628.1
К 56

Канд. техн. наук, доцент

В. Ф. КОЖИНОВ

ВОДОСНАБЖЕНИЕ

ДОПУЩЕНО МИНИСТЕРСТВОМ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНИКА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНИКУМОВ

9102

Уфимский химический
Технический
БИБЛИОТЕКА

Государственное
Издательство
Строительной Литературы
москва * 1948

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. *С. Х. Азерьер*
и канд. техн. наук *Б. С. Тикунов*
Редактор: канд. техн. наук *А. М. Конюшков*

Книга представляет собой учебник для строительных техникумов.

В ней в кратком изложении освещаются все основные вопросы проектирования, строительства и эксплоатации водоснабжения промышленных предприятий, городов и поселков.

Книга может служить также пособием для технического персонала строительных организаций.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий учебник по содержанию, расположению материала и объему отвечает утвержденной программе курса „Водоснабжение" для специальностей „Водоснабжение и канализация" строительных техникумов.

В книге изложены все основные вопросы проектирования строительства и эксплоатации водоснабжения промышленных предприятий, городов и поселков.

При изложении методов расчета водопроводных сооружений приведены необходимые числовые примеры.

Автор стремился освещать учебный материал на уровне современных достижевий техники водоснабжения и очистки воды. В связи с этим в учебнике нашел отражение ряд новых вопросов, а именно: суспензионные сепараторы (с примером расчета), поверхностная промывка, хлорирование до так называемой „точки перелома", химическое обессоливание воды Н-цеолитами и аминосмолами, катодная защита труб и т. д.

Автор приносит благодарность рецензентам — проф., докт. техн. наук С. Х. Азерьеру и канд. техн. наук Б. С. Тикунову за ряд ценных указаний и за большую работу, проделанную ими по рецензированию учебника.

ГЛАВА I

ОБЩИЕ ДАННЫЕ О ВОДОСНАБЖЕНИИ

§ 1. Значение водоснабжения в народном хозяйстве и характеристика водопроводов

Вода имеет решающее значение для жизни человека, животных и растений. Вода обусловила возможность появления и развития жизни; без воды жизнь на земле была бы немыслимой.

Вода нужна не только для хозяйственно-бытовых потребностей, но и для промышленных целей.

Большие количества воды расходуются на тепловых электростанциях, на заводах и фабриках, на железнодорожном транспорте. Совхозы и колхозы тоже требуют воду для питьевых и хозяйственных нужд.

Для обеспечения всех этих потребностей необходимо устройство водопроводов. По роду обслуживаемых объектов можно различать: а) коммунальные (городские) водопроводы; б) водопроводы промышленных предприятий; в) железнодорожные водопроводы; г) водопроводы совхозов и колхозов; д) водопроводы специального назначения.

Коммунальные водопроводы обслуживают города, поселки городского типа и рабочие поселки при промышленных предприятиях. В городах и поселках устраиваются водопроводы, подающие воду для питьевых и хозяйственных нужд населения, для поливки и мытья улиц, поливки зеленых насаждений, для фонтанов и для тушения пожаров. Качество воды в этих водопроводах должно отвечать требованиям, предъявляемым к качеству питьевой воды. Водоснабжение создает в городах необходимые санитарно-гигиенические условия, снижающие заболеваемость и смертность. По всем этим причинам современный город не может обойтись без централизованного водопровода, обеспечивающего подачу питьевой воды во все этажи жилых и служебных зданий, к общественным водоразборам и к пожарным гидрантам.

Водопроводы крупных городов представляют собой мощные хозяйственные предприятия — настоящие фабрики воды, где подвергается всесторонней очистке и обработке сырая вода и выпускается высококачественная питьевая вода. Количество воды, расходуемой в крупных городах, весьма значительно и для подачи ее требуется сооружение мощных насосных станций.

Водопровод совершенно необходим для противопожарных целей. В крупных городах количество воды, расходуемой на тушение пожаров, достигает большой величины.

