q_{2\text{ вод}}} = \frac{1,2}{1,285} = 0,935 \text{ м}.$$

Принимаем $b_{2\text{ вод}} = 0,94 \text{ м}$.

Расстояние между осями трубопроводов

$$B = D_{\text{вых}} + 2b + \delta_b = 1,4 + 2 \cdot 0,3 + 0,6 = 2,6 \text{ м},$$

где $b = 0,3$ — принятый конструктивный запас для устройства уплотняющих конструкций; $\delta_b = 0,6 \text{ м}$ — принятая толщина раздельного бычка.

Общая ширина бассейна

$$B_{\text{бас}} = (n - 1)B + D_{\text{вых}} + 2b = (2 - 1)2,6 + 1,4 + 2 \cdot 0,3 = 4,6 \text{ м},$$

где n — число ниток напорного трубопровода.

Длина напорного бассейна определяется по формуле

$$L_{\text{бас}} = l_1 + l_2 + b_{1\text{ вод}} + l_3,$$

где l_1 — расстояние между выходным сечением напорного трубопровода и успокоительной решеткой;

- l_2 — расстояние между успокоительной решеткой и боковым водовыпуском;
 $b_{1 \text{ вод}}$ — ширина наибольшего бокового водовыпуска;
 l_3 — расстояние между боковым водовыпуском и торцевой передней стенкой бассейна.

Величина подпора, создаваемого успокоительной решеткой, зависит от конструкции решетки и расстояния l_1 . Исследованиями установлено, что для принятой конструкции решетки при $l_1 = 2D_{\text{вых}}$ повышение статического напора в трубопроводе составляет приблизительно 1,5% от

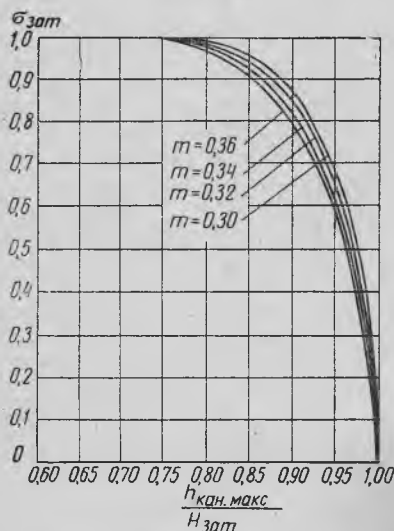


Рис. VIII—30. График зависимости коэффициента затопления для различных коэффициентов расхода от отношения $\frac{h_{\text{кан.макс.}}}{H_{\text{зат}}}$.

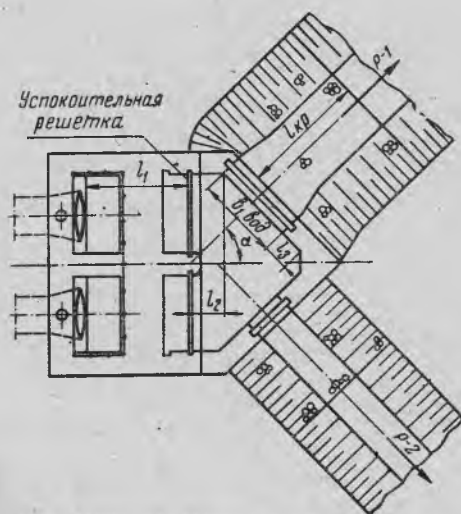


Рис. VIII—31. Расположение отводящих каналов под углом α к оси напорного бассейна-делителя.

$h_{\text{загл.макс.}}$, то есть для рассматриваемого примера $\Delta h = 0,015 h_{\text{загл.макс.}} = 0,015 \cdot 0,51 = 0,008$ м. Рекомендуется принимать $l_1 = 2D_{\text{вых}}$ для выходных скоростей до 1,5 м/сек и $l_1 = 3D_{\text{вых}}$ для $v_{\text{вых}} = 2,5$ м/сек. Для данного примера $l_1 = 2 \cdot 1,4 = 2,8$ м. Расстояние l_2 определяется из условия создания равномерной эпюры скоростей при подходе к боковому водовыпуску.

Высоту щели решетки рекомендуется принимать $h_{\text{щ}} = \frac{1}{10} D_{\text{вых}}$. Для этих условий опытами установлено, что для получения эпюры скоростей, близкой и прямоугольной, должно быть:

$$l_2 = 6,8 h_{\text{щ}} = 6,8 \cdot 0,1 D_{\text{вых}} \approx 0,7 D_{\text{вых}} \text{ или } l_2 = 0,7 \cdot 1,4 = 1 \text{ м.}$$

Опытами также установлено, что l_2 можно уменьшить до $0,5 D_{\text{вых}}$, сохранив вполне удовлетворительный режим потока в отводящем канале.

Высоту решетки назначают из условия перекрытия всего сечения транзитного потока:

$$h_{\text{реш}} = \rho + D_{\text{вых}} + l_1 \operatorname{tg} \beta,$$

где β — угол растекания потока в вертикальной плоскости; согласно исследованиям, $\beta \approx 8^\circ$. Следовательно, $h_{\text{реш}} = 0,2 + 1,4 + 2,8 \operatorname{tg} 8^\circ \approx 2$ м. Принимая $l_3 = 0,5 D_{\text{вых}}$, получаем полную длину напорного бассейна:

$$\begin{aligned}
 L_{\text{бас}} &= 2D_{\text{вых}} + 0,7D_{\text{вых}} + b_{1 \text{ вод}} + 0,5D_{\text{вых}} = \\
 &= 3,2D_{\text{вых}} + b_{1 \text{ вод}} = 3,2 \cdot 1,4 + 2,3 \approx 6,8 \text{ м.}
 \end{aligned}$$

Отводящие каналы могут отходить от напорного бассейна под некоторым углом, как показано на рисунке VIII—31, тогда длина бассейна несколько уменьшится и будет

$$L_{\text{бас}} = 2,7D_{\text{вых}} + (b_{1\text{ вод}} + 0,5D_{\text{вых}}) \sin \alpha,$$

где α — угол между осями отводящего канала и напорного бассейна. Обычно угол α равен 45° — 60° . Такое расположение каналов, помимо сокращения длины напорного бассейна, обеспечивает более плавный выпуск воды в отводящие каналы из напорного бассейна. Водовыпуски перекрываются плоскими затворами с винтовыми или другими подъемниками.

Для того чтобы избежать больших размеров регулирующих щитов, а следовательно, и облегчить их подъем, можно рекомендовать устройство двухпролетного выходного отверстия в больший канал, в данном случае в Р-1. Для этого общую расчетную ширину $b_{1\text{ вод}} = 2,3$ м делят на два и получают два отверстия шириной $b_{1\text{ вод}} = 1,15$ м. Между отверстиями устраивают полубычки толщиной 0,6 м, куда закладывают пазовые устройства затворов. Управление щитами ведется со служебных мостиков.

Начальную часть канала закрепляют на длину $4 \div 5$ максимальных глубин в канале.

Промежуточные расходы между минимальным и максимальным пропускаются в отводящий канал Р-1 с полностью открытым затвором, а в Р-2 с помощью регулирующего затвора, высота поднятия которого определяется обычным гидравлическим расчетом из формулы $Q = \mu b_{2\text{ вод}} h_{\text{щ}} \sqrt{2g(H_0 - h_{\text{кан}})}$. Коэффициент расхода может быть принят $\mu \approx 0,65$.

§ 4. ВОДОВЫПУСКИ СИФОННОГО ТИПА*

Особенности сифонных водовыпусков. Особенностью водовыпусков сифонного типа является сопряжение напорных трубопроводов насосной станции с бассейном водовыпуска при помощи сифона (рис. VIII—32). Расположение порога сифона выше наибольшего уровня воды в водоприемнике и оборудование сифона клапаном срыва вакуума не допускают обратного тока воды по напорным трубопроводам из водоприемника при остановке насосов. При остановке насоса клапан срыва вакуума открывается и разряжает сифон впускном в него воздуха.

Основные особенности сифонных водовыпусков:

а) отсутствие затворов и перегораживающих бычков, устраиваемых в других типах водовыпусков для предотвращения обратного тока воды по напорным трубопроводам

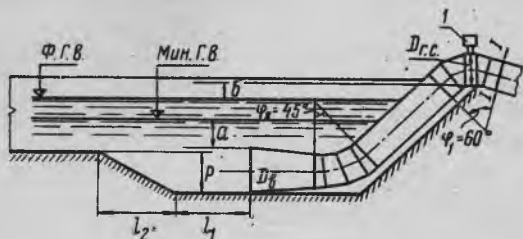


Рис. VIII—32. Схема водовыпуска сифонного типа, имеющего сифон с удлиненным нижним отводом ($D_{г.с}$ — диаметр сифона в горле; $D_{в}$ — диаметр сифона на выходе):

Сумма углов поворота сифона $\Sigma\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 105^\circ$; длина сифона от сечения 1—1 до выходного равна $7,5D_{г.с}$; угол конусности диффузора 8° .

* В основу этого параграфа положен материал исследований, выполненных на кафедре «Насосы и насосные станции» Московского гидромелиоративного института под руководством заведующего кафедрой проф. В. В. Рычагова, и материалы В. О. «Союзводпроект» — Гипроводхоз ММВХ СССР и института Укргипроводхоз.

Впервые водовыпуск сифонного типа с гидравлическим клапаном срыва вакуума для мелиоративных насосных станций был применен в 1937 г. проф. В. В. Рычаговым и доц. А. А. Третьяковым в проекте насосной станции № 1 Энгельсской оросительной системы.

дам. Эти затворы с подъемными устройствами при большой производительности станции имеют значительную стоимость;

б) автоматичность работы;

в) надежность в работе;

г) относительно небольшая величина гидравлических сопротивлений.

Водовыпуски сифонного типа в последнее время широко применяют в практике проектирования и строительства мелиоративных насосных станций, крупных насосных станций промышленного и питьевого водоснабжения, станций транспортных каналов и др.

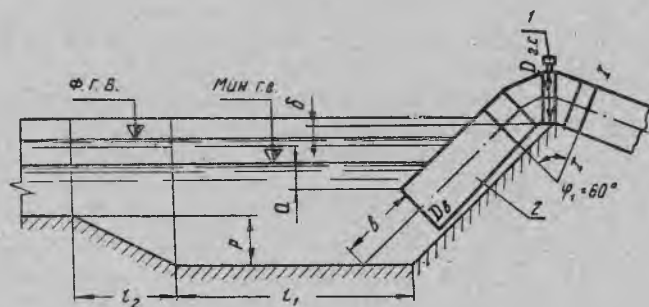


Рис. VIII—33. Схема водовыпуска сифонного типа, имеющего сифон без нижнего отвода ($D_{г.с}$ — диаметр сифона в горле; $D_{в}$ — диаметр сифона на выходе):

1 — клапан срыва вакуума; 2 — диффузор. Сумма углов поворота сифона $\Sigma\varphi = 60^\circ$; длина сифона от сечения 1-1 до выходного равна $4,4D_{г.с}$; угол конусности диффузора 6° .

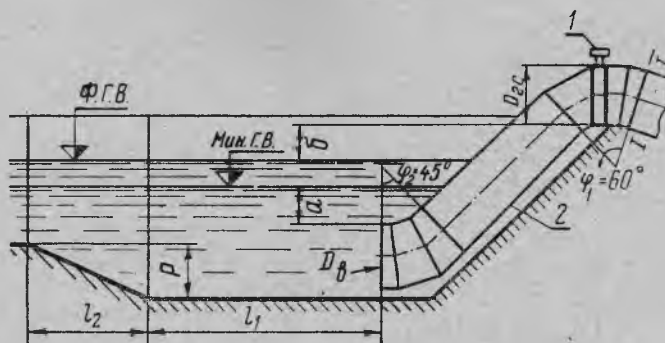


Рис. VIII—34. Схема водовыпуска сифонного типа, имеющего сифон с укороченным нижним отводом и промежуточным диффузором ($D_{г.с}$ — диаметр сифона в горле; $D_{в}$ — диаметр сифона на выходе):

1 — клапан срыва вакуума; 2 — промежуточный диффузор. Сумма углов поворота сифона $\Sigma\varphi = 105^\circ$; длина сифона от сечения 1-1 до выходного равна $5,5D_{г.с}$; угол конусности диффузора 6° .

Водовыпуски сифонного типа в зависимости от конструкции сифона можно разделить на три типа:

1) имеющие сифоны с удлиненным нижним отводом (рис. VIII—32);

2) с сифонами без нижнего отвода (рис. VIII—33);

3) с сифонами с укороченным нижним отводом и промежуточным диффузором (рис. VIII—34).

Сифон с удлиненным нижним отводом для обеспечения необходимого растекания потока в бассейне и распределения скоростей в отво-

дающем канале требует относительно большую длину бассейна и имеет большую длину трубы сифона. Положительная сторона сифона этой конструкции — отсутствие удара вытекающей струи о дно бассейна.

Сифон без нижнего отвода требует меньшей длины бассейна для обеспечения необходимого растекания потока в бассейне перед выходом в канал. При такой конструкции сифона вытекающая струя оказывает гидродинамическое воздействие на крепление дна бассейна, что может быть ослаблено устройством криволинейного сопряжения основания сифона с дном бассейна.

Сифон с укороченным нижним отводом также требует меньшей длины бассейна для обеспечения необходимого растекания потока в бассейне по сравнению с сифоном первой конструкции, хотя и несколько уступает второй; в этом случае вытекающая струя также не оказывает непосредственного воздействия на дно бассейна. Сифоны малых размеров, выполняемые из металлических труб, могут быть всех трех типов, а для сифонов из железобетона в крупных насосных станциях следует рекомендовать вторую и третью конструкции, отдавая предпочтение второй конструкции.

В зависимости от материала сифона сифонные водовыпуски могут быть из металла или железобетона (рис. VIII—32, VIII—35). В зависимости от конструкции стенок бассейна сифонные водовыпуски могут быть с откосными стенками (рис. VIII—46) и с отвесными стенками (рис. VIII—35).

Основные технические указания по проектированию сифонов и сифонных водовыпусков. Верхнюю кромку (шельгу) выходного отверстия сифона следует заглублять под минимальный горизонт воды в водоприемнике на величину $a = (2 \div 3) \frac{v_b^2}{2g}$, но не менее чем на 0,2 м (рис. VIII—32, VIII—33, VIII—34), где v_b — максимальная скорость течения воды в выходном сечении сифона.

В случаях возможного образования волн в водоприемнике эту величину следует увеличить на высоту волны.

В условиях холодного климата и при наличии ледяного покрова в бассейне водовыпуска следует заглубить шельгу выходного отверстия сифона ниже низа ледяного покрова на 0,2 ÷ 0,3 м и принять меры против промерзания сифона, если температура и скорость течения воды не обеспечивают нормальной работы его. Кроме этого, необходимо предусмотреть меры, не допускающие примерзания сифона к ледяному покрову и нарушения прочности и устойчивости сифона. Если сифонный водовыпуск однотрубный (один сифон) и водоприемником служит канал с постоянным расходом без колебания горизонтов воды в нем, то в этом случае минимальное заглубление шельги следует принимать несколько больше, а именно:

$$a = (3 \div 4) \frac{v_b^2}{2g},$$

но не менее 0,3 м.

Превышение порога (гребня) сифона над максимальным (форсированным) уровнем воды в водоприемнике в обычных условиях следует принимать (рис. VIII—32, VIII—33, VIII—34) $b \sim 0,1-0,15$ м. В случаях возможного волнообразования в водоприемнике значительной продолжительности, особенно в нерабочий период водовыпуска, следует по формулам неустановившегося течения проверить возможную высоту подъема уровня воды в сифоне под действием волн, соответственно увеличив отметку расположения порога сифона.

Расстояние выходного сечения сифона без нижнего отвода (считая по оси сифона) от дна бассейна водовыпуска следует принимать $b =$

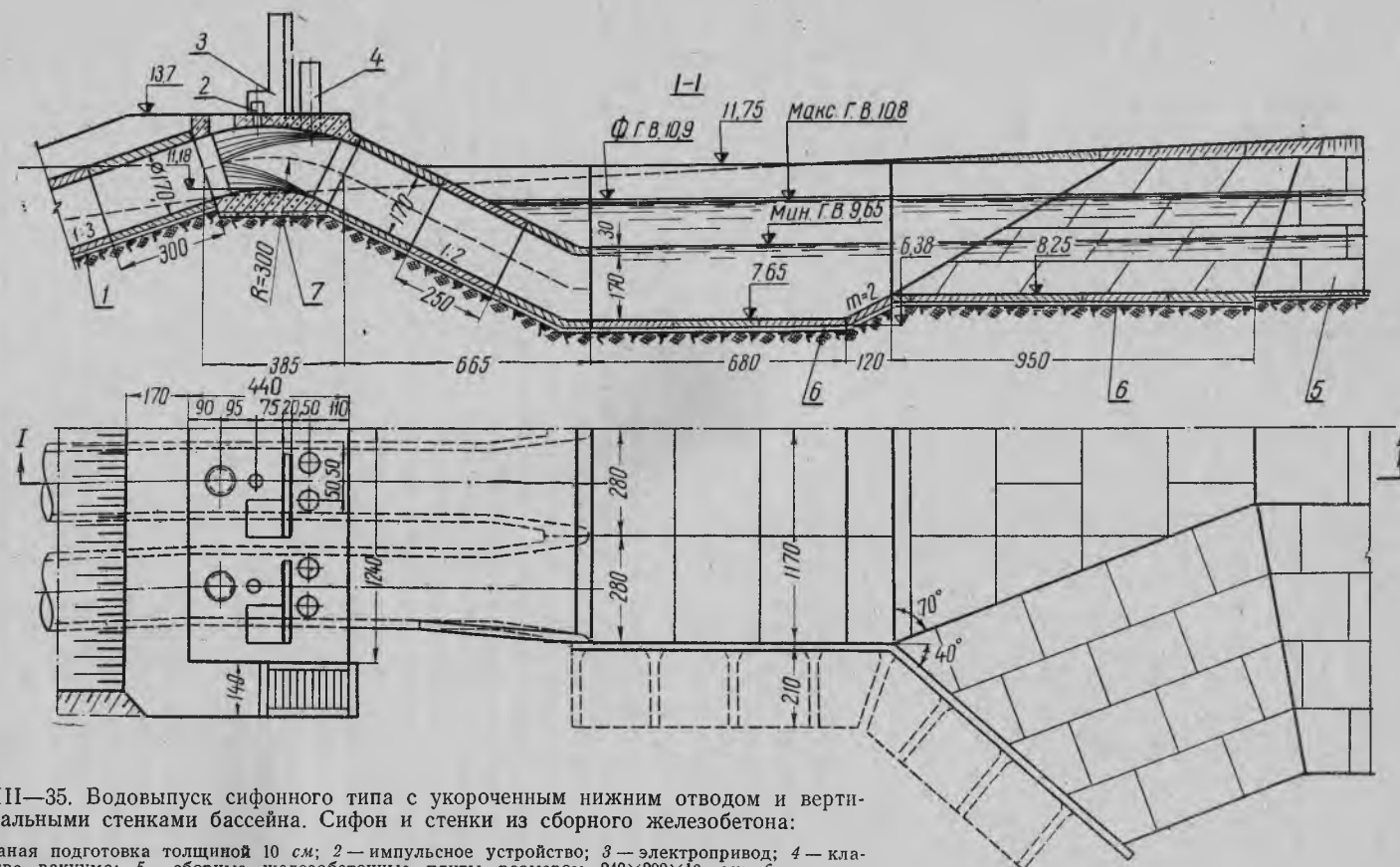


Рис. VIII—35. Водовыпуск сифонного типа с укороченным нижним отводом и вертикальными стенками бассейна. Сифон и стенки из сборного железобетона:

1 — песчаная подготовка толщиной 10 см; 2 — импульсное устройство; 3 — электропривод; 4 — клапан срыва вакуума; 5 — сборные железобетонные плиты размером $240 \times 200 \times 10$ см; 6 — то же, размером $280 \times 200 \times 10$ см; 7 — подготовка толщиной 10 см из бетона марки 50.

$=1,25 D_v$, где D_v — диаметр или высота выходного сечения сифона (рис. VIII—33).

При обычной величине вакуума, встречающейся в практике мелиоративных насосных станций (до 1 м вод. ст.), и значительном колебании расходов воды, протекающей через сифон, что может быть при параллельной работе нескольких насосов на один сифон, желательно минимальную среднюю скорость течения воды в горле сифона, выполненного из гладких стальных труб с хорошим качеством сварки или железобетона с гладкими стенками с хорошей затиркой, принимать не менее величины, определяемой по формуле автора:

$$v_{м.г.с} = 3,4 \sqrt{R_{г.с}} \text{ м/сек},$$

где $R_{г.с}$ — гидравлический радиус сечения, м.

При меньшей средней скорости наблюдается снижение уровня воды и вакуума в горле сифона и увеличение гидравлических сопротивлений в нем.

Максимальную скорость течения воды в сифоне при обычных условиях также не следует принимать более 2,5 м/сек, чтобы не увеличивать гидравлические сопротивления.

Расчетная скорость течения воды в сифоне обычно принимается равной расчетной скорости течения воды в напорном трубопроводе и должна быть увязана с расчетной скоростью клапана срыва вакуума.

Радиус закругления отводов сифона r по осевой линии желательно принимать равным $(1,5 \div 2) D_c$, где D_c — диаметр или высота (h) сечения сифона в отводе.

Минимальный радиус закругления внутренней кромки колена r_1 , дающий минимальные сопротивления, составляет $(1,2 \div 1,5)h$ (рис. VIII—36).

Возможно устройство закруглений кромок колена с минимальным радиусом по условию $r_2 = r_1 = r$; в этом случае минимум сопротивлений будет при $\frac{r}{h} = 0,6$.

Минимум сопротивлений дает колено, у которого

$$\frac{r_2}{h} = \frac{r_1}{h} + 0,6.$$

Составное колено из двух отводов с углами 45° (рис. VIII—36,б) имеет минимум сопротивлений при $\frac{r}{h} = 1,5$.

В железобетонных сифонах при переходе от круглого сечения напорного трубопровода к прямоугольному сечению сифона желательно последнее делать с отношением высоты к ширине $\frac{h}{b} < 1$, что легко выполняется в переходной части: сохраняя площадь сечения трубопровода $F = 0,785 D^2$, ширину прямоугольного сечения принимают $b = D$, а высоту $h = 0,785 D$, где D — диаметр напорного трубопровода. Уменьшение величины отношения $\frac{h}{b}$ позволяет, сохраняя величину гидравлических сопротивлений, уменьшить радиус закруглений отводов и уменьшить

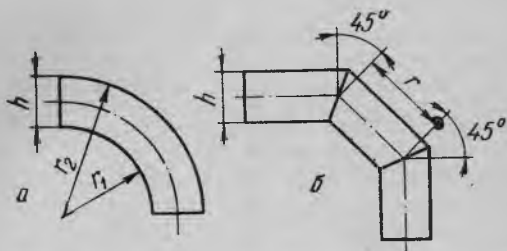


Рис. VIII—36. Размеры закругления отвода сифона (а) и составного колена (б).

* При другой шероховатости стенок следует величину этой скорости исправить на величину изменения шероховатости.

строительную длину сифона. Длину указанного переходного участка от круглого сечения к прямоугольному следует принимать не менее $1,5 D$.

Сифоны очень чувствительны к количеству содержащегося в воде воздуха. На рисунке VIII—37 приведены уровни воды в сифоне круглого сечения при средней расчетной скорости течения воды в нем $0,765 \text{ м/сек}$ для различного количества воздуха, содержащегося в протекающей воде. Воздух, проникающий в систему насосной установки с сифоном через неплотности во всасывающей части или в сифоне, снижает уровень воды в последнем. В отличие от сифонных водосбросов сифонные водовыпуски насосных станций в связи с принудительной подачей воды насосом не могут прекратить подачу воды из-за большого содержания воздуха в воде. С увеличением количества воздуха в воде и снижением уровня воды в сифоне уменьшается величина вакуума в нем, вызывая повышение напора насосной установки. Снижение уровня воды и вакуума в сифоне продолжается до установления на пороге сифона критической глубины открытого потока и вакуума, равного нулю. Содержание большого количества воздуха в воде увеличивает бурность течения потока в напорном бассейне и величину гидравлических сопротивлений в последнем. Поэтому необходимо во всасывающей части установки и в пределах распространения вакуума в сифоне обеспечивать герметичность соединений.

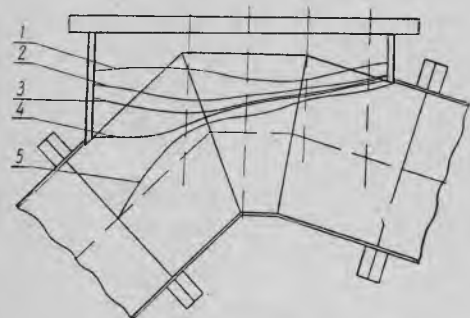


Рис. VIII—37. Уровни воды в сифоне $D = 200 \text{ мм}$ при различном количестве содержащегося в воде воздуха и расходе воды 24 л/сек . Количество воздуха: 1 — $0,102\%$; 2 — $0,286\%$; 3 — $0,517\%$; 4 — $0,551\%$; 5 — $1,015\%$.

Величина гидравлических сопротивлений сифонов определяется по обычным формулам гидравлики. Ниже приводим, по данным лабораторных и натурных исследований, величины коэффициентов гидравлических сопротивлений некоторых конструкций сифонов:

1) с нижним отводом круглого сечения (рис. VIII—32), диаметр горла сифона $D_{г.с} = 200 \text{ мм}$, длина сифона от сечения I—I $L_{сиф} = 7,5 D_{г.с}$, сумма углов поворота отводов $\Sigma\varphi = 105^\circ$, угол конусности диффузора 8° ,

2) с укороченным нижним отводом длиной $L_{сиф} = 5,5 D_{г.с}$, углом конусности диффузора 6° , остальные данные такие же, как у первого сифона;

3) без нижнего отвода длиной $L_{сиф} = 4,4 D_{г.с}$, сумма углов поворота отводов $\Sigma\varphi = 60^\circ$.

Радиусы закруглений отводов по оси $r = D_{г.с}$. Коэффициенты сопротивлений этих и подобных сифонов применительно к новым стальным трубам, соединенным сваркой хорошего качества, можно предварительно принимать по данным таблицы VIII—2.

Величина сопротивлений сифона определяется по формуле

$$h_{\text{сиф}} = \zeta_{\text{сиф}} \frac{v_1^2}{2g},$$

где v_1 — скорость в начальном сечении сифона (сечение I—I).

Скорости в выходном сечении сифона не следует принимать более $1—1,5 \text{ м/сек}$.

Условия подвода напорного трубопровода могут видоизменять начальную часть сифона и угол поворота верхнего отвода. Напорный трубопровод в зависимости от его длины и рельефа местности в обычных

Конструкция сифона	Величина коэффициента гидравлических сопротивлений $\zeta_{\text{сиф}}$ в зависимости от Re_D , вычисленного для сечения I—I в начале сифона			
	$1,5 \times 10^5$	$2,1 \times 10^5$	$3,0 \times 10^5$	$4,0 \times 10^5$
Сифон с нижним отводом (рис. VIII—32)	2,4	1,40	0,97	0,80
Сифон без нижнего отвода (рис. VIII—33)	2,2	1,20	0,87	0,62
Сифон с укороченным нижним отводом (рис. VIII—34)	2,5	1,40	1,10	—

условиях может подходить к водовыпуску горизонтально или с некоторым подъемом. Обычно подъем (заложение) трубопровода по условиям его устойчивости на сдвиг не делают круче чем 1:3 или $15 \div 18^\circ$ к горизонту, как показано на рисунках VIII—32 и VIII—33.

Если по условиям производства работ хотят избежать укладки напорного трубопровода на насыпной грунт и сократить объем строительных работ, то прибегают к конструктивному решению, представленному на рисунке VIII—38. Это решение требует экономического обоснования, так как при сокращении длины сифона увеличиваются углы поворота отводов, что вызывает увеличение гидравлических сопротивлений сифона.

Нисходящая ветвь сифона в зависимости от его конструкции, конструкции водовыпуска, применяемого материала и геологических условий может иметь заложение 1:2 (положе редко), 1:1,5, 1:1, а иногда при

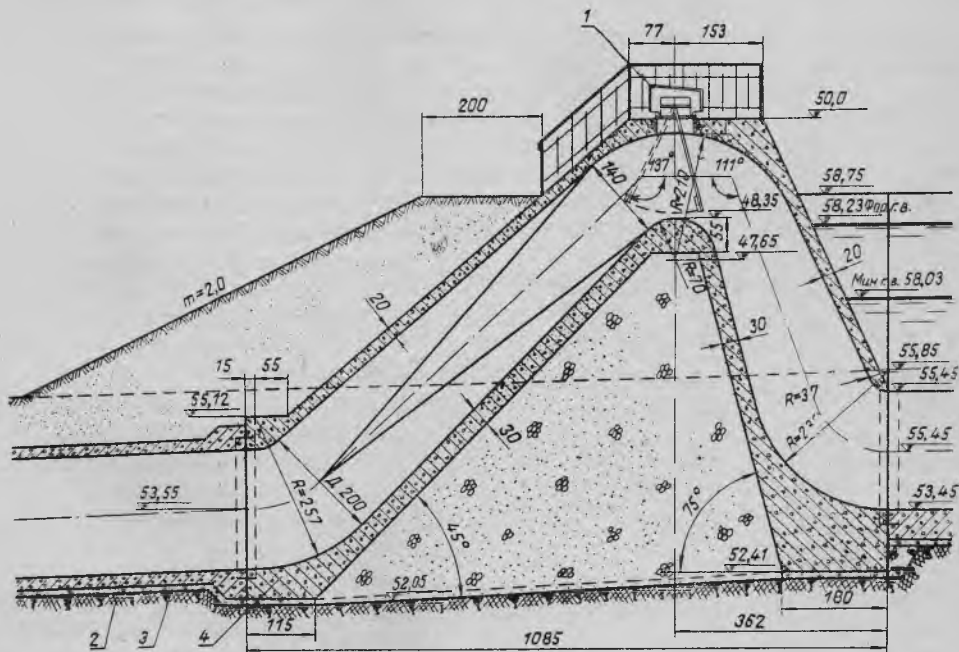


Рис. VIII—38. Железобетонный сифон, обеспечивающий укладку примыкающей части напорного трубопровода на материковый грунт (без подсыпки):

1 — клапан срыва вакуума диаметром 350 мм; 2 — железобетонный монолитный напорный трубопровод; 3 — подготовка из тощего бетона; 4 — сифон из железобетона марки БГТ-150, В-8.

Примечание. Выходное сечение сифона неудачно. Следует его выполнить плавным с коротким нижним отводом.

монолитной конструкции и более крутое (рис. VIII—38). Заложение нисходящей ветви существенно не влияет на зарядку сифона. Нормальным заложением нисходящей ветви следует считать заложение около 1:1.

Конусы расширения (диффузоры) в сифонах, устраиваемые для уменьшения величин выходных скоростей, следует применять с центральными углами расширения, не превышающими 10° . Нежелательно

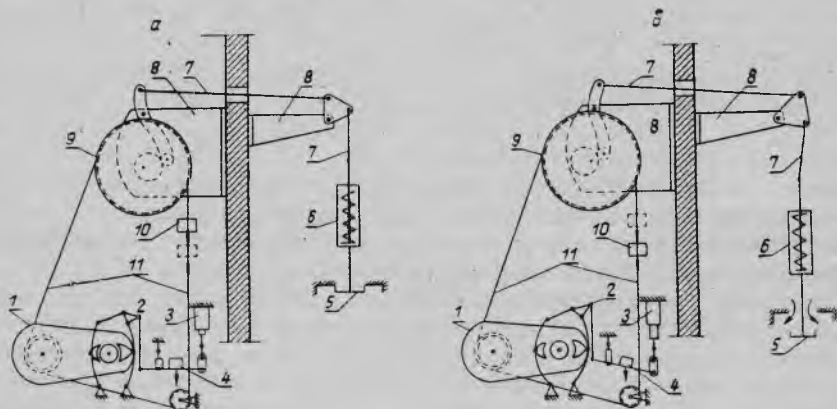


Рис. VIII—39. Схема устройства клапана срыва вакуума механического типа с электрическим приводом:

a — клапан закрыт; *б* — клапан открыт; 1 — редуктор приводного узла с барабаном и соединительной муфтой; 2 — тормозной узел; 3 — электромагнит тормозного узла; 4 — груз № 2; 5 — клапан срыва вакуума; 6 — цилиндр с пружиной; 7 — тяга; 8 — кронштейн; 9 — кулачковый узел; 10 — груз № 1; 11 — канат.

устройство диффузора со значительным центральным углом (более $5 \div 6^\circ$) сразу за верхним отводом сифона в этом случае лучше применить прямолинейную вставку длиной $(1-2)D_{т.с.}$ Прямолинейная вставка необходима тогда, когда

сечение в горле сифона уменьшено по сравнению с сечением напорного трубопровода. В этом случае лучше применять схему сифона с укороченным нижним отводом.

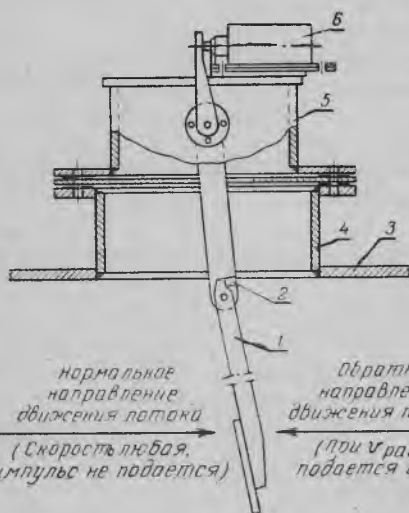


Рис. VIII—40. Схемы импульсного устройства:

1 — ложка; 2 — поводок; 3 — сифон; 4 — отросток с фланцем; 5 — корпус импульсного устройства; 6 — концевой выключатель.

- г) минимум гидравлических сопротивлений;
- д) автоматичность работы;
- е) герметичность.

Клапан срыва вакуума. Клапан срыва вакуума — весьма ответственная деталь сифонного водовыпуска. К клапану срыва вакуума предъявляются следующие основные требования:

а) надежность в работе и длительность срока службы;

б) простота устройства и минимальная стоимость;

в) обеспечение относительно быстрой зарядки и разрядки сифона;

В настоящее время в практике применяют в основном три типа клапана срыва вакуума.

1. Механический клапан срыва вакуума с электрическим и пружинным приводом, с гидродинамическим импульсным устройством*. Схема устройства и действия этого клапана показана на рисунке VIII—39. Работа такого клапана может быть полностью автоматической. При прекращении подачи воды и начале образования обратного тока ее (остановка насоса или другие причины) срабатывает импульсное устройство, схема которого приведена на рисунке VIII—40. Электромагнит отключается, колодки тормоза растормаживаются, груз № 1 канатом разворачивает шкив с эксцентриком, благодаря чему конец коромысла с роликом подходит ближе к оси эксцентрика, тяга отходит вправо и клапан под действием собственного веса и пружины, заключенной в цилиндре, открывается. Электромагнит в заторможенном состоянии (клапан закрыт) находится под напряжением, поэтому любая авария на линиях электропитания вызовет сработку механизма торможения. Закрытие клапана осуществляется при помощи электродвигателя.

Механический клапан срыва вакуума с пружинным приводом, например типа ПП-10, по устройству проще разобранный выше. Этот клапан открывается также автоматически, а закрывается вручную. В клапане этого типа отсутствуют электродвигательный редуктор, тормозной узел, канат и грузы. Пружинный привод может быть расположен на кронштейне, на месте кулачкового устройства. С клапаном срыва вакуума он соединяется при помощи системы рычагов и тяг через пружину, заключенную в цилиндре. Клапаны этих двух типов имеют диаметр отверстия 330 мм. При недостатке для разрядки сифона одного клапана устраивают (по расчету) два и три клапана с приводом от одного приводного узла, через общий вал, на котором располагаются либо кулачковые, либо рычажные устройства, в зависимости от типа привода клапана.

2. Гидромеханический клапан срыва вакуума, работающий от гидродинамического воздействия потока воды, протекающего в сифоне**. Схема этого клапана приведена на рисунке VIII—53. Клапан работает автоматически. Лабораторные исследования показали, что величина гидравлических сопротивлений, создаваемых клапаном, незначительна. Так, коэффициент сопротивления $\zeta_{кл}$ в формуле $h_{кл} = \zeta_{кл} \frac{v^2}{2g}$ при величине стеснения сечения потока рычагом и лопаткой 10% равен:

$$\text{при } Re_D = 1,55 \cdot 10^5 \zeta_{кл} = 0,49; \text{ при } Re_D \geq 3,1 \cdot 10^5 \zeta_{кл} = 0,12.$$

Практически при скорости течения воды в сифоне до 1,8—2 м/сек и стеснении сечения потока в сифоне до 10% гидравлические сопротивления, создаваемые клапаном, составляют около 0,02 м вод. ст. В этих пределах можно принимать величину гидравлических сопротивлений импульсного устройства, приведенного выше. Ведутся разработки по усовершенствованию клапана этого типа. Схема измененной конструкции клапана приведена на рисунке VIII—41***.

3. Гидравлический клапан срыва вакуума****. В принципе он представляет собой гидравлический затвор, в котором используется гидродинамический эффект протекающего в сифоне потока.

* Клапан разработан институтом «Гидропроект» им. С. Я. Жук.

** Клапан разработан В. О. «Союзводпроект» — Гипроводхоз ММиВХ СССР.

*** Разработан Институтом гидрологии и гидротехники АН УССР.

**** Клапан разработан и исследован институтом «Укргипроводхоз» в содружестве с Институтом гидрологии и гидротехники АН УССР.

На рисунке VIII—42 приведен водовыпуск с гидравлическими клапанами срыва вакуума, осуществленный на одной из мелиоративных насосных станций Краснознаменной оросительной системы.

На рисунке VIII—43 приведены принципиальные схемы устройства гидравлического клапана срыва вакуума с соединительной трубкой и

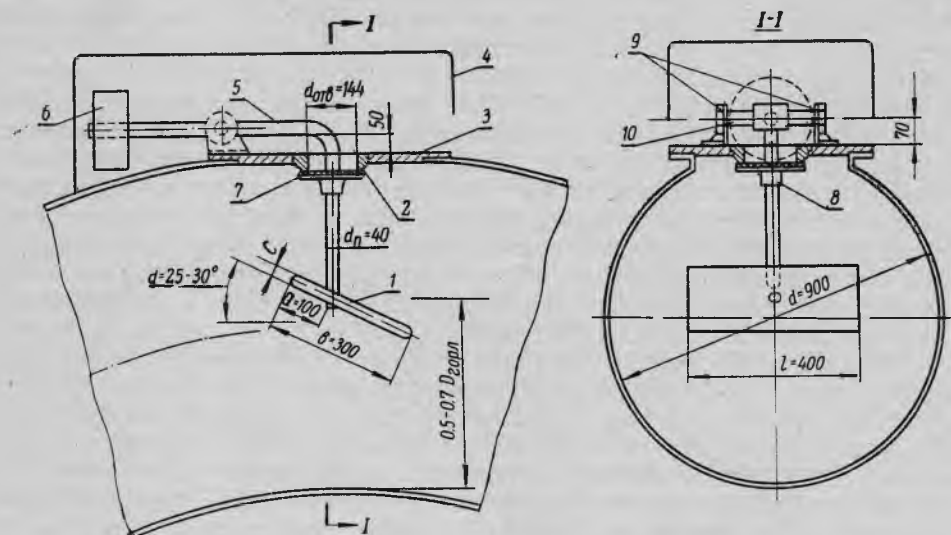


Рис. VIII—41. Видоизменение клапана срыва вакуума гидромеханического типа:

1 — крыло-лопатка; 2 — седло клапана; 3 — крышка люка; 4 — колпак; 5 — рычаг; 6 — противовес; 7 — уплотнение; 8 — клапан; 9 — подшипник; 10 — ось рычага (размеры в мм).

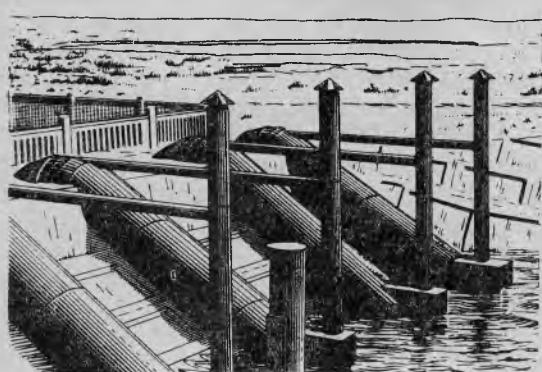


Рис. VIII—42. Прямоточный водовыпуск сифонного типа на насосной станции Краснознаменной оросительной системы. Сифоны оборудованы гидравлическими клапанами срыва вакуума.

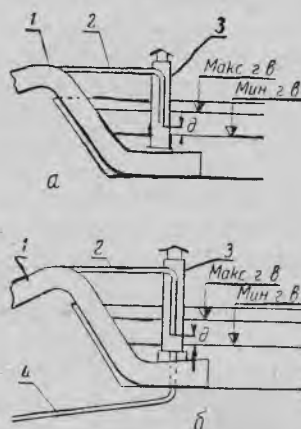


Рис. VIII—43. Схема гидравлического клапана срыва вакуума:

а — без соединительной трубкой; б — с соединительной трубкой; 1 — сифон; 2 — воздушная трубка; 3 — стакан; 4 — соединительная трубка.

без нее. От сифона 1 отводится воздушная трубка 2, которая при подходе к стакану 3 поворачивается вниз под углом 90° и опускается в стакан, представляющий собой в обоих случаях цилиндр, верх которого сообщается с атмосферой и защищен колпачком, предохраняющим от засорения стакан и воздушную трубку. Дно стакана в первом случае герметическое, а во втором случае стакан через отверстие в дне соединительной трубкой подключается к напорному трубопроводу. Гидравлический клапан срыва вакуума в сифоне с соединительной трубкой при обратном

течении воды в нем использует образующуюся разность давления и разности скоростных напоров в напорном трубопроводе (в месте подключения соединительной трубки) и в сифоне, образующиеся при нормальном и обратном направлениях движения воды. При нормальном движении воды по напорному трубопроводу (насосы работают) пьезометрическая линия давлений в нем располагается выше уровня воды в водовыпуске и снижается в сторону последнего. При остановке насосов и обратном течении воды по напорным трубопроводам пьезометрическая линия будет располагаться ниже уровня воды в водовыпуске. Поэтому уровень воды в стакане, как в пьезометре, подключенном соединительной трубкой в какой-то точке напорного трубопровода, будет соответствовать пьезометрическому давлению в этой точке напорного трубопровода и всегда будет выше уровня воды в водовыпуске при нормальном движении воды и ниже при обратном движении ее. Воздушная трубка, вваренная в сифон навстречу нормальному течению воды в нем, на втором своем свободном конце обеспечит колебание уровней воды, соответствующее изменению давления и скоростного напора в сифоне, в точке ее присоединения. Если опустить свободный конец воздушной трубки в стакан (пьезометр), то образуется гидравлический затвор, сохраняющий вакуум в сифоне при прямом движении воды и срывающий его при обратном движении ее. Соединительную трубку также следует вваривать в напорный трубопровод навстречу нормальному движению воды. При обратном течении воды (остановка насоса по графику работы, отключение энергии и др.) давление в трубопроводе упадет, уровень воды в стакане снизится и конец воздушной трубки обнажится. Одновременно с этим обратное движение воды в сифоне вызовет в конце воздушной трубки подсосывающий эффект вместо увеличения давления за счет скоростного напора при нормальном движении воды. Из стакана, соединенного с атмосферой, воздух через воздушную трубку поступает в сифон, и вакуум в нем срывается. Место подключения соединительной трубки к напорному трубопроводу выбирают таким образом, чтобы при обратном движении воды уровень воды в стакане был ниже конца воздушной трубки.

Рассмотренная схема устройства гидравлического клапана срыва вакуума с соединительной трубкой является общей.

В зависимости от местных условий и условий технико-экономических расчетов возможны некоторые изменения схемы устройства клапана.

1. При незначительных колебаниях горизонта воды в водовыпуске, меньших скоростного напора, определенного по скорости в горле сифона, можно устраивать гидравлический клапан срыва вакуума без соединительной трубки, в котором воздушная трубка стаканом изолируется от водовыпуска. В этом случае гидравлический затвор создается за счет скоростного напора

$$\frac{k_{\text{пр}} v_{\text{г.с.н}}^2}{2g},$$

где $v_{\text{г.с.н}}$ — средняя скорость в горле сифона при нормальном движении воды;

$k_{\text{пр}}$ — коэффициент использования скоростного напора воздушной трубкой при нормальном движении воды; по опытным данным $k_{\text{пр}} = 0,7—0,9$.

При обратном течении воды вследствие изменения знака скоростного напора (отсасывающий эффект) разрежение у конца воздушной трубки повышается на величину

$$\frac{k_0 v_{\text{г.с.о}}^2}{2g},$$

где $v_{г.с.о}$ — средняя скорость обратного движения воды в горле сифона;
 k_o — коэффициент использования скоростного напора при обратном движении воды; по опытным данным

$$k_o = 0,4 - 0,6.$$

Под действием атмосферного давления объем воды в стакане, закрывающий конец воздушной трубки, уйдет в сифон, и проникший за ним воздух разрядит сифон.

По изложенной выше схеме осуществлен клапан срыва вакуума в водовыпуске, приведенном на рисунке VIII—42.

2. Клапан срыва вакуума может быть устроен по схеме, представляющей промежуточное решение, в которой за счет некоторого подъема (по расчету) конца воздушной трубки в стакане над горизонтом воды в водовыпуске можно несколько сократить длину соединительной трубки.