Водопроводы имеют исключительное значение и для ликвидации пожаров в условиях МПВО, что подтверждается опытом Великой отечественной войны.

Водопроводы промышленных предприятий предназначаются для обслуживания, главным образом, производственных, а также и хозяйственно-питьевых и противопожарных потребностей.

Промышленность является наиболее крупным водопотребителем, использующим воду: а) для охлаждения действующих агрегатов (металлургические заводы, тепловые электростанции), б) для парообразования (котельные установки), в) для нужд технологического процесса (химическая и текстильная промышленность, бумажное производство) и г) как элемент выпускаемой продукции (пищевая промышленность и др.).

Особенно большие количества воды требуются для охлаждения на тепловых электростанциях и на металлургических заводах. Малейший перебой в подаче охлаждающей воды на металлургическом заводе вызывает горение холодильных устройств доменных, мартеновских, нагревательных печей и т. д. Это влечет за собой выход из строя домашних печей или других важнейших агрегатов. Тепловые электростанции для охлаждения конденсаторов паровых турбин расходуют около 9 *м³/сек* воды на каждые 100 тыс. *квт* установленной мощности станции.

Стремление уменьшить расход охлаждающей воды привело к устройству на многих заводах оборотной системы водоснабжения, при которой нагретая вода охлаждается, а иногда и очищается на специальных сооружениях и снова поступает в дело.

Интересно сопоставить количество воды, потребляемое промышленностью, с размерами добычи и переработки минерального сырья. Так, за 1940 г. промышленность США израсходовала количество воды, в 6—7 раз превышающее общий тоннаж добытых и переработанных полезных ископаемых и различных материалов.

Железнодорожные водопроводы устраиваются при железнодорожных станциях для обслуживания хозяйственно-питьевых, противопожарных и производственных нужд (питание паровозов, водопотребление заводов, мастерских и т.д.).

Железнодорожные станции, находящиеся в зоне, обслуживаемой городским водопроводом, могут быть присоединены к нему, а другие потребности железнодорожного транспорта обеспечиваются водой из самостоятельного железнодорожного водопровода.

Водопроводы в совхозах и колхозах имеют назначением обеспечивать хозяйственно-питьевые потребности населения, животноводческих и молочно-товарных ферм, поливку садов и огородов, а также противопожарные нужды.

К водопроводам специального назначения относятся самостоятельные противопожарные водопроводы, поливочные водопроводы на аэродромах и стадионах, водопроводы для обслуживания системы фонтанов, водопроводы на территориях выставок и пр.

Некоторые из них являются весьма мощными сооружениями.

Поливочные водопроводы на аэродромах устраиваются с целью поддержания в надлежащем состоянии площадок для взлета и посадки самолетов, а на стадионах—для проведения спортивных соревнований и пр.

Специальный водопровод для обслуживания более 200 фонтанов устроен в г. Петродворец (б. Петергоф) еще в XVIII в.

§ 2. Основные исторические ступени развития водоснабжения

Уже в самые отдаленные исторические времена водоснабжение являлось предметом больших забот и внимания. Необходимость в водоснабжении давала себя чувствовать уже в первоначальные периоды существования древнейших государств: Египта, Вавилона, Ассирии, Палестины. Климатические особенности этих стран – редкие дожди и недостаточность водных источников заставляли изыскивать способы искусственного сбора, подъема и хранения запасов воды для питьевых и хозяйственных нужд.

Еще в конце второго додинастического периода, т. е. 5 тыс. лет тому назад, земледельцы Нильской долины перешли к ирригационной форме земледелия. Это потребовало огромных работ по рытью каналов, осушению болот, возведению дамб.

Древними египтянами впервые были устроены искусственные водохранилища для создания запасов воды на время засух. Одно из них, так называемое Меридское озеро, имело водную поверхность свыше 12 тыс. *га*[1].

В эпоху IX—X династий (2270—2060 гг. до н. э.) в связи с освоением „высоких" земель началось широкое применение

[1] Снегирев И. Л. и Францов Ю. П., Древний Египет, стр. 57 Соцэкгиз, 1938.

шадуфов — примитивных оросительных машин типа журавля, при помощи которых вода подавалась из каналов. Обслуживались эти машины рабами. Фараоны XII династии контролировали в общегосударственном масштабе ирригационное земледелие Египта. Во главе руководящего этими вопросами аппарата стоял визирь. До наших дней дошла инструкция фараона, устанавливающая фукции визиря. В числе их имеются и такие: „Он посылает чиновников заботиться о водоснабжении по всей стране" . . „ему докладывают о высоте Нила" (надпись в гробнице визиря Рехмара XVIII династии).

Значение водоснабжения отлично учитывалось египтянами и в военном деле. Так, перед выступлением в поход армии фараона Сети I (1313 г. до н. э. на участке пути между египетской крепостью Джару и г. Газа (южная Палестина) восстанавливались разрушенные колодцы и посылались вперед вооруженные отряды для их охраны.[2]

В древней Греции получили развитие водопроводы для питьевых и поливочных целей. Уже в „Одессе", песнь VII, имеется указание, что в саду Алкиноя, царя феаков (ныне остров Коркир) были два самотечных водопровода, один из которых „перед самым порогом царева жилища светлой струей бежал и граждане в нем черпали воду".

В Греции существовало много колодцев и акведуков, остатки которых были в свое время обнаружены. Геродот описал акведук г. Самоса[3] постройки архитектора Эвпалиноса из Мегары (700 г. до н. э), имевший протяжение 1 295 *м* и представлявший собой подземную галлерею шириной 2,46 *м*.

Древний Рим имел весьма крупное водопроводное хозяйство. Так, во времена Траяна (98—117 гг.) в Риме насчитывалось не менее 9 водопроводов общей длиной 443 *км*, из которых 49,5 *км* приходились на водопроводные мосты-акведуки высотой до 32 *м* и 2,4 *км*—на подземные галлереи. Общая производительность этих водопроводов достигала 950 тыс. $м^3$ воды в сутки.

В 310 г. в Риме имелось 34 водопровода, 15 терм (бань) и 856 общественных купален. В связи с такими масштабами сооружений управление водопроводом возлагалось на весьма ответственных лиц. Во время республики оно поручалось так называемым центром и эдилам. В период империи водопроводом управлял куратор. При Нероне и Траяне эту должность занимал Секстус Юлиус Фронтинус (40—103 гг.) командовавший до того римскими войсками в Бретани. Фронтинус был весьма образованным человеком; им была составлена книга

---

[1] Струев В. В., акад., История древнего Востока, стр. 51, Соцэкгиз, 1934.

[2] Снегирев И. Л. и Францов Ю.П., Древний Египет, стр. 243, Соцэкгиз. 1938.

[3] Тимонов В. Е., проф., Водоснабжение и водостоки, стр. 58—85, СПБ, 1899.

с подробным техническим описанием всех римских водопроводов.

Опыт римского водопроводного строительства был перенесен и в тогдашние провинции Рима. Остатки древних акведуков до сих пор сохранились в Италии, Греции, Испании, Франции, Венгрии и даже в Германии. Конструкции и архитектурный стиль римских акведуков находили в дальнейшем применение в Европе и даже в Америке вплоть до 70-х годов XIX столетия.

Политический и экономический упадок Рима в III—IV вв. и вторжение вандалов в V в. повлекли за собой разрушение водопроводов.

В течение более тысячи лет с V по XVI в. потребление воды в Западной Европе резко сокращалось. Это вскоре сказалось на росте целого ряда инфекционных заболеваний, которые стали эпидемически опустошать Европу.

Восстановление и новое строительство водопроводных сооружений в Западной Европе началось лишь в эпоху Возрождения; с XVI в. в Англии и Франции начинают применяться первые водоподъемные машины — насосы.