В общем случае расчетом гидравлического клапана срыва вакуума должны быть определены:

- 1) отметки начала и конца воздушной трубки в сифоне и в стакане;
- 2) высота стакана (отметки дна и верха его);
- 3) место подключения соединительной трубки к напорному трубопроводу;
- 4) площади сечений воздушной и соединительной трубок и стакана.

Стакан представляет собой стальной цилиндр (трубу), площадь сечения которого в 2—3 раза превышает площадь сечения воздушной трубки. Он устанавливается на специальной подставке — фундаменте, конструктивно соединенном с сифоном. Верх стакана располагается на 0,2—0,25 м выше максимального горизонта воды в водовыпуске. Дно стакана следует располагать от низа воздушной трубки на расстоянии $(1-2)d$, где d — диаметр воздушной трубки, но не менее 10—15 см. Площадь сечения воздушной трубки принимают по расчету (см. далее). В горле сифона воздушную трубку рекомендуется устанавливать входным отверстием навстречу потоку, располагая ось трубки на расстоянии 1,5 ее диаметра от верхней внутренней грани сифона, но это следует уточнять (см. далее пример 8). В зависимости от величины скорости в горле сифона отметку конца воздушной трубки (низ ее) в стакане можно принимать:

а) при минимальной средней скорости течения воды в горле сифона $\leq 1,5$ м/сек — на уровне минимального горизонта воды в водовыпуске;

б) при минимальной средней скорости течения воды в горле сифона $> 1,5$ м/сек — выше минимального горизонта воды в водоприемнике на

$$0,5 \frac{v_{г.с}^2}{2g},$$

где $v_{г.с}$ — скорость течения воды в горле сифона.

Диаметр соединительной трубки принимается конструктивно несколько меньшим диаметра воздушной трубки. Для определения места подключения соединительной трубки к напорному трубопроводу важно знать гидравлические потери при обратном токе воды. За расчетный расход обратного тока воды можно с запасом принимать расход насоса. При более точных расчетах этот расход для случая работы насоса в турбинном режиме определяют либо на основании имеющихся данных, либо путем пересчета с модельных характеристик (круговые характеристики или четырехквadrантные диаграммы). Можно также пользоваться таблицей VIII—3 изменения коэффициентов подачи, момента и числа оборотов у насосов различной быстроходности (n_s), составленной на основании опубликованных материалов исследований [47].

Быстро- ходность n_s	Характерные величины					
	Q_0/Q_H	Q_p/Q_H	M_0/M_H	n_p/n_H		
				недогрузка	перегрузка	нормальный режим
80	1,1	0,42	0,92	1,19	0,87	1,03
90	1,09	0,46	0,92	1,20	0,89	1,05
100	1,08	0,49	0,92	1,22	0,9	1,07
120	1,07	0,56	0,92	1,25	0,93	1,10
140	1,067	0,62	0,92	1,29	0,96	1,13
160	1,045	0,68	0,925	1,32	0,98	1,16
180	1,015	0,73	0,925	1,35	1,00	1,19
200	1,01	0,78	0,93	1,38	1,04	1,22
300	0,94	0,98	0,96	1,50	1,15	1,33
400	0,82	1,15	1,00	1,62	1,25	1,45
500	0,70	1,28	1,02	1,73	1,33	1,53
600	0,570	1,40	1,07	1,85	1,42	1,64
700	0,47	1,50	—	—	—	—

В этой таблице

M_0, Q_0 — момент и расход насоса при $n=0$ (остановленный насос);

M_H, Q_H, n_H — момент, расход и число оборотов насоса при нормальном режиме работы его, то есть при максимальном к. п. д. ($\eta_{\max}$);

Q_p и n_p — подача и число оборотов при $M=0$ (разгон).

В практике встречается работа насоса не при оптимальном к. п. д., а в зонах, близких к нему, поэтому даны три значения коэффициента

$$\frac{n_p}{n_H} = f(n_s)$$

с отклонением на 2% от $\eta_{\max}$ для случаев недогрузки и перегрузки машины, а также и для нормального режима ($\eta_{\max}$).

В последнее время появились предложения по гидравлическим и механическим клапанам срыва вакуума несколько иной конструкции. Эти клапаны рассмотрены в примерах 9, 10, 11 и 12 настоящего параграфа.

Первый из рассмотренных клапанов срыва вакуума — механический с электрическим или пружинным приводом — наиболее сложный, громоздкий и дорогой из всех рассмотренных и требует сооружения над сифоном специального устройства для размещения и защиты аппаратуры. Этот клапан требует квалифицированного надзора, особенно его конструкция с электроприводом. Как показала практика эксплуатации, эти клапаны достаточно надежны в работе при надлежащем надзоре. Клапан с электроприводом допускает полную автоматизацию работы, но это требует дополнительной аппаратуры, тогда как другие два типа клапанов работают автоматически, без дополнительных устройств. Клапан с пружинным приводом автоматически работает только на открытие (разрядку сифона). Закрытие клапана осуществляется вручную.

Этот вид привода применяется для особо ответственных станций и обеспечивает пуск агрегата после установления осмотров причин остановки и устранения неисправностей.

В суровых климатических условиях для обеспечения надежности работы этого клапана необходим обогрев устройств управления клапаном. Такие клапаны получили распространение на крупных насосных станциях питьевого и хозяйственно-промышленного водоснабжения, судоходных каналах при значительных диаметрах сифонов (2 м и более).

Второй клапан срыва вакуума — гидромеханический, работающий от гидродинамического воздействия протекающего в сифоне потока воды, значительно проще и компактнее по устройству, чем первый, поэтому он значительно дешевле его. Клапан работает автоматически и создает незначительные гидравлические сопротивления. При работе в суровых климатических условиях благодаря весьма малым габаритам утепление его не вызывает больших трудностей и затрат. Эти клапаны предназначены для установки на крупных мелиоративных насосных станциях с сезонной работой. К недостаткам этого клапана можно отнести:

- 1) возможность скопления на рычаге клапана плавающего мусора;
- 2) возможность прикипания резинового уплотнения при продолжительном нахождении в прижатом состоянии.

Эти недостатки исключаются правильной эксплуатацией и установкой резины уплотнения соответствующего качества.

Небольшой опыт эксплуатации этих клапанов показывает, что они работают удовлетворительно.

В настоящее время институтом «Гипроводхоз» разработаны рабочие чертежи таких клапанов диаметрами от 50 до 350 мм.

Третий тип клапана срыва вакуума — гидравлический — имеет также очень простое устройство, работает автоматически и вполне надежен. Достаточного опыта эксплуатации этих клапанов также нет. Этот клапан имеет следующие недостатки:

- 1) возможность засорения плавающим в воде мусором;
- 2) для обеспечения работы клапана по принятой схеме при нормальных диапазонах колебания горизонтов в отводящем канале иногда необходимо несколько сузить горло сифона, чтобы повысить скорость течения воды в месте подключения клапана против расчетной скорости воды в трубопроводе; это несколько увеличивает гидравлические потери в сифоне;
- 3) усложнение конструкции и эксплуатации в суровых климатических условиях;
- 4) трудность осуществления при параллельной работе насосов на сифон.

Второй и третий типы клапанов с эксплуатационной точки зрения и по простоте устройства можно считать одинаковыми. При выборе типа клапана для мелиоративной насосной станции в основном следует ориентироваться на два последних типа и возможные конструктивные видоизменения их, учитывая специфичность насосной установки (мощность, назначение и ответственность, климатические условия, колебание уровней воды в водовыпуске, длина напорных трубопроводов и др.) и придерживаясь соображений, излагаемых в таблице VIII—4.

Окончательный выбор типа клапана должен иметь технико-экономическое обоснование.

В практике расчетов по определению размеров отверстий клапанов срыва вакуума скорость воздуха принимается в пределах $30 \div 60$ м/сек. Величину этой скорости следует определять по формуле

$$v_b = 400c \sqrt{\Delta P},$$

где c — коэффициент, значение которого для насосных станций следует рекомендовать равным 0,4—0,45. Значение коэффициента $c=0,45$ следует принимать при скоростях течения воды в трубопроводах 1—2,5 м/сек, $c=0,4$ — при скоростях 3 м/сек и более.

ΔP — перепад давления, который практически следует принимать исходя из условия сохранения режима потока воздуха и недопущения образования большого вакуума в трубопроводе (около 0,1—0,2 кг/см²).

Условия работы и характеристика насосной установки	Тип клапана		
	1	2	3
Насосная станция с сезон- ной работой в обычных условиях с колебанием горизонтов воды в водо- приемнике до 1 м про- изводительностью: до 1 м ³ /сек	Не рекомендуется	Можно приме- нять	Можно применять
от 1 до 10 м ³ /сек	То же	То же	То же
от 10 до 20 м ³ /сек и более	Можно применять при специальном обосновании	» »	» »
То же, но с колебанием го- ризонтов воды в водо- приемнике более 1 м про- изводительностью: до 1 м ³ /сек	Не рекомендуется	» »	Может быть при- менен при обо- сновании
от 1 до 10 м ³ /сек	То же	» »	То же
от 10 до 20 м ³ /сек и более	Можно применять при специальном обосновании	» »	» »
Насосная станция с круг- логодовой работой в су- ровых климатических ус- ловиях с колебанием го- ризонтов воды в водо- приемнике до 1 м и про- изводительностью: до 1 м ³ /сек	То же	Можно приме- нять с утеп- лением	Можно применять с утеплением
от 1 до 10 м ³ /сек	» »	То же	То же
от 10 до 20 м ³ /сек и более	» »	» »	» »
То же, но с колеба- нием горизонтов воды в водоприемнике бо- лее 1 м	» »	» »	Можно применять при утеплении и обосновании

После подстановки приведенных величин в формулу будем иметь следующие значения величин скоростей воздуха при среднем значении $\Delta P = 0,15 \text{ кг/см}^2$; при $c = 0,4$ $v_B = 62 \text{ м/сек}$, $c = 0,45$ $v_B = 70 \text{ м/сек}$.

Не следует стремиться принимать ΔP более $0,1 \text{ кг/см}^2$, если это не вызывается необходимостью.

Количество впускаемого воздуха принимается равным величине обратного расхода воды. Размеры отверстий воздушных труб для других типов клапанов определяют так же.

При длинных напорных трубопроводах и параллельной работе насосов необходимо, кроме клапана срыва вакуума на сифонах водовыпусков, предусматривать установку соответствующих затворов и устройств на трубопроводах, не допускающих обратного вращения насосных агрегатов более расчетного, больших утечек воды, гидравлического удара и вакуума сверх установленных величин.

Основные технические указания по проектированию бассейнов сифонных водовыпусков. Ширину по дну бассейна с откосными стенками и сифонами из металлических труб можно определять по формуле

$$B_{\text{бас}} = 2(n - 1) + D_{\text{вых}} \text{ м,}$$

где z — расстояние между осями напорных трубопроводов, принимаемое около напорных бассейнов по строительным и эксплуатационным условиям, в зависимости от диаметра трубопровода, чтобы иметь расстояние в свету между ними не менее 0,7—1 м;

n — число сифонов (трубопроводов);

$D_{\text{вых}}$ — выходной диаметр сифона в метрах, принимаемый обычно в мелиоративных насосных станциях на 20—30% больше диаметра сифона для обеспечения величины выходной скорости в пределах $1 \div 1,5$ м/сек.

Ширина по дну бассейна водовыпуска с отвесными стенками и сифонами, выполненными из железобетона с прямоугольным выходным сечением, может быть определена по той же формуле с заменой $D_{\text{вых}}$ на $b_{\text{вых}}$ — ширину выходного сечения сифона.

Длину бассейна можно определить по следующим формулам:

для односифонного (однотрубного) бассейна

при $p = 0,5 D_{\text{вых}}$

$$L_{\text{бас}} = l_1 + l_2 = 4D_{\text{вых}} + 2p;$$

при $p = D_{\text{вых}}$

$$L_{\text{бас}} = l_1 + l_2 = 2D_{\text{вых}} + 5p;$$

для трехсифонного (трехтрубного) бассейна

при $p = (0,7—0,8) D_{\text{вых}}$

$$L_{\text{бас}} = l_1 + l_2 = 3D_{\text{вых}} + 4p;$$

при $p = D_{\text{вых}}$

$$L_{\text{бас}} = l_1 + l_2 = 2D_{\text{вых}} + 5p,$$

где l_1 — длина горизонтальной части дна бассейна;

l_2 — длина заложения наклонной части дна бассейна;

$D_{\text{вых}}$ — диаметр выходного сечения;

p — глубина бассейна (от дна канала); определяется так же, как и в других типах бассейнов.

После определения p устанавливают относительную величину ее (отношение к $D_{\text{вых}}$) и по соответствующей формуле определяют длину бассейна.

Для двухсифонного бассейна можно принимать размеры односифонного, а для четырехсифонного — размеры трехсифонного.

Бассейн и отводящий канал при различных ширинах по дну сопрягают на участке длиной l_2 (наклонная часть дна) так, чтобы заложение подошвы откоса или отвесной стенки в плане к оси бассейна не превышало угол $15 \div 20^\circ$ (центральный угол конусности не более $30 \div 40^\circ$).

Если при значительной разнице ширин по дну бассейна (многосифонный бассейн) и канала длина переходного участка при указанных углах конусности не размещается в пределах наклонной части l_2 , то переходный участок продолжают и заканчивают в канале при нормальном уклоне дна его. Образующийся конус сужения положительно влияет на стабилизацию потока.

Как показали опыты, заложение наклонной сопрягающей части от колодца к каналу положе 1:5 менее эффективно влияет на растекание потока. Чем больше высота порога, тем меньше необходимая длина горизонтальной части бассейна.

Не следует наклонную часть дна бассейна начинать непосредственно у выходного отверстия сифона, чтобы не создавать подпора в последнем.

Минимальную длину горизонтальной части бассейна l_1 можно принять равной $D_{\text{вых}}$ или $h_{\text{вых}}$ с соответствующим увеличением длины крепления в канале.

Для крупных насосных станций с количеством сифонов 6 и более при отводящем канале с земляным руслом водовыпуск рекомендуется проверять на модели в лаборатории.

Известно [50], что при степени расширения русла $\frac{B}{b} > 4,5 \div 5$, длина участка, на котором устанавливаются эпюры скоростей, характерные для бытовых течений, может достигать больших величин и составлять $(7 \div 12) B$.

При многосифонном водовыпуске и работе одного сифона b будет равно ширине (или $D_{\text{вых}}$) выходного сечения сифона, а B — средней ширине отводящего канала (на высоте $0,5 h$).

Приблизленно длину этого участка можно определить при симметричном расположении по формуле $L = \frac{B-b}{2 \operatorname{tg} \alpha}$, где угол растекания α колеблется в пределах от 3 до 11° . В среднем его можно принять равным $4 \div 5^\circ$, центральный угол растекания $2\alpha = 8 \div 10^\circ$.

Указанная длина увеличивается с увеличением глубины потока.

При значительных разницах ширин потока (выходное сечение сифона и общая ширина бассейна, выходное сечение сифона и расчетная ширина канала) около транзитного потока образуются значительные области фрикционных течений, сжимающих и деформирующих его, затрудняющие растекание. Совершенно ясно, что при неполном количестве работающих насосов необходимо работающие сифоны располагать симметрично по отношению к оси сооружения, не допуская одностороннего их расположения. Работа средних агрегатов предпочтительнее. Составляя график работы насосной станции, нужно исходить из положения, что все насосы должны отработать одинаковое количество часов в году. Устройство перегородок в бассейне ухудшает его работу.

Важным моментом является быстрое затопление выходного отверстия сифона и зарядка сифона, что обязательно надо проверять расчетом, особенно для осевых насосов с жестким креплением лопастей. Незаряженный сифон вызывает при малых напорах насоса относительно большое увеличение напора и мощности его, что может привести к перегрузке электродвигателя, а также к ухудшению кавитационных условий из-за увеличения кавитационного запаса.

Для центробежных насосов этого особого значения в момент пуска не имеет. Кроме того, нужно помнить, что количество допускаемых пусков агрегатов с мощными электродвигателями очень ограничено.

Существенное значение имеет допускаемый по условиям размыва расход, который можно подавать в канал с некрепленным руслом при его заполнении. Здесь существенную роль могут сыграть агрегаты «довески» [69]. Этот расход зависит от качества грунта, слагающего ложе канала, и может в отдельных случаях составлять около $4\text{--}6\%$ максимального расхода канала.

Для насосных станций производительностью более $8\text{--}10 \text{ м}^3/\text{сек}$ при количестве сифонов более двух не следует устраивать бассейны с откосными стенками из-за образования мертвых зон большой величины. Особенно это нежелательно при глубоких бассейнах с пологим заложением откосов. В этом случае следует устраивать стены бассейна отвесными на длине $l_1 + l_2$. Открылки, сопрягающие бассейн с откосами канала, рекомендуется располагать под углом не более 45° к оси канала.

Низ выходного сечения сифона следует делать заподлицо с дном бассейна.

Превышение верха стенок или бровок откосов бассейна над максимальным горизонтом воды в нем принимают по нормам, указанным выше для других типов бассейнов.

Длину крепления русла отводящего канала за водовыпуском устанавливают из условия обеспечения одинаковости скоростей течения воды и их распределения в конце этого участка и в примыкающем канале с некрепленным руслом.

В практике имеются случаи размыва отводящего канала при значительной длине бетонного крепления за бассейном (более 10 максимальных глубин наполнения канала). Это объясняется тем, что, кроме

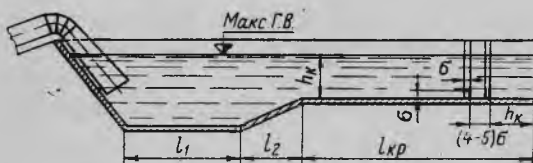


Рис. VIII—44. Схема размещения искусственной шероховатости в конце крепленного участка.

длины крепления, существенное значение имеет различие шероховатостей крепленного и некрепленного русла канала. В крепленном русле канала с гладкой поверхностью образуется подпор вследствие замедления течения в некрепленном русле, вызывающий распределение скоростей,

существенно отличающееся от того, которое образуется в некрепленной части. При этом скорости у дна и откосов превышают скорости, образующиеся при равномерном течении в земляном русле, что и служит причиной размыва последнего. Поэтому необходимо на всей длине крепленного участка иметь шероховатость, близкую к шероховатости земляного русла. Для одно- и двухсифонных водовыпусков длину крепления канала за бассейном можно принимать равной $(6-7)h_k$, а для трех- и четырехсифонных водовыпусков — $(7-8)h_k$, где h_k — максимальная глубина наполнения канала. Если крепление выполнено гладкими бетонными плитами, то в конце крепленного участка в пределах $l_{кр}$ следует: либо на длине $2h_k$ устроить каменную отмостку, либо уложить (что лучше по условиям механизации) плиты с ребрами искусственной шероховатости по схеме, приведенной на рисунке VIII—44, где следует принимать $\sigma = (0,1-0,15)h_k$. Более экономично крепление ребристыми железобетонными плитами, которое при укладке плит ребрами вверх повышает шероховатость русла крепленного канала, приближая ее к шероховатости некрепленного русла. Переходные участки большой длины крепятся полностью, а примыкающий канал на длину $2h_k$. Если по условиям борьбы с фильтрацией канал покрывается бетонной одеждой, вопрос об устройстве крепления отводящего канала решен. Общую длину напорного бассейна, указанную выше, можно в этом случае сократить на 10—15%.

Примеры конструкций и расчетов напорных бассейнов и клапанов срыва вакуума.

Пример 1. Прямоточный водовыпуск сифонного типа с сифонами из стальных труб с удлиненным нижним отводом представлен на рисунке VIII—45. Водовыпуск двухсифонный с откосными стенками. Заложение откосов бассейна 1:1,5. Крепление откосов монолитное железобетонное, толщиной 14—16 см. Проектом же предусматривалось крепление сборными железобетонными плитами толщиной 8 см по выравнивающей песчано-гравийной подготовке толщиной 5 см, так как грунты песчано-супесчаные. Расход каждого сифона колеблется от 1,7 до 3,2 м³/сек, так как на один трубопровод (сифон) работают параллельно два насоса с расчетной производительностью 1,7 м³/сек и $n_s = 110$.

На сифоне установлен гидромеханический клапан срыва вакуума, работающий от динамического воздействия протекающего в сифоне потока воды. Диаметр клапана $d_v = 350$ мм. Сифоны сварные, круглого сечения, выполнены из стальных труб с внутренним диаметром $D_y = 1400$ мм и толщиной стенок 12 мм. Сифоны постоянного сечения с диаметром, равным диаметру напорных трубопроводов, только в конце имеют диффузор для уменьшения скорости выхода. Диффузор выполнен с центральным углом расширения 12,5° и имеет выходное сечение диаметром 1800 мм.

Низ выходного сечения сифона для удобства монтажа приподнят над дном бассейна на 0,1 м.

Сифоны имеют верхний отвод с углом поворота 75°, а нижний — с углом поворота 33°, то есть сумма углов поворота отводов составляет 108°. Общая длина сифона

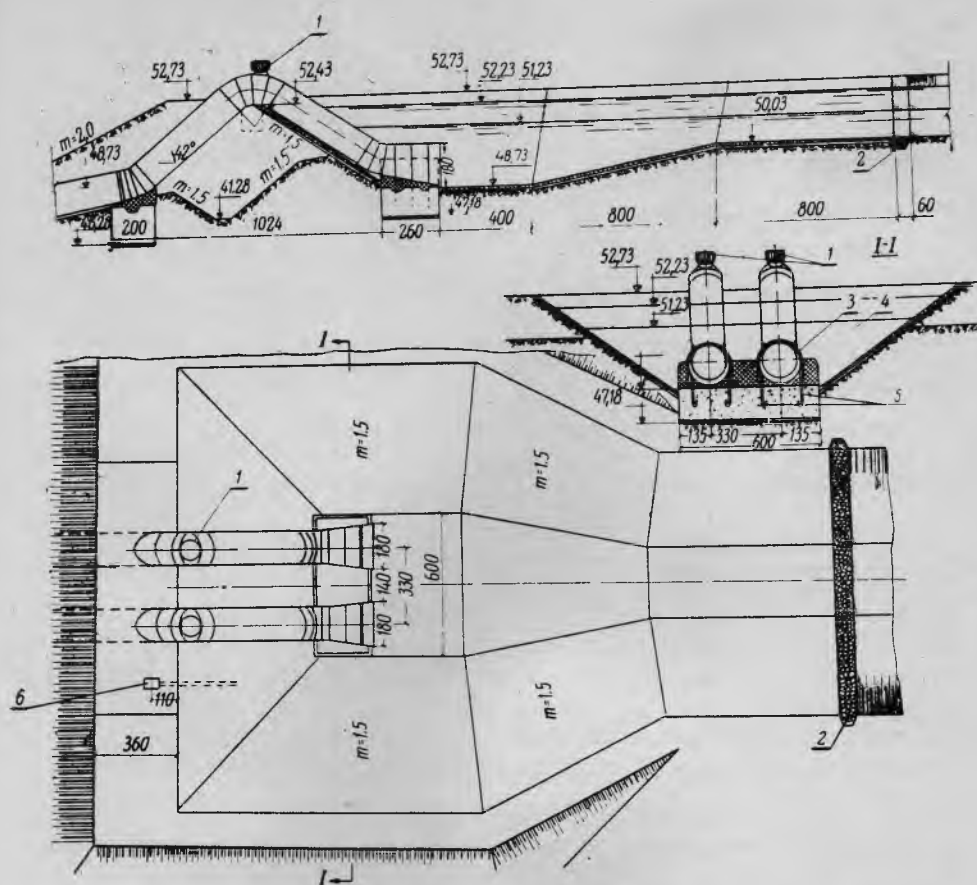


Рис. VIII—45. Прямоточный водовыпуск сифонного типа с двумя сифонами из металлических труб:

1 — клапан срыва вакуума $d_v=350$ мм; 2 — засыпка камнем; 3 — анкеры размером 50×10 мм; 4 — монтажный бетон; 5 — закладные детали размером 50×10 мм; 6 — датчик уровня.

равна 10,47 м, что по отношению к его диаметру в начальном сечении ($D_{\text{сиф}}=1400$ мм) составляет 7,5 $D_{\text{сиф}}$. Началом сифона обычно считают начало его верхнего отвода. Расчетная средняя скорость течения воды в горле сифона колеблется от 1,1 до 2,08 м/сек, а скорость в выходном сечении соответственно от 0,67 до 1,26 м/сек. Сифон в горле при минимальном расходе будет работать неполным сечением, так как необходимая минимальная средняя скорость по приведенной выше зависимости должна быть $v_{\text{мин.г.с}}=3,4 \sqrt{R_{\text{г.с}}}=3,4 \sqrt{0,35}=2$ м/сек. Напорный трубопровод при подходе к сифону для сокращения длины и создания условий лучшего сопряжения с рельефом местности имеет более крутое заложение по отношению к горизонту (42°) по сравнению с его нормальным заложением 15° . Нисходящая ветвь сифона имеет угол заложения по отношению горизонта 33° , что близко к заложению откосов бассейна 1:1,5.

В рассматриваемой конструкции конечная часть напорного трубопровода и сифон вместе образуют балку с ломаной осью, опирающуюся на две опоры. Одна опора расположена в месте поворота напорного трубопровода в вертикальной плоскости (отвод с углом поворота 27° , равным разнице углов заложения трубопровода до и после опоры), а другая — в месте нижнего отвода сифона (с углом поворота 33°) и диффузора. Трубопровод и сифон заанкерены в опорах. Анкеры приварены к трубе и имеют сечение 10×50 мм. Напорный трубопровод засыпан землей. Опоры выполнены из бетона марки БПМ-100, В-2, Мрз-50, что в условиях теплого климата с редкими и непродолжительными морозами максимально до 20°C при отсутствии попеременного замораживания и оттаивания вполне достаточно.

Гидравлический расчет сифона. 1. Гидравлические потери в сифоне. Коэффициенты гидравлических сопротивлений принимаем по справочнику [23].

Потери в верхнем отводе ($\varphi=75^\circ$):

при работе двух насосов

$$h_{1к}^* = \xi \frac{v^2}{2g} = 0,37 \frac{2,08^2}{19,62} = 0,081 \text{ м};$$

при работе одного насоса

$$h'_{1к} = \zeta \frac{v^2}{2g} = 0,37 \frac{1,1^2}{19,62} = 0,023 \text{ м.}$$

Потери в нижнем отводе ($\varphi = 33^\circ$):

при работе двух насосов $h''_{2к} = \zeta \frac{v^2}{2g} = 0,16 \frac{2,08^2}{19,62} = 0,035 \text{ м;}$

при работе одного насоса $h'_{2к} = \zeta \frac{v^2}{2g} = 0,16 \frac{1,1^2}{19,62} = 0,01 \text{ м.}$

Потери в диффузоре ($\alpha = 12,5^\circ$):

при работе двух насосов $h''_д = \zeta \frac{v^2}{2g} = 0,21 \frac{2,08^2}{19,62} = 0,046 \text{ м;}$

при работе одного насоса $h'_д = \zeta \frac{v^2}{2g} = 0,21 \frac{1,1^2}{19,62} = 0,013 \text{ м.}$

Потери по длине:

при работе двух насосов $h''_l = \frac{0,25}{100} 4,99 = 0,012 \text{ м;}$

при работе одного насоса $h'_l = \frac{0,071}{100} 4,99 = 0,0041 \text{ м.}$

Сумма гидравлических потерь в сифоне:

а) вычисленных выше

при работе двух насосов $\Sigma h'' = 0,174 \text{ м;}$

при работе одного насоса $\Sigma h' = 0,05 \text{ м;}$

б) по приведенной выше формуле и коэффициенту сопротивления (форма сифона аналогична)

при работе двух насосов $\Sigma h'' = 0,8 \frac{2,08^2}{19,62} = 0,176 \text{ м;}$

при работе одного насоса $\Sigma h' = 0,8 \frac{1,1^2}{19,62} = 0,048 \text{ м;}$

в) фактически замеренных в натуре при работе двух насосов:

$$\Sigma h'' = 0,159 \text{ м.}$$

Приведенные результаты расчетов говорят об удовлетворительности предложенного выше способа и коэффициентов для определения гидравлических потерь в рассмотренных конфигурациях сифонов.

2. Величина вакуума в горле сифона на оси сечения. При работе двух насосов расчетная величина вакуума определяется из следующего выражения:

$$h_{\text{вак}} = 53,13 - 52,09 - \Sigma h'' + \frac{v_{\text{г.с}}^2}{2g} - \frac{v_{\text{вых}}^2}{2g} =$$
$$= 1,04 - 0,135 + \frac{2,08^2}{19,62} - \frac{1,1^2}{19,62} = 1,06 \text{ м вод. ст.,}$$

где 53,13 — отметка оси сечения в горле сифона, м;

52,09 — отметка уровня воды в бассейне, замеренная у выходного сечения, при работе двух насосов, м;

$\Sigma h''$ — сумма гидравлических потерь в сифоне, равная $0,176 - 0,041 = 0,135 \text{ м}$, где $0,176 \text{ м}$ — сумма вычисленных потерь в сифоне, $0,041 \text{ м}$ — половина вычисленной величины гидравлических потерь ($0,081 \text{ м}$) в верхнем отводе сифона.

Полученный результат очень близок к замеренной величине вакуума в натуре — $1,02 \text{ м вод. ст.}$

Величина заглубления выходного отверстия сифона под минимальный горизонт воды равна $0,6 \text{ м}$, что составляет около $7 \frac{v_{\text{вых}}^2}{2g}$ (максимальная скорость выхода $1,26 \text{ м/сек}$). Это заглубление можно уменьшить до величины $0,2 - 0,25 \text{ м}$. Отметка дна бассейна

$$51,23 - 0,6 - 1,8 - 0,1 = 48,73 \text{ м.}$$

Глубина колодца водовыпуска $p = 50,03 - 48,73 = 1,3 \text{ м}$, что составляет $\frac{1,3}{1,8} D_{\text{вых}} = 0,72 D_{\text{вых}}$.

В этом случае длину водовыпуска можно принять:

$$l_1 + l_2 \approx D_{\text{вых}} + 5p = 1,8 + 6,5 = 8,3 \text{ м, что меньше принятой величины } l_1 + l_2 = 4 + 8 = 12 \text{ м.}$$

Заложение сопрягающей части дна бассейна водовыпуска принято несколько больше рекомендованного выше, а именно $1,3:8=1:6,16$, что излишне. Длина крепления канала принята равной 8 м, что меньше рекомендованной выше величины $6h_k = 6 \cdot 2,2 = 13,2$ м. На этой системе для уменьшения потерь воды в каналах на фильтрацию русло отводящего канала было потом покрыто железобетонным монолитным креплением, а до этого наблюдался размыв канала.

Запас бровки откоса над максимальным горизонтом воды в бассейне и канале принят 0,5 м. Ширина по дну бассейна водовыпуска принята 6 м, что продиктовано размерами опоры сифона и соображениями упрощения крепления откосов железобетонными плитами. Это расстояние возможно уменьшить до 5 м, что улучшит работу водовыпуска.

В водовыпуске устанавливается датчик уровня, для монтажа которого устраивается колодец и от дна последнего выводится трубка в бассейн. Глубина колодца должна обеспечить охват датчиком всего диапазона колебаний уровней в водовыпуске.

Как видно из чертежа, водовыпуск придвинут к станции (для сокращения длины напорных трубопроводов) и расположен в полунасыпи-полувыемке. Опоры сифона расположены в материковом грунте. Допустим, что температура замыкания для сифона была принята минимально возможная, диапазон колебаний температуры в сторону повышения будет около 50°C . Тогда максимально возможное поднятие верхнего колена сифона при нагревании трубы

$$\Delta h = \frac{l}{2} \Delta t \sin \frac{42^\circ + 33^\circ}{2} = \frac{14}{2} \cdot 0,000012 \cdot 50 \cdot 0,623 = 0,0026 \text{ м, или } 2,6 \text{ мм.}$$

Под верхним коленом сифона устраивается бетонная опора шириной 1 м, длиной 6 м и высотой до бровки откоса (до отм. 52,73 м), которая на рисунке показана пунктиром (рис. VIII—45). В этой опоре в местах сопряжения с сифонами устроены седловины. Отметка седловин выбрана так, чтобы при снижении температуры сифон не опирался на опору. Между опорой и сифоном следует дать мягкую просмоленную прокладку толщиной до 20 мм. Эта опора обеспечивает более надежную работу сооружения в месте выхода сифона в бассейн.

3. Проверочный расчет клапана срыва вакуума. На сифоне установлен клапан срыва вакуума гидромеханического типа, работающий от гидродинамического воздействия потока воды, протекающего в сифоне. Диаметр установленного клапана $d_y = 350$ мм.

Для трубопроводов диаметром 1400 мм рекомендуется клапан с $d_y = 250$ мм. Конструкция и основные размеры этого клапана приведены на рисунке VIII—53.

Проверим возможность установки на данном сифоне такого клапана срыва вакуума.

При работе одного насоса расход воды, протекающей по сифону, составляет $1,7 \text{ м}^3/\text{сек}$, при работе двух насосов — $3,2 \text{ м}^3/\text{сек}$. Быстроходность насоса $n_s = 110$.

Обратный расход воды в сифоне (при выключении привода насоса) при насосе с быстроходностью $n_s = 110$ (согласно данным приведенной выше таблицы VIII—3) будет:

а) максимально возможный (при $n \approx 0$) в течение весьма короткого времени

(при $\frac{Q_0}{Q_n} \approx 1$):

при работе одного насоса $1,7 \text{ м}^3/\text{сек}$,

при работе двух насосов $3,2 \text{ м}^3/\text{сек}$;

б) при разгоне агрегата ($n_p \approx 1,08 n_n$) с округлением:

при работе одного насоса $1,7 \times 0,6 = 1 \text{ м}^3/\text{сек}$,

при работе двух насосов $3,2 \times 0,6 = 2 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Скорости движения воздуха в клапане при его открытии будут:

$$\text{максимально возможная } v_{\text{макс}} = \frac{3,2 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,25^2} = 65 \text{ м/сек};$$

$$\text{минимальная } v_{\text{мин}} = \frac{1 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,25^2} = 20 \text{ м/сек};$$

$$\text{средняя } v_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,25^2} = 41 \text{ м/сек.}$$

Эти скорости не вызовут образования значительного вакуума в трубопроводе и их можно принять.

$$\text{Площадь сечения ствола клапана } f_{\text{кл}} = \frac{\pi d_y^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,25^2}{4} = 0,049 \text{ м}^2.$$

$$\text{Площадь отверстий в кожухе } f_{\text{кож}} = 0,2 \cdot 0,01 \cdot 24 = 0,048 \text{ м}^2.$$

Площадь входных отверстий клапана (без учета стеснения)

$$f_{\text{вых}} = 2 \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} = 0,0628 \text{ м}^2.$$

Площадь входа в клапан при длине хода штока 50 мм

$$f_{\text{вх}} = 3,14 \cdot 0,2 \cdot 0,05 \cdot 2 = 0,0628 \text{ м}^2.$$

Из анализа приведенных площадей следует, что площадь входных отверстий в кожухе недостаточна. Ее следует принять на 10—20% больше площади входных отверстий клапана, что уменьшит входные скорости воздуха и возможность засасывания посторонних предметов в клапан.

Приняв $f_{\text{кож}} = 1,2 \times 0,0628 = 0,0755 \text{ м}^2$ и оставляя 24 отверстия, следует высоту их увеличить до 260 мм, а ширину — до 12 мм (больше ширину увеличивать не следует).

Проверим герметичность клапана. Клапан имеет два входных отверстия и два диска, расположенных с противоположных сторон штока, что позволяет считать атмосферное давление уравновешенным.

Величина гидродинамического давления на лопатку, считая его величину по средней скорости течения воды в сифоне (что с некоторым запасом, так как лопатка располагается в нижнем сечении трубы), будет:

при работе одного насоса

$$h_1 = f_{\text{л}} \frac{v_1^2}{2g} \gamma_{\text{в}} = 0,2 \cdot 0,3 \frac{1,1^2}{19,62} \cdot 1,0 = 0,0037 \text{ т};$$

при работе двух насосов

$$h_2 = f_{\text{л}} \frac{v_2^2}{2g} \gamma_{\text{в}} = 0,2 \cdot 0,3 \frac{2,08^2 \cdot 1,0}{19,62} = 0,0132 \text{ т}.$$

Пренебрегая углом отклонения рычага и лопатки и учитывая соотношение плеч рычага $\frac{1450}{55} = 26,4$ (рис. VIII—53), получим усилие, передаваемое на каждый диск клапана:

при работе одного насоса

$$P_1 = \frac{h_1 26,4}{2} = \frac{3,7 \cdot 26,4}{2} = 49 \text{ кг};$$

при работе двух насосов

$$P_2 = \frac{h_2 26,4}{2} = \frac{13,2 \cdot 26,4}{2} = 174 \text{ кг}.$$

Удельное давление, передаваемое на резиновое уплотнение клапана:
при работе одного насоса

$$q_1 = \frac{P_1}{\pi d_{\text{вх}} b} = \frac{49}{3,14 \cdot 20 \cdot 0,025} = 31,2 \text{ кг/см}^2;$$

при работе двух насосов

$$q_2 = \frac{P_2}{\pi d_{\text{вх}} b} = \frac{174}{3,14 \cdot 20 \cdot 0,025} = 111 \text{ кг/см}^2.$$

Рекомендуемая величина удельного уплотнения (давления на резину уплотнения) определяется по формуле

$$q_{\text{упл}} = \frac{a + c P_{\text{вх}}}{\sqrt{b}} = \frac{3}{\sqrt{0,025}} = 19 \text{ кг/см}^2.$$

Подсчитанные выше удельные давления, создаваемые в клапане, превышают рекомендуемое, обеспечивающее необходимую плотность клапана для сохранения вакуума в сифоне.

Усилие, необходимое для открытия клапана, значительно меньше, и оно всегда обеспечено обратным током воды в сифоне.

В приведенном выше расчете принято:

$v_1 = 1,1 \text{ м/сек}$ — средняя скорость течения воды при работе одного насоса;

$v_2 = 2,08 \text{ м/сек}$ — средняя скорость течения воды при работе двух насосов;

$\gamma_{\text{в}} = 1 \text{ т/м}^3$ — объемный вес воды;

$f_{\text{л}} = 0,2 \cdot 0,3 = 0,06 \text{ м}^2$ — площадь лопатки рычага;

$d_{\text{вх}}$ — диаметр отверстия клапана, закрываемый дисками с уплотнением, равный 20 см;

$b = 0,025 \text{ см}$ — ширина контакта уплотнения;

$a = 3$;

$c = 0,4$;

$P_{\text{вн}} = 0$ — наружное давление уравновешено.

Пример 2. Прямоточный водовыпуск сифонного типа с четырьмя сифонами из стальных труб без нижнего отвода показан на рисунке VIII—46. Водовыпуск с откосными стенками.

Крепление откосов принято железобетонными сборными ребристыми плитами. Заложение откосов 1 : 1,5. Расход каждого сифона 1,5 м³/сек.

На сифоне устанавливается гидромеханический клапан срыва вакуума, работающий от гидродинамического воздействия протекающего в сифоне потока воды. Диаметр клапана $d_y = 150$ мм.

Сифоны сварные постоянного сечения из стальных труб диаметром $D_y = 1000$ мм. На концах сифоны имеют диффузоры с диаметром выходного сечения $D'_y = 1400$ мм. Длину диффузора следует принимать не менее $6 \div 7 (D'_y - D_y)$, что дает центральный

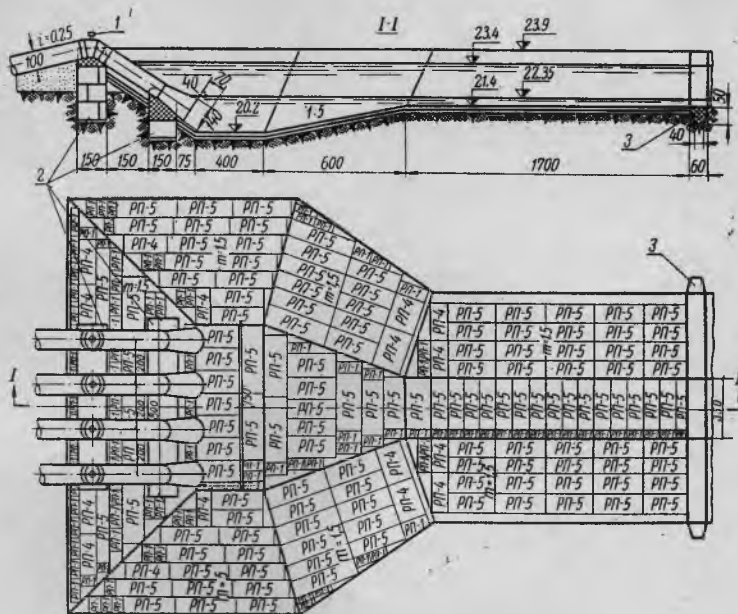


Рис. VIII—46. Прямоточный водовыпуск сифонного типа с четырьмя сифонами без нижнего отвода из металлических труб с раскладкой плит крепления:

1 — клапан срыва вакуума $d_y = 150$ мм; 2 — опоры труб из бетонных блоков; 3 — бетонный зуб. Плиты крепления укладываются ребрами жесткости вверх; блоки и плиты укладываются по песчано-гравийной подготовке толщиной 5 см.

угол конусности его $8-10^\circ$. Центральный угол конусности диффузора не следует принимать более $10-12^\circ$; при $\alpha = 12^\circ$ длина диффузора

$$l = \frac{1400 - 1000}{2 \operatorname{tg} 12^\circ} = 1900 \text{ мм.}$$

Средняя скорость течения воды в горле сифона равна 1,91 м/сек, а на выходе из сифона — около 1 м/сек. Сифон в горле будет работать полным сечением, так как необходимая минимальная скорость $v_{\text{мин. г.с}} = 3,4 \sqrt{0,25} = 1,7$ м/сек. Диаметр напорного трубопровода устанавливается технико-экономическим расчетом. Трубопровод подходит к сифону с заложением 1 : 4.

Длина рассматриваемого сифона значительно меньше длины сифона, рассмотренного в примере 1. Такая конструкция сифона позволила сократить длину его на 35%, а длину бассейна водовыпуска на 28%. Сифон опирается на две опоры, монтируемые из сборных бетонных блоков (бетон марки БПМ-100), укладываемых на цементном растворе марки 75. После окончания монтажа сифона на опорах подливают монтажный бетон той же марки. Плиты крепления и опоры сифона из сборных блоков укладывают по песчано-гравийной подготовке толщиной 5 см. Плиты крепления — ребристые, для увеличения шероховатости их укладывают ребрами вверх. Места, где нельзя уложить плиты стандартных размеров, покрываются бетоном марки БПМ-100 слоем 7 см. Ребристые плиты крепления имеют толщину 35 мм, высоту ребер 75 мм, марку бетона БПТ-200.

На рисунке VIII—42 показан бассейн с укладкой плит крепления ребрами вверх. Предварительные данные эксплуатации говорят об удовлетворительной работе его. Натурными исследованиями следует уточнить предлагаемые выше рекомендации по устройству крепления.

Расстояние выходного сечения сифона от дна бассейна, считая по откосу, составляет $0,5 D_{\text{вых}} = 700 \text{ мм}$, а по оси сифона это расстояние при полуторном заложении откосов будет $1,25 D_{\text{вых}}$. Заглубление верха выходного сечения сифона под минимальный горизонт воды в канале принято $0,4 \text{ м}$, что составляет $8 \frac{v_{\text{вых}}^2}{2g}$, то есть несколько

завышено против рекомендованного. Превышение порога сифона над максимальным горизонтом воды в канале принято $0,4 \text{ м}$, этот размер можно принять равным $0,3 \text{ м}$. Длина бассейна принята $l_1 + l_2 = 4 + 7 = 11 \text{ м}$, что также несколько больше рекомендованной выше величины, при $p \approx D_{\text{вых}}$, равной $2 D_{\text{вых}} + 5 \text{ п} = 2,8 + 7,0 = 9,8 \text{ м}$.

Длина крепления канала принята равной $17,0 \text{ м}$, что близко к рекомендованной выше величине.

На рисунках VIII—47, VIII—48 и VIII—49 приведены конструкции бетонных блоков марки БЛФ и ребристых железобетонных плит марок П-60×120 и П-120×180. Имеется еще плита марки П-180×300. Цифры обозначают размеры плит в сантиметрах. Эти плиты применяют для крепления дна и откосов водовыпусков и начальной части канала, их рекомендуется укладывать ребрами вверх. Если канал по условиям фильтрации крепится бетоном, то бассейн можно крепить обычными гладкими плитами. Техническая характеристика ребристых плит приводится в таблице VIII—5.

Для крепления дна и откосов каналов разработаны гладкие плиты марок ПН (с напряженной проволоочной и стержневой арматурой, марка бетона БГТ-400) и П (с ненапряженной одиночной арматурой, марка бетона БГТ-3000), технические характеристики которых приведены в таблице VIII—6.

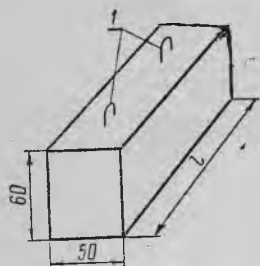


Рис. VIII—47. Бетонный блок типа БЛФ. Бетон блока марки БПМ-100 (размеры в см):

$l = 50 \text{ см}; 100 \text{ см}; 150 \text{ см}$.