Строительство водопроводов в Новом Свете началось в XVI в. с Южной Америки. Первый водопровод был сооружен испанцами для г. Потози (Боливия) в 1565—1580 гг. по образцу римских акведуков.

Расцвет в XVII в. французского абсолютизма вызвал потребность в водоснабжении для многочисленных королевских дворцов. Сооружается водопровод для Луврского дворца и Сада Тюльери. После постройки Версальского дворца Людовик XIV в 1662 г. поручает голландцу Реннеквин установить в Марли машину, которая при помощи 227 насосов тремя последовательными подъемами подавала 2 800 $м^3/сутки$ воды на высоту 162 *м*. Тогда же были построены мраморные бассейны и фонтаны с большой сетью труб чугунных (впервые примененных в 1664 г.) и свинцовых.

В Лондоне первые домовые водопроводы из свинцовых труб начали устраивать с конца XVI в., а в 1613 г. были применены деревянные трубы для уличной сети.

В США первый водопровод из деревянных сверленых труб устроен в 1652 г. для г. Бостона. Такие же трубы были уложены для первого водопровода в Нью-Йорке, построенного в 1799 г.

В XVIII в. изобретены паровые насосы. В XIX в. появились первые фильтры — медленные с 1829 г. (Лондон) и скорые с 1885 г. (г. Соммервил, США). С конца XIX в. начинается широкое строительство водопроводов во всех крупных и передовых странах.

Развитие водопроводного дела в России началось еще в феодальную эпоху. В Новгороде при недавних раскопках обнаружен водопровод из деревянных труб внутренним диаметром

140 *мм*, проложенный русскими мастерами еще в 1090 г., т. е. на 500—600 лет раньше, чем в Англии и США. Водопровод заложен на глубине 3 *м* под площадью, где собиралось вече. По водопроводным трубам до сих пор струится чистая родниковая вода.

В „Слове о полку Игореве" участник похода 1185 г. на половцев Всеволод отмечает наличие в Курской рати специалистов по полевому водоснабжению. „А мои то куряне — ратники бывалые ... Пути им ведомы, родники по оврагам знаемы"... (В подлиннике: „яруги им знаеми")[1].

Русской технике XII—XIII вв. были известны способы устройства глубоких колодцев — до 75 *м* (г. Холм). Если вода получалась из реки, то в целях маскировки подхода к реке из города устраивался „тайник" (потайной ход). Башни, возводившиеся для защиты тайников, назывались тайницкими. Отсюда название Тайницкой башни Московского Кремля. В 1485—1492 гг. Петр Антон Фрязин построил в Кремле самотечный водопровод из родника Арсенальной башни.

В 1519 г. в Пскове устроен первый русский водопровод с искусственным подъемом воды.

При проходке штолен первой очереди московского метрополитена под Никольскими воротами была обнаружена система водоподающих галлерей постройки XVI в. Сильная струя воды, бившая из подземной галлереи, залила траншеи и затормозила работы по устройству подземной станции „площадь Дзержинского". Вокруг галлереи были произведены большие раскопки. Обнаружены два хода, которые привели к высокой стене, сложенной из хорошо обтесанного белого камня. С большим трудом удалось пробить эту стену и проникнуть в большой бассейн, заполненный приточной водой. Размеры бассейна 10 × 8 *м*, глубина около 2,5 *м*. Весь бассейн сооружен из кирпича. Постоянный приток свежей воды показал, что бассейн связан с целой системой водопроводящих линий, прекрасно сохранившихся в течение четырех столетий. Археологи установили, что бассейн сооружен в 1534 г. матерью Ивана Грозного — Еленой Глинской.

В XVI в. самотечные водопроводы были устроены в Киеве во Пскове, в Соловецком монастыре. В XVII в. подобные же водопроводы имелись в ряде крепостей и в больших монастырях.

В 1631 г. построен русскими мастерами первый напорный водопровод для подачи воды из Москва-реки в Кормовой дворец Кремля. Водопровод Кремля неоднократно расширялся в XVII в.

В начале XVIII в. в Петербурге устроен Лиговский канал для снабжения водой дома Петра I, а в 1721 г. — знаменитые петергофские фонтаны. В 1743—1749 гг. построен водопровод

[1] „Слово о полку Игореве" — перевод, предисловие и пояснения Ивана Новикова, изд. „Художественная литература", М., 1938.

для фонтанов в Царскосельском саду. В 1773—1787 гг. осуществлен Таицкий водопровод в Царском селе. В 1779—1804 гг. построен мытищинский водопровод для Москвы; в 1807 г. — Пулковский водопровод из деревянных сверленых труб, сохранившийся до наших дней. Далее следуют водопроводы Оренбурга (1836 г.), Одессы (1845—1849 гг.), Нижнего Новгорода (1846 г.), Петербурга (1859—1861 гг.).

Во второй половине XIX в. в России строилось ежегодно в среднем по одному городскому водопроводу, но ряд больших городов царской России (например Баку, Таганрог, Екатеринбург, Владивосток и др.) оставался без водопровода до самой Октябрьской революции.

Русские писатели А. М. Горький и А. П. Чехов сочли своим долгом отметить неудовлетворительное состояние водоснабжения в некоторых городах.

А. М. Горький, дважды побывавший (в 1892 и 1897 гг.) в дореволюционном Баку и давший исключительный по выразительности облик нефтяных промыслов, прямо указывает: „в этом городе не было воды, для богатых ее привозили за 100 верст в цистернах, бедняки пили опресненную воду моря".

Водопровод в Баку был пущен только в 1917 г., незадолго до Октябрьской революции, недостроенным, так как при проектной мощности 70 тыс. *м*^{3}/*сутки* мог дать лишь 10 тыс. *м*^{3}/*сутки* воды. Производительность его увеличена уже при советской власти. В 1944 г. возобновилось прерванное во время войны строительство второго бакинского водопровода с подачей воды за 175 *км* из подземных источников Хачмас-Кусарчайского района.

А. П. Чехов в повести „Моя жизнь" дает резкую характеристику положения с водоснабжением г. Таганрога, насчитывавшего в то время 65 тыс. жителей. „В думе, у губернатора, у архиерея, всюду в домах много лет говорили о том, что у нас в городе нет хорошей и дешевой воды и что необходимо занять у казны 200 тыс. на водопровод; очень богатые люди, которых у нас в городе можно было насчитать десятка три и которые, случалось проигрывали в карты целые имения, тоже пили дурную воду и всю жизнь говорили с азартом о займе — и я не понимал этого; мне казалось, было бы проще взять и выложить эти двести тысяч из своего кармана".

А. П. Чехов писал это в 1898 г., но водопровод был построен только при советской власти, в 1924 г.

За 30 лет Советской власти в нашей стране проделана гигантская работа по технической реконструкции и строительству новых водопроводов. За период 1917—1947 гг. число городов СССР, имеющих водопроводы возросло с 215 до 466. Водопроводная сеть в городах удлинилась в 3 раза, подача воды увеличилась в 7 раз.

Динамика роста[1] числа и производительности городских водопроводов видна из табл. 1.

[1] Социалистическое строительство Союза ССР, 1936—1938, стр. 136, ЦУНХУ, 1939.

Таблица 1

Показатели	До Великой октябрьской социалистической революции 1917 г.	К началу I пятилетки 1928 г.	К началу II пятилетки 1933 г.	К началу III пятилетки 1938 г.	К началу Великой Отечественной войны 1941 г.
Число городов с водопроводами	215	290	337	411	466
Общее протяжение уличной сети в *км* . .	5 102	7 744	9 892	14 029	16 212
Среднесуточная подача воды в сеть в тыс. $м^3$.	625	811	1 654	3 482	4 338

Решительный поворот в росте коммунального водоснабжения неразрывно связан с индустриализацией Советского Союза.