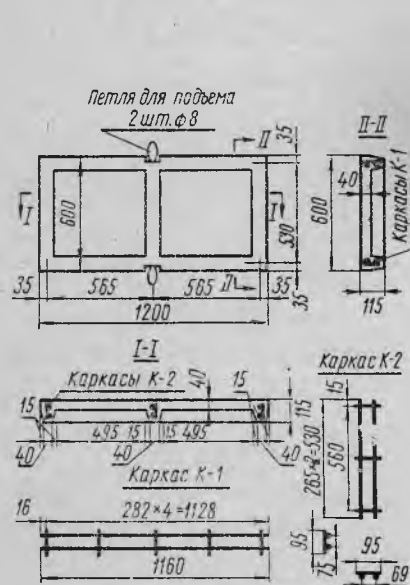


Рис. VIII—48. Ребристая железобетонная плита крепления марки П-60×120, марка бетона БГТ-200 (размеры в мм).

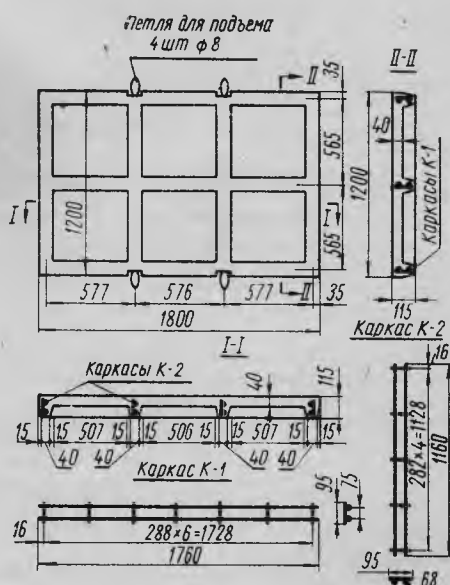


Рис. VIII—49. Ребристая железобетонная плита крепления марки П-120×180, марка бетона БГТ-200 (размеры в мм).

ТАБЛИЦА VIII—5

Марка ребристой плиты	Ширина плиты, см	Длина плиты, см	Количество бетона на плиту, м³	Количество арматуры, кг/м³
П-60×120	60	120	0,044	25
П-120×180	120	180	0,130	22
П-180×300	180	300	0,300	57

Марка плиты	Армирование	Размеры плиты, см			Расход бетона на плиту, м ³	Расход арматуры на плиту, кг/м ²
		ширина	длина	толщина		
ПН-600×50×6	Проволочная и стержневая арматура	50	600	6	0,18	12,54/18,39
ПН-600×100×6		100	600	6	0,36	19,37/34,77
ПН-600×150×6		150	600	6	0,54	25,64/39,47
ПН-600×200×6		200	600	6	0,72	32,67/57,20
ПН-600×250×6		250	600	6	0,90	46,01/70,29
П-400×50×8	Ненапряженное армирование	50	400	8	0,16	13,58
П-400×100×8		100	400	8	0,32	20,14
П-400×150×8		150	400	8	0,48	26,79
П-400×200×8		200	400	8	0,64	36,43
П-400×250×8		250	400	8	0,80	47,69

Примечание. В числителе дан расход железа при армировании плит проволочной арматурой, а в знаменателе — стержневой.

Пример 3. На рисунке VIII—50 приведен прямоточный водовыпуск сифонного типа железобетонной неразрезной монолитной конструкции. Количество труб сифона — 4. Сифоны без нижнего отвода. Бассейн с вертикальными железобетонными стенками сопрягается с каналом при помощи железобетонных открьлков, направленных под углом 45° к оси отводящего канала. Вся конструкция сифона покотится на железобетонной плите и опирается на нее при помощи продольных стенок. В плите на пороге сифона во время производства работ оставляют временные отверстия для загрузки отсеков грунтом, чтобы увеличить устойчивость сифона. Эти отверстия впоследствии армируют и заливают бетоном. Стенки и плита бассейна отделены осадочным водонепроницаемым швом от сифона. Крепление канала выполнено в основном мощением. Общая длина крепления 9,4 м, или 4,6 h_n , что недостаточно. В верхней плите (капоре) сифона предусмотрены отверстия для установки клапана срыва вакуума и смотрового люка.

Напорный стальной трубопровод диаметром 1400 мм жестко заделывается в сифон. В начальной части сифона устраивается переход от круглого сечения к прямоугольному с сохранением площади живого сечения и уменьшением высоты сечения до 0,785D.

Выходное сечение сифона имеет площадь в 1,25 раза бoльшую, чем площадь живого сечения напорного трубопровода. Желательно ее несколько увеличить, но не за счет ширины, а за счет высоты сечения, что несколько увеличит глубину колодца, уменьшит ширину его до ширины канала и упростит сопряжение с каналом.

Толщина внутренних стенок трубы сифона конструктивно получилась равной 0,76 м. При выполнении их намечается добавление в средней части «изюма» из качественного камня для уменьшения бетонной кладки. Зона укладки «изюма» показана пунктиром. Такая конструкция сифона принята в проекте потому, что он располагается на берегу реки в условиях слабых грунтов.

На рисунке VIII—51 показано армирование сифона. Армирование в основном выполнено конструктивно с некоторым превышением количества арматуры против расчета. Бетон марки БГМ-150, В-2, рабочая арматура горячекатаная из стали Ст-3. Общее количество арматуры 3120 кг. При объеме железобетонной кладки 87 м³ расход арматуры составляет 36 кг на 1 м³ кладки. Расход воды, пропускаемый одним сифоном, равен примерно 2 м³/сек. Средняя скорость воды в горле сифона 1,3 м/сек, а в выходном сечении — около 1 м/сек. Сифон в горле будет работать неполным сечением, так как необходимая минимальная скорость должна быть

$$v_{\text{мин-г.с}} = 3,4 \sqrt{R_{\text{г.с}}} = 3,4 \sqrt{0,31} = 1,89 \text{ м/сек.}$$

На сифоне предусматривается установка гидромеханического клапана срыва вакуума. Напряжение на грунт в основании сифона находится в пределах 0,5—0,6 кг/см².

Пример 4. На рисунке VIII—35 представлен прямоточный четырехтрубный сифонный водовыпуск из сборного железобетона. Сифоны выполнены с укороченным нижним отводом. Верхняя деталь является самой тяжелой. Ее вес около 13 т. После ее установки на место осуществляется бетонировка ее верха и верхней части междутрубного пространства по утрамбованной насыпи и примыкающих с двух сторон площадок. На верхней площадке на металлических каркасах монтируется приводное устройство клапанов срыва вакуума с электрическим приводом.

В верхней плите верхней детали имеются отверстия для размещения клапана срыва вакуума, импульсного устройства и смотрового люка. Напорный трубопровод сборный железобетонный диаметром 1700 мм с предварительно напряженной армату-

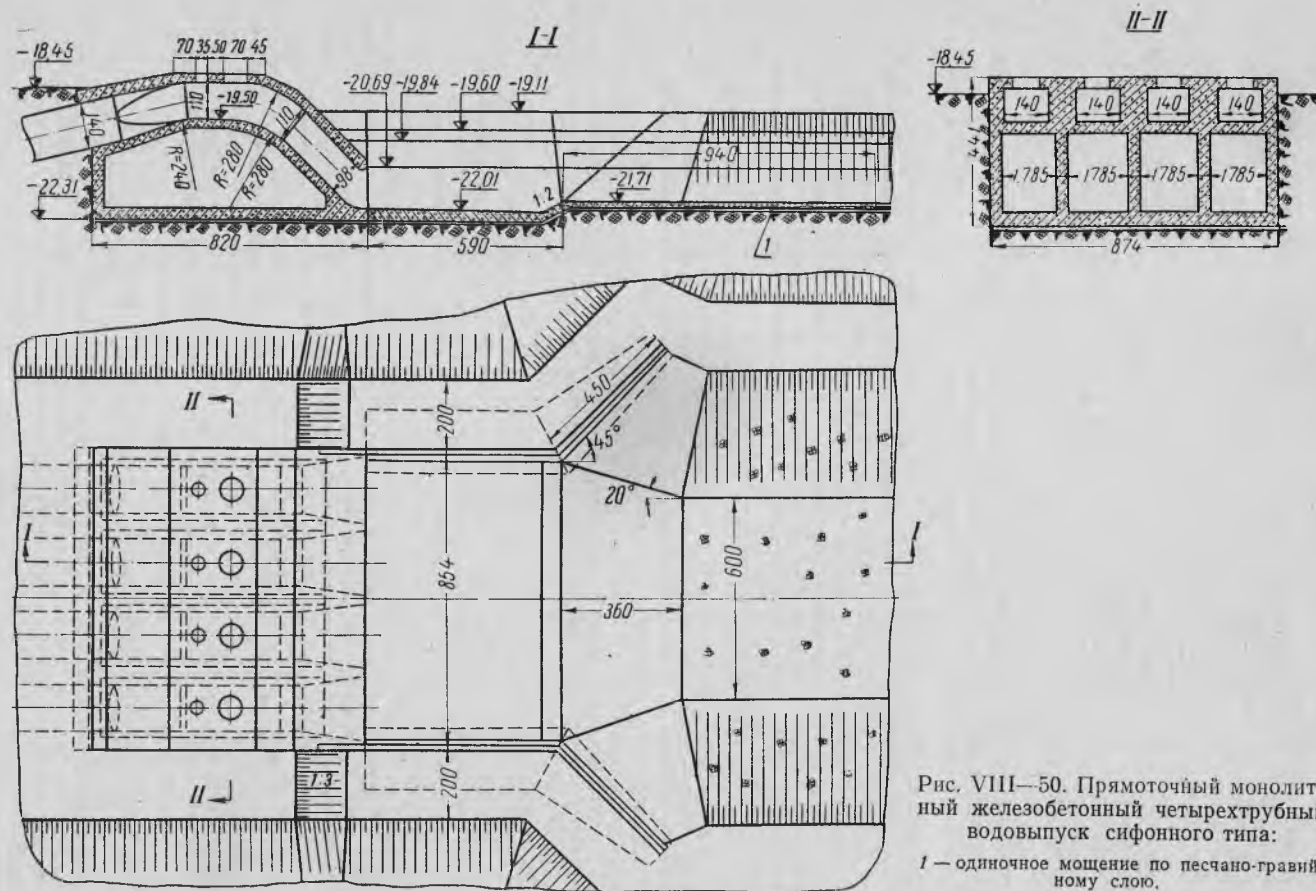


Рис. VIII—50. Прямоточный монолитный железобетонный четырехтрубный водовыпуск сифонного типа:

I — одиночное мощение по песчано-гравийному слою.

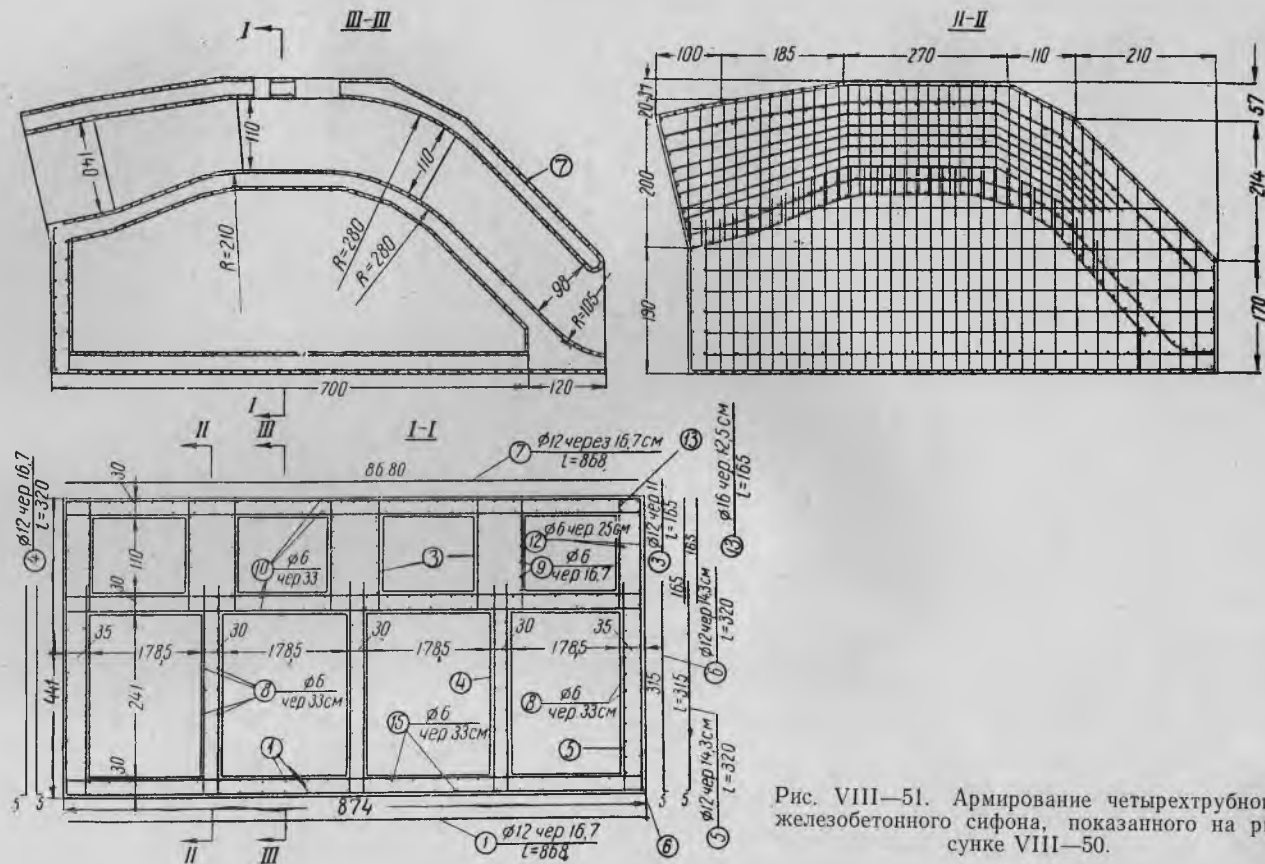


Рис. VIII—51. Армирование четырехтрубного железобетонного сифона, показанного на рисунке VIII—50.

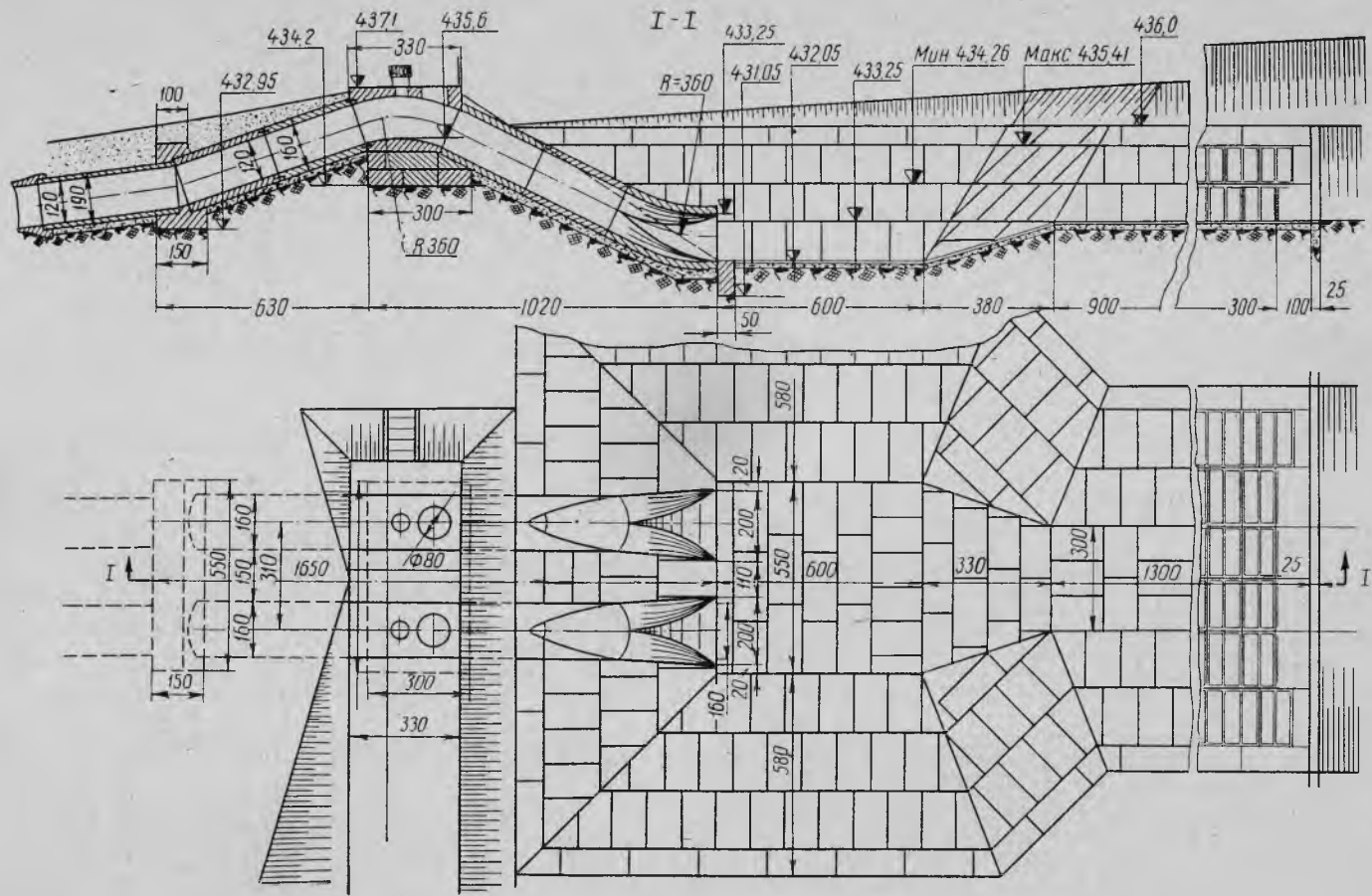


Рис. VIII—52. Прямоточный двухтрубный водовыпуск сифонного типа с откосными стенками бассейна; крепление сборными железобетонными плитами.

рой. Сифон, кроме верхней части, имеет еще три блока трубы прямоугольного сечения, причем две верхние одинаковые, а конечная выполняется с конусом расширения. В месте примыкания к бассейну на крайние трубы сифона устанавливают и замоноличивают стенки бассейна из сборных плит. Бассейн с прямоугольными стенками, выполненными из сборных контрофорсных подпорных стен, состоящих из трех деталей — плиты основания, вертикальной плиты и плиты-контрофорса. Арматура этих плит сваривается, а стык замоноличивается. Бассейн сопрягается с каналом открылками, направленными под углом 40° к оси канала, представляющими собой также подпорные сборные железобетонные стенки. Подпорные стены бассейна отделены от сифона осадочным водонепроницаемым швом.

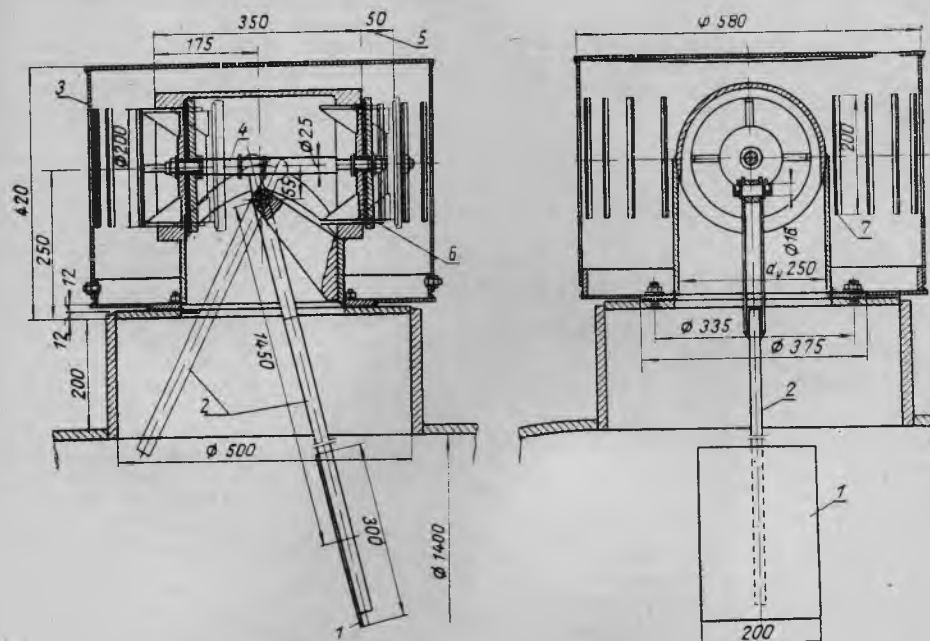


Рис. VIII—53. Гидромеханический клапан срыва вакуума $d_v=250$ мм:

1 — лопатка; 2 — рычаг; 3 — кожух; 4 — шток; 5 — ход штока; 6 — резиновое уплотнение; 7 — 24 отверстия размером 10×200 мм (размеры в мм).

Дно бассейна и отводящий канал на всем протяжении укрепляют сборными железобетонными плитами. Толщина плит в колодце и начале канала несколько больше, чем на всем протяжении. При крепленном отводящем канале длину колодца можно было бы сократить до $3h_{\text{вых}}=5,1$ м. Так как канал имеет крепленное русло, то плиты крепления в колодце и начальной части канала не имеют ребер, увеличивающих шероховатость. Для обеспечения устойчивости стенок плиты основания подпорных стенок расположены ниже плит крепления колодца и канала. Заложение подошвы откоса в сопрягающей части бассейна и канала выполнено в плане по отношению к оси канала под углом $20,5^\circ$, то есть в пределах рекомендуемого заложения $20-30^\circ$.

Расход каждого сифона около $4,5 \text{ м}^3/\text{сек}$. Средняя скорость течения воды в горле сифона $1,75 \text{ м/сек}$, а в выходном сечении $1,1 \text{ м/сек}$. Сифон в горле будет работать неполным сечением, так как необходимая минимальная средняя скорость должна быть $v_{\text{мин г.с}}=3,4\sqrt{0,425}=2,2 \text{ м/сек}$. Стыки напорного и сифонного сборных железобетонных трубопроводов выполнены с применением профильной резины. Примеры конструкций таких стыков приводятся в разделе железобетонных напорных трубопроводов.

Превышение порога сифона над максимальным горизонтом воды в канале принято 25 см . Заглубление верха выходного отверстия под минимальный горизонт воды в канале равно 30 см и составляет около $5 \frac{v_{\text{вых}}^2}{2g}$.

Пример 5. На рисунке VIII—52 приведен прямоточный двухтрубный водовыпуск сифонного типа. Сифоны сборные из железобетонных труб круглого сечения. Этот водовыпуск отличается от предыдущего тем, что в нем сифон имеет укороченный нижний отвод, в котором соединяются и конус расширения и переход на прямоугольное сечение. Это дает возможность не увеличивать глубину колодца, которая вполне достаточна. В конце крепленного участка канала на длине 3 м предусмотрена укладка сборных ребристых железобетонных плит вверх ребрами.

Расход каждого сифона из-за параллельной работы насосов на трубопровод колеблется в пределах $1,7 \div 3,2 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Толщина песчано-гравийной подготовки по грунтовым условиям принята равной 15 см. Клапан срыва вакуума — гидромеханический. Диаметр клапана 350 мм. Конструкция такого клапана $d=250 \text{ мм}$ представлена на рисунке VIII—53.

Пример 6. На рисунке VIII—54 показан водовыпуск насосно-турбинной станции. Станция расположена на берегу водохранилища, вблизи транзитного магистрального канала. В паводковый период происходит наполнение водохранилища через насосно-турбинную станцию. В период межи, при малых расходах воды в канале, насосно-турбинная станция подает воду из водохранилища в канал. На станции установлены обратимые гидравлические машины, которые могут работать как насосы и как турбины.

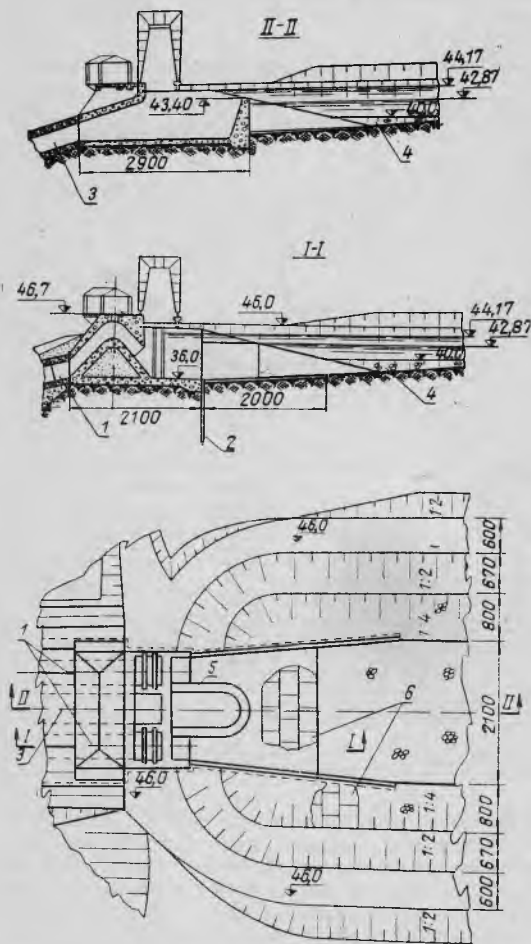


Рис. VIII—54. Водовыпуск насосно-турбинной станции:

- 1 — насосно-турбинный трубопровод; 2 — шпунт;
3 — сбросной трубопровод; 4 — мощение камнем;
5 — водосливная стенка; 6 — крепление железобетонными плитами размером $3 \times 4 \text{ м}$.

расход, равный $34 \text{ м}^3/\text{сек}$, идет через сифоны в насосотурбины для выработки электроэнергии, а расход $62 \text{ м}^3/\text{сек}$ сбрасывается через переливную стенку и сбросной трубопровод в водохранилище вхолостую. Установка специальных гидроагрегатов для использования сбросного расхода оказалась неэкономичной ввиду короткого периода пропуска сбросного расхода.

При пропуске сбросного расхода сифоны самозаряжаются.

Сбросной расход через насосо-турбины определяется их пропускной способностью. Для обеспечения пропуска сбросного расхода через сбросной трубопровод задан необходимый фронт водосливной стенки и проверена пропускная способность системы при максимальном уровне воды в водохранилище. На сифонах принят клапан срыва вакуума с электрическим приводом. Для маневрирования ремонтными затворами предусмотрен козловый кран. В месте соединения канала станции с магистральным имеется шлюз-регулятор.

При подаче воды в канал, то есть когда станция работает как насосная, производительность ее составляет $34 \text{ м}^3/\text{сек}$. Когда же происходит наполнение водохранилища, то через станцию сбрасывается расход $96 \text{ м}^3/\text{сек}$, при этом через насосно-турбинные агрегаты сбрасывается $34 \text{ м}^3/\text{сек}$, а $62 \text{ м}^3/\text{сек}$ — через специальный сбросной трубопровод. Это обстоятельство и определило специфичность компоновки описываемого водовыпускного сооружения, которое в различное время года должно выполнять роль или обычного водовыпускного сооружения насосной станции, или напорного бассейна со сбросным сооружением гидроэлектростанции.

Вода подводится к водовыпуску двумя сборными железобетонными напорными трубопроводами диаметром 2,8 м. Сбросной трубопровод также сборный железобетонный, имеет диаметр 3,5 м. Напорные трубопроводы сопрягаются с каналом при помощи сифонов, имеющих порог, расположенный на 0,14 м выше максимального расчетного горизонта воды в канале (42,87 м) при работе сооружения как насосной станции. Сбросной трубопровод сопрягается с каналом при помощи бассейна, образуемого переливной стенкой с отметкой гребня 43,4 м. Гребень переливной стенки расположен выше порога сифона. При заполнении водохранилища горизонт воды в канале поднимается до отметки 44,17 м и сбросной

Пример 7. На рисунке VIII—55 приведен прямоточный водовыпуск сифонного типа, совмещенный с насосной станцией. Каждый насос подает воду в отводящий канал через самостоятельный сифон. Производительность одного насоса $7 \text{ м}^3/\text{сек}$, напор насоса 7 м .

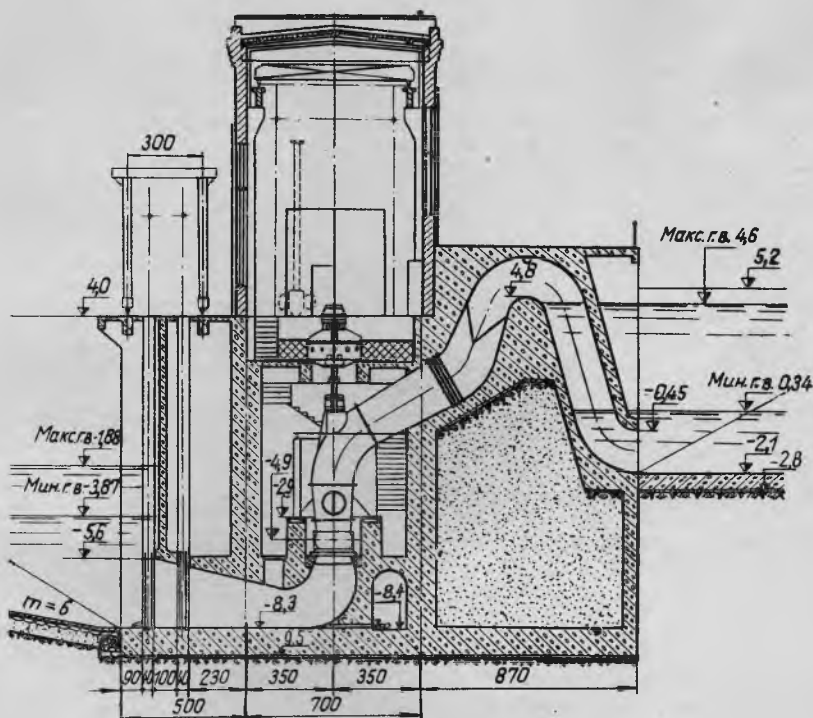


Рис. VIII—55. Прямоточный водовыпуск сифонного типа, совмещенный со зданием насосной станции.

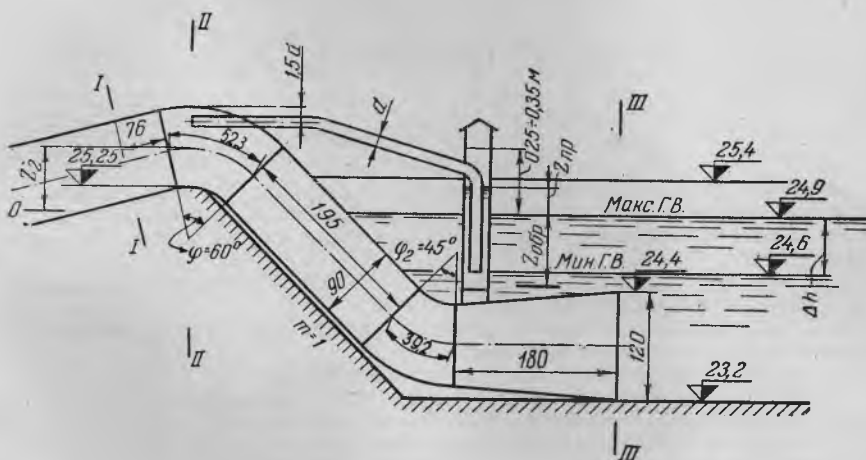


Рис. VIII—56. Схема гидравлического клапана срыва вакуума.

Пример 8. Расчет гидравлического клапана срыва вакуума.

На рисунке VIII—56 показан прямоточный водовыпуск сифонного типа с гидравлическим клапаном срыва вакуума. На насосной станции установлено четыре насоса марки 24НДн напором 21 м , производительностью $1,25 \text{ м}^3/\text{сек}$, числом оборотов $n = 730 \text{ об/мин}$ и быстроходностью $n_s = 200$ каждый. Напорные водоводы стальные диаметром 900 мм (4 нитки), длина трассы трубопроводов 100 м . Каждый насос имеет

самостоятельный трубопровод. Размеры сифона, отметки уровней воды, отметка бермы канала приведены на рисунке.

Средние скорости течения воды при работе сифона:

$$\text{в горле сифона } v_{г.с} = \frac{1,25 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,9^2} = 1,97 \text{ м/сек},$$

в выходном сечении диффузора

$$v_{в} = \frac{1,25 \cdot 4}{3,14 \cdot 1,2^2} = 1,1 \text{ м/сек}.$$

Прежде чем привести расчет гидравлического клапана срыва вакуума, кратко рассмотрим основные зависимости, необходимые для этого.

Составим уравнение Бернулли для сечений II—II и III—III.

При прямом токе воды (насос работает)

$$z_2 - h_{\text{вак}} + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_3^2}{2g} + h_{\text{пр}};$$

с учетом приведенных выше обозначений это уравнение примет такой вид:

$$z_2 - h_{\text{вак}} + \frac{v_{г.с.пр}^2}{2g} = \frac{v_{в}^2}{2g} + h_{\text{пр}}. \quad (1)$$

При обратном токе воды (насос отключен) с учетом приведенных выше обозначений

$$z_2 - h_{\text{вак}} + \frac{v_{г.с.обр}^2}{2g} + h_{\text{обр}} = \frac{v_{в}^2}{2g}. \quad (2)$$

При прямом токе воды в стакане установится уровень ее с ординатой $z_{\text{пр}}$, величину которой можно найти по зависимости

$$z_{\text{пр}} = z_2 - h_{\text{вак}} + k_{\text{пр}} \frac{v_{г.с.пр}^2}{2g}. \quad (3)$$

Совместное решение уравнений (1) и (3) позволит определить превышение уровня воды в стакане над уровнем воды в водовыпуске:

$$z_{\text{пр}} = \frac{v_{в}^2}{2g} + h_{\text{пр}} - (1 - k_{\text{пр}}) \frac{v_{г.с.пр}^2}{2g}. \quad (4)$$

При обратном токе воды имеем

$$z_{\text{обр}} = z_2 - h_{\text{вак}} - k_0 \frac{v_{г.с.пр}^2}{2g} \quad (5)$$

и соответственно

$$z_{\text{обр}} = \frac{v_{в}^2}{2g} - h_{\text{обр}} - (1 + k_0) \frac{v_{г.с.обр}^2}{2g}. \quad (6)$$

В приведенных зависимостях значения $v_{г.с.пр}$; $v_{г.с.обр}$; $v_{в}$; $k_{\text{пр}}$ и k_0 указаны выше; $z_{\text{пр}}$ и $z_{\text{обр}}$ — ординаты расположения уровней воды в стакане относительно уровня воды в водовыпуске при прямом и обратном токах воды в сифоне, которые показаны на рисунке VIII—56;

$h_{\text{пр}}$ и $h_{\text{обр}}$ — суммы гидравлических сопротивлений в сифоне при прямом и обратном токах воды между сечениями II—II и III—III.

Получив основные расчетные зависимости, перейдем к изложению примера расчета гидравлического клапана срыва вакуума.

Определим гидравлические сопротивления $h_{\text{пр}}$ и h_0 .

Расход воды в сифоне при обратном токе может быть принят (согласно приведенной ранее таблице VIII—3 при $n_s \approx 200$ и $n=0$) равным производительности насоса, то есть $1,25 \text{ м}^3/\text{сек}$. Расчет по определению сопротивлений сведем в таблицу VIII—7.

При расчете принято, что течение в сифоне происходит при квадратичной зависимости сопротивлений ($Re > 1 \cdot 10^6$), сопротивления в диффузоре при прямом и обратном течении воды приняты равными, колебания расходов у насосов нет.

На основании приведенных данных имеем:

$$z_{\text{пр}} = \frac{v_{в}^2}{2g} + h_{\text{пр}} - (1 - k_{\text{пр}}) \frac{v_{г.с.пр}^2}{2g} = \frac{1,1^2}{19,62} + 0,129 - (1 - 0,8) \frac{1,97^2}{19,62} = 0,151 \text{ м};$$

$$z_{\text{обр}} = \frac{v_{в}^2}{2g} - h_{\text{обр}} - (1 + k_0) \frac{v_{г.с.обр}^2}{2g} = \frac{1,1^2}{19,62} - 0,098 - (1 + 0,5) \frac{1,97^2}{19,62} = -0,333 \text{ м}.$$

Наименование сопротивлений	Величина сопротивления, м вод. ст.	
	при прямом токе воды	при обратном токе воды
Потери в верхнем и нижнем колене $\Sigma \varphi = 90^\circ$	$h_{\text{кол}} = 0,22 \frac{1,97^2}{19,62} = 0,043$	0,043
Потери по длине	$h_l = 0,020 \frac{1,95 \cdot 1,97^2}{19,62} = 0,010$	0,010
Потери в выходном диффузоре ($\alpha \approx 10^\circ$)	$h_d = 0,07 \frac{1,97^2}{19,62} = 0,014$	0,014
Потери на вход в диффузор и выход из него	$1 \frac{1,1^2}{19,62} = 0,062$	$0,5 \frac{1,1^2}{19,62} = 0,031$
Итого	$h_{\text{пр}} = 0,129$	$h_{\text{обр}} = 0,098$

Общий перепад уровней в стакане при прямом и обратном токах воды

$$\Delta z = z_{\text{пр}} + z_{\text{обр}} + 0,151 + 0,333 = 0,484 \text{ м.}$$

Колебание уровней воды в канале составляет $\Delta h = 0,3 \text{ м}$.

Условие $\Delta h < z_{\text{обр}}$ соблюдено, надежность работы клапана обеспечена.

Низ воздушной трубки расположим на уровне минимального горизонта, а дно стакана — ниже низа трубки на 0,18 м, то есть на один диаметр воздушной трубки.

Диаметр воздушной трубки принимаем $d_{\text{в.тр}} = 175 \text{ мм}$, как ближайший по стандарту, на основании расчета по допустимой скорости движения воздуха

$$v_{\text{возд}} = 400 \cdot 0,4 \sqrt{0,1} = 50 \text{ м/сек};$$

$$d_{\text{в.тр}} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_{\text{возд}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,25}{3,14 \cdot 50}} = 0,175 \text{ м.}$$

Диаметр стакана примем 250 мм, то есть на 75 мм больше диаметра воздушной трубки. Значительное увеличение диаметра стакана задерживает срыв вакуума в сифоне. Площадь кольца в стакане вокруг воздушной трубки следует принять равной площади сечения воздушной трубки или с превышением ее не более чем на 10—15%.

При колебаниях уровней воды в водовыпуске, превышающих рассмотренные, увеличение $z_{\text{пр}}$ и $z_{\text{обр}}$ может быть достигнуто сужением сечения в горле сифона и увеличением $z_{\text{г.с}}$ (что следует обосновать), устройством на входном сечении воздушной трубки (в горле) диффузора, а также устройством соединительной трубки.

Особые затруднения в работе гидравлического клапана срыва вакуума вызывает параллельная работа насосов на один сифон и наличие в связи с этим значительного колебания расходов воды в нем.

В рассмотренном примере сифон работает в горле полным сечением, так как имеющаяся скорость течения воды 1,97 м/сек превышает минимально необходимую $v_{\text{мин.г.с}} = 3,4 \sqrt{R_{\text{мин.г.с}}} = 3,4 \sqrt{0,225} = 1,6 \text{ м/сек}$.

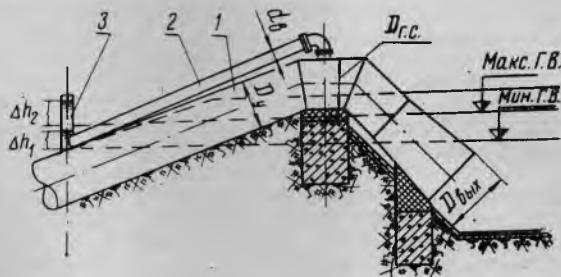


Рис. VIII—57. Схема гидравлического клапана срыва вакуума, предложенная Гипроводхозом.

Если при каком-то режиме сифон работает в горле неполным сечением, входное отверстие воздушной трубки следует расположить на более низкой отметке — отметке критической глубины потока при данном режиме или близкой к ней.

Пример 9. На рисунке VIII—57 представлена схема гидравлического клапана срыва вакуума, предложенная Гипроводхозом (инж. И. В. Чапурский).

Принцип его действия состоит в том, что при работе насосов за счет гидравлических сопротивлений при разных расходах (Δh_1 или Δh_2) на участке трубопровода 1 от стакана 3 до выходного сечения сифона, при разных уровнях воды в водовыпуске в стакане устанавливаются уровни воды выше, чем в напорном бассейне. При остановке насосов и образовании обратного течения воды уровни воды в стакане будут меньше, чем уровни воды в бассейне, на величину гидравлических сопротивлений, вход в воз-

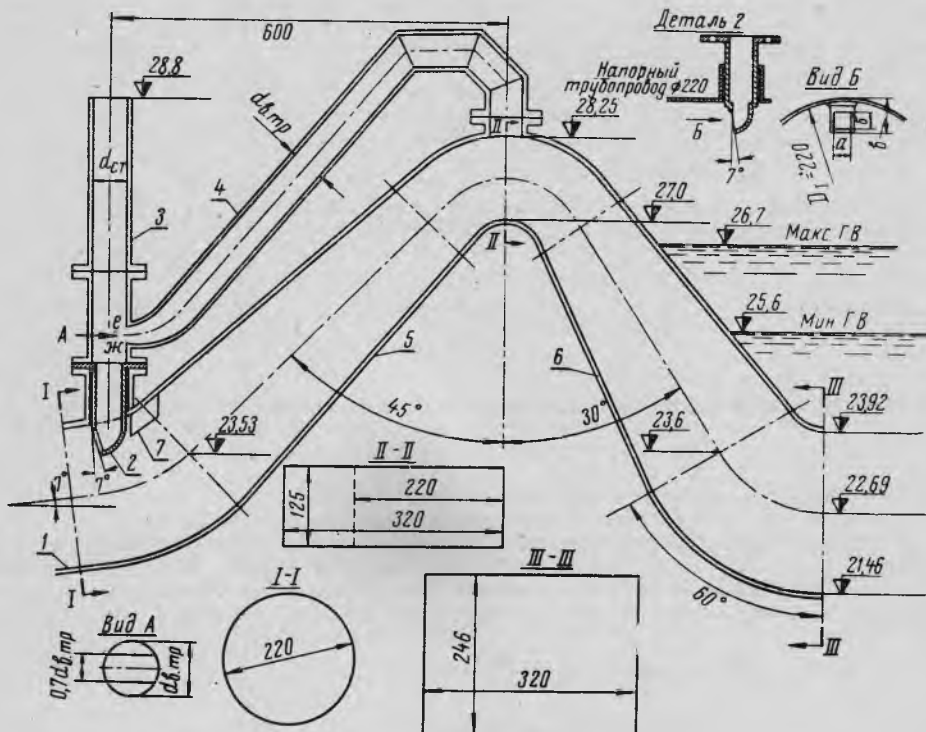


Рис. VIII—58. Схема гидравлического клапана срыва вакуума с пьезометром и гидродинамической вставкой на восходящей ветви:

1 — напорный трубопровод; 2 — гидродинамическая вставка (сталь); 3 — стакан-пьезометр (сталь); 4 — воздушная трубка (сталь); 5 и 6 — восходящая и нисходящая ветви сифона (сталь или железобетон); 7 — вставка для плавного сопряжения потока.

душную трубку 2 освободится, и воздух по воздушной трубке проникнет в сифон и разрядит его.

На рисунке VIII—58 показан аналогичный клапан, но с гидродинамической вставкой, позволяющей увеличить допустимый диапазон колебаний уровней воды в водовыпуске, за счет использования скоростного напора*: при прямом и обратном течении воды уровень воды в стакане соответственно повысится или понизится на большую величину.

Эти повышения ($h_{пр}$) и понижения ($h_{обр}$) уровня воды в стакане по отношению к уровню воды в водовыпуске составят:

$$h_{пр} = \frac{v_{вых}^2}{2g} + h_{сиф.пр} - (1 - k_{пр}) \frac{v_{ст}^2}{2g};$$

$$h_{обр} = \frac{v_{вых}^2}{2g} - h_{сиф.обр} - (1 + k_{обр}) \frac{v_{ст}^2}{2g},$$

* Это предложение автора по усовершенствованию клапана было исследовано под его руководством в лаборатории кафедры «Насосы и насосные станции» МГМИ в 1968 г.

где $v_{\text{вых}}$ — скорость течения в выходном сечении сифона при прямом (в сторону бассейна) или обратном (от бассейна) ходе воды, м/сек;
 $v_{\text{ст}}$ — скорость течения в сечениях перед стаканом при прямом или обратном ходе воды, м/сек;

$h_{\text{сиф.пр}}$ и $h_{\text{сиф.обр}}$ — гидравлические сопротивления в сифоне при прямом и обратном ходе воды, м вод. ст.;

$k_{\text{пр}}$ — коэффициент использования скоростного напора при прямом ходе воды, равный 0,8;

$k_{\text{обр}}$ — то же, при обратном, равный 0,4—0,45;

Условие надежной работы этого устройства для срыва вакуума:

$$\Delta H < h''_{\text{обр}} + h'_{\text{пр}} - 0,05 - h_{\text{отв м}},$$

где ΔH — диапазон колебания уровней воды в бассейне водовыпуска;

$h_{\text{обр}}$ — понижение уровня воды в стакане при обратном течении воды и параллельной работе насосов. Если работает один насос на сифон, то следует брать $h'_{\text{обр}}$ при работе одного насоса;

$h'_{\text{пр}}$ — повышение уровня воды в стакане при прямом течении воды и одном работающем насосе;

0,05 м — погружение верха входного отверстия воздушной трубки под уровень воды в стакане;

$h_{\text{отв}}$ — высота входного отверстия воздушной трубки в стакане.

Верх стакана следует располагать на отметке

$$\nabla_{\text{макс}} \Gamma. В + h''_{\text{пр}} + 1,5d_{\text{ст}},$$

где $d_{\text{ст}}$ — диаметр стакана, м.

Коэффициент гидравлических сопротивлений такого сифона, выполненного из стальных труб с хорошим качеством сварки или из железобетона с гладкими железными стенками, при полном заполнении водой горла сифона и прямом течении воды можно принимать $\xi_{\text{сиф}}=1,1$, а при неполном заполнении горла $\xi_{\text{сиф}}=1,6$.