Кроме нового водопроводного строительства проводилась реконструкция старых водопроводов, которая в большинстве случаев выражалась в постройке совершенно новых, в несколько раз более мощных и технически усовершенствованных сооружений.

Примером такой реконструкции может служить Московский водопровод, производительность которого по сравнению с дореволюционным временем увеличилась в $10^1/_2$ раз, а водопотребление на 1 жителя — в $4^1/_2$ раза. Построенный канал им. Москвы и пуск новых очистных станций позволят еще увеличить подачу воды для Москвы и повысить производительность водопровода к 1950 г. почти на 50%, доведя ее до 1,8 млн. $м^3/сутки$.

Важно отметить, что рост подачи воды коммунальными водопроводами за период 1928—1941 гг. происходил в условиях огромного прироста городского населения, которого не знала еще ни одна страна в мире. Об этом нужно судить по увеличению числа городов с населением более 100 тыс. человек, которых на территории СССР имелось в 1913 г.—23; в 1928—34; в 1933 —61; в 1937 г.—75, а к началу 1939 г. —82.

Более отчетливо рост подачи воды обнаруживается при сравнении его с ростом всего городского населения СССР.

Из табл. 2 следует, что если за период 1917—1928 гг. подача воды увеличилась примерно в той же пропорции, как и городское население, то в течение 1928—1932 гг. рост подачи воды уже обгоняет рост населения в городах в 1,65 раза, а за 1933—1937 гг. — в 2,4 раза и за 1938—1941 гг. уже почти в 3 раза.

Таблица 2

Наименование показателей	1917 г.	1928 г.	1933 г.	1938 г.	1941 г.
Городское население СССР в млн. человек	24,7	27,6	39,7	55,9	60,0
То же в %	100	111,5	160,5	226,3	242,9
Подача воды городскими водопроводами в тыс. *м³/сутки*	624,7	811,0	1'653,9	3 482,0	4 338,0
То же в %	100	130	265	539	693

Таким образом водопотребление на душу населения в наших городах за годы Советской власти значительно увеличилось и неуклонно продолжает повышаться.

Промышленному водоснабжению в дореволюционное время уделялось меньшее внимание, чем городскому. Это объясняется технической отсталостью прежней российской промышленности, не предъявлявшей в силу этого серьезных требований к системам водоснабжения и к количеству и качеству подаваемой воды.

Индустриализация СССР, сопровождаемая строительством предприятий мирового значения, дала могучий толчок развитию промышленного водоснабжения и хозяйственно-питьевого водоснабжения рабочих поселков и новых городов.

В настоящее время в СССР насчитывается более 6 тыс. промышленных водопроводов с общим протяжением сети около 50 тыс. *км*. Подача воды промышленными водопроводами в 1940 г. составляла 42,5 млн. *м³/сутки* — в 17 раз больше, чем в 1913 г.

Большим разрушениям подверглись водопроводы наших городов и промышленных предприятий в дни Великой отечественной войны. Только по РСФСР в городах, находившихся в оккупации, немецко-фашистскими захватчиками разрушено более 100 коммунальных водопроводов. В 1942—1943 гг. на большинстве из них были уже произведены первоначальные восстановительные работы.

Пятилетним планом восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946—1950 гг. поставлены задачи не только

восстановления всех разрушенных водопроводов, но и значительного увеличения строительства и ввода в эксплоатацию новых водопроводных сооружений.

ГЛАВА II

СХЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ, НОРМЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ, РАСЧЕТНЫЕ РАСХОДЫ И НАПОРЫ

§ 3. Схемы водоснабжения

Современный водопровод представляет собой систему связанных между собой сооружений, разбросанных на большой территории; от согласованной работы этих сооружений зависит бесперебойность подачи воды и качество подаваемой воды.

Состав сооружений, входящих в систему водоснабжения, зависит: 1) от назначения водопровода, 2) от рода источника, используемого для водопровода и 3) от рельефа местности.