При обратном движении можно принимать коэффициент сопротивления такого сифона для прямого движения воды с поправочным коэффициентом 0,6.

Коэффициент сопротивления гидродинамической вставки можно принимать $\xi_{\text{вст}}=0,2$.

Все сечения рассматриваемого сифона и съемная гидродинамическая вставка показаны на рисунке VIII—58. Съемной вставка 2 делается для удобства ее прочистки в случае засорения.

Вставка входит внутрь сифона на величину $b=0,2 D_1$, где D_1 — диаметр напорного трубопровода — начало сифона (сечение I—I). Входное сечение вставки выполняется прямоугольным (может быть и круглым) шириной $a=0,14 D_1$ и высотой $b=0,15 D_1$; $d_{\text{ст}}=0,35 D_1$; $D_{\text{в.тр}}=0,25 D_1$. Вход из стакана в воздушную трубу следует делать сплюснутым по высоте ($h_{\text{в.тр}}=0,7 d_{\text{в.тр}}$), как показано на рисунке VIII—58 (вид по стрелке А, площадь сечения равна $0,64 d_{\text{в.тр}}^2$).

Стакан устанавливается в начале поворота (в зоне больших скоростей) восходящей ветви сифона. За вставкой в верхней плоскости восходящей ветви сифона прикрепляется деталь 7, треугольная в плане, обеспечивающая плавный переход скоростей, за вставкой, длиной 3 а, где а — ширина входного отверстия вставки.

Длина сифона по оси его от сечения I—I до сечения III—III равна 7,2 D_1 . Выполнен расчет этого устройства срыва вакуума при следующих данных: уровни воды и размеры указаны на рисунке VIII—58, расход воды в сифоне при работе одного насоса 6,91 м³/сек, при работе двух насосов 13,62 м³/сек. Расчет сведен в таблицу VIII—8.

Размеры отдельных элементов устройства:

$$d_{\text{ст}} = 0,35 \cdot 2,2 \simeq 0,8 \text{ м}; \quad d_{\text{в.тр}} = 0,25 \cdot 2,2 \simeq 0,6 \text{ м};$$

$$v = 0,2 \cdot 2,2 \simeq 0,45 \text{ м}; \quad a = 0,14 \cdot 2,2 \simeq 0,3 \text{ м};$$

$$b = 0,15 \cdot 2,2 \simeq 0,35 \text{ м};$$

Высота входного отверстия воздушной трубки в стакане $h_{\text{в.тр}}=0,6 \cdot 0,7=0,42$ м, а площадь этого сечения равна $0,64 \cdot 0,6^2=0,23$ м². Обратный расход примем равным расходу насоса.

Отметка верха входного отверстия воздушной трубки в стакане (точка е) при минимальном расходе воды в сифоне (6,93 м³/сек)

$$\nabla e = 25,6 + h_{\text{пр}} - 0,05 = 25,6 + 0,314 - 0,05 = 25,86 \text{ м}.$$

Отметка низа этого отверстия (точка ж) $\nabla ж=25,86-0,42=25,44$ м.

Отметка уровня воды в стакане при обратном течении воды 25,6—0,384=25,216 м, то есть входное отверстие воздушной трубки полностью освободится, и

сифон разрядится. Уровень воды в стакане при работе двух насосов и максимальном уровне в бассейне $26,7 + 0,876 = 27,576$ м.

Отметка уровня воды в стакане при обратном течении воды $26,7 - 1,279 = 25,421$ м, то есть входное отверстие воздушной трубки полностью освободится, и сифон разрядится.

ТАБЛИЦА VIII—8

Расход сифона, м ³ /сек	Скорость в сечении I—I, м/сек	$\frac{v_1^2}{2g}$, м вод. ст.	Скорость в сечении III—III, м/сек	$\frac{v_{\text{вых}}^2}{2g}$, м вод. ст.	Потери в сифоне с учетом вставки $\frac{v_1^2}{2g}$, м вод. ст.	Обратные потери в сифоне $k_{\text{обр}} = 0,5$, м вод. ст.	$\frac{v_1^2}{(1-k_{\text{пр}})^2}$, м вод. ст.	$\frac{v_1^2}{(1+k_{\text{обр}})^2}$, м вод. ст.	$h_{\text{пр}}$, м вод. ст.	$h_{\text{обр}}$, м вод. ст.
6,91	1,83	0,171	0,88	0,040	$\zeta_c = 1,8$ 0,308	0,185	0,034	0,239	0,314	0,384
13,62	3,59	0,657	1,73	0,153	$\zeta_c = 1,3$ 0,854	0,512	0,131	0,920	0,876	1,279

Отметку верха стакана можно принять

$$26,7 + h_{\text{пр}} + 1,5d_{\text{ст}} = 26,7 + 0,876 + 1,5 \cdot 0,8 = 28,8 \text{ м.}$$

Скорость воздуха в воздушной трубке

$$v_{\text{возд}} = \frac{2Q}{0,785d_{\text{в.тр}}^2} = \frac{13,91}{0,785 \cdot 0,6^2} \approx 50 \text{ м/сек.}$$

Скорость входа воздуха в воздушную трубку в стакане

$$v_{\text{возд}} = \frac{13,91}{0,23} \approx 60 \text{ м/сек.}$$

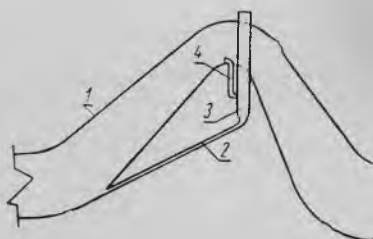


Рис. VIII—59. Схема гидравлического клапана срыва вакуума МГМИ:

1 — сифон; 2 — соединительная трубка; 3 — пьезометр; 4 — трубка гидродинамическая и срыва вакуума.

Обе скорости вполне допустимы. Приведенная конструкция сифона имеет следующие недостатки: а) одностороннее расширение восходящей ветви сифона (сечение II—II); б) расширение нисходящей ветви от горла до выхода только по высоте (от $h=1,25$ м до $h=2,46$ м, то есть в два раза). Эти условия создают несимметричные течения, а на выходе в верхней части имеются при некоторых расходах мертвые зоны. Кроме того, площадь сечения в горле сифона увеличена против сечения I—I, чего делать не следует.

На рисунке VIII—59 приводится схема гидравлического клапана срыва вакуума* иной конструкции, позволяющей полнее использовать гидродинамическую характеристику потока в сифоне

и улучшить условия зарядки и разрядки сифона.

Пример 10. На рисунке VIII—60 приводится схема устройства для срыва вакуума в сифоне водовыпуска с применением вспомогательного сифона и установкой на последнем гидромеханического клапана срыва вакуума**. Устройство предназначается для сифонов больших диаметров (более 1 м) при значительных колебаниях уровней воды в водовыпусках (до 2—2,5 м). Гидромеханический клапан срыва вакуума надежно работает при указанных колебаниях уровней воды в водовыпусках, не требуя, как гидравлический, увеличения скоростей течения воды в сифоне, вызывающего возрастание гидравлических сопротивлений сифона. Но при значительных размерах сифона ($D_{\text{сиф}} > 1$ м) гидромеханический клапан становится конструктивно тяжелым, вибрирует. Для уменьшения размеров клапана и предусматривается установка данного устройства не на основном сифоне, а на вспомогательном. При остановке насосов гидромеханический клапан 5 открывается, вспомогательный сифон 2 разря-

* Предложение автора и инж. Г. И. Неугодова.

** Устройство предложено автором и инж. Г. И. Неугодовым и исследовано под руководством автора в лаборатории кафедры «Насосы и насосные станции» МГМИ в 1969 г.

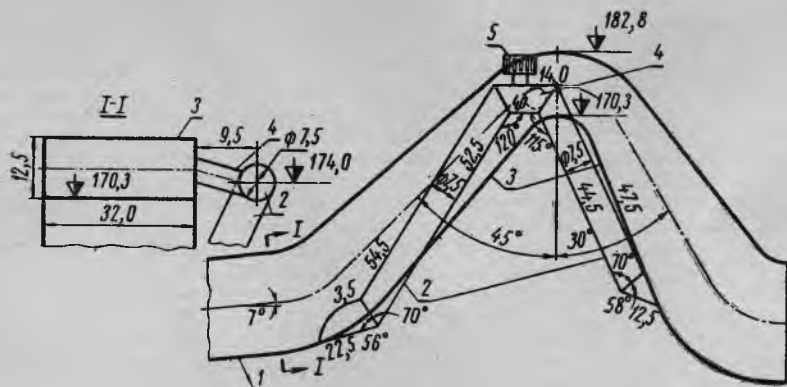


Рис. VIII—60. Вспомогательный сифон с гидромеханическим клапаном для срыва вакуума в сифоне:

1 — напорный трубопровод; 2 — вспомогательный сифон ($d_{в.с} = 7,5$ см; $l_{в.с} = 128$ см = $17d_{в.с}$; $\Sigma\Phi^\circ = 231^\circ$); 3 — основной сифон ($l = 7,2D$, $\Sigma\Phi^\circ = 178^\circ$, конструкция на рисунке VIII—58); 4 — соединительная трубка для срыва вакуума; 5 — гидромеханический клапан срыва вакуума (размеры и отметки в см).

жается, а через соединительную трубку 4 воздух попадает в основной сифон, который также разряжается.

Пороги основного и вспомогательного сифонов устраивают на одной отметке, поэтому вспомогательный сифон при минимальном расходе основного сифона (если в него подают воду несколько насосов, а работает один) работает полным сечением, что улучшает условия зарядки сифонов.

На рисунке VIII—60 представлена модель (М1:10) основного и вспомогательного сифонов, выполненных из плексигласа. Указанная на рисунке конструкция вспомогательного сифона (места врезки, очертание и диаметр) имела наилучшие гидравлические характеристики из трех рассмотренных вариантов при неизменяемой конструкции основного сифона, приведенной на рисунке VIII—58. Устройство было испытано при больших диапазонах расходов (от 14 до 70 л/сек) и колебаниях уровней в бассейне до 13 см (для натуре 1,3 м).

Для проектирования этого устройства можно впредь до уточнения рекомендовать следующие технические условия.

1. Площадь сечения вспомогательного сифона 2 принимается в пределах 10% площади живого сечения основного сифона 3. Вспомогательный сифон может выполняться круглым из стальных труб.

2. Гидромеханический клапан срыва вакуума устанавливается над горлом вспомогательного сифона до входного отверстия соединительной трубки 4, считая по ходу воды, как указано на рисунке. Расчет клапана выполняется по методике, изложенной в примере 1. Сечения клапана срыва вакуума 5 и соединительной трубки 4 определяются расчетом по допустимой скорости движения воздуха и обратному расходу воды, протекающему через сифон. Длина верхней части (горла) сифона определяется конструктивно из условий свободного размещения рычага клапана и соединительной трубки.

3. Для улучшения гидравлической характеристики вспомогательного сифона следует врезку его производить в местах поворотов (отводов) основного сифона, как показано на рисунке VIII—60.

4. Врезку соединительной трубки 4 следует производить во вспомогательный и основной сифоны на отметках их осей (рис. VIII—60).

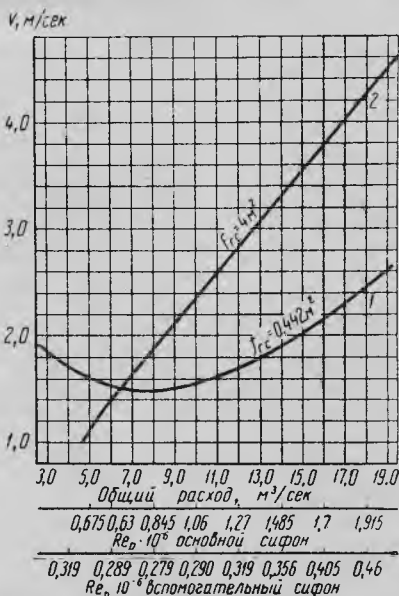


Рис. VIII—61. Величины натуральных скоростей движения воды в основном (2) и вспомогательном (1) сифонах в зависимости от расхода системы и чисел Рейнольдса для конструкции сифона по рисунку VIII—60:

длина основного сифона $7,2D_{тр}$, длина вспомогательного сифона $17D_{тр}$; площадь в горле вспомогательного сифона $0,442$ м², основного 4 м².

5. Расстояние между основным и вспомогательным сифоном в свету должно быть по условиям эксплуатации не менее 0,5—0,6 м.

6. Значение средних скоростей течения воды в основном и вспомогательном сифонах (для конструкции на рис. VIII—60) в зависимости от величины расхода системы и значений числа Рейнольдса в горле основного и вспомогательного сифонов (значения для натур, $M 1:10$) приводится на рисунке VIII—61. Площадь вспомогательного сифона равна 11% площади живого сечения основного сифона.

Для расчета гидромеханического клапана срыва вакуума можно взять минимальное значение скорости течения $\approx 1,5$ м/сек, соответствующее расходу системы ≈ 8 м³/сек. В натуре этот сифон рассчитан на работу двух насосов: при работе одного насоса $Q=6$ м³/сек, при работе двух $2Q=12$ м³/сек. В лаборатории установка была испытана на пропуск и значительно большего расхода 22 м³/сек (для натур). При расходах меньше 6,5 м³/сек величина скорости во вспомогательном сифоне превышает скорость в основном сифоне.

С увеличением пропускаемого расхода в системе скорость во вспомогательном сифоне снижается и составляет от скорости в основном сифоне: при $2Q=12$ м³/сек — 60%; при $3Q=18$ м³/сек — 58%.

Существенную роль в соотношении скоростей играет соотношение площадей сечения, длин и очертания, а также мест врезки вспомогательного сифона.

На прямых участках трубопроводов для парциальных отводов с врезкой их концевых участков в живые сечения трубопроводов соотношения скоростей в отводах и трубопроводах находятся в пределах 0,5÷0,7.

Расчетную минимальную скорость во вспомогательном сифоне можно определить по формуле автора

$$v_{\text{мин.г.с}} = 3,4 \sqrt{R_{\text{г.с}}}.$$

В данном случае $R_{\text{г.с}}=0,19$ м, $v_{\text{мин.г.с}}=3,4\sqrt{0,19}=3,4 \cdot 0,435=1,48$ м/сек. Это минимальная скорость, при которой сифон в горле работает полным сечением.

На рисунке VIII—61 минимальная скорость течения воды в горле вспомогательного сифона равна этой же величине.

При площади лопатки клапана до 12% площади сечения вспомогательного сифона скорость в его горле не изменяется. При увеличении площади лопатки вышеуказанной на каждый процент увеличения площади (свыше 12%) скорость в горле сифона снижается на 1,7% первоначальной величины.

Если по каким-то причинам нижнее колено восходящей ветви не может быть выполнено, что не совсем желательно, следует входное отверстие вспомогательного сифона заводить в живое сечение трубопровода, располагая его ось на 0,24 г от внутренней грани стенки трубопровода, где г — диаметр напорного трубопровода.

При прямом ходе воды и малых расходах ее в сифоне (до 6 м³/сек натур и 20 л/сек модели) вода перетекает по соединительной трубке из основного сифона во вспомогательный. При больших расходах около 40% воды перетекает из вспомогательного сифона в основной и уменьшается скорость течения в нисходящей ветви вспомогательного сифона. Все это зависит от величины вакуума в обоих сифонах. Поэтому и рекомендуется клапан срыва вакуума устанавливать в горле вспомогательного сифона до места врезки вспомогательной трубки.

При обратном ходе воды средняя скорость течения воды в восходящей ветви вспомогательного сифона меньше скорости в нисходящей ветви и составляет ~80% ее при малых расходах и ~60% при больших расходах. Поэтому следует при конструировании клапана срыва вакуума добиваться, чтобы он при вертикальном положении рычага имел полное открытие. Это обеспечит его открытие при скорости в горле сифона, близкой к нулю.

При обратном ходе средние скорости течения воды в нисходящей ветви вспомогательного сифона практически равны скоростям в восходящей ветви его при прямом ходе воды.

В восходящей ветви сифона скорости при обратном ходе воды меньше в среднем на 20%, чем в нисходящей, так как часть воды перетекает по соединительной трубке из вспомогательного сифона в основной.

Пересчет скоростей для других размеров сифонов можно выполнить по формуле Фруда.

7. Для улучшения работы основного и вспомогательного сифонов следует заложение нисходящей ветви основного сифона устраивать не круче 45°. Более пологие заложения и плавные закругления улучшают работу системы, но не всегда экономичны.

8. Капор вспомогательного сифона расположен ниже капора основного сифона, поэтому при всех исследованных режимах вспомогательный сифон работает полным сечением. Это обстоятельство, наличие соединительной трубки, через которую воздух из вспомогательного сифона выталкивается в основной сифон, малый объем его обеспечивает мгновенную зарядку вспомогательного сифона при пуске. Длительность зарядки основного сифона в нормальных условиях зависит от расхода воды, пропускаемого через сифон.

На модели время зарядки было:

при $Q=20$ л/сек (6 м³/сек в натуре) — 80 сек;

при $2Q=40$ л/сек (12 м³/сек в натуре) — 9 сек;

при $3Q=60$ л/сек (18 м³/сек) » — 3 сек.

Пример 11. На рисунке VIII—62 приведена схема механического клапана срыва вакуума, разработанная Узгипроводхозом. В клапане используется смешанная система привода: электрическая (электромагниты) и гидравлическая (маслопривод). При остановке насосов снимается ток в электромагнитах 15, 17, освобождаются рычаги 14, 18, клапан 1 открывается (опускается), впускается воздух и сифон разряжается. В момент открытия клапана 1 открывается клапан 22 коробки управления, и масло из цилиндра 3

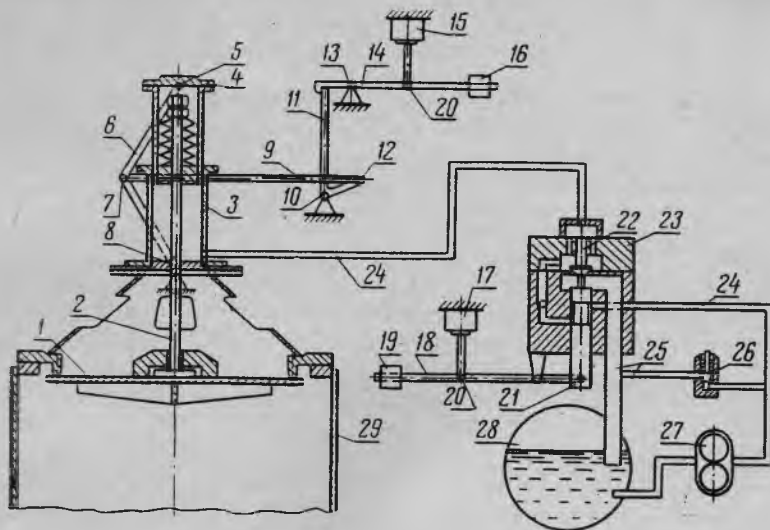


Рис. VIII—62. Схема механического клапана срыва вакуума, разработанная Узгипроводхозом:

1 — клапан-диск; 2 — шток; 3 — цилиндр; 4 — поршень; 5 — верхний шарнир; 6 — рычаги (ломающиеся); 7 — средний шарнир; 8 — нижний шарнир; 9 — тяга; 10 — подшипник углового рычага; 11 — угловой рычаг; 12 — шарнир углового рычага; 13 — подшипник защелки; 14 — рычаг защелки; 15 — электромагнит защелки; 16 — груз защелки; 17 — электромагнит коробки управления; 18 — рычаг коробки управления; 19 — груз коробки управления; 20 — шарнир; 21 — шток коробки управления; 22 — клапан коробки управления; 23 — коробка управления; 24 — маслопровод; 25 — сброс; 26 — предохранительный клапан; 27 — маслонасос; 28 — масляный бак; 29 — патрубок сифона.

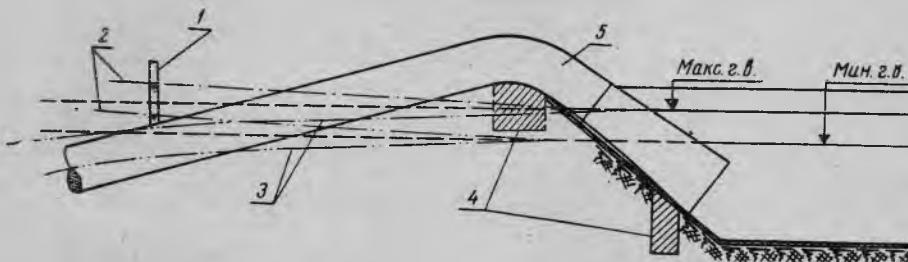


Рис. VIII—63. Схема упрощенного гидравлического клапана срыва вакуума, исследованного Средазгипроводхлопком:

1 — аэрационная трубка-пьезометр; 2 — пьезометрические линии при прямом токе и разных горизонтах воды в водовыпуске; 3 — пьезометрические линии для тех же условий, но при обратном токе воды; 4 — споры сифона; 5 — сифон.

сбрасывается в масляный бак 28. Устройство и работа клапана ясны из рисунка. Клапан сложен по конструкции, требует тщательной регулировки, чем осложняется его эксплуатация.

Пример 12. Институт Средазгипроводхлопок выполнил исследования трех типов упрощенных устройств для срыва вакуума в сифонах:

- а) аэрационная трубка-пьезометр, устанавливаемая на восходящей ветви сифона;
- б) аэрационное отверстие, располагаемое на нисходящей ветви сифона;
- в) аэрационная трубка-пьезометр, располагаемая на нисходящей ветви сифона.

Практический интерес представляют первые два устройства.

На рисунке VIII—63 показана схема первого устройства, представляющего собой обычный пьезометр, устанавливаемый на восходящей ветви сифона.

Место установки аэрационной трубки выбирают так, чтобы уровень воды в ней при работе сифона всегда превышал не менее чем на $3\div 4$ см ее устье для обеспечения зарядки сифона. Верх трубки должен быть на $10\div 15$ см выше максимального уровня воды в ней и закрыт сверху колпаком против засорения, обеспечивающим свободный проход воздуха для разрядки сифона. При обратном токе воды устье трубки должно находиться всегда ниже пьезометрических линий при всех горизонтах воды в водовыпуске и всех обратных расходах воды. Это условие разрядки сифона.

Устройство простое и может применяться при малых колебаниях уровней воды в водовыпуске при соблюдении вышеуказанных условий размещения трубки. Если конец трубки ввести в сифон и загнуть входным отверстием навстречу потоку, увеличится диапазон допустимых колебаний уровней воды в водовыпуске (учитывается гидродинамический эффект).

Диаметр аэрационной трубки подбирают аналогично диаметру воздушной трубки гидравлического клапана срыва вакуума. Это устройство напоминает приведенное на рисунке VIII—57, но проще него.

Второе устройство (аэрационное отверстие) располагаясь на нисходящей ветви, должно находиться при зарядке и работе сифона ниже уровня воды в водовыпуске, то есть быть затоплено, иначе сифон не зарядится и увеличится напор установки. При обратном токе воды отверстие должно быть выше уровня воды в водовыпуске, иначе сифон не разрядится. Площадь отверстия принимается $4\text{--}5\%$ площади сечения сифона.

**§ 1. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПО ОБОСНОВАНИЮ
ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, ПРИНИМАЕМЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

Технико-экономические расчеты обосновывают техническую и экономическую целесообразность и рентабельность проектируемых мероприятий, предприятий, систем или сооружений в целом и отдельных их элементов. В процессе этих расчетов находят такие решения народнохозяйственных задач, которые обеспечивают рост производительности труда.

При технико-экономических расчетах необходимо учитывать естественноисторические условия места расположения системы или сооружения, особые условия места (сейсмичность, транспортные условия, местные материалы и др.), класс сооружения и др.

Приводим примерную последовательность и состав основных технико-экономических расчетов для мелиоративных насосных станций.

1. Обоснование машинного водоподъема в сравнении с самотечной подачей воды и общей рентабельности мероприятия. Выбор источника водоснабжения (при орошении, обводнении и водоснабжении) или водоприемника (при осушении).

2. Выбор места водозабора и расположения головной насосной станции.

3. Выбор числа зон качания — обоснование целесообразности водоподъема одной общей (с большим напором) насосной станцией или несколькими последовательно расположенными по высоте станциями, каждая из которых имеет меньший напор и уменьшающуюся (по мере увеличения высоты расположения станции) производительность. Такое решение с зонированием водоподъема встречается в практике орошения и обводнения, а также в водоснабжении (при значительной разности отметок поверхности земли в отдельных районах объекта водоснабжения устраивают местные подкачки, чтобы не поднимать всю воду на излишнюю высоту).

Внедрение автоматизации и дистанционного управления является благоприятным фактором зонирования водоподъема, так как позволяет сократить затраты на содержание штата, которые были раньше значительным препятствием внедрению зонирования. Зонирование водоподдачи может дать особенно большой эффект при орошении, когда на нижних зонах возможно разместить более влаголюбивые культуры, и при водоснабжении, когда основные зоны по водопотреблению значительно больше, чем зоны подкачки. Эти три вопроса (пп. 1, 2, 3) разрабатываются в начальной стадии проектирования (технико-экономический доклад или проектное задание), то есть при разработке генеральной схемы мероприятия.

4. Обоснование компоновки узла сооружений каждой насосной станции. При этом следует стремиться в общем случае уменьшить длину напорных, всасывающих и самотечных трубопроводов, по возможности концентрировать все сооружения или располагать их группами, соз-

дать совмещенное решение узла сооружений, облегчить условия автоматизации и эксплуатации.

5. Выбор числа и типа насосных агрегатов.

6. Выбор числа ниток напорных трубопроводов, материала стенок и экономически наивыгоднейшего диаметра их.

При значительных напорах (более 40 м вод. ст.) и длинах напорных трубопроводов (более 300 м) следует разбить трубопровод на несколько участков, в зависимости от напора, и для каждого участка установить толщину стенки и выбрать экономически наивыгоднейший диаметр трубопровода.

7. Установление экономически наивыгоднейшего места расположения здания насосной станции.

8. Техничко-экономические расчеты по отдельным сооружениям для обоснования их размеров и конструкции (материал, сборность).

Компоновка узла и выбор конструкций сооружений должны быть увязаны с организацией и механизацией производства работ. Они должны обеспечить быстрейший ввод в действие сооружения в целом или по очередям и получение наиболее дешевой продукции, в частности по насосной станции наиболее низкой стоимости 1 м³ поднимаемой воды.

Все технико-экономические расчеты должны производиться в соответствии с «Типовой методикой определения экономической эффективности капитальных вложений», утвержденной постановлением Госплана СССР, Госстроя СССР и президиума АН СССР от 8/IX 1969 г.

Техничко-экономические расчеты ведутся методом вариантности (разрабатывается несколько возможных и технически целесообразных вариантов проектируемого сооружения) с вычислением по каждому варианту технико-экономических показателей и сравнением их с показателями аналогичных запроектированных или построенных объектов.

Для каждого варианта составляют: смету стоимости строительно-монтажных работ со стоимостью оборудования (сумма капитальных затрат) и смету стоимости эксплуатации (себестоимость годовой продукции), на основании которых и выводят технико-экономические показатели каждого варианта и выполняют расчеты по выбору варианта. Сметы стоимости строительно-монтажных работ и стоимости оборудования для выбора варианта, как правило, составляют в объеме СФР (сметно-финансового расчета) по имеющимся калькуляциям, или по укрупненным измерителям, или по аналогии с сооружениями, подобными рассматриваемому. Часто при сравнении вариантов сооружения, не изменяющиеся в узле (например, напорные трубопроводы и др.), при расчетах не учитывают.

Сумма ежегодных эксплуатационных расходов — текущие затраты (для насосной станции себестоимость поднимаемой воды за год) — включает: отчисления на восстановление и ремонт сооружений и оборудования, затраты на энергию и топливо, затраты на заработную плату, смазочные и обтирочные материалы, административно-хозяйственные и другие расходы*.

При сопоставлении вариантов хозяйственных или технических решений, размещения предприятий и их комплексов, внедрения новых видов техники, по строительству новых или реконструкции действующих предприятий и сооружений рекомендуется метод сравнительной экономической эффективности капитальных вложений, а показателем эффективности — минимум приведенных затрат.

Приведенные затраты представляют сумму текущих затрат (себестоимости) и капитальных вложений, приведенных к одинаковой размерности в соответствии с нормативом эффективности:

* Есть предложения в расчетах по выбору наивыгоднейшего варианта учитывать только прямые эксплуатационные расходы, то есть без учета отчислений на восстановление, чтобы дважды не учитывать капитальные вложения.

$$C_i + E_n K_i = \text{минимум},$$

где K_i — капитальные вложения по каждому варианту;
 C_i — текущие затраты (себестоимость) по тому же варианту с включением отчислений на восстановление;
 E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

При этом предполагается, что мощность, производительность и другие характеристики сооружения в сравниваемых вариантах одинаковы.

Величина нормативного коэффициента экономической эффективности по всем отраслям народного хозяйства методикой установлена не ниже $E_n = 0,12$. При разработке отраслевых инструкций величина нормативного коэффициента по согласованию с Госпланом может уточняться и для отдельных отраслей иметь несколько другие значения. Предполагается, что для мелиорации он будет иметь значения в пределах 0,1 — 0,125. Мелиоративные системы и мелиоративные насосные станции работают в большинстве случаев сезонно, поэтому для них ежегодные эксплуатационные расходы и количество поднимаемой воды определяют за год.

Методикой также допускается определять приведенные затраты и по другой идентичной формуле:

$$K_i + T_n C_i = \text{минимум},$$

где T_n — нормативный срок окупаемости капитальных вложений — величина, обратная E_n :

$$T_n = \frac{1}{E_n}.$$

Нормативный срок окупаемости для мелиорации можно принимать $T_n = 8-10$ лет. Сроком окупаемости называется тот срок, в течение которого увеличение капиталовложений по одному варианту в сравнении с другим окупается экономией на ежегодных эксплуатационных расходах. Срок окупаемости определяется по формуле

$$\frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2} = T,$$

где K_2 и K_1 — капитальные вложения по сравниваемым вариантам;
 C_1 и C_2 — суммы ежегодных эксплуатационных расходов;
 T — срок окупаемости дополнительных капитальных вложений.

Попарное сравнение вариантов при выборе наивыгоднейшего варианта более понятно для учащегося, впервые сталкивающегося с такими сложными расчетами. Поэтому мы понятие срока окупаемости оставляем, увязывая его значение с нормативным коэффициентом эффективности капитальных вложений.

При выборе вариантов и выполнении расчетов по ним необходимо объективно подходить ко всем вариантам. Есть случаи, когда проектирующие организации стараются обосновать разработанный вариант, что приводит к затруднениям в эксплуатации и удорожанию ее. Так, на одной из станций установлено четыре насоса 32Д-19, а при установке пяти насосов 24НДн можно было увеличить к. п. д. станции, сократить потребление электроэнергии и установленную мощность на 35%.

Пример. 1. Рассмотрено два варианта оросительной насосной станции с различным количеством и типом насосных агрегатов. По первому варианту капитальные вложения составляют 300 000 руб. при сумме ежегодных эксплуатационных расходов за год 150 000 руб. По второму варианту, с новым оборудованием, капиталовложения за счет освоения нового оборудования определены в сумме 315 000 руб., а сумма ежегодных эксплуатационных расходов равна 145 000 руб.

Приведенные затраты в течение нормативного срока окупаемости по рассматриваемым вариантам составят:

$$K_1 + T_n C_1 = 300\,000 + 10 \cdot 150\,000 = 1\,800\,000 \text{ руб.};$$

$$K_2 + T_n C_2 = 315\,000 + 10 \cdot 145\,000 = 1\,765\,000 \text{ руб.}$$

Второй вариант экономически эффективнее.

Срок окупаемости дополнительных затрат по второму варианту за счет применения нового оборудования в сравнении с первым будет: $T = \frac{315\,000 - 300\,000}{150\,000 - 145\,000} = 3 \text{ года}$,

то есть и по сроку окупаемости он более эффективен.

Если один из рассматриваемых вариантов имеет меньшие капиталовложения и меньшие эксплуатационные годовые расходы (себестоимость поднимаемой за год воды), то он наиболее эффективен и срок окупаемости дополнительных капиталовложений не определяется. При сопоставлении вариантов сооружений с различной производительностью (различный объем вырабатываемой за год продукции — поднимаемой воды, вырабатываемой энергии) величины капиталовложений и ежегодных эксплуатационных расходов должны быть скорректированы по варианту с меньшим объемом производства до сопоставимой величины последнего.

При сравнении нескольких вариантов (более двух) можно пользоваться той же формулой: $K_i + C_i T_n = \text{минимум}$.

Пример 2. Сравниваются три варианта оросительной насосной станции: два из них рассмотрены в примере 1, а третий вариант имеет капиталовложения в сумме 380 000 руб. и сумму ежегодных эксплуатационных расходов 140 000 руб., то есть

$$K_1 = 300\,000 \text{ руб.}, C_1 = 150\,000 \text{ руб.};$$

$$K_2 = 315\,000 \text{ руб.}, C_2 = 145\,000 \text{ руб.};$$

$$K_3 = 380\,000 \text{ руб.}, C_3 = 140\,000 \text{ руб.}$$

Нормативный срок окупаемости $T_n = 10$ лет.

Выполним расчет по приведенной выше формуле:

1-й вариант

$$300\,000 + 10 \cdot 150\,000 = 1\,800\,000 \text{ руб.};$$

2-й вариант

$$315\,000 + 10 \cdot 145\,000 = 1\,765\,000 \text{ руб.};$$

3-й вариант

$$380\,000 + 10 \cdot 140\,000 = 1\,780\,000 \text{ руб.}$$

Из рассмотренных вариантов второй более эффективный, так как дает наименьшую сумму приведенных затрат.

Если сравниваемые варианты имеют различные сроки строительства, необходимо учитывать экономический результат от уменьшения или увеличения периода строительства путем приведения затрат более поздних лет к текущему моменту, применяя коэффициент приведения

$$K_{\text{пр}} = \frac{1}{(1 + E_{\text{н.п}})^t},$$

где $K_{\text{пр}}$ — коэффициент приведения;

t — период времени приведения в годах;

$E_{\text{н.п}}$ — норматив приведения разновременных затрат.

В настоящее время рекомендуется принимать $E_{\text{н.п}} = 0,08$.

Умножением на коэффициент $K_{\text{пр}}$ затраты более поздних лет приводятся к затратам текущего времени. Такие расчеты часто выполняют при возведении сооружения по очередям. Поясним это на примере.

Пример 3. Крупная оросительная насосная станция подает воду на две зоны. Сметная стоимость капитальных вложений по станциям определена в сумме 1 200 000 руб. По другому варианту предлагается выполнить строительство станции в две очереди: сооружения для второй зоны орошения построить во вторую очередь, через четыре года. В этом случае капиталовложения по первой очереди определены в сумме 800 000 руб., а по второй очереди — в сумме 500 000 руб., то есть сумма капиталовложений по станции равна 1 300 000 руб., что на 100 000 руб. больше, чем в первом варианте. Для приведения затрат по второй очереди к текущему моменту разделим их на $K_{\text{пр}}$. Нормативный коэффициент приведения при $t = 4$ года будет:

$$K_{\text{пр}} = \frac{1}{(1 + 0,08)^4} = 0,73.$$

Величина капиталовложений по второй очереди, приведенная к текущему моменту, $500\,000 \cdot 0,73 = 365\,000$ руб.

Сумма приведенных капиталовложений по второму варианту будет $800\,000 + 365\,000 = 1\,165\,000$ руб., то есть меньше, чем по первому варианту. В практике бывает необходимо решить вопросы, связанные с внедрением новой техники (механизация и автоматизация производственных процессов, установка нового, более совершенного оборудования и др.). Целесообразность этих мероприятий определяется изложенным выше методом.

ТАБЛИЦА IX-1

№ п/п	Группы и виды основных фондов	Шифр	Общая норма аморти- зационных отчисле- ний	В том числе		На теку- щий ремонт
				на полное восста- новление	на капи- тальный ремонт	
	Производственные здания 100					
1	Каркасные здания с железобетонным или металличе-ским каркасом, с заполнени-ем каркаса каменными ма-териалами	10 000	2,5	1,0	1,5	3,0
2	Здания с каменными стенами из штучных камней или крупноблочные, железобе-тонные или кирпичные ко-лонны и столбы, железобе-тонные перекрытия	10 001	2,8	1,2	1,6	3,0
3	Здания со стенами облегчен-ной каменной кладки, кир-пичные или железобетонные колонны и столбы, железо-бетонные перекрытия	10 003	3,2	1,5	1,7	3,2
4	Здания ГЭС совмещенного и бычкового типа	10 008	1,2	1,0	0,2	0,6
	Гидротехнические сооружения					
5	Глухие плотины, дамбы зем-ляные каменнонабросные, бетонные и железобетонные, а также тоннели при круп-ных гидростанциях	20 101	1,08	1,0	0,08	0,4
6	Водохранилища при земля-ных, каменнонабросных, бе-тонных и железобетонных плотинах, при крупных гид-ростанциях без защитных сооружений	20 102	1,0	1,0	—	0,1
7	Каменные, бетонные, железо-бетонные и металлические лотки, трубопроводы, акве-дуки, дюкеры при крупных гидростанциях	20 105	1,4	1,0	0,4	1,0
8	Каменные, бетонные и желе-зобетонные открытые водо-заборные и водосбросные сооружения; железобетон-ные, бетонные и каменные отстойники и подземные час-ти зданий насосных стан-ций; гончарный дренаж	20 127	1,9	1,2	0,7	1,5
9	Железобетонные, бетонные и каменные башенные водо-приемники; водосливы си-фонные, шахтные и трубча-тые, а также консольные железобетонные сбросы; шлюзы-регуляторы, мосты, водоводы, быстротоки и пе-репады, водовыпуски, дюке-ры железобетонные, бетон-ные и каменные	20 128	4,0	2,5	1,5	0,6
10	Межхозяйственные ороситель-ные каналы (магистраль-ные, распределительные и др.) земляные и облицован-ные камнем, бетоном, желе-зобетоном	20 130	6,0	1,0	5,0	1,0

№ п/п	Группы и виды основных фондов	Шифр	Общая норма амортизационных отчислений	В том числе		На текущий ремонт
				на полное восстановление	на капитальный ремонт	
11	Отрегулированные реки-водоприемники, межхозяйственные каналы водосборно-сбросной и коллекторно-дренажной сети и внутрихозяйственные каналы оросительной сети, водосборно-сбросной и коллекторно-дренажной сети, осушительные магистральные, нагорные и ловчие каналы без облицовки откосов и дна	20 131	4,8	2,0	2,8	2,0
12	Водоприемные сооружения для открытых источников, включая крепление береговой полосы (для целей водоснабжения) Сооружения транспортного хозяйства 202	20 133	5,5	2,0	3,5	1,0
13	Железобетонные, бетонные и каменные трубы и лотки	20 203	1,5	1,0	0,5	1,0
14	Булыжные и гравийные автомобильные дороги	20 219	5,6	3,3	2,3	4,0
15	Цементно-бетонные производственные автомобильные дороги	20 221	3,2	1,6	1,6	—
16	Автомобильные грунтовые и прочие дороги Сооружения электропередачи	20 223	9,0	5,0	4,0	2,0
17	Воздушные линии электропередачи на металлических и железобетонных опорах (напряжением от 35 до 160 кВ)	20 303	2,8	2,0	0,8	3,0
18	Воздушные линии электропередачи на опорах из пропитанной древесины (напряжением от 35 до 160 кВ)	20 304	5,3	3,3	2,0	3,0
19	Кабельные линии электропередач, проложенные в земле и под водой (напряжением до 10 кВ) Трубопроводы (паропроводы, газопроводы и др.) 204	20 309	—	2,5	0,5	3,0
20	Дюкеры стальные	20 401	4,1	4,0	0,1	0,5
21	Канализационные сети (коллекторы и уличная сеть с колодцами и арматурой): железобетонные и бетонные асбестоцементные Сети, водопроводы с колодцами, колонками, гидрантами и прочим оборудованием (включая водоводы): асбестоцементные стальные	20 403 20 404 20 405 20 406	3,6 4,8 5,8 4,1	2,5 3,3 5,0 3,3	1,1 1,5 0,8 0,8	1,0 1,0 1,0 1,0

№ п/п	Группы и виды основных фондов	Шифр	Общая норма амортиза- ционных отчисле- ний	В том числе		На теку- щий ремонт
				на полное восстанов- ление	на капи- тальный ремонт	
	Прочие сооружения 205					
24	Водоприемные сооружения (артезианские скважины) для закрытых источников с погружными и глубинными насосами	20 511	12,2	4,0	8,2	—
25	Водоприемные сооружения (артезианские скважины) для закрытых источников с эрлифтами	20 512	7,2	4,0	3,2	—
26	Заглубленные канализацион- ные насосные станции с при- емным резервуаром	20 517	4,2	2,0	2,2	1,5
27	Кирпичные и железобетонные водонапорные башни	20 526	2,4	1,3	1,1	2,0
28	Кирпичные колодцы	20 537	5,0	3,3	1,7	3,0
29	Железобетонные колодцы	20 538	2,8	1,7	1,1	2,0
30	Каменные и металлические за- боры	20 539	3,0	2,2	0,8	3,2
31	Прочие заборы	20 540	7,0	5,0	2,0	4,0
	Силовые машины и оборудование					
32	Гидравлические турбоагрегаты	30 100	4,0	2,8	1,2	—
33	Электродвигатели мощностью до 100 кВт	30 200	10,2*	6,5	3,7	3,0
34	Электродвигатели мощностью свыше 100 кВт	30 201	7,4*	3,8	3,6	2,5
35	Силовое электротехническое оборудование и распреде- лительные устройства	30 502	6,3	3,3	3,0	3,0
36	Ветродвигатели	30 505	10,2	7,2	3,0	—
	Рабочие машины и оборудование 4					
37	Вакуум-насосы	40 305	10,0*	10,0	—	22,8
38	Центробежные насосы (вклю- чая канализационные)	40 400	16,0*	8,0	8,0	3,0
39	Погружные насосы	40 402	21,7*	16,6	5,1	—
40	Землесосы песковые баггер- ные, шламовые насосы би- тумные насосы и углесосы	40 403	48,0*	24,0	24,0	20,0
41	Объемные насосы (шестерен- ные и поршневые)	40 404	13,0*	8,0	5,0	—
42	Козловые краны грузоподъ- емностью до 15 т	40 602	16,0	8,0	8,0	6,8
43	Козловые краны грузоподъ- емностью свыше 15 т	40 603	12,0	6,0	6,0	6,8
44	Мостовые краны	40 605	8,8	4,8	4,0	16,4
45	Тракторные краны и краны- трубоукладчики	40 606	25,0	10,0	15,0	16,0
46	Пневмоколесные краны грузо- подъемностью до 6,3 т	40 607	18,2	11,2	7,0	21,0
47	Пневмоколесные краны грузо- подъемностью свыше 6,3 т	40 608	12,5	7,5	5,0	17,0
48	Водопонижительные передвиж- ные установки с комплектом иглофильтров	40 728	34,2	19,2	15,0	—
49	Гидромониторы	40 800	32,0	32,0	—	10,0

№ п/п	Группы и виды основных фондов	Шифр	Общая норма амортизационных отчислений	В том числе		На текущий ремонт
				на полное восстановление	на капитальный ремонт	
50	Электрические землесосные снаряды и станции перекачки с входным патрубком: до 4 дюймов	40 802	15,0	9,0	6,0	4,0
	от 4 до 12 дюймов	40 803	15,0	6,0	9,0	4,0
51	более 12 дюймов	40 804	12,0	4,5	7,5	4,0
52	Плавучие насосные станции	42 410	8,5	6,0	2,5	3,5
53	Передвижные насосные станции	41 203	20,0	8,0	12,0	4,0
54	Задвижки на насосных станциях, шиберы	44 001	30,0	10,0	20,0	2,0
55	Металлические понтоны	60 225	5,0	3,8	1,2	1,5
56	Железобетонные понтоны	60 226	3,5	2,4	1,1	1,5
	Гидромеханическое оборудование мелиоративных насосных станций					
57	Для станций с расходом 10 м³/сек и более	—	7,0	5,5	1,5	3,0
58	Для станций с расходом менее 10 м³/сек	—	10,1	8,1	2,0	4,0
59	Щиты, шандоры, решетки и другие механизмы и конструкции, соприкасающиеся с водой	—	5,0	3,8	1,2	0,5
60	Железобетонные напорные трубопроводы	—	3,7	3,0	0,7	1,0

Примечания. 1. К крупным гидростанциям относятся все гидростанции мощностью 16 тыс. кВт и более.

2. По гидротехническим сооружениям крупных гидростанций (глухие плотины, дамбы, водосбросные сооружения и водозаборы) к норме амортизационных отчислений на капитальный ремонт применяются в зависимости от класса капитальности следующие коэффициенты:

I класс (ГЭС мощностью свыше 250 тыс. кВт) 1,0

II класс (ГЭС мощностью от 50 до 250 тыс. кВт) 1,4

III класс (ГЭС мощностью от 9 до 50 тыс. кВт) 1,7

IV—V классы (ГЭС мощностью до 9 тыс. кВт) 2,0

3. По указанию Госплана СССР нормы амортизационных отчислений по оборудованию, отмеченные звездочкой, определены исходя из режима работы в две смены; для трехсменной работы к нормам амортизационных отчислений на капитальный ремонт применяется поправочный коэффициент не свыше 1,2, а при односменной работе — не свыше 0,8. Мелиоративные насосные станции имеют низкий коэффициент использования оборудования (благодаря сезонной работе), поэтому работу оборудования для них считаем возможным приравнять к работе в одну смену (см. пункты 33, 34, 37, 38, 39).

Пример 4. На одной из насосных станций ручное управление агрегатами было заменено автоматическим. Затраты на автоматизацию составили 10 000 руб., а ежегодные расходы по содержанию эксплуатационного персонала сократились на 11 000 руб.

Затраты на автоматизацию окупились в срок $T = \frac{10\,000}{11\,000} = 0,91$ года, то есть такое мероприятие было весьма эффективным.

Приведенные затраты (даже если не известны K_i и C_i) можно написать в общем виде для вариантов станции: без автоматизации $K_1 + 10C_1$ руб., с автоматизацией $K_1 + 10\,000 + 10(C_1 - 11\,000) = K_1 + 10C_1 - 100\,000$ руб., то есть затраты по второму варианту меньше на 100 000 руб. и он более эффективен.

Таким же методом можно определить эффективность замены старых насосных агрегатов новыми, с большим коэффициентом полезного действия. Часто одновременно с заменой старого оборудования новым решается вопрос об установке более производительного оборудования, то есть об увеличении мощности насосной станции. В этом случае эффективность проводимого мероприятия должна определяться с учетом увеличения производительности сооружения. Для вычисления величины ежегодных эксплуатационных расходов (в том числе и прямых) необходимо знать проценты отчислений на амортизацию и текущий ремонт. Капитальный ремонт осуществляется за счет амортизационных отчислений, включающих в себя отчисления на полное восстановление (сооружений и оборудования) и капитальный ремонт. В таблице IX—1 приведены величины отчислений на амортизацию и текущий ремонт в процентах от балансовой стоимости сооружений и оборудования.

Величины амортизационных отчислений приведены на основании Норм амортизационных отчислений Госплана СССР, утвержденных Советом Министров СССР 1/IX 1961 г. и введенных в действие с 1/1 1963 г. Пункты 57, 58, 59, 60 по гидромеханическому оборудованию мелиоративных насосных станций, железобетонным напорным трубопроводом и отчисления на текущий ремонт не приведены в этих нормах и взяты условно по данным В. О. «Союзводпроект» ММВХ СССР и других организаций впредь до уточнения их в установленном порядке.

Пример 5*. Определение экономического диаметра напорного трубопровода. Прежде чем разобрать конкретный пример, остановимся на перечне необходимых данных для решения этой задачи и на особенностях, которые необходимо иметь в виду при этом расчете.

Исходные данные:

- а) график водоподдачи, который должна покрыть насосная станция; если насосная станция подает воду на две самостоятельные зоны или более с отдельными трубопроводами, должны быть отдельные графики водоподдачи для каждой зоны;
- б) количество насосов, установленных на насосной станции, их производительность и распределение по зонам качания (если они есть);
- в) количество ниток и материал стенок напорных трубопроводов и схема их соединения с насосами для каждой зоны подъема;
- г) стоимость 1 пог. м укладываемого трубопровода;
- д) вид энергии и стоимость единицы ее;
- е) коэффициент полезного действия насосной установки

$$\eta_{п.у} = \eta_{п}\eta_{дв}\eta_{пер}\eta_{с},$$

- где $\eta_{п}$ — к. п. д. насоса (берется по характеристике);
 $\eta_{дв}$ — к. п. д. двигателя (берется по характеристике или в паспорте);
 $\eta_{пер}$ — к. п. д. передачи (при непосредственном соединении двигателя и насоса $\eta_{пер}=1$);
 $\eta_{с}$ — к. п. д. сети (от щита до двигателя), равный 0,98—1, в среднем $\eta_{с}=0,99$.

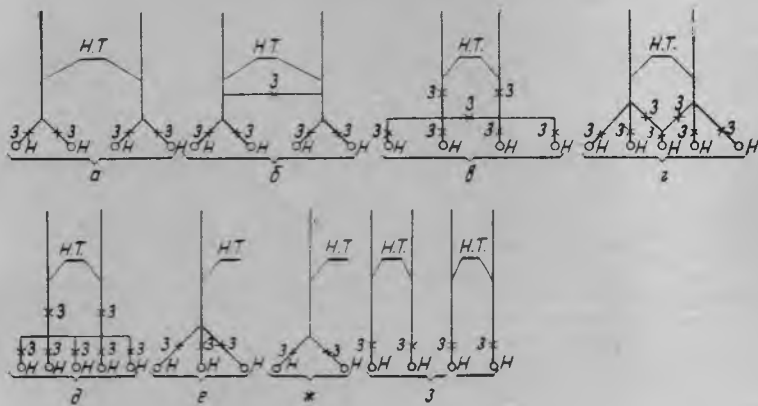


Рис. IX—1. Наиболее распространенные схемы соединения насосных агрегатов и напорных трубопроводов.

При определении гидравлических сопротивлений для расчета теряемой мощности следует учитывать, что местные сопротивления в зависимости от длины трубопровода, сложности его трассы и схемы соединений могут иметь значительные величины, и, когда они превышают 5% величины сопротивлений на трение трубопровода, их надо учитывать при выборе экономически наиболее выгодного диаметра трубопровода, устанавливая величину их расчетом.

* См. учебник [69], гл. XII, § 3, стр. 372.

Вначале устанавливают расчетный расход трубопровода $q_{p.т.}$, который зависит от графика водоподдачи, числа ниток напорных трубопроводов и схемы их соединения с насосами.

На рисунке IX—1 приводятся основные, наиболее часто применяемые схемы соединения насосов и напорных трубопроводов в оросительных насосных станциях.

Для схемы *a* (рис. IX—1) формулы для определения $q_{p.т.}$ при различных графиках водоподдачи и двух нитках трубопроводов приводятся на рисунке IX—2. При расчете $q_{p.т.}$ по графику № 4 принимается, что на станции установлены осевые насосы, резервных агрегатов нет, подача форсированного расхода осуществляется поворотом лопастей насоса.

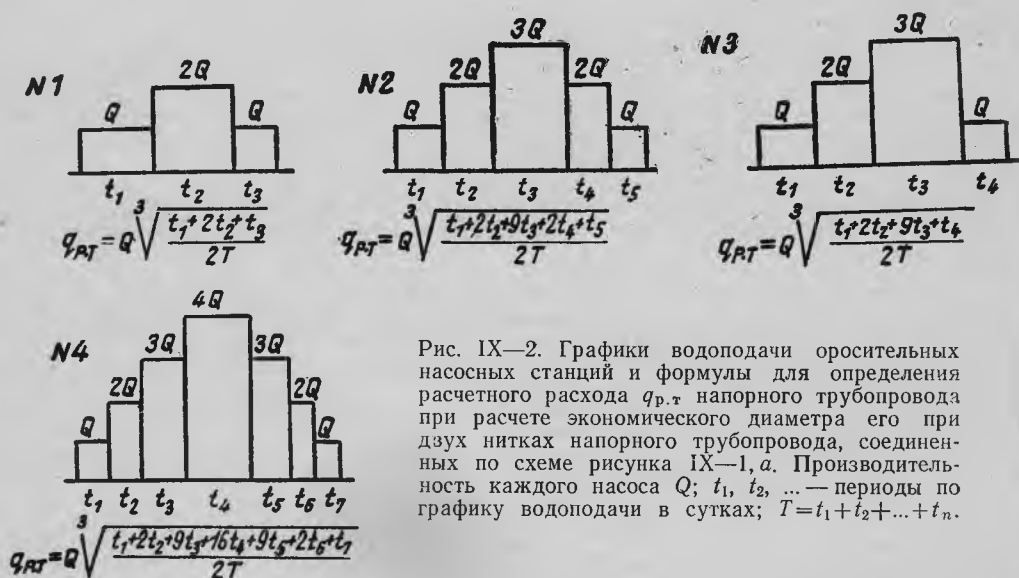


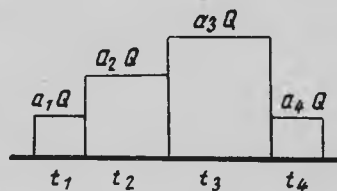
Рис. IX—2. Графики водоподдачи оросительных насосных станций и формулы для определения расчетного расхода $q_{p.т.}$ напорного трубопровода при расчете экономического диаметра его при двух нитках напорного трубопровода, соединенных по схеме рисунка IX—1, *a*. Производительность каждого насоса Q ; $t_1, t_2, \dots$ — периоды по графику водоподдачи в сутках; $T = t_1 + t_2 + \dots + t_n$.

Для примера определим расчетный расход для схемы *a* (рис. IX—1) по графику № 3 (рис. IX—2), приняв $Q = 1 \text{ м}^3/\text{сек}$, $t_1 = 30$ суток, $t_2 = 40$ суток, $t_3 = 50$ суток, $t_4 = 35$ суток:

$$q_{p.т.} = Q \sqrt[3]{\frac{t_1 + 2t_2 + 9t_3 + t_4}{2T}} = 1 \sqrt[3]{\frac{30 + 80 + 450 + 35}{2 \cdot 155}} = 1,24 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Рис. IX—3. График водоподдачи оросительной насосной станции:

Q — производительность одного насоса; $a_1, a_2, \dots$ — числа насосов, которые необходимы для покрытия ординаты графика при производительности каждого насоса Q ; $t_1, t_2, \dots, t_n$ — периоды времени в сутках.



Для схем *б*, *в*, *г* и *д* (рис. IX—1) расчетный расход по графику, показанному на рисунке IX—3 (график для этого случая может быть любой), определяется по формуле

$$q_{p.т.} = \sqrt[n]{\frac{(a_1Q)^3 t_1 + (a_2Q)^3 t_2 + (a_3Q)^3 t_3 + (a_4Q)^3 t_4}{T}},$$

где n — число ниток напорных трубопроводов.

Значения остальных величин указаны на рисунках IX—2 и IX—3. Для примера определим расчетный расход по схеме *б*, приняв $a_1 = 1$; $a_2 = 2$; $a_3 = 3$; $a_4 = 1$; $n = 2$; $Q = 1,4 \text{ м}^3/\text{сек}$; $t_1 = 28$ суток; $t_2 = 38$ суток; $t_3 = 56$ суток; $t_4 = 36$ суток.

$$q_{p.т} = \sqrt[3]{\frac{(1,4)^3 \cdot 28 + (2,4)^3 \cdot 38 + (3,4)^3 \cdot 56 + (1,4)^3 \cdot 36}{158}} = 1,6 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Для схем *е* и *ж* расчетный расход на примере графика № 1 (рис. IX—2) определяется по формуле

$$q_{p.т} = \sqrt[3]{\frac{Q^3 t_1 + (2Q)^3 t_2 + Q^3 t_3}{T}}$$

Приняв $Q=0,7 \text{ м}^3/\text{сек.}$, $t_1=30$ суток, $t_2=48$ суток, $t_3=45$ суток, будем иметь:

$$q_{p.т} = \sqrt[3]{\frac{0,7^3 \cdot 30 + (2 \cdot 0,7)^3 \cdot 48 + 0,7^3 \cdot 45}{123}} = 1,08 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

При таком типе графика по схеме *е* имеется один резервный агрегат, а по схеме *ж* оба агрегата рабочие. Для схемы *з* по графику, приведенному на рисунке IX—3, расчетный расход определяется по формуле

$$q_{p.т} = Q \sqrt[3]{\frac{a_1 t_1 + a_2 t_2 + a_3 t_3 + a_4 t_4}{nT}}$$

Если согласно схеме. принять число трубопроводов $n=4$, а по графику $a_1=1$, $a_2=2$, $a_3=3$, $a_4=1$, $t_1=35$ суток, $t_2=40$ суток, $t_3=48$ суток, $t_4=30$ суток, $Q=1,2 \text{ м}^3/\text{сек.}$, то расчетный расход

$$q_{p.т} = 1,2 \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 35 + 2 \cdot 40 + 3 \cdot 48 + 1 \cdot 30}{4 \cdot 153}} = 0,93 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

После установления расчетного расхода выполняют расчет по выбору экономического диаметра напорного трубопровода, который сводят в таблицу IX—2. При расчете рассматривают несколько вариантов трубопроводов с различным диаметром и отыскивают определенное соотношение капитальных затрат и ежегодных эксплуатационных расходов по сроку окупаемости, имея в виду, что с увеличением диаметра трубопровода стоимость его возрастает, а стоимость энергии, теряемой за счет гидравлических сопротивлений уменьшается.

Расчет ведется на 1 *лог. м* трубопровода. При выборе диаметров трубопроводов для расчетного сравнения принимают скорости течения воды в пределах 1,5—2,5 *м/сек.*, а диаметры с чередованием размеров их по СНиП 11-И-62 (см. главу VII).

Ниже приводим пример выбора экономического диаметра напорного трубопровода при следующих исходных данных:

1) трубопровод железобетонный сборный, стоимость 1 *лог. м* его для различных диаметров приведена в таблице IX—2;

2) ежегодные отчисления на амортизацию и ремонты приняты согласно таблице IX—1;

3) к. п. д. насосной установки $\eta_{н.у}=0,77$;

4) стоимость 1 *квт. ч* электрической энергии 1 коп.;

5) напорные трубопроводы соединены по схеме *з* (рис. IX—1), число трубопроводов $n=4$;

6) график водоподдачи насосной станции по типу графика, показанного на рисунке IX—3, расход насоса $Q=1,2 \text{ м}^3/\text{сек.}$, а расчетный расход для напорного трубопровода $q_{p.т}=0,93 \text{ м}^3/\text{сек.}$ вычислен в приведенном выше примере, $T=153$ рабочих суток в году;

7) гидравлические потери приведены с учетом 5% на местные сопротивления;

8) $T_n=10$ лет.

Таблица IX—2 составлена расширенной, чтобы иметь возможность сравнить результаты выбора экономически наиболее выгодного диаметра двумя способами:

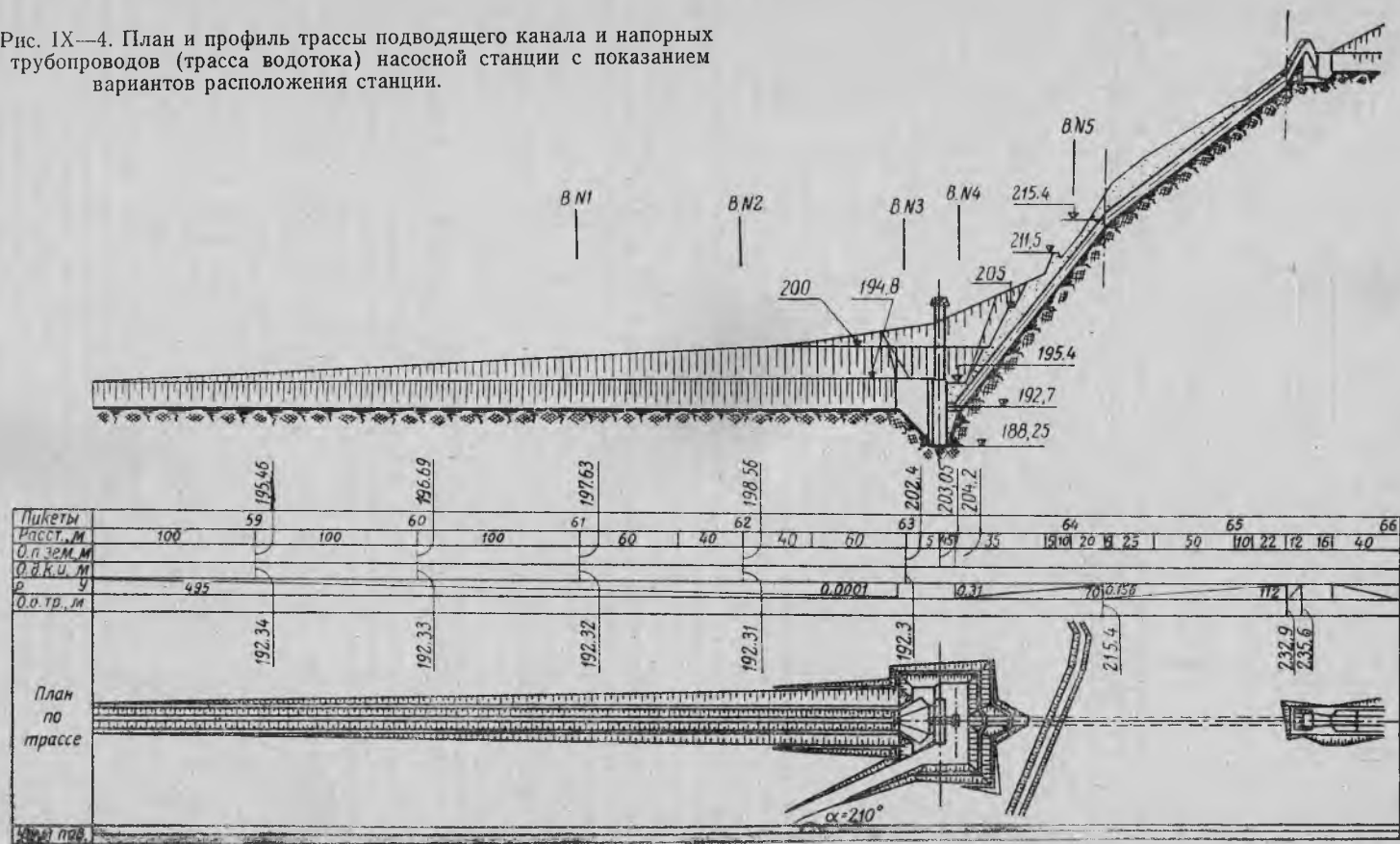
а) по минимуму приведенных затрат наиболее выгодный диаметр равен 800 *мм*;

б) по сроку окупаемости в расчете на ежегодные расходы с учетом отчисления на восстановление наиболее выгодный диаметр равен также 800 *мм*, так как 5,6 лет ближе к 10 годам, чем 31,3 года.

В данном случае графики зависимости диаметра трубопровода от приведенных затрат или срока окупаемости для отыскания более точного (промежуточного) диаметра составлять не следует, так как промежуточные значения его принимать не рекомендуется. Экономически наиболее выгодным следует считать диаметр 800 *мм*.

Пример 6. Определение наиболее выгодного места здания насосной станции. На рисунке IX—4 приведены план и профиль трассы водотока (от начала подводящего канала до водовыпускного сооружения — головы отводящего машинного канала) оросительной насосной станции. Принцип расчетов по выбору наиболее выгодного места здания станции сводится к рассмотрению ряда вариантов расположения станции. В каждом последующем варианте станция приближается к водовыпускному соору-

Рис. IX—4. План и профиль трассы подводящего канала и напорных трубопроводов (трасса водотока) насосной станции с показанием вариантов расположения станции.



Диаметр трубопровода D , мм	Скорость течения воды v , м/сек	Стоимость 1 пог. м уложенного трубопровода K , руб.	Потери напора $h_{тр}$, м вод. ст.	Количество потребляемой за год электроэнергии $W_{гг} = \frac{Q_{гг} T}{h_{тр} \eta_{п.у}}$, кВт.ч	Стоимость тепловой за год электроэнергии $a=0,013$, руб.	Отчисления на восстановление $b=0,03$ К, руб.	Отчисления на ремонт $\phi=0,017$ К, руб.	Сумма ежегодных расходов $C=a+b+\phi$, руб.	Сумма приведенных затрат $K+T \cdot C$, руб.	Срок окупаемости в годах по сумме ежегодных расходов $T = \frac{K}{C-G}$, лет
700	2,41	32,0	0,00821	357	3,57	0,96	0,54	5,07	82,70	5,6
800	1,85	40,0	0,00405	176	1,76	1,20	0,68	3,64	76,40	31,3
900	1,46	50,0	0,00223	97	0,97	1,50	0,85	3,32	83,20	—
1000	1,19	60,0	0,00130	57	0,57	1,80	1,02	3,39	93,90	—
1100	0,98	70,5	0,00084	37	0,37	2,12	1,20	3,69	107,40	—

жению, при этом количество земляных работ по подводящему каналу и котловану насосной станции возрастает, а длина напорных трубопроводов и объем работ по ним сокращаются. Одновременно с этим возрастает высота подъема воды вследствие снижения уровня воды в подводящем канале (снижение уровня по уклону канала), которая уменьшается за счет снижения потерь напора в напорном трубопроводе из-за сокращения длины последнего. Задача расчета сводится к отысканию варианта с минимумом приведенных затрат или с минимумом капитальных и ежегодных эксплуатационных расходов. При этом обязательно должно быть соблюдено условие прочности и надежности сооружения в эксплуатации.

Не приводя детально всех расчетов, остановимся на основных данных, которые положены в основу расчета. Сечение подводящего канала, размеры насосной станции и котлована ясны из рисунка IX—4. Железобетонные напорные трубопроводы диаметром 1,4 м уложены в две нитки. Стоимость 1 пог. м уложенного трубопровода 97 руб. Стоимость земляных работ 0,5 руб/м³. Начало подводящего канала на ПК 58, конец напорного трубопровода и начало напорного бассейна на ПК 65+32. В расчете рассматриваются четыре положения здания станции (оси ее): на ПК 61, ПК 62, ПК 63, ПК 64. Принятые отчисления: а) по напорному трубопроводу — на восстановление 3%, на капитальный и текущий ремонт 1,7%; б) по подводящему земляному каналу — на восстановление 2%, на капитальный и текущий ремонт 4,8%. Стоимость 1 кВт.ч электроэнергии 1 коп. Расчетный расход двух трубопроводов $2q_{р.т} = 5,74$ м³/сек. Станция работает в году 223 суток. Коэффициент полезного действия насосной станции $\eta_{п.у} = 0,784$. Уклон дна подводящего канала $i_k = 0,00012$. Потери напора на 1 пог. м трубопровода с учетом 15% на местные сопротивления составляют $i_{тр} = 0,0019$ м. Потерю энергии за год для различных вариантов расположения станции можно определить по формуле

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \frac{\gamma 2 q_{р.т} T 24}{102 \eta_{п.у}} (l_k 0,00012 + l_{тр} 0,0019) = \\ &= \frac{1000 \cdot 5,74 \cdot 223 \cdot 24}{102 \cdot 0,784} (l_k 0,00012 + l_{тр} 0,0019) = 385\,000 (l_k 0,00012 + l_{тр} 0,0019). \end{aligned}$$

Нормативный срок окупаемости принят 10 лет.

Все расчеты по определению технико-экономических показателей для вариантов сведены в таблицу IX—3.

По данным таблицы построены кривые зависимости приведенных затрат $K_{п.з}$, капитальных вложений ΣK и ежегодных расходов C от места расположения здания станции (рис. IX—5). В местах глубокой выемки и резкого изменения рельефа варианты точек расположения зданий станции берутся более часто (через 50 м и менее). На рисунке IX—4 ось здания станции расположена на ПК 63+20. Экономические характеристики по промежуточным вариантам в таблице IX—3 не приводятся.

Наивыгоднейшим местом расположения здания станции (ее оси) является точка ПК 62: здесь минимум приведенных затрат, минимум капитальных затрат и минимум ежегодных расходов.

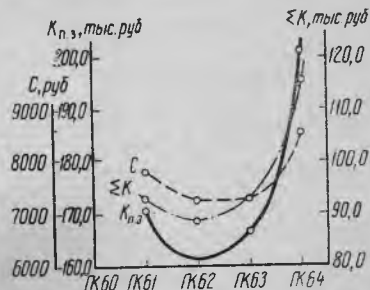


Рис. IX—5. Кривые зависимости приведенных затрат ($K_{п.з}$), капитальных затрат (ΣK) и ежегодных эксплуатационных расходов (C) от места расположения станции.

ТАБЛИЦА IX-3

Место расположения насосной станции			пк 61	пк 62	пк 63	пк 64
Канал	Длина канала, м		290	390	490	590
	Объем земляных работ, м³		10 500	37 400	73 700	119 600
	Капитальные вложения на строительство канала K_1 , руб.		5 250	28 700	36 850	59 800
Котлован	Объем земляных работ, м³		8 160	11 800	23 300	61 600
	Капитальные вложения на устройство котлована K_2 , руб.		4 080	5 900	11 650	30 800
	Ежегодные отчисления от капитальных вложений по каналу и котловану	Восстановление b_1	187	492	970	1 812
		Ремонты v_1	447	1 182	2 330	4 340
Трубопровод	Длина трубопровода, м		860	660	460	260
	Капитальные вложения на устройство трубопровода K_3 , руб.		83 300	64 000	44 500	25 200
	Ежегодные отчисления от капитальных вложений на устройство трубопровода	Восстановление b_2	2 499	1 920	1 338	756
		Ремонты v_2	1 417	1 088	758	428
Потеря энергии за год Σ , кВт · ч			328 000	258 000	191 000	122 000
Стоимость теряемой энергии за год $a=0,01 \Sigma$, руб.			3 280	2 580	1 910	1 220
Сумма капитальных затрат $K=K_1+K_2+K_3$, руб.			92 630	88 600	93 000	115 800
Сумма ежегодных эксплуатационных расходов $C=a+v_1+b_1+v_2+b_2$, руб.			7 829	7 262	7 306	8 556
Приведенные затраты $K_{п.з}=\Sigma K+CT_n$, руб.			170 920	161 220	166 160	201 360
Срок окупаемости по ежегодным расходам $T= \frac{\Sigma K_2-\Sigma K_1}{C_1-C_2}$, лет						

Длина трубопровода в наклонной части при расположении здания станции на пк 62 и длине горизонтального участка его 10 м будет равна:

$\frac{660}{2} - 10 = 320$ м, что при разности отметок осей трубопровода у станции и водовыпуска 40 м даст среднее заложение в наклонной части около 1:8. Наиболее крутое заложение трубопровода (1:5) будет на участке от пк 64+20 до пк 65-32 при разности высот 20,2 м, что вполне допустимо.

Такое заложение обеспечивает достаточную устойчивость трубопровода без устройства промежуточных анкерных опор на прямых участках и позволяет выполнить его из сборного железобетона. Заложение трубопровода на участке от пк 62 до пк 64+20 будет значительно положе.

Пример 7. Выбор числа ниток напорного трубопровода на мелиоративной насосной станции. Для примера рассмотрим насосную станцию, на которой установлено четыре насоса производительностью 3,2 м³/сек каждый. Один насос резервный, он работает в случае подачи станцией форсированного расхода. График водоподдачи станции представлен на рисунке IX-6.

Рассмотрим три схемы соединения трубопроводов: № 1 (рис. IX-1, з), № 2 (рис. IX-1, а) и № 3 (рис. IX-1, б) при двух вариантах длины трассы напорных трубопроводов — 100 и 600 м. Для каждой схемы устанавливается свой расчетный расход $q_{p.т}$ для выбора экономического диаметра напорного трубопровода. Стоимость электроэнергии $a = 1$ коп. за 1 кВт·ч. Трубопроводы сборные железобетонные предварительно напряженные; стоимость 1 пог. м трубопровода при разных диаметрах приводится в расчетных таблицах. Принятые отчисления на восстановление 3%, на капитальный и текущий ремонты 1,7% капитальных затрат на строительство трубопроводов. В схеме № 3 дополнительно учтены затраты на прокладку связки трубопроводов и установку задвижки на связке. На основании предварительных расчетов при выборе экономических диаметров учтены коэффициенты увеличения гидравлических сопротивлений: по схеме № 1—1,05; по схеме № 2—1,25; по схеме № 3—1,35.

Гидравлические сопротивления на трение в напорном трубопроводе определены по формуле

$$h_T = 0,001135 \frac{v^{1,2}}{D^{1,25}},$$

где v — скорость движения воды, м/сек;

D — внутренний диаметр трубопровода, м.

Период работы станции по графику водоподдачи $T = 175$ суток. К. п. д. насосной установки $\eta_{н.у} = 0,82$. Количество теряемой энергии на 1 пог. м трубопровода за год работы станции

$$\mathcal{E} = \frac{\gamma q_{p.т} h_T}{102 \eta_{н.у}} T 24 = \frac{1000 q_{p.т} h_T}{102 \cdot 0,82} \cdot 175 \cdot 24 = 50 200 q_{p.т} h_T \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Все расчеты сводим в таблицы.

Схема № 1. Расчетный расход для выбора экономического диаметра

$$q_{p.т} = Q \sqrt[3]{\frac{t_1 + 2t_2 + 3t_3 + 2t_4 + t_5}{nT}} = 3,2 \sqrt[3]{\frac{29 + 2 \cdot 38 + 3 \cdot 45 + 2 \cdot 35 + 28}{4 \cdot 175}} = 3,2 \cdot 0,785 = 2,51 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

При значении $q_{p.т} = 2,51$ м³/сек количество энергии, теряемой за год работы станции на 1 пог. м, составит:

$$\mathcal{E} = 126 000 h_T \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Выбор экономически наимыгоднейшего диаметра напорного трубопровода приводим в таблице IX-4.

Экономический диаметр трубопровода $D_{эк} = 1,1$ м. Показатели по напорным трубопроводам при $D_{эк}$ и разной длине их сводим в таблицу IX-5.

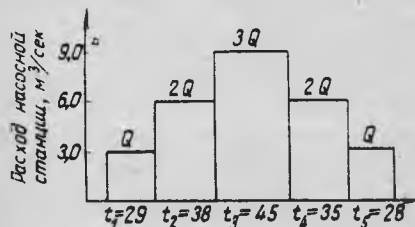


Рис. IX-6. График водоподдачи мелиоративной насосной станции, $Q = 3,2$ м³/сек.

ТАБЛИЦА IX-4

Внутренний диаметр D , м	Скорость движения воды v , м/сек	Стоимость 1 пог./м трубопровода K , руб.	Гидравлические потери на 1 пог. м h_T , м	Потеря энергии за год $\mathcal{E}$, кВт·ч	Стоимость потерь энергии $a=0,01 \mathcal{E}$, руб.	Отчисления на восстановление $b=0,03 K$, руб.	Отчисления на ремонт $e=0,017 \times K$, руб.	Эксплуатационные расходы $c=a+b+e$, руб.	Приведенные затраты $K_{п.з}=K+c+T$, руб.
1,1	2,64	70,5	0,00340	440	4,40	2,12	1,20	7,72	147,7
1,2	2,22	83,0	0,00248	312	3,12	2,49	1,41	7,02	153,2
1,3	1,89	95,0	0,00185	233	2,33	2,85	1,62	6,80	163,0
1,4	1,63	107,0	0,00141	178	1,78	3,21	1,82	6,81	175,1
1,5	1,42	120,0	0,00109	137	1,37	3,60	2,04	7,01	190,1

ТАБЛИЦА IX-5

Наименование показателей	Длина трассы напорных трубопроводов $l_{тр}=100$ м	Длина трассы напорных трубопроводов $l_{тр}=600$ м
Капитальные затраты на строительство трубопровода ΣK , руб.	$4 \cdot 100 \cdot 70,5 = 28\ 200$	$4 \cdot 600 \cdot 70,5 = 169\ 200$
Отчисления на восстановление 3%, руб.	$28\ 200 \cdot 0,030 = 846$	$169\ 200 \cdot 0,030 = 5\ 076$
Отчисления на ремонт 1,7%, руб.	$28\ 200 \cdot 0,017 = 480$	$169\ 200 \cdot 0,017 = 2\ 877$
Стоимость энергии, теряемой за год, руб.	$4 \cdot 100 \cdot 4,40 = 1760$	$4 \cdot 600 \cdot 4,40 = 10\ 560$
Сумма ежегодных эксплуатационных расходов, руб.	3 086	18 513
Приведенные затраты $K_{п.з}$, руб.	59 060	354 330

Схема № 2. Расчетный расход для выбора экономического диаметра трубопровода

$$q_{p.т} = Q \sqrt[3]{\frac{t_1 + 2t_2 + 9t_3 + 2t_4 + t_5}{2T}} =$$

$$= 3,2 \sqrt[3]{\frac{29 + 76 + 405 + 70 + 28}{2 \cdot 175}} = 3,2 \cdot 1,2 = 3,84 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

При $q_{p.т} = 3,84 \text{ м}^3/\text{сек}$ количество теряемой энергии на 1 пог. м за год работы станции $\mathcal{E} = 195\ 000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Расчеты по выбору экономического диаметра сводим в таблицу IX-6.

ТАБЛИЦА IX-6

Внутренний диаметр D , м	Скорость движения воды v , м/сек	Стоимость 1 пог. м трубопровода K , руб.	Гидравлические потери на 1 пог. м h_T , м	Потеря энергии за год $\mathcal{E}$, кВт·ч	Стоимость потерь энергии $a=0,01 \mathcal{E}$, руб.	Отчисления на восстановление $b=0,03 K$, руб.	Отчисления на ремонт $e=0,017 K$, руб.	Эксплуатационные расходы $c=a+b+e$, руб.	Приведенные затраты $K_{п.з}=K+c+T$, руб.
1,3	2,99	95,0	0,00378	737	7,37	2,85	1,62	11,84	213,4
1,4	2,50	107,0	0,00281	548	5,48	3,21	1,82	10,51	212,1
1,5	2,18	120,0	0,00217	423	4,23	3,60	2,04	9,87	218,7
1,6	1,92	133,0	0,00178	347	3,47	3,99	2,26	9,72	230,2

Экономический диаметр трубопровода $D_{эк} = 1,4 \text{ м}$. Показатели по напорным трубопроводам при $D_{эк}$ и разной длине их сводим в таблицу IX-7.

ТАБЛИЦА IX-7

Наименование показателей	Длина трассы напорных трубопроводов $l_{тр}=100$ м	Длина трассы напорных трубопроводов $l_{тр}=600$ м
Капитальные затраты на строительство трубопроводов K , руб.	$2 \cdot 107 \cdot 100 = 21\,400$	$2 \cdot 107 \cdot 600 = 128\,400$
Отчисления на восстановление 3%, руб.	$21\,400 \cdot 0,030 = 642$	$128\,400 \cdot 0,030 = 3852$
Отчисления на ремонты 1,7%, руб.	$21\,400 \cdot 0,017 = 364$	$128\,400 \cdot 0,017 = 2189$
Стоимость энергии, теряемой за год, руб.	$2 \cdot 100 \cdot 5,48 = 1096$	$2 \cdot 600 \cdot 5,48 = 6576$
Сумма ежегодных эксплуатационных расходов, руб.	2102	12 611
Приведенные затраты $K_{п.з} = K + T_{н.с}$, руб.	42 420	254 510

Схема № 3. Расчетный расход для выбора экономического диаметра трубопровода:

$$q_{р.т} = \frac{\sqrt[3]{\frac{Q^3(t_1 + t_6) + (2Q)^3 \cdot (t_2 + t_4) + (3Q)^3 t_3}{T}}}{\pi} = \frac{\sqrt[3]{\frac{3,2^3 \cdot 57 + 8 \cdot 3,2^3 \cdot 73 + 27 \cdot 3,2^3 \cdot 45}{175}}}{2} = 3,51 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

При $q_{р.т} = 3,51 \text{ м}^3/\text{сек}$ количество теряемой энергии на 1 пог. м за год работы станции составит $\mathcal{E} = 176\,000 \text{ кт} \cdot \text{ч}$.

Расчет по выбору экономического диаметра сводим в таблицу IX-8.

ТАБЛИЦА IX-8

Внутренний диаметр труб D , м	Скорость движения воды v , м/сек	Стоимость 1 пог. м труб K , руб.	Гидравлические потери на 1 пог. м $1,35 h_T$, м	Потери энергии за год $\mathcal{E}$, кт.ч	Стоимость потерянной энергии $\mathcal{E} = 0,01 \mathcal{E}$, руб.	Отчисление на восстановление $\sigma = 0,03 K$, руб.	Отчисления на ремонты $\sigma = 0,017 K$, руб.	Эксплуатационные расходы $C = a + b + e$, руб.	Приведенные затраты $K_{п.з} = K + T_{н.с}$, руб.
1,3	2,68	95,0	0,00363	640	6,40	2,85	1,62	10,87	203,7
1,4	2,28	107,0	0,00270	475	4,75	3,21	1,82	9,78	204,8
1,5	1,99	120,0	0,00212	373	3,73	3,60	2,04	9,37	213,7
1,6	1,75	133,0	0,00163	287	2,87	3,99	2,26	9,12	224,2

Экономический диаметр трубопровода $D_{э.к} = 1,3$ м. Показатели по напорным трубопроводам при $D_{э.к}$ и разной длине их сводим в таблицу IX-9.

На основании таблиц показателей по всем трем схемам составим сводную таблицу показателей (табл. IX-10).

На основании этой таблицы можно сделать следующие выводы.

1. Наиболее дорогим, как по приведенным затратам, так и по капитальным вложениям и ежегодным эксплуатационным расходам, по обеим длинам трубопроводов является соединение их по схеме № 1.

2. При длине трубопроводов $l_{тр} = 100$ м наимыгоднейшим вариантом является соединение трубопроводов по схеме № 2, имеющим минимальные приведенные затраты, капитальные вложения и ежегодные эксплуатационные расходы.

3. При длине трубопроводов $l_{тр} = 600$ м наимыгоднейшим вариантом является соединение трубопроводов по схеме № 3, имеющим минимальные приведенные затраты и капитальные вложения. По сроку окупаемости вариант соединения по схеме № 2, имеющий несколько меньшие ежегодные эксплуатационные расходы, также принят быть не может, так как увеличение капитальных затрат по схеме № 2 окупается в срок более нормативного:

$$\frac{128\,400 - 116\,864}{13\,173 - 12\,611} = 20,4 \text{ года} > 10 \text{ лет.}$$

ТАБЛИЦА IX-9

Наименование показателей	Длина трассы напорных трубопроводов $l_{тр}=100 \text{ м}$	Длина трассы напорных трубопроводов $l_{тр}=600 \text{ м}$
Капитальные затраты на строительство напорных трубопроводов, руб.	$2.95 \cdot 100 = 19\ 000$	$2.95 \cdot 600 = 114\ 000$
Устройство связки трубопроводов диаметром 1,2 м, длиной 8 пог. м, руб.	$8 \cdot 83 = 864$	864
Установка задвижки диаметром 1,2 м, руб.	2 000	2 000
Всего капитальных затрат ΣK , руб.	21 864	116 864
Отчисления на восстановление 3%, руб.	$21\ 864 \cdot 0,03 = 656$	$116\ 864 \cdot 0,03 = 3\ 506$
Отчисления на ремонты 1,7%, руб.	$21\ 864 \cdot 0,017 = 363$	$116\ 864 \cdot 0,017 = 1\ 987$
Стоимость энергии, теряемой за год, руб.	$2 \cdot 100 \cdot 6,40 = 1280$	$2 \cdot 600 \cdot 6,40 = 7\ 680$
Сумма ежегодных эксплуатационных расходов C , руб.	2 299	13 173
Приведенные затраты $K_{п.з.}$, руб.	44 854	248 594

ТАБЛИЦА IX-10

Схема	Капитальные вложения ΣK , руб.	Сумма ежегодных эксплуатационных расходов C , руб.	Приведенные затраты $K_{п.з.}$, руб.
Схема № 1 $l_{тр}=100 \text{ м}$	28 200	3 086	59 060
$l_{тр}=600 \text{ м}$	169 200	18 513	354 330
Схема № 2 $l_{тр}=100 \text{ м}$	21 400	2 102	42 420
$l_{тр}=600 \text{ м}$	128 400	12 611	254 510
Схема № 3 $l_{тр}=100 \text{ м}$	21 864	2 299	44 854
$l_{тр}=600 \text{ м}$	116 864	13 173	248 594

При короткой длине трубопроводов наивыгоднейшей схемой компоновки их является вторая, при большей длине трубопроводов — третья. В настоящее время при длине трассы трубопроводов до 100 м в средних и крупных станциях устраивают отдельные трубопроводы для насосных агрегатов, так как при этом упрощается схема соединения трубопроводов и эксплуатация при незначительном удорожании установки.

Во всех рассмотренных примерах, кроме примера 3, предполагалось, что сроки строительства и сроки ввода сооружения в эксплуатацию одинаковы или отличаются друг от друга на срок менее года. Удлинение срока строительства, отдаление срока ввода сооружения в эксплуатацию и увеличение периода достижения сооружением полной производительности вызывают снижение эффективности использования капитальных вложений на его строительство. Влияние этих факторов может быть учтено увеличением срока окупаемости на основании соответствующих расчетов, называемых иногда в практике расчетами по «замораживанию» средств и «недобору» чистого дохода. Очень важным фактором повышения эффективности использования сооружения также является ввод его в эксплуатацию на полную мощность в наикратчайший срок или обеспечение ввода его по очередям с возможно минимальными капиталовложениями на первые очереди и вводом в эксплуатацию возможно большей мощности.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫЕ РАБОТЫ ПО УЗЛУ СООРУЖЕНИЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Как было указано выше, при выборе наивыгоднейшего варианта решения по узлу сооружений насосной станции в целом и по отдельным его элементам капитальные затраты в большинстве случаев определя-

ются по сметно-финансовым расчетам, составляемым либо по укрупненным измерителям, либо по аналогии с другими подобными сооружениями.

Для принятого варианта узла сооружений насосной станции, как одного из сооружений, входящих в состав сооружений мелиоративной системы, составляется смета на основании ЕРЕР (единые районные единичные расценки).

В составе этой сметы имеются сметы на строительные работы, на приобретение, транспорт и монтаж гидромеханического и электрического оборудования*.

В конце сметы имеются выборки необходимых для производства строительно-монтажных работ затрат труда, строительных машин, изделий, материалов и полуфабрикатов.

Ниже приводим формы смет.

(наименование строительства)

Объектная смета № _____

на строительство _____
(наименование объекта)

Сметная стоимость _____ тыс. руб

Составлена в ценах 19__ г.

№ пп.	№ смет, укрупнен- ных норм	Наименование работ и затрат	Сметная стоимость, тыс. руб.					Показатели еди- ничной стоимо- сти
			строи- тель- ных работ	монтаж- ных работ	оборудования, приспособле- ний и произ- водственного инвентаря	прочих затрат	Общая смет- ная стоимость	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Главный инженер проекта _____
(подпись)

Начальник _____ отдела _____
(подпись)

Составил _____
(должность, подпись)

Проверил _____
(должность, подпись)

« _____ » _____ 19__ г.

* В приводимых ниже сметах учитываются прямые затраты на строительно-монтажные работы непосредственно по узлу сооружений насосной станции для получения прямых показателей, облегчающих сравнение вариантов. Стоимость жилья, временных и других сооружений учитывается в генеральной смете на строительство мелиоративной системы в целом.

(наименование строительства)

Смета № _____

На _____

(наименование работ и затрат)

(наименование объекта)

Основание: чертежи № _____

Сметная стоимость _____ тыс. руб.

тыс. руб.

Составлена в ценах 19__г.

Показатели _____

№ п.п.	Обоснование стоимости (№ укрупненных сметных норм, единичных расценок и др.)	Наименование работ и затрат	Единица измере- ния	Количе- ство единиц	Стоимость единицы, руб.	Общая стоимость, руб.
1	2	3	4	5	6	7

Главный инженер (архитектор) проекта _____

(подпись)

Начальник отдела _____

(подпись)

Составил _____

(должность, подпись)

Проверил _____

(должность, подпись)

(наименование строительства)

СМЕТА № _____

на приобретение и монтаж _____
(вид оборудования и работ)

Сметная стоимость _____ тыс. руб.

Основание: спецификация № _____

Составлена в ценах 19 ____ г. _____

№ пп.	Наименование укрупненных пока- зателей и нормати- вов префактуранта, ценника, № позиций	Наименование и характеристика оборудования и монтажных работ	Единица измерения	Коли- чество	брутто		Сметная стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.		
					Вес,	нетто	оборудова- ние	монтажных работ		оборудова- ния	монтажных работ	
					единицы измерения	общий		всего	в том числе зарботная плата		всего	в том числе зарботная плата
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Итого

Транспортные расходы

Затраты на комплектацию оборудования

Величина накладных расходов устанавливается по ведомствам, республикам, стройкам соответствующими распоряжениями и приказами руководящих органов.

Величина начислений и порядок производства их также устанавливаются по ведомствам, республикам, стройкам соответствующими приказами и распоряжениями руководящих органов.

По такой же форме составляется смета на приобретение и монтаж электрического и другого силового оборудования, стоимость которого обозначим K_3 руб.

Капитальные затраты на строительно-монтажные работы по возведению насосной станции (сумма капитальных вложений) составляют:

$$K = K_1 + K_2 + K_3 \text{ руб.}$$

§ 3. СМЕТА ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Смета эксплуатации насосной станции включает:

1) стоимость содержания эксплуатационного персонала, обслуживающего станцию. В эту смету не включается стоимость содержания персонала, выполняющего ремонтные работы, так как он оплачивается за счет отчислений на эти работы по специальным сметам;

2) отчисления на восстановление, капитальный и текущий ремонты по сооружениям и оборудованию станции;

3) стоимость электрической энергии, затрачиваемой на подъем воды и собственные нужды станции;

4) стоимость смазочных и обтирочных материалов.

В смету эксплуатации не включают никаких общесистемных и других расходов, чтобы иметь величину ежегодных эксплуатационных расходов по себестоимости. Это позволяет легче проводить сравнение с другими насосными станциями.

В дальнейших расчетах, проводимых на системах (определение стоимости продукции и другие хозрасчетные операции), общесистемные расходы распределяют различными способами по отраслям хозяйств системы: пропорционально величине заработной платы или сумме эксплуатационных затрат и др.

Технико-экономические показатели. В практике проектирования и эксплуатации мелиоративных насосных станций принято определять следующие технико-экономические показатели:

1) капиталовложения на 1 кВт установленной мощности

$$K' = \frac{K}{\Sigma N_y} \text{ руб.,}$$

где K — капитальные затраты на строительство узла сооружений насосной станции, руб.;

ΣN_y — сумма номинальных (по паспорту) мощностей всех установленных двигателей главных насосов (рабочие + резервные), кВт;

2) капиталовложения на 1 га орошаемой (или осушаемой) площади

$$K'' = \frac{K}{\omega_n} \text{ руб.,}$$

где K — то же, что и выше;

ω_n — количество орошаемой (осушаемой) площади нетто, подвешенной к насосной станции, га;

3) стоимость 1 м³ поднятой воды

$$C' = \frac{C}{\Sigma W} \text{ руб.},$$

где C — сумма ежегодных эксплуатационных расходов, включая затраты на восстановление, руб.;

ΣW — количество воды, поднятой насосной станцией за год, м³;

4) стоимость 1 тонна-метра поднятой воды

$$C'' = \frac{C}{\Sigma WH} \text{ руб.},$$

где C — то же, что и выше;

ΣWH — сумма произведений расходов воды, подаваемых станцией, на напор насосов по периодам за год, тм;

5) ежегодные эксплуатационные расходы на 1 га орошаемой (осушаемой) площади

$$C''' = \frac{C}{\omega_n} \text{ руб.};$$

6) коэффициент использования установленного оборудования за рабочий период *

$$\alpha = \frac{N_{\text{ср}}}{\Sigma N_y},$$

где $N_{\text{ср}}$ — средняя мощность станции за рабочий период в году, которая определяется по формуле

$$N_{\text{ср}} = \frac{\Sigma \mathcal{E}}{T_{\text{раб}}} \text{ кВт},$$

где $\Sigma \mathcal{E}$ — количество электроэнергии, потребленное насосной станцией за год, кВт·ч;

$T_{\text{раб}}$ — фактическая длительность работы насосной станции в году в часах;

ΣN_y — то же, что и выше;

7) затрата электроэнергии на 1000 тонна-метров поднятой воды

$$\mathcal{E}' = \frac{\Sigma \mathcal{E}}{\Sigma WH} \times 1000 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где $\Sigma \mathcal{E}$ и ΣWH — то же, что и выше.

Пример 8. Составление эксплуатационной сметы и определение технико-экономических показателей по оросительной насосной станции. На насосной станции установлено четыре насоса марки 32В-12 с обточенным рабочим колесом $D_2=1120$ мм и числом оборотов $n=500$ об/мин; электродвигатель мощностью 960 кВт. Характеристика насоса 32В-12 с обточенным колесом представлена на рисунке IX—7. График водоподдачи станции с нанесенными на нем горизонтами воды в верхнем и нижнем бьефах и геодезическими высотами качания по периодам приведен на рисунке IX—8. Схема соединения трубопроводов (всасывающих и напорных) показана на рисунке IX—9.

Станция автоматизирована и управляется по схеме «дежурство на дому».

Капитальные затраты на возведение станции составляют:

* Такое определение этого коэффициента применяется в мелиоративных насосных станциях, работающих сезонно. Можно вычислять значение этого коэффициента и за год, принимая, $T_{\text{раб}}=8760$ ч. Способ вычисления коэффициента следует иметь в виду при сравнении вариантов.

1) строительные работы	125 900 руб.
2) напорные сборные железобетонные трубопроводы	37 800 »
3) гидромеханическое оборудование	51 200 »
4) электродвигатели	36 600 »
5) электрическое оборудование	25 200 »

Итого $K=276\ 700$ »

Стоимость 1 $\text{квт} \cdot \text{ч}$ электроэнергии — 0,01 руб. Орошаемая площадь (нетто), для которой станция поднимает воду, $\omega_n=4620$ га. Стоимость содержания эксплуатационного персонала в год 3080 руб.

Определение количества поднимаемой воды и затрачиваемой энергии за год сведем в таблицу IX—13. При составлении таблицы расход, который должна подавать станция, геодезический напор и период работы станции принимались по графику водоподдачи станции (рис. IX—8). Фактический расход, подаваемый насосами, и к. п. д. насоса принимались по характеристике насоса, приведенной на рисунке IX—7. На этом рисунке нанесены характеристики насоса $H-Q$ и зависимости расхода от геодезической величины напора H_T-Q и H_T-2Q , то есть при одиночной и параллельной работе насосов на трубопроводы. Последние две характеристики получены путем вычитания из ординат характеристики $H-Q$ величин гидравлических сопротивлений при одиночной работе насосов (h_T-Q) и при параллельной работе насосов (h_T-2Q). Характеристики насосов типа H_T-Q особенно удобны для водоэнергетических расчетов при больших колебаниях напоров насосов.

Расходы, фактически подаваемые насосами, напор насосов ($H=H_T+h_T'$ или $H=H_T+h_T''$) и фактическое время работы насосов по периодам занесены в таблицу. Для этих данных определялись: $\Sigma \dot{E}$; ΣW ; ΣWH . Коэффициент полезного действия двигателя принят $\eta_{дв}=0,94$, а к. п. д. сети $\eta_c=0,98$. К. п. д. установки $\eta_{н.у}=0,94 \times 0,98 \eta_{н}=0,92 \eta_{н}$. Кривые сопротивлений h_T-Q и h_T-2Q , нанесенные на рисунке IX—7, строят на основании определения гидравлических сопротивлений для нескольких различных расходов. При этом необходимо учитывать, что, согласно принятой схеме соединения всасывающих и напорных трубопроводов (рис. IX—9), величина сопротивлений водозаборной части насосной станции до точки А зависит только от расхода, подаваемого насосом, а от точки А и далее до машинного канала (верхний бьеф станции) на величину сопротивлений влияет еще и режим работы станции, то есть одиночная или параллельная работа насосов на напорные трубопроводы. Не приводя расчетов по определению гидравлических сопротивлений, даем сразу их величины для одиночной и параллельной работы насосов при различных расходах и значения h_T для этих режимов работы станции, по которым выполнены построения на рисунке IX—7. Эти данные помещены в таблицах IX—11 и IX—12. Ежегодные эксплуатационные расходы (смета эксплуатации) приведены в таблице IX—14.

ТАБЛИЦА IX—11

Значения величин h_T' и H_T при различных расходах и одиночной работе насосов

Величины	Расход, $\text{м}^3/\text{сек}$				
	2,0	1,4	0,80	0,200	0
$h_T', \text{ м}$	0,88	0,43	0,14	0,01	0
$H \gg$	33,0	45,0	49,5	49,7	48,3
$H_T \gg$	32,12	44,57	49,36	49,69	48,3

ТАБЛИЦА IX—12

Значения величин h_T'' и H_T насоса при различных расходах и параллельной работе насосов

Величины	Расход, $\text{м}^3/\text{сек}$				
	4,0	2,8	1,6	0,4	0
$h_T'', \text{ м}$	3,74	1,83	0,60	0,04	0
$H \gg$	33,0	45,0	49,5	49,34	48,3
$H_T \gg$	29,26	43,17	48,9	49,3	48,3

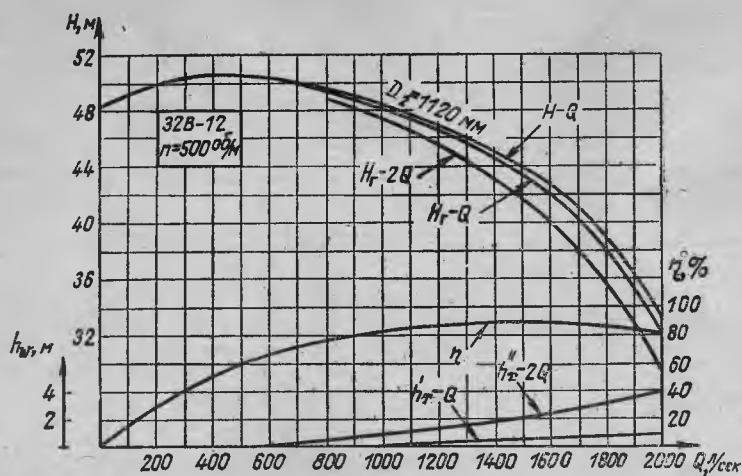


Рис. IX—7. Характеристика центробежного насоса 32B-12, характеристики H_t-Q и H_f-2Q и кривые сопротивлений системы трубопроводов $h_{tr}-Q$ и $h_{tr}-2Q$.

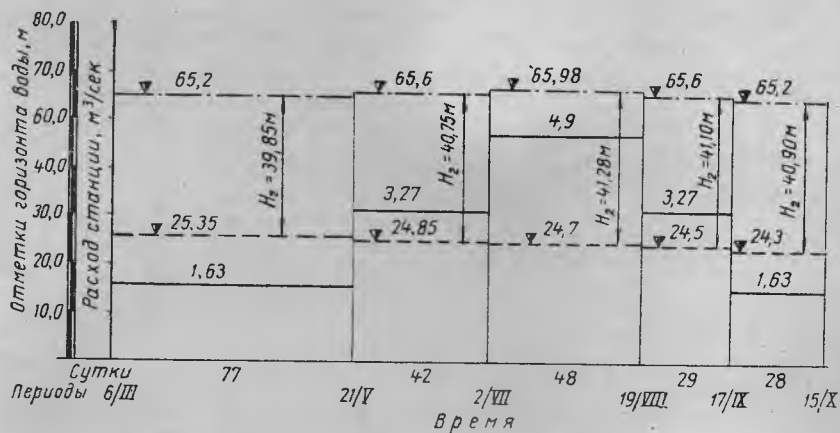


Рис. IX—8. График водоподдачи насосной станции, уровни воды в верхнем и нижнем бьефах, геодезические напоры H_g :

— водоподдача в m^3/sec ; — уровни воды в нижнем бьефе; — — — — — уровни воды в верхнем бьефе.

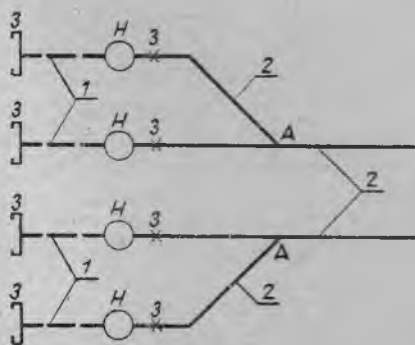


Рис. IX—9. Схема соединения всасывающих и напорных трубопроводов:

З — задвижки и затворы; Н — насосы; 1 — всасывающие трубы; 2 — напорные трубопроводы.

Водоэнергетический расчет по насосной станции

период работы станции	По графику водоподачи			Геодезический напор H_r , м	Фактический расход одного насоса q , м ³ /сек	Число работающих насосов	Фактический расход, пода- ваемых станцией, $Q_{\text{ф}}$, м ³ /сек	Фактическое время работы станции $T_{\text{раб}}$, ч	Напор насоса H , м	К. п. д. насосной установ- ки $\eta_{\text{н.у}}$	Потребляемая мощность $N = \frac{\gamma Q_{\text{ф}} H}{102 \eta_{\text{н.у}}}$, квт	Количество потребляемой энергии $\Sigma N T_{\text{раб}}$, кат·ч	Количество поднимаемой воды $W = Q_{\text{ф}} T_{\text{раб}}$ 3600, млн. м ³	Количество тонна-метров WH , млн. т·м
	число суток в периоде	число часов в периоде	подаваемый станцией расход, м ³ /сек											
6/III—21/V	77	1848	1,63	39,85	1,72	1	1,72	1753	40,8	0,8	862	1 510 000	10,85	443
22/V—2/VII	42	1008	3,27	40,75	1,68	2	3,36	981	41,4	0,81	1684	1 650 000	11,85	491
3/VII—19/VIII	48	1152	4,9	41,28	1,64	1	4,7	1200	42,2	0,81	838	1 020 000	7,18	303
					1,53	2			43,7	0,81	1620	1 940 000	13,24	579
20/VIII—17/IX	29	696	3,27	41,1	1,65	2	3,3	689	42,1	0,81	1680	1 158 000	8,20	345
18/IX—15/X	28	672	1,63	40,9	1,66	1	1,66	660	41,8	0,81	840	554 000	3,94	165
$T_{\text{раб}} = 5283$ ч												$\Sigma \Sigma =$ $= 7\,832\,000$	$\Sigma W = 55,26$	$\Sigma WH =$ $= 2326$

Примечания. 1. При увеличении производительности станции против графика (из-за уменьшения напора насоса против расчетного) период ее работы $T_{\text{раб}}$ уменьшается против графика, и наоборот. Общее отклонение и отклонение по периодам менее четырех суток, что допустимо. Расчет выполнен без включения четвертого (резервного) насоса. 2. Насос подобран достаточно хорошо, так как подает более 80% воды при максимальном к.п.д., а минимальный к.п.д. отклоняется всего на 1%. 3. По принятой схеме соединения напорных трубопроводов при работе трех насосов: по одному трубопроводу два насоса работают параллельно, а по другому воду подает один насос.

Схема эксплуатации (себестоимость по насосной станции)

Статья расхода	Количество единиц или сметная стоимость, руб.	Стоимость единицы, руб. или % отчисления	Сумма ежегодных затрат, руб.
Стоимость содержания эксплуатационного персонала	По смете	—	3 080
Строительные работы	125 900	3,4 %	4 280
Напорные сборные железобетонные трубопроводы	37 800	4,7 %	1 777
Гидромеханическое оборудование	51 200	14,1 %	7 240
Электродвигатели	36 600	9,9 %	3 620
Электрическое оборудование	25 200	9,3 %	2 340
Стоимость электроэнергии. Количество учитывает дополнительный расход на собственные нужды в размере 2%, или $\Sigma \mathcal{E} = 7\,988\,000$ квт·ч	7 988 000	0,01	79 880
Смазочные и обтирочные материалы	7 988 000	0,00005	399
Итого	$C = 102\,616$ руб.		

Технико-экономические показатели

1. Капиталовложения на 1 квт установленной мощности

$$K' = \frac{K}{\Sigma N_y} = \frac{276\,700}{960 \cdot 4} = 72 \text{ руб.}$$

2. Капиталовложения на 1 га орошаемой площади (нетто)

$$K'' = \frac{K}{\omega_n} = \frac{276\,700}{4620} = 59,8 \text{ руб.}$$

3. Стоимость 1 м³ поднятой воды

$$C' = \frac{C}{\Sigma W} = \frac{102\,616}{55\,260\,000} = 0,00186 \text{ руб.} = 0,19 \text{ коп.}$$

4. Стоимость 1 тонна-метра поднятой воды

$$C'' = \frac{C}{\Sigma WH} = \frac{102\,616}{2\,326\,000\,000} = 0,000044 \text{ руб.} = 0,0044 \text{ коп.}$$

5. Ежегодные эксплуатационные расходы на 1 га орошаемой площади (нетто)

$$C''' = \frac{C}{\omega_n} = \frac{102\,616}{4620} = 22,2 \text{ руб.}$$

6. Коэффициент использования установленного оборудования за рабочий период

$$\alpha = \frac{N_{\text{ср}}}{\Sigma N_y} = \frac{1483}{3840} = 0,39; N_{\text{ср}} = \frac{\Sigma \mathcal{E}}{T_{\text{раб}}} = \frac{7\,832\,000}{5283} = 1480 \text{ квт.}$$

7. Затраты электроэнергии на 1000 тонна-метров поднятой воды

$$\mathcal{E}' = \frac{\Sigma \mathcal{E}}{\Sigma WH} 1000 = \frac{7\,832\,000}{2\,326\,000\,000} 1000 = 3,37 \text{ квт·ч.}$$

§ 4. ПЛАН ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕЛИОРАТИВНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Залогом эффективной работы насосной станции является хороший проект ее и хорошее выполнение строительно-монтажных работ при возведении. Допущенные дефекты при проектировании и строительстве могут вызвать ухудшение условий эксплуатации и удорожание ее и даже дополнительные капитальные затраты на переустройство в первые годы эксплуатации.

Во время эксплуатации должна проводиться систематическая работа по изысканию путей повышения эффективности работы насосной станции на основе изучения местных условий и последних достижений науки и техники.

План эксплуатации насосной станции должен включать:

- 1) график подачи воды, указывающий количество и сроки подачи воды;

2) смету эксплуатации и технико-экономические показатели работы станции (себестоимость воды и др.);

3) организационно-технические мероприятия по снижению стоимости и улучшению эксплуатации станции.

Рассмотрим примерный перечень и направления организационно-технических мероприятий по снижению стоимости эксплуатации на примере оросительной насосной станции.

1. Снижение количества поднимаемой воды уменьшает затраты на энергию, поэтому при эксплуатации должны быть выявлены места излишних потерь воды, не должен допускаться сброс ее. Опытным путем следует установить оптимальные нормы полива и проводить работы по повышению к. п. д. системы и др.

2. Всестороннее внедрение электрификации и автоматизации управления и механизации ремонтных работ снижает ежегодные эксплуатационные расходы и др.

3. Своевременная смазка и проведение профилактических осмотров и ремонтов удлиняют срок службы оборудования и межремонтный период, уменьшают затраты на средний и капитальный ремонты. Централизация ремонтных работ и создание специальных ремонтных бригад удешевляют эти работы.

4. Проведение производственных испытаний оборудования для установления соответствия характеристик его паспортным данным и др. Если есть отклонения в худшую сторону, намечаются меры ликвидации их.

В практике эксплуатации хорошо поставленное изучение работы оборудования и причин дефектов его работы дает эффективные результаты.

Так, на станциях одной транспортной магистрали проведенный комплекс производственных исследований позволил выработать более эффективные режимы работы оборудования. В отдельные узлы оборудования были внесены конструктивные упрощения: выявленный резерв в нагреве статора двигателя позволил снять вентиляционные крылья на его роторе; снятие нижнего направляющего подшипника двигателя и применение воды от самого насоса для охлаждения масла упростили систему смазки; устройство лигнофолевых вкладышей в направляющих подшипниках насоса позволило применить водяную смазку; переоборудование пуска двигателя на прямой упростило автоматику и увеличило ее надежность.

Затруднения эксплуатации насосов на загрязненной воде р. Куры были ликвидированы заменой конструкции уплотнения вала, что позволило сократить простои оборудования и получить годовую экономию на электроэнергии (повышение к. п. д. насоса) 15 тыс. руб., по ремонтным работам более 5 тыс. руб.

5. Тщательная разработка режима совместной работы каналов и оборудования на системах с зональным расположением насосных станций. В противном случае будет происходить образование кривых спада в каналах и их размыв, что одновременно с подпором в верхнем бьефе даст увеличение напора, снизит к. п. д. и производительность оборудования и др.

6. Замена старого оборудования новым, с более высоким к. п. д. Как показывают расчеты, это иногда окупается за очень короткий срок.

7. Повышение квалификации эксплуатационного персонала и изучение им эксплуатируемого оборудования снижают число аварий и улучшают обслуживание станций. Важное значение имеет изучение персоналом опыта эксплуатации других станций, достижений науки и техники и др.

Этот раздел плана разрабатывается и внедряется применительно к местным условиям, установленному оборудованию и конструкциям сооружений.

§ 1. ИСПЫТАНИЯ ЛОПАСТНЫХ И ОБЪЕМНЫХ НАСОСОВ

Насосы по назначению и конструктивному выполнению чрезвычайно разнообразны и применяются в различных областях народного хозяйства. Производительность насосов изменяется от самых малых величин до значительных.

Испытания насосов проводят в лабораторных и в производственных условиях. Испытания лопастных насосов проводят согласно ГОСТ 6134—58, группа 82.

Испытания производственных насосных установок бывают обкаточные и нормальные, обычно при сдаче в эксплуатацию насосной станции. Эти испытания называют контрольными.

При обкаточных испытаниях проверяют качество сборки, центровку осей валов насоса и двигателя при их непосредственном соединении, температуру подшипников, пят, сальников, качество смазки, охлаждения и т. д. Контрольные нормальные испытания проводят в диапазоне, перекрывающем рабочую зону насоса.

Кавитационные испытания проводят в лабораторных условиях. Полную характеристику насоса получают в лабораторных условиях.

В результате испытаний лопастных насосов характеристика должна иметь следующие основные показатели:

Q — расход или производительность насоса, $\text{м}^3/\text{сек}$ (или $\text{л}/\text{сек}$);

H — напор, м. вод. ст. ;

n — скорость вращения вала, $\text{об}/\text{мин.}$;

N — мощность на валу насоса (эффективная), квт. ;

η — полный к. п. д. насоса в % или выраженный относительным числом;

$H_{\text{доп. вак}}$ — допустимая высота всасывания, м. вод. ст.

Величины H , N , η , $H_{\text{доп. вак}}$ даются в зависимости от расхода насоса.

Для измерения расхода насоса применяют диафрагмы, соплы, трубы Вентури, водосливы, напорные трубки или скоростные вертушки. Последние применяются для крупных насосов.

О способах измерения расходов излагается в учебнике ([69], гл. II, § 13).

В лаборатории насосных установок МГМИ расход определяют с помощью треугольного водослива с прямым углом в вершине или диафрагмой. Диафрагма и треугольный водослив тщательно протарированы, построены кривые связи, которыми пользуются при испытаниях.

Для измерения давлений применяют:

а) жидкостные манометры, вакуумметры и мановакуумметры;

б) образцовые пружинные манометры и вакуумметры класса 0,35 по ГОСТ 6521—53.

В лаборатории насосных установок МГМИ применяют ртутные вакуумметры. Давление измеряется пружинными манометрами класса 1,5 по ГОСТ 2405—52, которые следует проверять не реже одного раза в месяц на грузовом манометре.

Для измерения числа оборотов применяют тахометры и тахоскопы (отдельные счетчики оборотов с секундомерами использовать нельзя).

Для определения потребляемой мощности измеряют крутящий момент на валу насоса при помощи мотор-весов и крутильного динамометра. Если насос соединен с электродвигателем непосредственно, то мощность на валу насоса определяют, умножая энергию, потребляемую двигателем, на его к. п. д.

§ 2. УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Лабораторные работы студентов предназначены для закрепления знаний по основным разделам курса «Насосы». Студент должен самостоятельно проработать следующие работы, предусмотренные учебной программой.

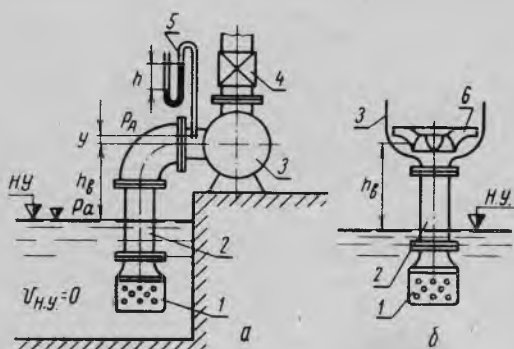


Рис. X—1. Насосная установка:

a — с горизонтальным валом; *б* — с вертикальным валом; 1 — приемный пятовой клапан; 2 — всасывающая труба; 3 — насос; 4 — регулирующая задвижка; 5 — ртутный вакуумметр; 6 — первое колесо центробежного насоса с вертикальным валом.

1. Испытание условий всасывания центробежным насосом.

2. Изучение конструкций различных центробежных насосов.

3. Кинематика потока в рабочем колесе центробежного насоса.

4. Нормальные испытания насосной установки с центробежным насосом.

5. Кавитационные испытания центробежного насоса.

6. Испытание насосной установки с поршневым насосом.

Для самостоятельного проведения перечисленных работ в помощь студенту дается пособие по каждой работе.

Работа № 1. В этой работе студент должен уяснить значение геометрической высоты всасывания h_b , приведенной высоты всасывания $H_{в.п.}$, вакуумметрической высоты всасывания и их взаимосвязь.

Геометрической высотой всасывания называют для насоса с горизонтально расположенным валом расстояние от уровня горизонта воды в нижнем бьефе (водоисточника) до оси насоса (рис. X—1, *a*), а в насосах с вертикальным валом расстояние от уровня воды в нижнем бьефе до середины входной кромки первого рабочего колеса (рис. X—1, *б*). Приведенной высотой всасывания называется сумма геометрической высоты всасывания и потерь во всасывающей линии:

$$H_{в.п.} = h_b + h_{в.т.}$$

Вакуумметрическая высота всасывания определяется вакуумметром.

Взаимосвязь между высотами всасывания можно установить из уравнения Д. Бернулли.

Составим уравнение Д. Бернулли, приняв плоскость сравнения на уровне нижнего бьефа (рис. X—1, *a*):

$$\frac{p_a}{\gamma} = \frac{p_A}{\gamma} + h_b \pm y + \frac{v_b^2}{2g} + h_{в.т.};$$

$$\frac{p_a - p_A}{\gamma} = h_{в.п.} = h_b \pm y + \frac{v_b^2}{2g} + h_{в.т.};$$

$$h_{\text{вак}} = H_{\text{в.п}} \pm y + \frac{v_{\text{в}}^2}{2g},$$

где p_a — атмосферное давление, кг/м^2 ;
 p_A — давление в точке присоединения вакуумметра, кг/м^2 ;
 $h_{\text{в}}$ — геометрическая высота всасывания, м ;
 y — расстояние от оси насоса до точки присоединения вакуумметра, м ;
 $v_{\text{в}}$ — скорость во всасывающем патрубке насоса, м/сек ;
 $h_{\text{в.т}}$ — потери напора во всасывающем трубопроводе, м ;
 g — ускорение силы тяжести, м/сек^2 ;
 γ — объемный вес жидкости, кг/м^3 .

В работе № 1 необходимо построить зависимости

$$h_{\text{вак}} = f(Q); H_{\text{в.п}} = f(Q); h_{\text{в}} = f(Q); \xi_{\text{сист}} = f(Q).$$

Для построения этих зависимостей проводят исследования при различных расходах насоса. Расход насоса регулируется задвижкой, установленной за напорным патрубком насоса. Результаты измерений помещают в таблицу (табл. X—1).

ТАБЛИЦА X—1

Наименование величин	№ опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Подача насоса Q , л/сек							
Показание вакуумметра V (вакуумметрическая высота всасывания), мм рт. ст.							
Геометрическая высота всасывания $h_{\text{в}}$, м							

Необходимые величины:

1) расстояние от оси насоса до точки прикрепления вакуумметра $y = \text{--- м}$; 2) диаметр всасывающего патрубка $d_{\text{в}} = \text{--- мм}$; 3) площадь сечения всасывающего патрубка $F_{\text{в}} = \text{--- м}^2$.

Определение необходимых величин проводят в таблице X—2.

Показания вакуумметра в м вод. ст. получают подсчетом. Если $h_{\text{вак}}$ измерялась в мм рт. ст. , то для перевода ее в м вод. ст. следует сделать пересчет на разницу объемного веса ртути и воды:

$$h_{\text{вак. м вод. ст.}} = h_{\text{вак. мм рт. ст.}} \cdot 0,0136.$$

Имея вычисленные показания вакуумметра в м вод. ст. , определяют приведенную высоту всасывания: $H_{\text{в.п}} = h_{\text{вак}} \pm y - \frac{v_{\text{в}}^2}{2g}$.

Затем определяют потери по формуле

$$h_{\text{в.т}} = H_{\text{в.п}} - h_{\text{в}},$$

где $h_{\text{в}}$ получено замером. Зная потери, определяют коэффициент сопротивления системы:

$$\xi_{\text{сист}} = \frac{h_{\text{в.т}} 2g}{v_{\text{в}}^2}.$$

Имея всасывающую линию, можно, пользуясь данными гидравлики, провести более подробный анализ потерь напора во всех составных элементах ее, кроме приемного пятового клапана, сопротивление которого переменное и зависит от подаваемого расхода насоса.

По данным таблицы Х—2 строят нужные зависимости.

ТАБЛИЦА Х—2

Наименование величин	№ опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Вакуумметрическая высота всасывания $h_{\text{в.к.}}$, м вод. ст.							
Средняя скорость во всасывающем патрубке $v_{\text{в}}$, м/сек							
Скоростной напор $\frac{v_{\text{в}}^2}{2g}$, м							
Приведенная высота всасывания $H_{\text{в.п.}}$, м							
Гидравлические потери во всасывающем трубопроводе $h_{\text{в.т.}}$, м							
Коэффициент сопротивления системы $\xi_{\text{сист}}$							

Работа № 2. Изучение конструкций центробежных насосов.

Цель работы: 1) изучение устройства насоса, конструкций его основных деталей, порядка монтажа и демонтажа; 2) составление эскизного чертежа колеса насоса, снятие основных размеров колеса и патрубков насоса, входящих в определение марок насоса; 3) определение марки насоса по ГОСТ 1946 г. и по номенклатуре завода (старая технологическая марка завода).

Работа № 2 проводится после ознакомления студента с конструкциями насосов по чертежам, диапозитивам, кинофильмам.

Студент должен изучить не менее трех насосов различной конструкции (обычно консольный, с двойным входом на колесо и многоступенчатый секционный). С порядком монтажа центробежного насоса можно ознакомиться на примере сборки насоса 16НДн, представленного на рисунке Х—2. Последовательность сборки состоит в следующем.

1. Собрать ротор насоса:

а) на рабочее колесо 3 насадить защитные кольца 5 и закрепить их установочными винтами 39;

б) на вал насоса 9 насадить рабочее колесо 3 на шпонке 25;

в) рабочее колесо закрепить на месте, наворачив защитные втулки 6;

г) на защитные втулки надеть гайки 7;

е) на защитные втулки надеть кольца сальника 16, а на вал — разбрызгиватели 12;

ж) на защитные кольца рабочего колеса наложить уплотняющие кольца 4;

з) собрать на валу роликоподшипник, поставив последовательно крышку подшипника 11, распорную втулку 18, конический роликоподшипник 50, шайбу 19 и гайки 20;

и) собрать на валу шарикоподшипник на стороне муфты, поставив последовательно крышку подшипника 11, распорную втулку 18, шарикоподшипник 51 и втулку с резьбой 13.

2. Установить корпус насоса 1 на место сборки.
3. Поставить на место болты с проушиной для сальников 21.
4. Собранный ротор положить на подшипники, одновременно надевая корпуса подшипников 10 соответственно на роликоподшипник 50 и на шарикоподшипник 51 и на шпильки в корпусе насоса 28.

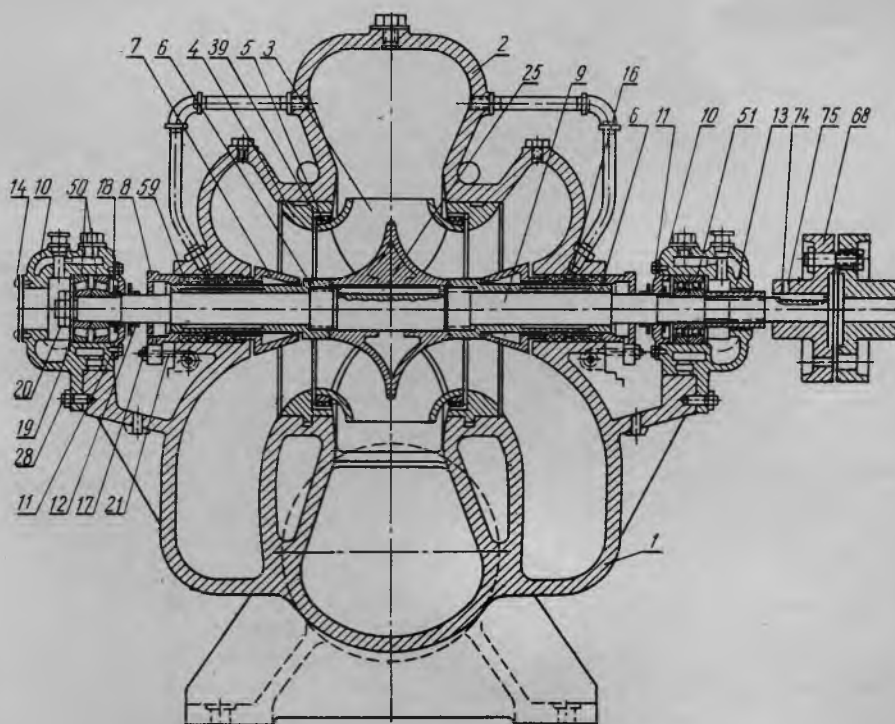


Рис. X—2. Центробежный насос 16НДн.

5. Закрепить на месте корпуса подшипников 10 гайками, установить контрольные шпильки.

6. Привернуть к корпусу подшипника 10 его крышку 11 болтами, предварительно уложив прокладку, установить разбрызгиватель 12 и закрепить его на месте винтом, привернув заглушку 14 винтами с постановкой прокладки 61.

7. Насадить на вал диск муфты 68 на шпонки 74, закрепив на месте установочным винтом 75.

8. Поставить на место и привернуть крышку насоса 2, проложив в стыках прокладку из клингерита с постановкой контрольных шпилек.

9. Набить сальники набивкой 59, поставив на место кольца сальника 16 и половины крышек сальника 8 и 17, и стянуть половины болтами.

10. Собрать трубопроводы для подвода воды к сальникам.

11. Ввернуть в соответствующие места, согласно сборочному чертежу, пробки, маслоуказатели, отжимные болты. На этом сборка насоса заканчивается. Разборка выполняется в обратном порядке.

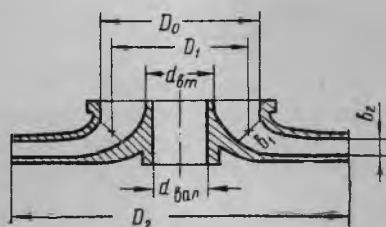


Рис. X—3. Разрез рабочего колеса центробежного насоса с односторонним входом воды на колесо.

Основные размеры рабочего колеса показаны на рисунке X—3:

D_2 — диаметр рабочего колеса;

D_1 — диаметр окружности, проходящей через середину входных кромок лопастей рабочего колеса;

D_0 — диаметр входного сечения рабочего колеса;

b_1 — расстояние между передним и задним диском при входе на лопасти рабочего колеса;

b_2 — то же, на выходе с рабочего колеса;

$d_{вт}$ — диаметр втулки рабочего колеса;

$d_{вал}$ — диаметр отверстия для вала насоса.

В таблицу X—3 записывают данные о насосах, изучаемых в работе № 2.

ТАБЛИЦА X—3

Тип насоса	Размеры, мм			Число		Диаметры, мм	
	D_2	D_0	$d_{вт}$	сторон всасывания	ступеней нагнетания	всасывающего патрубка d_B	нагнетательного патруб-ка d_H

По данным таблицы X—3 определяют марки насосов.

Марка насоса по ГОСТу 1946 г. имеет следующий вид:

$$d_B T - \omega_s \cdot m,$$

где d_B — диаметр всасывающего патрубка в мм, деленный на 25;
 T — тип насоса («К» — консольный, «Д» — с двойным входом воды на колесо; «МС» — многоступенчатый секционный; «М» — многоступенчатый; «МД» — многоступенчатый с первым колесом, имеющим двухсторонний вход);

$\omega_s = \frac{n_s}{10}$ — быстроходность (n_s), деленная на 10 и округленная до целой единицы. Например, $n_s = 78$; $\omega_s = 8$;

m — число ступеней нагнетания.

Быстроходность определяется как функция отношения $\frac{D_2}{D_0}$; зависимость $n_s = f\left(\frac{D_2}{D_0}\right)$ представлена на рисунке X—4; n_s берется по кривой верхнего практического предела.

Марка насоса по номенклатуре завода имеет такой вид:

$$d_H HT\alpha \cdot m,$$

где d_H — диаметр нагнетательного патрубка насоса в мм, деленный на 25;

H — насос;

T — тип насоса, как принималось и в марке по ГОСТу;

α — указатель напора: n — низконапорный, c — средненапорный; v — высоконапорный;

m — число ступеней нагнетания.

В таблице X—4 производится определение быстроходности и марок насосов по ГОСТу и номенклатуре завода для всех изучаемых насосов.

ТАБЛИЦА X—4

Величины Тип насоса	$\frac{D_2}{D_0}$	n_s по графику	Марка насоса	
			по ГОСТ	по заводскому обозначению

Для всех изучаемых насосов студентом составляются эскизные чертежи рабочих колес с указанием основных размеров, материала рабочего колеса и числа лопастей.

Работа № 3. Кинематика потока в рабочем колесе центробежного насоса. Цель лабораторной работы № 3: 1) закрепить знания в области теоретических положений кинематических параметров колеса (скорости v_0 , v_m , u и др.); 2) по использованным рабочим колесам проверить теоретические положения расчета колеса; 3) используя размеры колеса и теорию центробежного насоса, определить производительность и напор насоса при заданных оборотах в минуту. Вычерчивают эскиз рабочего колеса рассчитываемого центробежного насоса, на котором указывают основные размеры, определяемые на основе обмера рабочего колеса.

Так как исполненные рабочие колеса не имеют точной обработки после отливки, то обмер производится в нескольких местах и берется среднее из полученных размеров. Результаты обмера рабочего колеса помещают в таблицу X—5.

ТАБЛИЦА X—5

D_2	D_0	$d_{\text{вт}}$	b_2	σ_2	Число лопастей z	Примечание

В таблице X—6 даются величины из каталога для проведения проверочных расчетов.

ТАБЛИЦА X—6

Марка насоса	n , об/мин	Q , л/сек	H , м	N , кВт

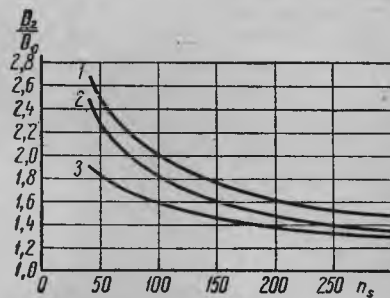


Рис. X—4. График зависимости быстроходности колеса от отношения D_2 к D_0 :

1 — верхний практический предел;
2 — средняя практическая кривая;
3 — нижний практический предел.

- I. Быстроходность n_s об/мин определяют двумя способами:
- а) по графику зависимости n_s от отношения $\frac{D_2}{D_0}$ (рис. X—4);
 - б) по формуле

$$n_s = \frac{3,65n \sqrt{Q}}{H^{3/4}},$$

где n — число оборотов в минуту рабочего колеса;

Q — расход в $м^3/сек$ для колеса с односторонним входом воды на него, например для насоса типа «Д» Q = половине расхода насоса, а типа «К» Q = расходу насоса;

H — напор, приходящийся на одно колесо насоса, $м$.

Процент расхождения

$$\frac{n_s(\text{ф-ла}) - n_s(\text{график})}{n_s(\text{ф-ла})} 100\%.$$

Расчеты показывают, что расхождение получается в пределах 2—3%, следовательно, можно считать, что в практике можно вполне пользоваться первым способом при определении n_s , если нет данных о расходе и напоре насоса.

II. Определение основных кинематических параметров рабочего колеса по данным таблицы X—6 и соответствующим формулам, полученным на основании обобщения расчетных данных из теории центробежного насоса.

Основные кинематические параметры:

v_0 — скорость во входном сечении рабочего колеса, $м/сек$;

u_2 — окружная скорость на выходе с колеса, $м/сек$;

$v_{2,m}$ — меридиональная скорость на выходе, $м/сек$;

k_{u_2} — коэффициент скорости u_2 ;

A — практический коэффициент для определения напора.

Вычертить диаграммы скоростных треугольников на выходе и входе воды в рабочее колесо.

Диаграмма скоростей на выходе из колеса	Диаграмма скоростей при входе на колесо

Расчетные формулы для определения кинематических параметров:

$$1. v_0 = \frac{4Q}{\eta_{об} \pi (D_0^2 - d_{вт}^2)},$$

где Q — расход, проходящий через входное сечение рабочего колеса, $— м^3/сек$;

$\eta_{об}$ — объемный коэффициент полезного действия (см. учебник, стр. 65, табл. 3); можно принимать по соображениям с данными, приведенными в учебнике [69];

D_0 — диаметр входного сечения рабочего колеса, $м$;

$d_{вт}$ — диаметр втулки рабочего колеса, $м$.

Скорость v_0 можно определить по имперической формуле С. С. Руднева:

$$v_0' \cong (0,06 \div 0,08) \sqrt[3]{Qn^2} \text{ м/сек},$$

где Q в $м^3/сек$, n в об/мин. Коэффициент 0,06 рекомендуется принимать для нормальных колес ($n_s = 120$ об/мин), а 0,07—0,08 — для быстроходных.

Определив v'_0 , можно установить расхождение $\frac{v_0 - v'_0}{v_0} 100\%$.

Обычно оно составляет около 10%, что в практических расчетах можно считать допустимым.

2. Окружную скорость определяют по формуле

$$u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} \text{ м/сек},$$

где D_2 — диаметр рабочего колеса, м;

n — число оборотов в минуту.

3. Напор насоса

$$H_{t\infty} = \frac{v_2 u_2 \cos \alpha_2}{g} = \frac{u_2^2 \sin \beta_2 \cos \alpha_2}{g \sin (\alpha_2 + \beta_2)},$$

так как из треугольника скоростей следует, что $v_2 = \frac{u_2 \sin \beta_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)}$.

Теоретический напор $H_t = \chi H_{t\infty}$, а $H = H_t \eta_r$, следовательно,

$$H = \frac{\frac{u_2^2}{g \sin (\alpha_2 + \beta_2)}}{\eta_r \chi \sin \beta_2 \cos \alpha_2} = \frac{u_2^2}{A};$$

значения χ можно брать из учебника (стр. 49) [69].

Коэффициент A имеет размерность $\frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$ и берется из таблицы X—7 в зависимости от быстроходности n_s .

ТАБЛИЦА X—7

n_s	A	K_{u_2}	n_s	A	K_{u_2}
60	19,6	1,0	450	26,5	1,16
100	20,0	1,01	500	28,6	1,21
150	20,2	1,015	550	32,0	1,275
200	20,5	1,02	600	36,0	1,353
250	21,0	1,035	650	41,5	1,480
300	22,0	1,06	700	49,0	1,580
350	23,2	1,085	750	64,0	1,800
400	24,7	1,12	800	86,0	2,070

4. Расход насоса определяют по формуле

$$Q = \eta_{об} \pi D_2 b_2 v_{2,m, \text{испр}} \text{ м}^3/\text{сек},$$

где $\eta_{об}$ — объемный коэффициент полезного действия, принимается, как указано в п. 1 этой работы;

D_2 — диаметр рабочего колеса согласно обмеру (табл. X—5), м;

b_2 — расстояние между дисками на выходе из колеса (табл. X—5), м;

$v_{2,m, \text{испр}}$ — меридиональная скорость потока при выходе из колеса, исправленная на стеснение живого сечения лопастями, м/сек;

Сначала определяют меридиональную скорость без учета стеснения живого сечения по формуле

$$v_{2,m} = K_{v_{2,m}} \sqrt{2gH_t} \text{ м/сек}.$$

Коэффициент скорости $v_{2,m}$ можно определить из формулы

$$K_{v_{2,m}} = (0,01 \div 0,02) \sqrt{n_s},$$

где постоянная величина перед корнем берется в пределах 0,01—0,015 для насосов с n_s от 50 до 300 об/мин и 0,015—0,02 для насосов с $n_s > 300$ об/мин.

Для некоторых значений n_s можно $K_{v_{2,m}}$ брать из таблицы X—8.

ТАБЛИЦА X—8

n_s , об/мин	60	100	150	200	250
$K_{v_{2,m}}$	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15

Теоретический напор H_t определяется из формулы

$$u_2 = K_{u_2} \sqrt{2gH_t},$$

откуда

$$H_t = \frac{u_2^2}{K_{u_2}^2 2g},$$

где u_2 — окружная скорость, м/сек;

K_{u_2} — коэффициент скорости u_2 , берется из таблицы X—7.

Коэффициент стеснения живого сечения на выходе из колеса определяется по формуле

$$\psi = \frac{\pi D_2 b_2 - b_2 \sigma_2 z}{\pi D_2 b_2} = \frac{\pi D_2 - \sigma_2 z}{\pi D_2},$$

где D_2 — диаметр рабочего колеса, м;

σ_2 — толщина лопастей на окружности при сходе с колеса, м;

z — число лопастей.

Исправленная меридиональная скорость

$$v_{2,m,испр} = \frac{v_{2,m}}{\psi} \text{ м/сек.}$$

Подставляя полученную скорость $v_{2,m,испр}$ в формулу расхода, определяем расход насоса.

Можно установить расхождение между полученным расходом и взятым из каталога:

$$\frac{Q - Q_{кат}}{Q} 100\%.$$

Обычно расхождение составляет около 10%.

Пользуясь изложенным методом расчета, можно с достаточной практической точностью определить напор и расход насоса по размерам колеса и принятой скорости его вращения.

Работа № 4. Нормальные испытания установки с центробежным насосом. В процессе работы устанавливают зависимость напора, эффективной мощности (на валу насоса) и коэффициента полезного действия от подаваемого расхода при постоянном числе оборотов в минуту.

Испытания проводятся в соответствии с ГОСТ—58. По ГОСТ требуется подавать не менее 12 различных расходов для центробежного насоса, охватывая расход от 0 при закрытой регулирующей задвижке до $Q_{макс}$, соответствующего полному открытию задвижки.

Практически на учебные лабораторные работы отводится мало времени, поэтому приходится ограничиваться 7—8 замерами.

На рисунках X—5 представлена схема насосной установки, подлежащей испытанию. Насос приводится от асинхронного электродвигателя. Подача расхода регулируется задвижкой. Опытный расход замеряется одним из рекомендованных способов для малых подач: объемным, весовым, водосливом, водомером, тщательно протарированными.

По рисунку X—5 измерение расхода осуществляется при помощи треугольного водослива, что довольно часто применяется в учебных лабораториях.

При каждой подаче воды замеряются напор, мощность и число оборотов.

Для рассматриваемой насосной установки

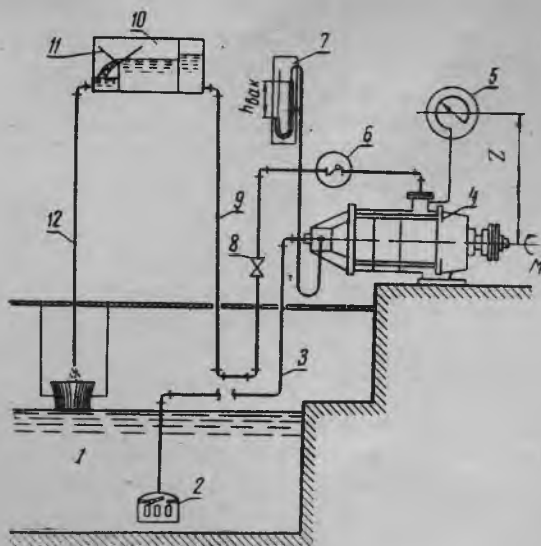


Рис. X—5. Схема насосной установки:

1 — резервуар; 2 — приемный клапан; 3 — всасывающая труба; 4 — центробежный насос; 5 — манометр; 6 — обратный клапан; 7 — вакуумметр; 8 — регулирующий клапан; 9 — напорный трубопровод; 10 — напорный бак; 11 — треугольный водослив; 12 — сливная труба.

$$H_{\text{изм}} = h_{\text{сак}} + h_{\text{ман}} + z + \frac{v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2}{2g},$$

где $h_{\text{вак}}$ — показание вакуумметра, *м вод. ст.*;
 $h_{\text{ман}}$ — показание манометра, *м вод. ст.*;
 z — расстояние между точками замера, *м*: в напорной части берется точка на уровне стрелки манометра, во всасывающей части точка прикрепления вакуумметра;
 $v_{\text{н}}$ и $v_{\text{в}}$ — скорости в нагнетательном и всасывающем патрубках, *м/сек.*

Обычно вакуумметры применяются ртутные, а манометры — пружинные со шкалой давления, выраженной в кг/см^2 , поэтому

$$h_{\text{вак}} = 0,0136 h_{\text{вак м.м. рт.ст.}} = \text{м вод. ст.};$$

$$h_{\text{ман}} = 10p \text{ кг/см}^2 = \text{м вод. ст.}$$

При других насосных установках напор определяют согласно указаниям, данным в главе XI.

Мощность, подведенную к электродвигателю N_0 , измеряют при помощи электроизмерительного прибора — киловаттметра, обычно присоединенного через трансформатор тока.

Следовательно

$$N_0 = K_{\text{тр}} W \text{ кВт},$$

где $K_{\text{тр}}$ — коэффициент трансформации;
 W — показание прибора, *кВт*;

Зная к.п.д. двигателя $\eta_{\text{дв}}$, на основании его характеристики определяют мощность, измеренную на валу насоса $N_{\text{изм}} = N_0 \eta_{\text{дв}}$ *кВт*. Асинхронные электродвигатели имеют переменное число оборотов в зависимости от мощности N_0 , поэтому необходимо замерять число оборотов вращения вала двигателя при помощи тахоскопов или счетчиков оборотов.

Так как насос непосредственно соединен с электродвигателем, то и числа оборотов у них будут одинаковые.

Для сравнения полученных результатов испытания с паспортными данными насоса последние берут из каталога при $\eta_{\max}$:

$$H = \dots \text{ м}, Q = \dots \text{ л/сек}, N = \dots \text{ кВт}, n = \dots \text{ об/мин.}$$

Измеренные $Q_{\text{изм}}, H_{\text{изм}}, N_{\text{изм}}$ приводят к постоянному числу оборотов насоса n , пользуясь законами динамического подобия. Отношение чисел оборотов $i_n = \frac{n}{n_{\text{изм}}}$, следовательно,

$$Q = i_n Q_{\text{изм}}; \quad H = i_n^2 H_{\text{изм}}; \quad N = i_n^3 N_{\text{изм}}.$$

По этим данным строят характеристики насоса:

$$H = f(Q); \quad N = f(Q) \text{ и } \eta = f(Q).$$

К. п. д. вычисляют по формуле $\eta = \frac{\gamma Q H}{102 N}$.

После получения характеристик насоса в результате проведенных испытаний определяют расхождение их в % с паспортными данными.

Данные опытных измерений помещают в таблицу X—9.

ТАБЛИЦА X—9

Наименование приборов	Размерность	№ опыта						
		1	2	3	4	5	6	7
Показание вакуумметра V	мм рт. ст.							
Показание манометра M	ати							
Показание киловаттметра	квт							
Коэффициент трансформации тока $K_{\text{тр}}$								
Подача насоса Q	л/сек							
Скорость вращения электродвигателя $n_{\text{изм}}$	об/мин							

В таблице X—10 производится обработка опытных данных по приведенным выше формулам.

ТАБЛИЦА X—10

Наименование величин	№ опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Показание вакуумметра $h_{\text{вак}},$ м вод. ст.							
Показание манометра $h_{\text{ман}},$ м вод. ст.							
Напор насоса $H_{\text{изм}},$ м вод. ст.							
Подводимая к электродвигателю мощность $N_0,$ квт							
Мощность на валу насоса $N_{\text{изм}},$ квт							
Скорость вращения электродвигателя $n_{\text{изм}},$ об/мин							
Множитель $i_n = \frac{n}{n_{\text{изм}}}$							
» i_n^2							
» i_n^3							
Расход $Q,$ л/сек							
Напор $H,$ м вод. ст.							
Мощность $N,$ квт							
Коэффициент полезного действия $\eta,$ %							

Работа № 5. Кавитационные испытания центробежного насоса. Кавитационными испытаниями устанавливают зависимость допустимой высоты всасывания $H_{\text{в.доп}}$ от подачи в рабочей области насоса, то есть в пределах максимальных к. п. д., устанавливаемых заводом на характеристике. Испытания проводят при четырех различных расходах насоса в этой области.

Цель работы состоит в изучении методики кавитационных испытаний лопастных и вихревых насосов и установлении $H_{\text{в.п.доп}}$ в соответствии с ГОСТ 6134—58 на одном режиме (расходе), так как из-за недостатка учебного времени не представляется возможным провести полные кавитационные испытания.

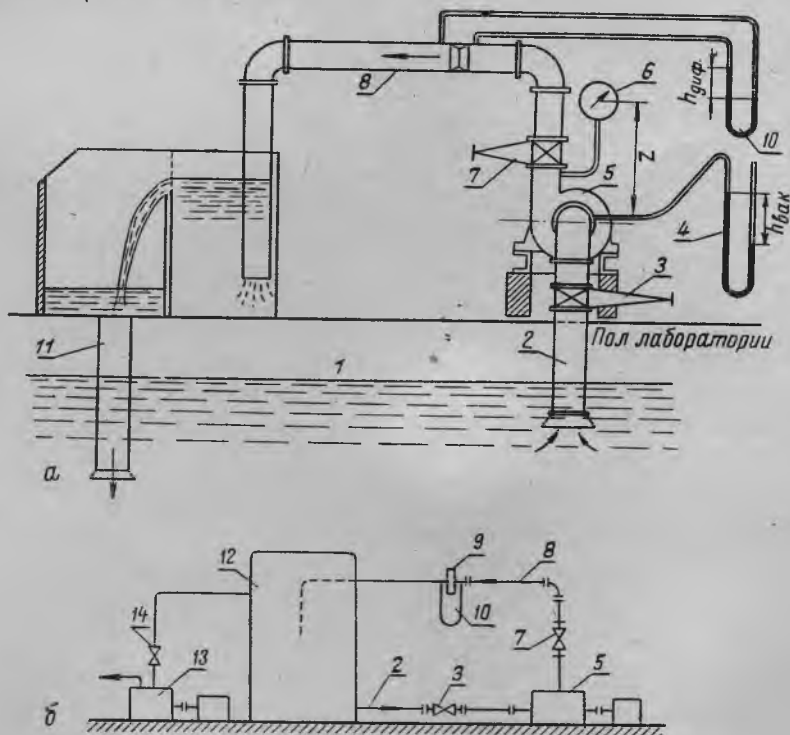


Рис. X—6. Схема стан­дов открытой (а) и закрытой (б) кавитационных насосных установок:

1 — резервуар; 2 — всасывающая труба; 3 — задвижка; 4 — вакуумметр; 5 — центробежный насос; 6 — манометр; 7 — регулирующая задвижка; 8 — напорный трубопровод; 9 — диафрагма; 10 — дифманометр; 11 — сливная труба; 12 — бак; 13 — вакуум-насос; 14 — задвижка.

Кавитационные испытания могут проводиться на открытой и закрытой кавитационных насосных установках. На рисунке X—6, а дана схема открытого кавитационного стенда лаборатории насосных установок Московского гидромелиоративного института, а на рисунке X—6, б — схема закрытого кавитационного стенда.

Основные данные этой кавитационной установки:

насос марки 4К-18;

диаметр рабочего колеса $D_2 = 148$ мм;

диаметр всасывающего патрубка $d_{\text{в}} = 95$ мм;

площадь живого сечения $F_{\text{в}} = \frac{\pi d_{\text{в}}^2}{4} = 0,0071$ м²;

диаметр напорного патрубка $d_{\text{н}} = 80$ мм;

площадь $F_{\text{н}} = \frac{\pi d_{\text{н}}^2}{4} = 0,00502$ м²;

двигатель (на одном валу с насосом) марки А51-2;
число оборотов двигателя $n=2950$ об/мин;
к. п. д. двигателя $\eta_{дв}=0,87$;
расстояние между точками замера давлений $z=0,61$ м;
расстояние от оси насоса до точки прикрепления вакуумметра
 $y=0$;

жидкость — вода.

Кавитационные испытания проводятся для выбранного режима в такой последовательности.

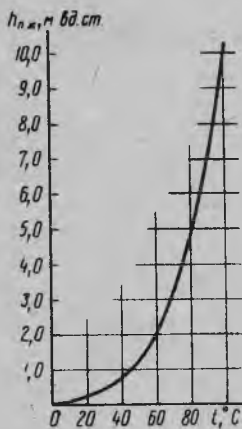


Рис. X—7. Кривая зависимости $h_{п.ж}$ от температуры перекачиваемой жидкости.

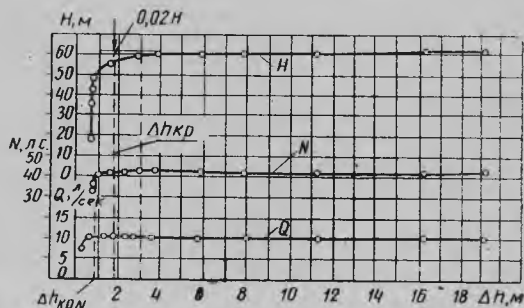


Рис. X—8. Кавитационная характеристика насоса.

В результате испытаний необходимо получить критический кавитационный запас $\Delta h_{кр}$.

Его определяют по формуле

$$\Delta h_{кр} = H_a - h_{п.ж} - H_{в.п.},$$

где

H_a — атмосферное давление, берется по барометру;
 $h_{п.ж}$ — давление паров жидкости, берется по кривой зависимости, представленной на рисунке X—7;

$$H_{в.п.} = h_{вак} - \frac{v_B^2}{2g} \text{ — приведенная высота всасывания.}$$

Из формулы видно, что при постоянных H_a и t перекачиваемой жидкости с увеличением $H_{в.п.}$ уменьшается кавитационный запас и в определенный момент становится критическим, что обуславливает начало кавитации.

Согласно ГОСТ критический кавитационный запас $\Delta h_{кр}$ берется для точки, устанавливающей снижение напора, мощности, к. п. д. и расхода на 2% от H , N , η и Q .

При этом $\Delta h_{кр}$ берется по той характеристике (H , N , η и Q), которая определяет большее значение $\Delta h_{кр}$, что ясно показано на рисунке X—8. Согласно рисунку, значение $\Delta h_{кр}$ надо принять по характеристике H .

Методика проведения кавитационных испытаний на открытом стенде следующая.

Для выбранного режима — расхода при полностью открытой задвижке, установленной на всасывающей трубе (задвижка № 1), измеряют показания манометра M атм, вакуумметра V мм рт. ст., ваттметра W вт или кВт, число оборотов в минуту (n) вала-двигателя и определяют:

напор по формуле

$$H = h_{вак} + h_{ман} + z + \frac{v_H^2 - v_B^2}{2g},$$

эффективную мощность (на валу насоса)

$$N = K_{\text{тр}} W \eta_{\text{дв}} \text{ кВт},$$

где $K_{\text{тр}}$ — коэффициент трансформации тока присоединенного кило-
ваттметра; $\eta_{\text{дв}}$ — к. п. д. двигателя; к. п. д. насоса $\eta = \frac{\gamma Q H}{102 N}$ и Δh .

Затем повышают сопротивления во всасывающей линии, прикрывая задвижку № 1, чем достигается увеличение $H_{\text{в.п.}}$. Для сохранения принятого режима приоткрывают задвижку на напорной линии (задвижку № 2), так как с увеличением $H_{\text{в.п.}}$ расход уменьшается из-за увеличения напора. После установления принятого режима берут показания всех приборов и вычисляют все необходимые величины. Опыт продолжают до тех пор, пока будут использованы все возможности восстановления принятого режима задвижкой № 2 и будет зафиксировано падение расхода и других величин (N, H, η).

Результаты показаний приборов помещают в таблицу X—11.

ТАБЛИЦА X—11

Таблица измерений при кавитационных испытаниях насоса марки _____

Постоянные величины: атмосферное давление $P_{\text{атм}}$ _____ мм рт. ст. Температура t°
воды _____, $F_{\text{в}}$ _____ м^2 , z _____ м, $F_{\text{н}}$ _____ м^2

Наименование величин	№ опытных точек						
	1	2	3	4	5	6	7
Расход Q , л/сек							
Показания манометра M , атм							
Показания вакуумметра V , мм рт. ст.							
Число оборотов $n_{\text{об}}$ в минуту							
Показания ваттметра W в единицах прибора							
Количество оборотов задвижки на всасывающей линии							
Наблюдения за началом кавитации							

В таблице X—12 проводится обработка опытных данных.

По результатам таблицы X—12 строится кавитационная характеристика (рис. X—8) и определяется $\Delta h_{\text{кр}}$.

Работа № 6. Испытание объемного (поршневого) насоса. В этой работе студент знакомится с пуском, остановкой, действием насоса и в результате исследований определяет коэффициенты полезного действия и строит характеристику объемного насоса (см. рис. X—10).

Пуск объемного насоса осуществляется при открытых задвижках, потому что расход объемного насоса не зависит от напора, а напор может быть бесконечно большим, что соответствует случаю полностью закрытой задвижки. Это обуслов-

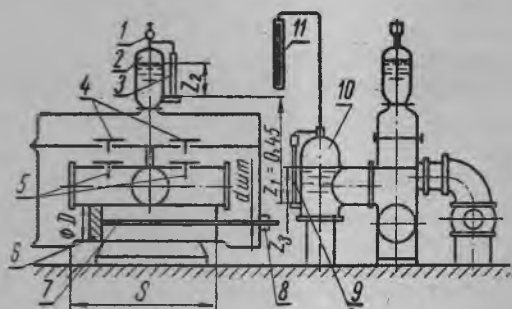


Рис. X—9. Схема насосной установки с объемным (поршневым) насосом двойного действия:

1 — манометр; 2 — нагнетательный колпак; 3 — водомерное стекло нагнетательного колпака; 4 — нагнетательные клапаны; 5 — всасывающие клапаны; 6 — поршень; 7 — шток; 8 — сальник; 9 — водомерное стекло всасывающего колпака; 10 — всасывающий колпак; 11 — вакуумметр, z_1 — постоянное расстояние между низом водомерных стекол всасывающего и нагнетательного колпаков.

Обработка опытных результатов

Постоянные величины: H_a м вод. ст.; $h_{п.ж}$ м вод. ст. Коэффициент запаса на кавитацию $K=$

Наименование величин	№ опытных точек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Показания вакуумметра $h_{\text{вак}}$, м вод. ст.								
Показания манометра M_0 , приведенные к оси насоса, $M_0 = h_{\text{ман}} + z \pm \pm y$, м вод. ст.								
Напор $H_{\text{оп}}$, м вод. ст.								
Расход $Q_{\text{оп}}$, л/сек								
Скорость v_v , м/сек								
Скоростной напор $\frac{v_v^2}{2g}$, м								
Скорость v_n , м/сек								
Скоростной напор $\frac{v_n^2}{2g}$, м								
Разность скоростных напоров $\frac{v_n^2 - v_v^2}{2g}$, м вод. ст.								
$H_{в.п} = h_{\text{вак}} - \frac{v_v^2}{2g}$, м вод. ст.								
Кавитационный запас $\Delta h_{\text{оп}}$, м вод. ст.								
Подводимая к электродвигателю мощность N_0 , кВт								
Мощность на валу насоса $N_{\text{оп}} = 0,87N_0$, кВт								
Коэффициент $i_n = \frac{n_{\text{const}}}{n_{\text{оп}}}$								
i_n^2								
i_n^3								
Расход $Q = Q_{\text{оп}} i_n$, л/сек								
Напор $H = H_{\text{оп}} i_n^2$, м								
Мощность $N = N_{\text{оп}} i_n^3$, кВт								
Кавитационный запас $\Delta h = \Delta h_{\text{оп}} i_n^2$, м								
Критический кавитационный запас $\Delta h_{\text{кр}}$, м вод. ст. (определить по графику)								
Допустимый кавитационный запас $\Delta h_{\text{доп}} = K \Delta h_{\text{кр}}$, м								
Допустимая приведенная высота всасывания $H_{в.п.доп} = H_{\text{атм}} - h_{п.ж} - \Delta h_{\text{доп}}$, м								

ливают и бесконечно большую мощность, следовательно с двигателем произойдет авария в случае пуска насоса с закрытой задвижкой.

На рисунке X—9 дана схема насосной установки с объемным насосом двойного действия.

Требуется определить объемный, гидравлический, механический и общий коэффициенты полезного действия. Объемный к. п. д. есть отношение расхода насоса к теоретическому расходу $\eta_{об} = \frac{Q}{Q_t}$.

Расход насоса Q определяется одним из способов замера расхода: объемным, весовым, водосливом и т. д.

Теоретический расход для насоса двойного действия

$$Q_t = \frac{(2F_n - f_{шт}) S n}{60} = \frac{\pi (2D_n^2 - d_{шт}^2) S n}{4 \cdot 240} \text{ л/сек},$$

где D_n — диаметр поршня, $дм$; $d_{шт}$ — диаметр штока, $дм$; S — ход поршня, $дм$; n — число двойных ходов поршня в минуту.

У поршневого насоса D_n , $d_{шт}$ и S неизменны для рассматриваемой конкретной установки, следовательно теоретический расход можно выразить $Q_t = K n$ л/сек, то есть Q_t зависит только от числа двойных ходов поршня в минуту.

Объемные потери происходят за счет проскакивания части объемов жидкости при закрытии клапанов в моменты резкой перемены давлений, просачивания через сальники и между стенками цилиндра и поршня, вследствие их сработки.

Гидравлический к. п. д. есть отношение напора насоса H к индикаторному напору H_i :

$$\eta_r = \frac{H}{H_i}.$$

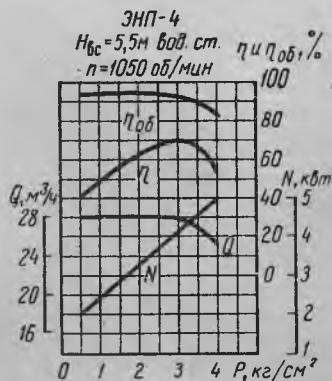


Рис. X—10. Вид характеристики объемного насоса.

Напор насоса определяется по формуле $H = h_{\text{вак}} + h_{\text{ман}} + z + \frac{v_n^2 - v_b^2}{2g}$,

где z — берется как разность отметок горизонтов воды в нагнетательном и всасывающем колпаках. Для схемы, приведенной на рисунке X—9, $z = z_1 + z_2 - z_3$. Индикаторный напор вычисляют по среднему индикаторному давлению, которое определяется по индикаторным диаграммам, снятым при работе правой и левой рабочих камер.

При помощи планиметра определяют площади индикаторных диаграмм справа $\omega_{i,пр}$ и слева $\omega_{i,л}$.

$$\omega_{i,ср} = \frac{\omega_{i,пр} + \omega_{i,л}}{2}.$$

Среднее индикаторное давление

$$p_{i,ср} = \frac{\omega_{i,ср}}{S'},$$

где S' — ход поршня в масштабе диаграммы.

$$H_i = \frac{p_{i,ср} 10000}{\gamma} = 10 p_{i,ср} \text{ м.}$$

Если проиндигировать давление при различных показаниях манометра, то можно получить функциональную зависимость $p_{i,ср}$ от $p_{\text{ман}}$ и при

ТАБЛИЦА X—13

Наименование величин	№ опыта					
	1			2		
	мин.	макс.	ср.	мин.	макс.	ср.
Показание вакуумметра v , мм рт. ст.						
Показание манометра M , кг/см ²						
Расстояние z_2 , м						
Расстояние z_3 , м						
Ваттметр W , вт						
Число двойных ходов в минуту n						
Расход Q , л/сек						
Среднее индикаторное давление $p_{i,ср}$, кг/см ²						

ТАБЛИЦА X—14

Наименование величин	№ опыта			
	1	2	3	4
Показание вакуумметра $h_{\text{вак}}$, м рт. ст.				
Показание манометра $h_{\text{ман}}$, м вод. ст.				
Расстояние z , м				
Напор насоса H , м вод. ст.				
Теоретический расход Q_t , л/сек				
Индикаторный напор H_i , м вод. ст.				
Мощность, подводимая к электродвигателю N_0 , кВт				
Мощность на валу насоса N , кВт				
Индикаторная мощность N_i , кВт				
Объемный к. п. д. $\eta_{об}$, %				
Гидравлический к. п. д. η_g , %				
Механический к. п. д. $\eta_{мех}$, %				
Общий к. п. д. насоса по формуле 1				
Общий к. п. д. насоса по формуле 2				

проведении испытаний пользоваться зависимостью $p_{i,ср} = f(p_{\text{ман}})$, что для учебных целей очень удобно.

Гидравлические потери затрачиваются на гидравлические сопротивления при движении жидкости через насос.

Механический к. п. д. есть отношение индикаторной мощности к эффективной:

$$\eta_{\text{мех}} = \frac{N_i}{N}; \quad N_i = \frac{\gamma Q_t H_i}{102} = \frac{Kn10p_{i,ср}}{102} \text{ кВт}$$

при Q_t в л/сек.

Мощность на валу насоса

$$N = K_{\text{тр}} W \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{перед}} \text{ кВт},$$

где $K_{\text{тр}}$ —коэффициент трансформации тока присоединенного электроизмерительного прибора;

W —показание киловаттметра;

$\eta_{\text{дв}}$ —к. п. д. двигателя;

$\eta_{\text{перед}}$ —к. п. д. передачи от двигателя к насосу.

Общий к. п. д. насоса $\eta = \eta_{об} \eta_g \eta_{мех}$ или $\eta = \frac{\gamma Q H}{102 N}$.

По обеим формулам должны получиться одинаковые результаты.

Результаты опытов записывают в таблицу X—13, причем ввиду того что у объемных насосов при работе наблюдаются резкие колебания, то приходится брать минимальные и максимальные показания и для расчета получать среднее значение. В форме таблицы X—14 выполняют вычисления по определению необходимых величин. На рисунке X—10 дан вид характеристики объемного насоса.

Задание № 1. Определение полной высоты подъема и мощности насосной установки. Регулирование работы насосной установки задвижкой

Это задание практически знакомит студентов с понятиями полного напора насоса, геодезической, приведенной и вакуумметрической высот всасывания, геодезической и манометрической высот нагнетания, полезной и эффективной мощности и к. п. д. насосной установки. Кроме того, задание на конкретном примере показывает влияние регулирующей задвижки на работу насоса.

На рисунке XI—1 даны три схемы насосной установки, встречающиеся в производстве. На схеме № 1 (рис. XI—1, а) показана насосная установка, имеющая отметку нижнего бьефа ниже, а верхнего бьефа выше отметки оси насоса, что обуславливает положительную высоту всасывания. В схеме № 2 (рис. XI—1, б) отметки нижнего и верхнего бьефов расположены ниже отметки оси насоса; такая насосная установка называется сифонной. В схеме № 3 (рис. XI—1, в) отметки нижнего и верхнего бьефов расположены выше отметки оси насоса, следовательно насос затоплен, то есть имеет отрицательную высоту всасывания.

Полный напор насоса можно определить вакуумметром и манометром, которые устанавливают на всасывающем и напорном патрубках насоса, по следующим формулам:

для схемы № 1

$$H = h_{\text{вак}} + h_{\text{ман}} + z + \frac{v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2}{2g},$$

где $h_{\text{вак}}$ и $h_{\text{ман}}$ — показания вакуумметра и манометра, *м вод. ст.*;
 $v_{\text{в}}$ и $v_{\text{н}}$ — скорости во всасывающем и нагнетательном патрубках, *м/сек*;

$z = \frac{d_1}{2} + 0,3 - \frac{d_3}{4}$ — расстояние между точками замера давлений в нагнетательном и всасывающем патрубках (рис. XI—1, а);

для схемы № 2

$$H = h_{\text{вак}} - h'_{\text{вак}} + z + \frac{v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2}{2g}$$

(так как установка сифонная, оба прибора вакуумметры);

$$z = -\frac{d_1}{2} - \frac{d_3}{4} \quad (\text{рис. XI—1, б});$$

для схемы № 3

$$H = -h'_{\text{ман}} + h_{\text{ман}} + z + \frac{v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2}{2g}$$

(в данном случае оба прибора манометры);

$$z = \frac{d_1}{2} + 0,3 - \frac{d_3}{2} - 0,3 \text{ (рис. XI—1, в).}$$

При установке приборов над патрубками на одинаковой высоте и при $d_3 > d_1$ величина z приобретает отрицательное значение.

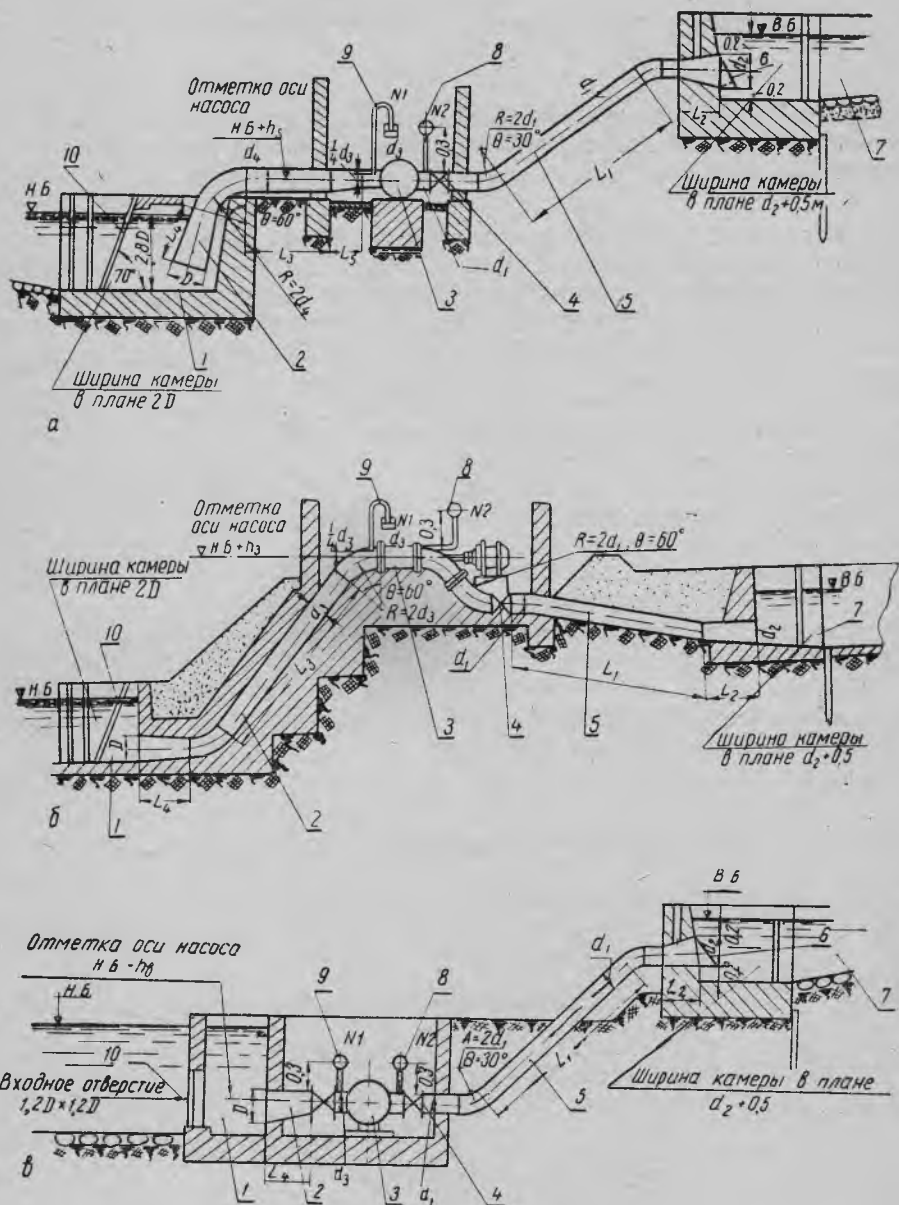


Рис. XI—1. Схема насосных установок:

а — схема № 1; б — схема № 2; в — схема № 3; 1 — водоприемная камера; 2 — всасывающая труба; 3 — насос; 4 — регулирующая задвижка; 5 — напорный трубопровод; 6 — затвор; 7 — водоприемник; 8 — прибор № 2; 9 — прибор № 1; 10 — сороудерживающая решетка.

Пример. Для насосной установки, изображенной на рисунке XI—1, б, дано:

- 1) максимальный расход при полностью открытой задвижке $Q=1,2 \text{ м}^3/\text{сек}$;
- 2) отметка горизонта воды в нижнем бьефе $2,2 \text{ м}$;
- 3) отметка горизонта в верхнем бьефе $3,7 \text{ м}$;

- 4) диаметры трубопроводов: $d_1=900$ мм; $d_2=1100$ мм; $d_3=d_4=1100$ мм; $D=1300$ мм;
 5) длина трубопроводов: $l_1=20$ м; $l_2=3$ м; $l_3=3,5$ м; $l_4=2$ м;
 6) геодезическая высота всасывания $h_{\text{в}}=2,4$ м.
 Определить:
 1) полный подъем насоса

$$H = h_{\text{г}} + h_{\text{т}} + \frac{v_{\text{в.у}}^2 - v_{\text{н.у}}^2}{2g},$$

где $h_{\text{г}}$ — геодезический напор, м;
 $h_{\text{т}}$ — сумма гидравлических потерь во всасывающем и напорном трубопроводах, м;
 $v_{\text{н.у}}$ и $v_{\text{в.у}}$ — скорости жидкости в водоприемном и водовыпускном сооружениях (н. б. и в. б.), м/сек;

2) по показаниям приборов № 1 и 2 напор насосной установки H , м;

3) стоимость энергии за 200 дней работы насосной установки при 21-часовой работе за сутки (стоимость электроэнергии 1 коп. за кВт·ч, к.п.д. насоса $\eta_{\text{н}}=0,82$, к.п.д. электродвигателя $\eta_{\text{дв}}=0,92$);

4) сопротивление задвижки $\zeta_{\text{задв}}$ (с прикрытой задвижкой мощность на валу насоса N увеличивается на 25%, напор увеличивается на 40%, к.п.д. насоса уменьшается на 15% от нормальных значений, а к.п.д. двигателя не изменяется);

5) показание прибора № 2 при прикрытой задвижке.

Определение полного подъема напора. Геодезический напор равен разности отметок в.б. и н.б. $H_{\text{г}} = \nabla_{\text{в.б.}} - \nabla_{\text{н.б.}} = 3,7 - 2,2 = 1,5$ м. Сумма гидравлических потерь $h_{\text{т}}$ складывается из потерь в решетке $h_{\text{р}}$, при входе во всасывающую трубу $h_{\text{вх}}$, в сходящемся конусе $l_4 - h_{\text{кон.с.}}$, в закруглении при $R=2d_4 - h_{\text{закр}}$, по длине $l_3 - h_{l_3}$, в закруглении при подходе к задвижке $R=2d_1 - h_{\text{закр}}$, в задвижке за насосом $h_{\text{задв}}$, по длине трубы $l_1 - h_{l_1}$, в расширяющемся конусе $l_2 - h_{\text{кон.р}}$ и на выходе из трубопровода $h_{\text{вых}}$. При определении потерь пользуемся гидравлическим справочником М. А. Мосткова (1954 г.).

Определяем скорости в различных сечениях потока и соответствующие им скоростные напоры.

Скорость воды в водозаборном сооружении при площади живого сечения $\omega = (D+1,0) \cdot 2D = (1,3+1,0) \cdot 2 \cdot 1,3 = 6$ м².

$$v_{\text{н.у}} = \frac{Q}{\omega} = \frac{1,2}{6,0} = 0,2 \text{ м/сек}; \quad \frac{v_{\text{н.у}}^2}{2g} = \frac{0,2^2}{19,62} = 0,002 \text{ м.}$$

Скорость во входном сечении трубы диаметром $D=1,3$ м

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 1,2}{3,14 \cdot 1,3^2} = 0,9 \text{ м/сек}; \quad \frac{v^2}{2g} = \frac{0,9^2}{19,62} = 0,041 \text{ м.}$$

Скорость в трубопроводах диаметром $d_2=d_3=d_4=1,1$ м

$$v_2=v_3=v_4 = \frac{4 \cdot 1,2}{3,14 \cdot 1,1^2} = 1,26 \text{ м/сек}; \quad \frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_3^2}{2g} = \frac{v_4^2}{2g} = \frac{1,26^2}{19,62} = 0,082 \text{ м.}$$

Скорость в трубопроводе диаметром $d_1=0,9$ м

$$v_1 = \frac{4 \cdot 1,2}{3,14 \cdot 0,9^2} = 1,88 \text{ м/сек}; \quad \frac{v_1^2}{2g} = \frac{1,88^2}{19,62} = 0,181 \text{ м.}$$

Скорость воды в водовыпускном сооружении:

$$v_{\text{в.у}} = \frac{Q}{(d_2+0,4)(d_2+0,5)} = \frac{1,2}{(1,1+0,4)(1,1+0,5)} = 0,5 \text{ м/сек};$$

$$\frac{v_{\text{в.у}}^2}{2g} = \frac{0,5^2}{19,62} = 0,013 \text{ м.}$$

Определяем потери напора во всасывающей линии.

1. Потери напора в сороудерживающей решетке, состоящей из стержней прямоугольной формы, толщиной $s=1$ см и шириной $l=10$ см; просвет между стержнями $b=5$ см; угол наклона решетки $\alpha=70^\circ$

$$h_{\text{р}} = K_{\text{р}} \left(\frac{s}{s+b} \right)^{1,6} \cdot \left(2,3 \frac{l}{b} + 8 + 2,9 \frac{b}{l} \right) \sin \alpha \frac{v_{\text{н.у}}^2}{2g} =$$

$$= 0,504 \left(\frac{1}{1+5} \right)^{1,6} \left(2,3 \frac{10}{5} + 8 + 2,9 \frac{5}{10} \right) 0,94 \cdot 0,002 = 0,388 \cdot 0,002 \cong 0,0008 \text{ м.}$$

2. Потери напора при входе в трубу, имеющую острые кромки,

$$h_{вх} = \zeta_{вх} \frac{v^2}{2g} = 0,5 \cdot 0,041 = 0,0205 \text{ м.}$$

3. Потери напора в сходящемся конусе.

Определяем угол конусности θ :

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{D - d_4}{2l_4} = \frac{1,3 - 1,1}{2 \cdot 2} = 0,05; \quad \theta = 6^\circ;$$

$$\zeta_{кон-с} = 0,07; \quad h_{кон-с} = \zeta_{кон-с} \frac{v_4^2}{2g} = 0,07 \cdot 0,082 = 0,0058 \text{ м.}$$

4. Потери напора в двух закруглениях при $\theta = 60^\circ$, $R = 2,2 \text{ м}$ и $v_3 = 1,26 \text{ м/сек}$; $\zeta_{закр} = 0,23$:

$$h_{закр} = 2\zeta_{закр} \frac{v_3^2}{2g} \cdot \frac{\theta}{90} = 2 \cdot 0,23 \cdot 0,082 \cdot \frac{60}{90} = 0,025 \text{ м}$$

(см. гидравлический справочник, табл. 10,5).

5. Потери напора на трение по длине l_3 при коэффициенте шероховатости $n = 0,013$, $d_3 = 1100 \text{ мм}$ и $v_3 = 1,26 \text{ м/сек}$; $\zeta_{l_3} = 0,00124$;

$h_{l_3} = \zeta_{l_3} l_3 = 0,00124 \cdot 3,5 = 0,0043 \text{ м}$ (см. гидравлический справочник табл. 9,4).

Всего во всасывающей линии потери напора составляют $h_{тв} = 0,0008 + 0,0205 + 0,0058 + 0,025 + 0,0043 \cong 0,056 \text{ м}$.

Определяем потери напора в нагнетательной линии.

1. Потери напора в закруглении при $\theta = 60^\circ$, $R = 1,8 \text{ м}$ и $v_1 = 1,88 \text{ м/сек}$; $\zeta_{закр} = 0,23$:

$$h_{закр} = \zeta_{закр} \frac{v_1^2}{2g} \cdot \frac{\theta}{90} = 0,23 \cdot 0,181 \cdot \frac{60}{90} = 0,028 \text{ м.}$$

2. Потери напора в полностью открытой задвижке при $\zeta_{зав} = 0,07$:

$$h_{зав} = \zeta_{зав} \frac{v_1^2}{2g} = 0,07 \cdot 0,181 = 0,0127 \text{ м.}$$

3. Потери напора на трение по длине l_1 при $n = 0,013$, $d_1 = 900 \text{ мм}$ и $v_1 = 1,88 \text{ м/сек}$ $\zeta_{l_1} = 0,00355$; $h_{l_1} = \zeta_{l_1} l_1 = 0,00355 \cdot 20 = 0,071 \text{ м}$

(см. гидравлический справочник, табл. 9, 4).

4. Потери напора в конусе, расширяющемся с d_1 до d_2 . Определяем угол конусности θ : $\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{d_2 - d_1}{2l_2} = \frac{1,1 - 0,9}{2 \cdot 3} = 0,033$;

$$\theta = 3^\circ 46';$$

$$\zeta_{кон-р} = 0,06; \quad h_{кон-р} = \zeta_{кон-р} \frac{v_1^2}{2g} = 0,06 \cdot 0,181 = 0,011 \text{ м.}$$

5. Потери напора на выход

$$h_{вых} = \frac{(v_2 - v_{в.у})^2}{2g} = \frac{(1,26 - 0,5)^2}{19,62} = 0,03 \text{ м.}$$

Суммарные потери в нагнетательной линии

$$h_{т-н} = 0,028 + 0,0127 + 0,071 + 0,011 + 0,03 \cong 0,153 \text{ м.}$$

Сумма потерь напора в насосной установке

$$h_{т} = h_{т-в} + h_{т-н} = 0,056 + 0,153 \cong 0,21 \text{ м.}$$

Полный подъем насоса

$$H = H_{г} + h_{т} + \frac{v_{в.н}^2 - v_{п.у}^2}{2g} = 1,5 + 0,21 + 0,013 - 0,002 = 1,72 \text{ м.}$$

Определение показаний приборов № 1 и 2 и полного подъема насоса по формуле

$$H = h_{вак} - h'_{вак} + z + \frac{v_{н}^2 - v_{в}^2}{2g}.$$

Так как ось насоса расположена выше отметки нижнего бьефа, прибором № 1 должен быть вакуумметр.

Для определения показания этого вакуумметра напомним уравнение Д. Бернулли, приняв за плоскость сравнения нижний горизонт воды (н.г.) $x-x$ (рис. XI—2):

$$\frac{p_a}{\gamma} + \frac{v_{н.у}^2}{2g} = h_b + y + \frac{v_b^2}{2g} + h_{т.в} + \frac{p_b}{\gamma},$$

следовательно

$$\frac{p_a - p_b}{\gamma} = \frac{p_{\text{вак}}}{\gamma} = h_{\text{вак}} = h_b + y + \frac{v_b^2 - v_{н.у}^2}{2g} + h_{т.в}.$$

Согласно рисунку XI—2,

$$y = \frac{1}{4} d_2 = \frac{1}{4} \cdot 1,1 = 0,275 \text{ м}; \quad v_b = v_2.$$

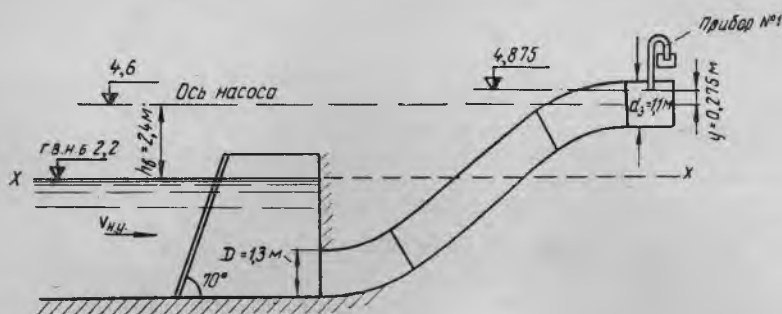


Рис. XI—2. Расчетная схема для определения показаний прибора № 1.

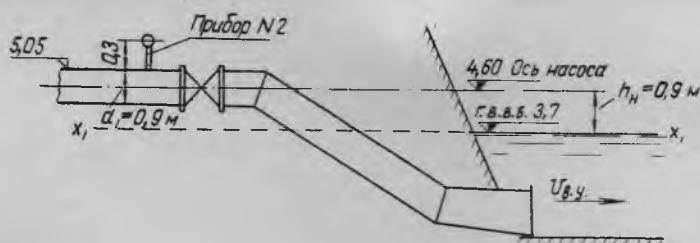


Рис. XI—3. Расчетная схема для определения показаний прибора № 2.

Подставляя найденные значения, получим показание вакуумметра № 1:

$$h_{\text{вак}} = 2,4 + 0,275 + 0,082 - 0,002 + 0,056 = 2,811 \text{ м}.$$

Прибором № 2 является также вакуумметр, так как ось насоса расположена выше уровня горизонта воды в верхнем бьефе (рис. XI—3).

Для определения показаний прибора № 2 напомним уравнение Д. Бернулли, приняв за плоскость сравнения верхний горизонт воды в отводящем канале (в.г.=3,7 м) x_1-x_1 .

Давление p_n определяем в точке прикрепления вакуумметра, то есть на высоте $\frac{d_1}{2}$ от оси насоса,

$$\frac{p_n}{\gamma} + \frac{v_n^2}{2g} + h_n + \frac{d_1}{2} = \frac{p_a}{\gamma} + \frac{v_{в.у}^2}{2g} + h_{т.н},$$

следовательно

$$\frac{p_a - p_n}{\gamma} = h_{\text{вак}} = \frac{v_n^2}{2g} - \frac{v_{в.у}^2}{2g} + h_n - \frac{d_1}{2} - h_{т.н}.$$

Подставляя цифровые значения и принимая $v_n = v_1$, получаем показания вакуумметра № 2:

$$h_{\text{вак}} = 0,181 - 0,013 + 0,9 + \frac{0,9}{2} - 0,153 = 1,365 \text{ м}.$$

Полученное положительное значение $h'_{\text{вак}}$ показывает, что вакуумметр принят правильно. Если бы получилось отрицательное значение $h'_{\text{вак}}$, то за насосом необходимо было бы поставить манометр.

Расстояние между точками замера давлений z определяется разностью отметок прикрепления вакуумметров № 2 и 1 (рис. XI—2 и XI—3): $z=5,05-4,875=0,175$ м.

Определяем полный напор насоса по показаниям приборов № 1 и 2:

$$H = h_{\text{вак}} - h'_{\text{вак}} + z + \frac{v_{\text{н}}^2 - v_{\text{в}}^2}{2g} = 2,811 - 1,365 + 0,175 + 0,181 - 0,082 = 1,72 \text{ м.}$$

Напор насосной установки, полученный по показаниям измерительных приборов, такой же, что и напор, определенный суммой геометрического напора, гидравлических потерь в трубопроводах и разностью скоростных напоров в верхнем и нижнем уровнях.

Определение стоимости электроэнергети, потребной на подъем воды насосной установкой. Количество электроэнергии за весь период годовой работы насосной установки определяется по формуле

$$E = \frac{\gamma Q H T_0}{102 \eta_{\text{н}} \eta_{\text{лв}} \eta_{\text{пер}}} \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

где T_0 — число часов работы насосной установки;

$\eta_{\text{пер}}$ — к. п. д. передачи; при непосредственном соединении двигателя с насосом $\eta_{\text{пер}} = 1$.

$$T_0 = 200 \cdot 21 = 4200 \text{ ч};$$

$$E = \frac{1000 \cdot 1,2 \cdot 1,726 \cdot 4200}{102 \cdot 0,82 \cdot 0,92 \cdot 1} = 113\,000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость электроэнергии

$$A = Ea,$$

где a — стоимость электроэнергии за 1 кВт·ч; $a=0,01$ руб. $A=113\,000 \cdot 0,01=1130$ руб.

Определение сопротивления задвижки $\zeta_{\text{задв}}$ при ее прикрытии и величины ее открытия. По заданию мощность насосной установки увеличивается на 25%, напор — на 40%, а к. п. д. насоса составляет 0,85% нормального. При прикрытии задвижки расход воды, подаваемой насосом, уменьшается. Новый расход насосной установки определяется из уравнения

$$1,25N = \frac{\gamma Q_x 1,4H}{102 \cdot 0,85 \eta_{\text{н}}}.$$

Подставляя в это уравнение мощность на валу насоса, равную $N = \frac{\gamma Q H}{102 \eta_{\text{н}}} \text{ кВт}$, определяем

$$Q_x = \frac{1,25 \cdot 0,85 Q}{1,4} = 0,76 Q \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Следовательно, расход, подаваемый при прикрытой задвижке, $Q_x = 0,76 \cdot 1,2 = 0,91 \text{ м}^3/\text{сек}$. При изменении расхода изменяются и гидравлические сопротивления во всасывающей и напорной линиях, поэтому новые потери напора, скорости и скоростные напоры при $Q_x = 0,91 \text{ м}^3/\text{сек}$ будут следующие:

$$v_{\text{н.у}} = \frac{0,91}{6} = 0,15 \text{ м/сек}; \quad \frac{v_{\text{н.у}}^2}{2g} = \frac{0,15^2}{19,62} = 0,0011 \text{ м};$$

$$v = \frac{4 \cdot 0,91}{3,14 \cdot 1,3^2} = 0,69 \text{ м/сек}; \quad \frac{v^2}{2g} = \frac{0,69^2}{19,62} = 0,024 \text{ м};$$

$$v_2 = v_3 = v_4 = \frac{4 \cdot 0,91}{3,14 \cdot 1,1^2} = 0,96 \text{ м/сек};$$

$$\frac{v_3^2}{2g} = \frac{0,96^2}{19,62} = 0,047 \text{ м};$$

$$v_1 = \frac{4 \cdot 0,91}{3,14 \cdot 0,9^2} = 1,43 \text{ м/сек}; \quad \frac{v_1^2}{2g} = \frac{1,43^2}{19,62} = 0,105 \text{ м};$$

$$v_{\text{в.у}} = \frac{0,91}{1,4 \cdot 1,6} = 0,4 \text{ м/сек}; \quad \frac{v_{\text{в.у}}^2}{2g} = \frac{0,4^2}{19,62} = 0,008 \text{ м/сек}.$$

Новые потери напора при $Q_x=0,91 \text{ м}^3/\text{сек}$ определяем в форме таблицы XI—1, пользуясь ранее принятыми коэффициентами сопротивлений.

ТАБЛИЦА XI—1

Наименование потерь	Определение потерь	Потери, м
Потери напора во всасывающей линии		
В сороудерживающей решетке	$0,388 \cdot 0,0011$	0,0004
При выходе в трубу	$0,5 \cdot 0,024$	0,0120
В сходящемся конусе	$0,07 \cdot 0,047$	0,0033
В двух закруглениях	$2 \cdot 0,23 \cdot 0,047 \frac{60}{90}$	0,0144
На трение по длине	$0,00073 \cdot 3,5$	0,0026
		$h'_{т.в} = 0,0327 \approx 0,033 \text{ м}$

Потери напора в нагнетательной линии		
В закруглении	$0,23 \cdot 0,105 \frac{60}{90}$	0,0161
В прикрытой задвижке	—	$h'_{з.д.в.}$
На трение по длине l_1	$0,00198 \cdot 20$	0,0396
В конусе, расширяющемся с d_1 на d_2	$0,06 \cdot 0,105$	0,0063
На выход	$\frac{(0,96 - 0,4)^2}{19,62}$	0,0160
		$h'_{т.н} = h'_{з.д.в.} + 0,0780 \text{ м}$

Суммарные потери при прикрытой задвижке

$$h'_t = h'_{т.в} + h'_{т.н} = 0,033 + 0,078 + h'_{з.д.в.} = 0,111 + h'_{з.д.в.}$$

По заданию

$$1,4H = H_r + h'_t + \frac{v_{н.у}^2 - v_{в.у}^2}{2g} = 1,5 + 0,111 + 0,008 - 0,0011 + h'_{з.д.в.}$$

Из этого равенства находим потери напора в задвижке

$$h'_{з.д.в.} = 1,4 \cdot 1,72 - 1,5 - 0,111 - 0,007 = 0,792 \text{ м.}$$

Так как $h'_{з.д.в.} = \zeta_{з.д.в.} \frac{v_1^2}{2g}$, то $\zeta_{з.д.в.} = \frac{h'_{з.д.в.} 2g}{v_1^2}$,

Подставляя цифровые значения, получаем гидравлический коэффициент сопротивления задвижки

$$\zeta_{з.д.в.} = \frac{0,792 \cdot 19,62}{1,43^2} \approx 7,6.$$

Пользуясь интерполяцией и таблицей 6—4 (И. И. Агроскин и др. Гидравлика, изд-во «Энергия», 1964 г.), находим, что при закрытии задвижки на величину $0,65d_1$ $\zeta_{з.д.в.} = 7,8$. Следовательно, в нашем примере задвижка открыта приблизительно на $0,35d_1 = 0,35 \cdot 900 = 315 \text{ мм}$.

Определение показания прибора № 2 при прикрытой задвижке

$$(h'_{\text{вак}})' = \frac{v_1^2}{2g} + h_n + \frac{d_1}{2} - \frac{v_{в.у}^2}{2g} - h'_{т.н.}$$

Подставляя цифровые значения, получаем

$$(h'_{\text{вак}})' = 0,105 + 0,9 + \frac{0,9}{2} - 0,008 - (0,078 + 0,792) = 0,577 \text{ м.}$$

Следует заметить, что $(h'_{\text{вак}})' < h'_{\text{вак}}$. Очевидно, что при дальнейшем прикрытии задвижки давление в месте установки прибора № 2 повысится и может стать больше атмосферного. Поэтому за насосом в этом случае ставят мановакуумметр, показывающий как избыточное давление, так и разрежение (вакуум).

Задание № 2. Определение условий работы центробежного насоса

Это задание дает возможность изучить характеристики центробежного насоса и основные положения работы насоса. Кроме этого, в работе рассматривается вопрос качественного и количественного регулирования подачи воды. Покажем это на конкретном примере.

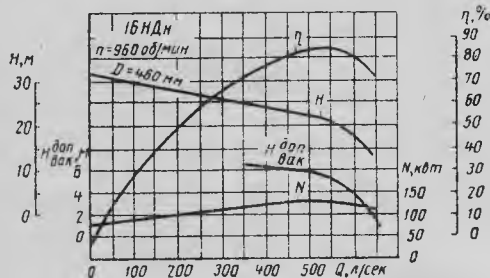


Рис. XI—4. Характеристика центробежного насоса.

Дано: 1) характеристика центробежного насоса (рис. XI—4);

2) числа оборотов насоса $n = 960 \text{ об/мин}$, $n_1 = 1200 \text{ об/мин}$ и $n_2 = 730 \text{ об/мин}$;

3) геодезический напор $H_T = 18 \text{ м}$;

4) длина напорного трубопровода $l = 1200 \text{ м}$;

5) диаметр напорного стального трубопровода $d = 600 \text{ мм}$;

6) $Q_{\text{зад}} = 350 \text{ л/сек}$ — заданный расход, который должен быть подан при регулировании работы насоса;

7) количество параллельно работающих насосов — два.

Требуется:

1) перерисовать в увеличенном масштабе заданную характеристику;
2) построить кривые $H-Q$; $N-Q$; $\eta-Q$ и $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}-Q$ для n_1 и $n_2 \text{ об/мин}$ на том же чертеже, где помещена и характеристика при $n \text{ об/мин}$;

3) построить гидродинамическую кривую трубопровода по данным H_T , диаметру и длине напорного трубопровода по формуле $H_{\text{тр}} = H_T + h_{\text{тр.п}}$ и определить рабочие точки;

4) построить характеристику параллельно работающих насосов, определить для них лимитный расход и «дефицитность» расхода, а также к. п. д. каждого насоса, работающего на общий трубопровод;

5) подать воду насосом $Q_{\text{зад}}$ при помощи качественного и количественного регулирования, определить в обоих случаях к. п. д. насоса.

Построение характеристик насоса при заданных числах оборотов n_1 и n_2 . Для построения характеристик насоса проводим их пересчет с n на n_1 и n_2 по закону динамического подобия

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{n_1}{n} = i_{n_1}; \quad \frac{H_1}{H} = i_{n_1}^2; \quad \frac{N_1}{N} = i_{n_1}^3.$$

$H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ можно пересчитать по формуле

$$H_{\text{вак}_1}^{\text{доп}} = 10 - (10 - H_{\text{вак}}^{\text{доп}}) i_{n_1}^2.$$

Аналогично можно написать формулы пересчета и для изменения числа оборотов с n на n_2 :

$$Q_2 = Q i_{n_2}; \quad H_2 = H i_{n_2}^2; \quad N_2 = N i_{n_2}^3;$$

$$H_{\text{вак}_2}^{\text{доп}} = 10 - (10 - H_{\text{вак}}^{\text{доп}}) i_{n_2}^2.$$

Результаты вычислений помещаем в таблицу XI—2, определив сначала i_n , i_n^2 , i_n^3 :

$$i_{n_1} = \frac{n_1}{n} = \frac{1200}{960} = 1,25; \quad i_{n_1}^2 = 1,25^2 = 1,55;$$

$$i_{n_1}^3 = 1,25^3 = 1,94;$$

$$i_{n_2} = \frac{n_2}{n} = \frac{730}{960} = 0,76; \quad i_{n_2}^2 = 0,76^2 = 0,58;$$

$$i_{n_2}^3 = 0,76^3 = 0,44.$$

ТАБЛИЦА XI—2

Пересчет характеристик центробежного насоса 16НДн на другие числа оборотов n_1 и n_2 по закону динамического подобия

При $n = 960$ об/мин					При $n_1 = 1200$ об/мин				При $n_2 = 730$ об/мин			
η , %	Q , л/сек	H , м	N , кВт	$H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$, м	Q_1 , л/сек	H_1 , м	N_1 , кВт	$H_{\text{вак}_1}^{\text{доп}}$, м	Q_2 , л/сек	H_2 , м	N_2 , кВт	$H_{\text{вак}_2}^{\text{доп}}$, м
0	0	31,5	80	—	0	48,8	155	—	0	18,3	35,2	—
30	100	30,0	98	—	125	46,5	190	—	76	17,4	43,0	—
50	200	27,5	108	—	250	42,5	209	—	152	16,0	47,5	—
67	300	25,5	112	—	375	39,5	217	—	228	14,8	49,5	—
77	400	24,0	122	6,0	500	37,2	236	3,8	304	13,9	54,0	7,68
82	500	22,0	132	5,6	625	34,1	256	3,2	380	12,8	58,0	7,45
84	550	20,0	128	5,0	688	31,0	248	2,2	418	11,6	56,3	7,10
72	640	12,5	109	2,0	800	19,4	212	—2,4	486	7,3	48,0	5,35

Для получения характеристик насоса с оборотами n_1 и n_2 нужно координаты точек кривых $H—Q$, $N—Q$, $\eta—Q$ и $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}—Q$, определенные в таблице XI—2, отложить в плоскости чертежа и соединить плавными кривыми. Построение характеристик центробежного насоса при его работе с оборотами n , n_1 и n_2 показано на рисунке XI—5. К. п. д. η считаем при оборотах вала насоса n , n_1 и n_2 постоянным; по этому принципу строятся кривые $\eta—Q_1$ и $\eta—Q_2$. На самом деле при изменении оборотов значения к. п. д. также меняются.

При испытании насоса с различными оборотами кривые к. п. д. можно построить по формуле

$$\eta = \frac{\gamma Q H}{102 N},$$

где Q , H и N — замеренные расход, м³/сек; напор, м и мощность на валу насоса, кВт.

Так как η при изменении чисел оборотов остается постоянным, то характеристики $\eta—Q$ строятся по таблице XI—2.

Построение гидродинамической кривой и определение рабочих точек. Гидродинамическая кривая выражается зависимостью $Q = f(H_{\text{тр}})$. Напор в трубопроводе складывается из суммы геодезической высоты подъема, потерь напора на трение воды о стенки напорного трубопровода и местных потерь в нем:

$$H_{\text{тр}} = H_{\text{г}} + h_{\text{т.н}}$$

Потери напора на трение воды о стенки зависят от материала, диаметра, длины трубопровода и от расхода. Местные потери в трубопроводе можно учесть приближенно в размере 10% потерь по длине. Сле-

довательно, определение потерь можно вести по приведенной длине трубопровода

$$l_{\text{прив}} = 1,1 \cdot 1200 = 1320 \text{ м.}$$

Величину потерь можно определять по формуле

$$h_{\text{т.н}} = \frac{Q^2}{K^2} l_{\text{прив}},$$

где $K = \omega C \sqrt{R}$;

R — гидравлический радиус, м;

ω — площадь живого сечения, м^2 ;

C — коэффициент, который можно определять по формуле акад. Н. Н. Павловского:

$$C = \frac{R^y}{n};$$

n — коэффициент шероховатости; для нашего случая можно принять равным 0,013;

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

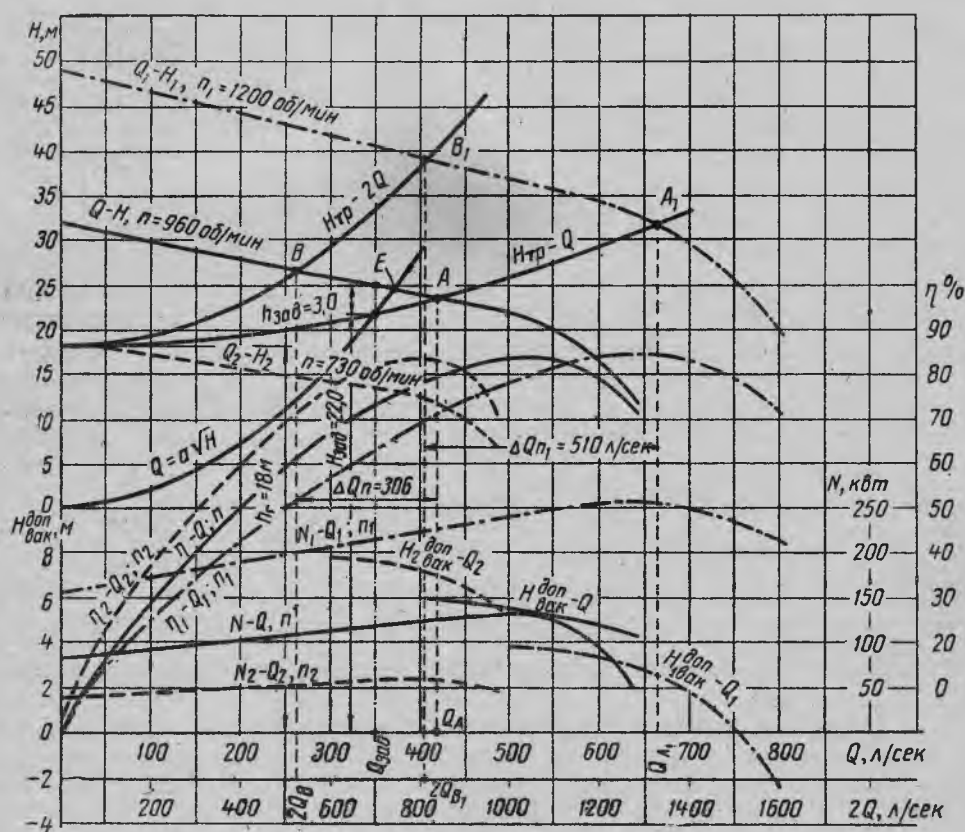


Рис. XI—5. Рабочая характеристика центробежного насоса 16НДн для различных режимов и заданий.

Можно пользоваться готовыми таблицами, например таблица-ми 9,4, приведенными в гидравлическом справочнике М. А. Мосткова. Для нашего примера используем таблицы Ф. А. Шевелева, которые дают наиболее точное определение потерь.

Определение напора в трубопроводе $H_{тр}$ для пропуска расхода одного насоса Q и двух параллельно работающих насосов $2Q$ помещаем в таблице XI—3.

ТАБЛИЦА XI—3

Q л/сек	1000 i для Q	$h_{т.н} = il_{прив}$, м	$H_{тр}$, м	$h'_{т.н}$ для $2Q$, м	$H'_{тр} = H_{тр} + h'_{т.н}$, м
0	0	0	18,0	0	18,0
250	1,567	2,07	20,07	7,87	25,87
300	2,193	2,90	20,90	11,30	29,30
400	3,810	5,04	23,04	20,20	38,20
500	5,960	7,87	25,87		
600	8,580	11,30	29,30		
700	11,700	15,40	33,40		
800	15,800	20,20	38,20		

Откладывая на чертеже характеристик полученные координаты, получаем гидродинамические кривые $H_{тр}-Q$ и $H'_{тр}-2Q$ (рис. XI—5). Координаты рабочей точки находятся в точке пересечения кривых $Q-H$ и $H_{тр}-Q$. В нашем примере рабочая точка A имеет координаты $H_A = 23,5$ м и $Q_A = 420$ л/сек, чему соответствует $\eta_A = 0,8$ при $n = 960$ об/мин. То же для точки A_1 : $H_{A_1} = 32$ м и $Q_{A_1} = 665$ л/сек, $\eta_{A_1} = 0,84$, $n_1 = 1200$ об/мин. Характеристика Q_2-H_2 при $n_2 = 730$ об/мин лежит ниже линии $H_{тр}-Q$, то есть кривые не пересекаются, и, следовательно, поднять воду насосом при числе оборотов n_2 в данных условиях невозможно.

Определение условий одновременной работы двух насосов на общий трубопровод. Работа двух и более насосов на один трубопровод возможна лишь при условии равных напоров насосов. Поэтому, чтобы получить рабочую точку параллельно работающих насосов, строят их общую характеристику $Q-H$, складывая расход насосов при одинаковых напорах. Пересечение общей кривой $Q_{общ}-H$ с кривой $H_{тр}-Q$ определит рабочую точку. Рассматриваемый пример с двумя одинаковыми насосами решается довольно просто: изменив масштаб Q и удвоив абсциссы Q при одинаковых ординатах, можно построить новую кривую сопротивлений трубопровода ($h_{т.н}$). Эта кривая при квадратичном законе ($h_{т.н} = \frac{Q^2}{K^2}$) строится путем увеличения $h_{т.н}$ при двух насосах в четыре раза, при трех — в девять раз и т. д., так как $h'_{т.н} = h_{т.н} \left(\frac{Q_1}{Q}\right)^2$. Следовательно, при двух насосах $Q_1 = 2Q$ и $h'_{т.н} = h_{т.н}4$; при трех насосах $Q_1 = 3Q$ и $h'_{т.н} = h_{т.н}9$. Потери можно подсчитать, пользуясь различными таблицами. В таблице определения $H_{тр}$ проведен подсчет $h'_{т.н}$ для $2Q$ и получены напоры в трубопроводе $H'_{тр}$, по которым построена кривая $H'_{тр}-2Q$ (рис. XI—5). Пересечения кривой $H'_{тр}-2Q$ с кривыми $Q-H$ определяют рабочие точки при параллельной работе двух одинаковых насосов. Координаты этих точек B и B_1 следующие: рабочая точка B при $n = 960$ об/мин имеет $2Q_B = 534$ л/сек, $H_B = 26,5$ м, $\eta_B = 0,62$; рабочая точка B_1 при $n_1 = 1200$ об/мин имеет $2Q_{B_1} = 820$ л/сек, $H_{B_1} = 39$ м; $\eta_{B_1} = 0,7$.

Если бы два насоса работали на два самостоятельных трубопровода того же диаметра и той же длины, что и в нашем примере, то каждый из насосов подал бы при $n = 960$ об/мин расход $Q_A = 420$ л/сек (рабочая точка A), а при $n_1 = 1200$ об/мин расход $Q_{A_1} = 665$ л/сек (рабочая точка A_1). Следовательно, два насоса, работая на один общий

трубопровод, подают воды меньше, чем два таких же насоса, но работающих на самостоятельные трубопроводы. Уменьшение подачи воды $\Delta Q_{n_1} = 2Q_{A_1} - 2Q_{B_1} = 1330 - 820 = 510$ л/сек носит название дефицитности подачи насосов при параллельной работе. По рисунку XI—5 можно установить, что дефицит подачи для работы насосов при $n = 960$ об/мин $\Delta Q_n = 840 - 534 = 306$ л/сек.

Анализируя полученную дефицитность, можно сделать вывод, что в данных условиях параллельная работа насосов нецелесообразна, так как дефицит слишком велик. Очевидно, что при большем диаметре трубопровода дефицитность значительно уменьшится, параллельная работа станет целесообразной.

Произвести качественное и количественное регулирование для заданного расхода $Q_{\text{зад}}$ и определить к. п. д. в обоих случаях. Если нужно обеспечить подачу воды в количестве, отличном от количества, определенного рабочей точкой, применяют регулирование подачи расхода. При $Q_{\text{зад}}$ меньше Q рабочей точки возможны два способа регулирования: качественное, позволяющее изменить расход за счет уменьшения числа оборотов, и количественное — за счет увеличения гидравлических сопротивлений (прикрытием регулирующей задвижки, установленной на напорном патрубке насоса). При $Q_{\text{зад}}$ больше Q рабочей точки возможно только качественное регулирование за счет увеличения числа оборотов.

Для $Q_{\text{зад}} = 350$ л/сек и $n = 960$ об/мин проведем в нашем примере качественное регулирование и определим необходимое число оборотов n_x , при котором будет обеспечена подача требуемого расхода.

По рисунку XI—5 находим рабочую точку C , лежащую на гидродинамической кривой $H_{\text{тр}} - Q$ и соответствующую $Q_{\text{зад}} = 350$ л/сек и $H_{\text{зад}} = 22$ м.

Изменение чисел оборотов подчинено закону динамического подобия, выражающемуся следующей зависимостью:

$$\frac{Q}{Q_{\text{зад}}} = \sqrt{\frac{H}{H_{\text{зад}}}} = \frac{n}{n_x},$$

то есть Q и H пропорциональны $Q_{\text{зад}}$ и $H_{\text{зад}}$. Следовательно, можно написать $\frac{Q}{\sqrt{H}} = \frac{Q_{\text{зад}}}{\sqrt{H_{\text{зад}}}} = a$, или $Q = a\sqrt{H}$.

Это уравнение выражает кривую пропорциональности чисел оборотов, которую мы и построим, определив значение a . Задаваясь произвольно значениями Q и получая $H = \frac{Q^2}{a^2}$,

$$a = \frac{350}{\sqrt{22}} = 75; \quad a^2 = 5625.$$

Результаты подсчетов сводим в таблицу XI—4.

ТАБЛИЦА XI—4

Q , л/сек	0	100	200	300	400	500
H , м	0	1,78	7,20	16,0	28,40	44,40

По данным таблицы XI—4 строим кривую пропорциональности $\sqrt{H}$ (рис. XI—5) и находим точку E пересечения ее с кривой $Q - H$ при $n = 960$ об/мин. Координаты точки E :

$$Q_E = 370 \text{ л/сек и } H_E = 24,5 \text{ м.}$$

Из закона динамического подобия следует, что

$$n_x = n \frac{Q_{зад}}{Q_E} = 960 \cdot \frac{350}{370} = 910 \text{ об/мин, или}$$

$$n_x = n \sqrt{\frac{H_{зад}}{H_E}} = 960 \sqrt{\frac{22}{24,5}} = 910 \text{ об/мин.}$$

К. п. д. $\eta_E = 0,75$. Так как предполагалось, что к. п. д. не меняется с изменением чисел оборотов, то и $\eta_{зад} = 0,75$.

Для количественного регулирования прикрываем задвижку так, чтобы расход равнялся заданному $Q_{зад} = 350 \text{ л/сек}$, а напор соответствовал характеристике насоса. В нашем случае $H = 25 \text{ м}$, следовательно для рассматриваемого примера $h_{завд} = 3 \text{ м}$. Коэффициент полезного действия использования установки определится как отношение полезной мощности для подъема $Q_{зад}$ на высоту $H_{зад}$ к эффективной мощности:

$$N_{пол} = \frac{\gamma Q_{зад} H_{зад}}{102} ;$$

$$N_e = \frac{\gamma Q_{зад} (H_{зад} + h_{завд})}{102 \eta_n} .$$

$$\text{Следовательно, } \eta_{исп} = \frac{H_{зад} \eta_n}{H_{зад} + h_{завд}} = \frac{22 \cdot 0,75}{22 + 3} = 0,64.$$

Сравнивая оба способа регулирования, видим, что количественное регулирование экономически невыгодно, так как даже при незначительном прикрытии задвижки произошло значительное снижение к. п. д. (на 9%).

§ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для приобретения навыков практической и организаторской работы, необходимых для специалистов с высшим образованием, на старших курсах высших учебных заведений проводится предусмотренная учебными планами производственная практика или работа студентов по специальности, тесно связанная с их теоретической подготовкой в вузе.

Производственной практикой студентов руководит специалист, выделенный предприятием. Руководитель практики обязан в первую очередь до начала работы ознакомить студентов с правилами техники безопасности и условиями безопасной работы на предприятии. Студентам не разрешается приступать к работе до получения необходимого инструктажа по технике безопасности. Учебно-методическое руководство производственной практикой осуществляется кафедрами через профессоров, доцентов и преподавателей, прикрепляемых к объектам практики.

§ 2. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ГИДРАВЛИЧЕСКИМ НАСОСАМ И НАСОСНЫМ СТАНЦИЯМ, ИЗУЧАЕМЫЕ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ

Гидравлический насос — одна из самых распространенных машин. Насосы применяют и в сельском хозяйстве — в установках для водоснабжения, канализации и мелиорации (осушение, орошение, обводнение), для производства водоотлива при выполнении строительных работ, на водоснабжении строительных площадок, для гидромеханизации, при водоснабжении и питании котлов ТЭС и др.

А. При работе на строительстве насосной станции студент обязан изучить следующее.

1. Проект строительной части насосной станции:

а) назначение насосной станции (орошение, осушение, водоснабжение и др.), ее производительность (в $\text{м}^3/\text{сек}$) и напор (полный или манометрический; геодезический или геометрический в м вод. ст.), график подачи воды в течение года, водоисточник, из которого забирает воду насосная станция, и его характеристику (расходы, горизонты воды, наносы, устойчивость берегов и др.);

б) состав сооружений, входящих в узел станции, их назначение, размерную характеристику (длина, диаметр, высота, объем, площадь и др.), тип здания станции (камерная, блочная), размещение водозаборных устройств по отношению к зданию станции (совмещенное или раздельное);

в) конструктивные данные сооружений, геологическую и гидрогеологическую характеристику места строительства и их увязку с выбранными типами оснований и фундаментов, конструкции и материал основных элементов сооружений, марки бетонов, применение металлических конструкций и обоснование, применение сборных конструкций в основных сооружениях, тип здания станции (открытый или закрытый).

2. Проект гидромеханической части станции:

а) тип основного насосного оборудования (центробежные или осевые насосы с вертикальным или горизонтальным валом), их число и харак-

теристику каждого насоса (расход, напор, число оборотов вала и мощность на валу, допустимая и фактическая высоты всасывания), перечень вспомогательного оборудования и его основные данные и назначение;

б) тип двигателя, его марку, исполнение (вертикальное, горизонтальное) и основную характеристику (мощность, число оборотов вала, соединение с насосом, управление двигателем);

в) сведения об автоматизации и телеуправлении, связь;

г) основную контрольно-измерительную аппаратуру и схему ее размещения, учет количества подаваемой воды, потребляемой энергии (для электродвигателей) и топлива (для двигателей внутреннего сгорания и других тепловых двигателей), защитную аппаратуру, обеспечивающую безаварийную и безопасную работу станции.

3. Проект организации и механизации производства основных строительно-монтажных работ и его осуществление на строительстве:

а) перечень основных строительных машин, их характеристику и число;

б) использование основных строительных машин (число смен работы в сутки, простои и их причины, коэффициенты использования);

в) схему производства земляных и бетонных работ;

г) схему водоотливных работ и применяемые машины;

д) строительную базу (бетонный завод, завод железобетонных изделий и др.), склады;

е) водоснабжение и энергоснабжение строительной площадки;

ж) транспортные средства (марки машин и тягачей, прицепные средства, количество машин по маркам и др.);

з) дороги и подъездные пути;

и) жилые и культурно-бытовые помещения;

к) обеспеченность рабочей силой, выполнение норм рабочими основными специальностями, организацию труда;

л) качество строительно-монтажных работ, методы его контроля и меры поощрения;

м) сметную стоимость строительства, экономию, перерасход сметы, причины;

н) планы, графики строительно-монтажных работ и их выполнение.

4. Конкретную характеристику выполненной работы с точки зрения пунктов к, л, м, и предыдущего раздела. В этом пункте должно быть отражено обобщенное мнение студента.

Если студент проходит практику не на строительстве насосной станции, то он обязан изучить работу вспомогательной насосной установки, имеющейся на строительстве для водоснабжения, водоотлива и др.

Б. При работе на эксплуатируемой насосной станции студент обязан изучить следующее.

1. Характеристику насосной станции по перечню вопросов, перечисленных в пунктах 1 и 2 раздела А.

2. План эксплуатации насосной станции и его фактическое выполнение по основным статьям и показателям:

а) задание по количеству поднимаемой воды и его выполнение;

б) задание по количеству затрачиваемой энергии, топлива, смазочных материалов и его выполнение;

в) задание по проведению ремонтов (зданий, сооружений и оборудования) и его выполнение, организация ремонтных работ;

г) штаты и их квалификацию по плану и его выполнение;

д) стоимость поднимаемой воды по плану и его выполнение;

е) технические мероприятия по снижению себестоимости воды и их выполнение;

ж) аварии, их причины и ликвидация;

з) инструкция и правила эксплуатации, имеющиеся на станции;

и) анализ работы станции.

§ 3. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ И ОТЧЕТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ О ПРОХОЖДЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ, ПРЕДСТАВЛЯЕМАЯ СТУДЕНТАМИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАЧЕТА

1. Студент направляется на практику по путевке, выдаваемой ему учебным заведением в двух экземплярах по установленной форме. Один экземпляр остается в организации, где студент работал на практике, а второй, заполненный и заверенный подписями представителей администрации и общественных организаций и печатью учреждения, вместе с характеристикой работы студента прилагается к отчету о прохождении практики и сдается в учебное заведение.

2. Вторым отчетным документом является дневник студента о прохождении практики, который должен вестись регулярно по приводимой ниже форме. В дневнике должна быть отражена вся работа студента, включая и производственные экскурсии, организованные предприятием. Записи в дневнике должны предельно кратко содержать вид и объем выполняемой работы, механизацию процессов и производительность труда рабочих, если студент работает мастером, или его личную работу как рабочего. Форма и содержание записей характеризуют отношение студента к работе, его подготовку как специалиста и результаты практики.

Форма дневника и пример его заполнения

Месяц и число	Занимаемая должность	Краткое описание выполняемой работы
23/VII	Рабочий	Укладка гидротехнического бетона марки 200, В-4 в железобетонную фундаментную плиту станции. Бетон подается краном Э-6512 в бадьях. Уложено за смену ... м ³ бетона, производительность труда ... %. Бригада ... человек.
24/VII	»	То же, уложено бетона ... м ³ , производительность труда ... %

Дневник, заверенный подписью ответственного лица и печатью учреждения, вместе с отчетом сдается в учебное заведение.

3. Третьим отчетным документом является технический отчет о прохождении производственной практики. Рекомендуется выполнять его в тетради, сшитой из развернутых листов. Объем отчета — 30—50 страниц рукописного текста с иллюстрациями в виде различных технических схем, чертежей и фотографий, отражающих характеристику основных объектов строительства, их конструкции, производство работ, машины, отдельные этапы выполнения сооружений, вспомогательные сооружения и др. Отчет должен быть аккуратно оформлен, написан кратко, содержательно и технически грамотно. В отчете указывается назначение строящегося или эксплуатируемого сооружения, его техническая характеристика (строительные объемы или эксплуатационные показатели), характеристика машин и др. в соответствии с § 2 настоящей главы.

Отчет должен конкретно характеризовать работы, выполненные студентом на практике (перечень, объем, качество, производительность).

4. После того как прикрепленный профессор, доцент или преподаватель проверит отчет и даст ему положительную оценку, студент защищает свой отчет и получает зачет по производственной практике. При недостаточно высоком качестве отчета студент дорабатывает неясные вопросы и только после этого получает право на защиту отчета и получение зачета. При неудовлетворительном прохождении производственной практики и плохом качестве отчета практика не засчитывается и должна быть пройдена повторно.

Литература

1. Агроскин И. И., Дмитриев Г. Т., Пикалов Ф. И. Гидравлика. Госэнергоиздат, М.—Л., 1954.
2. Андрияшев М. М. Графические расчеты гидравлического удара в водоводах. Стройиздат, М., 1969.
3. Березинский А. Р., Ротина О. Д. Применение сборного железобетона в водопроводных и канализационных сооружениях. Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, М., 1958.
4. Бахметев Б. А. Гидравлика открытых русл. Госстройиздат, М.—Л., 1941.
5. Брызгалов С. А. Влияние угла отвода на захват донных наносов и плавающих тел при бесплотинном водозаборе. «Гидротехника и мелиорация» № 2, 1960.
6. Великанов М. А. Динамика русловых потоков, т. I и II, Государственное изд-во технико-теоретической литературы, М., 1954.
7. Виничек А. Н. и др. Напорные трубопроводы из сборного железобетона. БГГ. Выпуск 14. Изд-во «Энергия», М., 1969.
8. Волго-Дон. Отчет о строительстве, т. I и IV. Госэнергоиздат, М., 1956.
9. Временное положение по проектированию рыбозащитных устройств водозаборных сооружений. Госниорх, Л., 1967.
10. Гипроводхоз МСХ СССР. Указания по проектированию ирригационных насосных станций, часть I. Гидротехнические сооружения и гидромеханическое оборудование, М., 1963.
11. Гришин М. М. Гидротехнические сооружения, часть I. Госстройиздат, М., 1947.
12. Гришин М. М. Гидротехнические сооружения, часть II. Госстройиздат, М., 1955.
13. Гончаров В. Н. Основы динамики русловых потоков. Гидрометиздат, Л., 1954.
14. Гурьев В. Г. Испытание гидравлических машин. Госэнергоиздат, М., 1953.
15. Двухшерстов Г. И. Гидравлический удар в трубах некруглого сечения и поток жидкости между упругими стенками. Ученые записки МГУ им. М. В. Ломоносова, вып. 122. Механика, т. II, 1948.
16. Давидсон М. Г., Кузьмин Е. Д. Новые способы повышения водонепроницаемости железобетонных сооружений. Госстройиздат, М.—Л., 1957.
17. Ереснов Н. Ф. и др. Речные водозаборные сооружения. Госстройиздат, М., 1953.
18. Ереснов Н. Ф. и др. Специальные водозаборные сооружения. ГИЛСА, М., 1963.
19. Жданов В. С. Эксплуатация агрегатов насосных и гидроэлектрических станций. Речиздат, М., 1953.
20. Жданов В. С. и др. Эксплуатация гидротехнических сооружений. Речиздат, М., 1956.
21. Железняков Г. В. Гидравлическое обоснование методов речной гидрометрии. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1950.
22. Зузик Д. Т. Экономика водного хозяйства. Изд-во «Колос», М., 1966.
23. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Госэнергоиздат, М.—Л., 1960.
24. Ивянский А. М. Железобетонные конструкции. Сельхозгиз, М., 1961.
25. Ильин В. Г. Расчет совместной работы насосов, водопроводных сетей и резервуаров. Стройиздат УССР, Киев, 1963.
26. Инструкция по расчету на ЭЦВМ «Урал-2» гидравлического удара, вызываемого внезапным выключением электропитания насосных агрегатов. ВОДГЕО и Гипроводхоз, М., 1966.
27. Исаев А. П. Истечение в каналы через водовыпускные отверстия напорного бассейна-делителя насосных станций. «Известия высших учебных заведений» № 8, 1960.
28. Каменев Н. Н. Гидроэлеваторы в строительстве. Стройиздат, М., 1964.
29. Кумин Д. И. Воздуховодный поток в сифонных водосбросах. «Гидротехническое строительство», № 4, 1951.
30. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам. Госэнергоиздат, М.—Л., 1961.
31. Клейн Г. К. Строительная механика сыпучих тел. Госстройиздат, М., 1956.
32. Клейн Г. К. Расчет труб, уложенных в земле. Госстройиздат, М., 1960.
33. Каталог-справочник. Насосы, Машгиз, М., 1959.
34. Каталог-справочник. Осевые насосы. Машгиз, М., 1961.
35. Каталог-справочник. Промышленная трубопроводная арматура. Машгиз, М., 1955.
36. Караушев А. В. Гидравлика рек и водохранилищ. Речиздат, Л., 1955.
37. Караушев А. В. Стояно-нагонные явления. Гидрометиздат, Л., 1960.
38. Кривченко Г. И., Изянов И. С., Мордасов А. П. Напорные водоводы гидроэлектрических и насосных станций. БГГ, вып. 9. Изд-во «Энергия», М., 1969.
39. Ликин В. В. Примеры новейших стальных трубопроводов гидроэлектростанций. Оргэнергострой, М., 1966.

40. Миловнич А. Я. Теория динамического взаимодействия тел и жидкости. Госстройиздат, М., 1955.
41. Михеев В. П., Дудников В. Ф., Штерн Е. П. Защита гидротехнических сооружений от обрастания ракушкой. БГГ, вып. 13. Изд-во «Энергия», М., 1969.
42. Морозов А. А. Использование водной энергии. Госэнергоиздат, М., 1948.
43. Мостков М. А. Гидравлический удар в гидроэлектрических станциях. М., 1938.
44. Мостков М. А. Гидравлический справочник. Госстройиздат, М., 1954.
45. Москвитин А. С. и др. Справочник по специальным работам. Госстройиздат, М., 1970.
46. Москвитин А. С. Механическое оборудование и арматура водопроводов. Госстройиздат, М., 1953.
47. Находкин Б. И. Круговая характеристика насоса. «Гидротехника и мелиорация» № 6, 1956.
48. Нормы амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства СССР. Госпланиздат, М., 1961.
49. Офицеров А. С. Вопросы гидравлики водозабора. Госстройиздат, М., 1952.
50. Офицеров А. С. Вторичные течения. Госстройиздат, М., 1959.
51. Овсянкин В. И. Железобетонные трубы для напорных водоводов. Госстройиздат, М., 1960.
52. Петров Г. А. О растекании полностью затопленной осесимметричной струи. «Электрические станции» № 10, 1962.
53. Поликовский В. И., Перельман Р. Г. Воронкообразование в жидкости с открытой поверхностью. Госэнергоиздат, М—Л., 1959.
54. Правила 27—54 по применению и проверке расходомеров с нормальными диафрагмами, соплами и трубами Вентури. Стандартгиз, М., 1960.
55. Рычагов В. В. Гидравлические режимы работы сифонов сифонных водовыпусков. Доклады ТСХА. Гидротехника и мелиорация, вып. 56, 1960.
56. Рычагов В. В. Об исследовании аванкамер насосных станций. «Известия ТСХА» № 3, 1961.
57. Рычагов В. В. Некоторые вопросы из практики эксплуатации мелиоративных насосных станций. Доклады ТСХА. Гидротехника и мелиорация, вып. 67, 1961.
58. Рычагов В. В., Некрасов В. М. Влияние работы сифона водовыпуска на производительность насосной станции. «Гидротехника и мелиорация» № 5, 1960.
59. Рычагов В. В., Третьяков А. А., Флоринский М. М. Пособие по проектированию насосных станций и испытанию насосных установок. Сельхозиздат, М., 1963.
60. Рычагов В. В., Шольц М. Е. Определение гидравлических сопротивлений в напорных коммуникациях насосных станций. Экспрессинформация. Серия 1, выпуск 6. Орошение и оросительные системы. ЦБНТИ Гипроводхоз ММ и ВХ СССР. М., 1968.
61. Розовский И. Л. и др. Новый тип напорного бассейна для крупных оросительных насосных станций. АН УССР, т. 12 (XIX). Киев, 1955.
62. Сурин А. А. Гидравлический удар в водопроводах и борьба с ним. Транжелдориздат, М., 1946.
63. Справочник по гидротехнике. ВОДГЕО. Госстройиздат, М., 1955.
64. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. Госплан СССР, Госстрой СССР, Академия наук СССР. Изд-во «Экономика», М., 1969.
65. Туманян В. И. Гидравлика сифонных водосбросов. Госэнергоиздат, М—Л., 1949.
66. Третьяков А. А. Водовыпускные устройства мелиоративных насосных станций. Научные записки Московского института инженеров водного хозяйства, т. XX. Сельхозгиз, М., 1958.
67. Турбинное оборудование гидроэлектростанций. Госэнергоиздат, М., 1958.
68. Указания по проектированию рыбопропускных и рыбозащитных сооружений. СН349—66. М., 1967.
69. Флоринский М. М., Рычагов В. В. Насосы и насосные станции. Изд-во «Колос», М., 1967.
70. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных и пластмассовых водопроводных труб. Госстройиздат, М., 1970.
71. Чертоусов М. Д. Гидравлика. Специальный курс. Госэнергоиздат, М.—Л., 1947.
72. Указания по защите водоводов от гидравлического удара. ВОДГЕО. Госстройиздат, М., 1961.
73. Ясинецкая Т. М. Исследование условий забора воды из приемных камер насосных станций сельскохозяйственного назначения. Доклады ТСХА, вып. XXXVIII. 1958.
74. Материалы В. О. «Союзводпроект» — Гипроводхоз ММ и ВХ СССР.
75. Материалы НИС МГМИ.
76. Каталог-справочник. Насосы осевые типа О, ОП и центробежные вертикальные типа В. Цинтихимнефтемаш. М., 1970.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Выбор схемы гидротехнического узла сооружений машинного водоподъема	5
§ 1. Понятие о гидротехническом узле сооружений машинного водоподъема	5
§ 2. Состав технического задания на проектирование	5
§ 3. Принципиальные схемы гидротехнического узла машинного водоподъема	6
Глава II. Водозаборные устройства из открытых источников	13
§ 1. Общие сведения	13
§ 2. Некоторые вопросы проектирования водозаборных сооружений	15
§ 3. Примеры рыбозаградительных устройств	25
Глава III. Сооружения, подводящие воду к насосной станции	29
§ 1. Общая часть	29
§ 2. Подводящие трубопроводы, условия применения и примеры	30
§ 3. Открытые подводящие каналы, условия применения, примеры	32
§ 4. Аванкамеры. Технические условия проектирования. Примеры	37
Глава IV. Гидромеханическое и энергетическое оборудование насосных станций	41
§ 1. Основные понятия	41
§ 2. Определение расчетного напора основного насоса	41
§ 3. Выбор расчетного расхода насоса и числа устанавливаемых насосов	44
§ 4. Выбор основного насоса	50
§ 5. Выбор двигателя для основного насоса	71
§ 6. Вспомогательное оборудование насосной станции	71
§ 7. Вибрационные и ленточные водоподъемники	73
§ 8. Электрораспределительные устройства и автоматика насосных станций	75
Глава V. Типы насосных станций и их конструктивные решения	76
§ 1. Типы зданий насосных станций и условия их применения	76
§ 2. Особенности насосных станций для оросительных и осушительных систем и сельскохозяйственного водоснабжения	86
§ 3. Определение основных размеров зданий насосных станций	92
§ 4. Конструктивные решения зданий насосных станций и технические условия проектирования	100
§ 5. Передвижные насосные станции	121
Глава VI. Всасывающие и внутристанционные трубопроводы	127
§ 1. Всасывающие линии, их классификация и технические условия проектирования	127
§ 2. Всасывающие коммуникации, расположенные внутри здания насосной станции	131
§ 3. Компоновка и технические условия проектирования напорных коммуникаций	139
Глава VII. Напорные трубопроводы	158
§ 1. Общая часть	158
§ 2. Стальные напорные трубопроводы	163
§ 3. Железобетонные напорные трубопроводы	165
§ 4. Асбестоцементные напорные трубопроводы	175
§ 5. Примеры конструкций напорных трубопроводов	175
§ 6. Гидравлический удар в напорных трубопроводах*	182
Глава VIII. Водовыпускные сооружения	187
§ 1. Назначение и классификация водовыпускных сооружений*	187

§ 2. Основные технические условия проектирования водовыпускных сооружений мелиоративных насосных станций	195
§ 3. Гидравлический расчет напорного бассейна	202
§ 4. Водовыпуски сифонного типа*	215
Глава IX. Техничко-экономические расчеты и план эксплуатации насосной станции	255
§ 1. Техничко-экономические расчеты по обоснованию технических решений, принимаемых при проектировании	255
§ 2. Определение капитальных затрат на строительно-монтажные работы по узлу сооружений насосной станции	272
§ 3. Смета эксплуатации и технико-экономические показатели насосной станции	276
§ 4. План эксплуатации мелиоративной насосной станции	281
Глава X. Испытание насосов и учебно-лабораторные работы студентов	283
§ 1. Испытания лопастных и объемных насосов	283
§ 2. Учебно-лабораторные работы студентов	284
Глава XI. Примеры заданий для самостоятельной проработки курса	301
Задание № 1. Определение полной высоты подъема и мощности насосной установки. Регулирование работы насосной установки подвижной	301
Задание № 2. Определение условий работы центробежного насоса	308
Глава XII. Производственная практика	314
§ 1. Общие положения	314
§ 2. Основные вопросы по гидравлическим насосам и насосным станциям, изучаемые при прохождении производственной практики	314
§ 3. Организационные вопросы и отчетная документация о прохождении производственной практики, представляемая студентами для получения зачета	316
Литература	317

Рычагов Виктор Васильевич, Третьяков Александр Алексеевич, Флоринский Михаил Михайлович
ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И ИСПЫТАНИЕ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК
 2-е изд., доп., испр. М., «Колос», 1971.
 320 с. с илл.

Перед загл. авт.: В. В. Рычагов, А. А. Третьяков, М. М. Флоринский.

УДК 631.672.2.001.2.001.4(075.8)

Редактор Г. Елизаветская

Художественный редактор З. Зубрилина

Технические редакторы: З. Околенова, Н. Копкина

Корректор В. Русинова

Сдано в набор 18/XII 1970 г.

Подписано к печати 20/IV 1971 г.

Т-04749

Формат 70×108¹/₁₆. Бумага тип. № 3. Печ. л. 20 (28). Уч.-изд. л. 28,07. Изд. № 71. Т. п. 1971 г. № 272.

Тираж 15 000 экз.

Заказ № 1310.

Цена 1 р. 36 к.

Издательство «Колос», Москва, К-31, ул. Дзержинского, д. 1/19.

Владимирская типография Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР.
 Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б