Характеристика водопроводов разного назначения уже сделана в § 1.

По роду источника можно различать следующие типы водоснабжения: 1) из открытых (поверхностных) источников, 2) из закрытых (подземных) источников и 3) смешанные (из поверхностных и подземных источников).

Открытыми источниками могут служить: реки, водохранилища, озера и моря.

Большинство наших крупных городских и промышленных водопроводов получает воду из рек (Ленинград, Горький, Ростов-на-Дону, Кузнецкий металлургический комбинат им. Сталина, Кемеровский азотно-туковый комбинат им. Сталина, металлургические заводы, расположенные на Днепре, предприятия г. Сталинграда и многие другие). На рис. 1 представлена общая схема водоснабжения города, пользующегося водой из реки. В состав водопровода в данном случае входят: 1) водоприемник, 2) насосная станция первого подъема, 3) станция очистки воды (отстойники, фильтры), 4) резервуары чистой воды, 5) насосная станция второго подъема, 6) водовод, 7) водонапорная башня, 8) разводящая сеть труб.

Если вода предназначается для технических нужд промышленного предприятия, она чаще всего может подаваться без очистки в обособленную производственную водопроводную сеть, и надобность в очистных сооружениях для такой воды отпадает. В этих случаях очистные сооружения и насосная станция второго подъема устраиваются только на хозяйственно-питьевом водопроводе.

Во многих случаях удается насосы первого и второго подъемов расположить в одном общем здании.

Водоприемники на реках по санитарным соображениям

располагают всегда выше по течению, чем обслуживаемый водопроводом населенный пункт.

В связи с ростом водопотребления участилось использование в качестве источников водоснабжения водохранилищ (Москва, Владивосток, Магнитогорский металлургический комбинат, Сталиногорский химический комбинат и др.).

Водопроводов, пользующихся водой из озер, у нас сравнительно немного (Мурманск, Петрозаводск и др.).

Морская вода используется преимущественно для технических нужд промышленных предприятий, расположенных

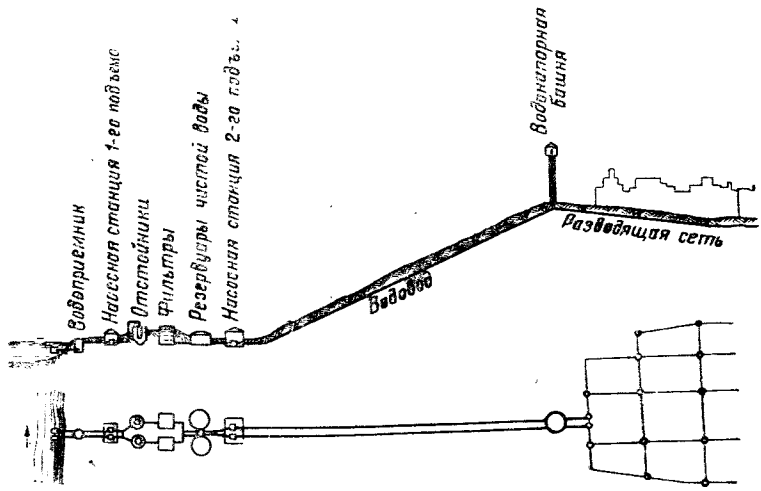


Рис. 1. Общая схема водоснабжения из речного источника. План и профиль

на морских побережьях (Азовсталь, Керченский металлургический завод им. Войкова, Таганрогский завод им. Андреева и др.).

Закрытыми (подземными) источниками могут быть: 1) артезианские воды, 2) грунтовые воды и 3) ключи.

В СССР не менее 40% всех городских водопроводов пользуются подземными источниками.

Схема водоснабжения из подземных источников показана на рис. 2. Использование артезианских скважин, дающих обычно воду вполне удовлетворительного качества, позволяет отказаться от устройства очистных сооружений. Ввиду того что в данном случае подземные воды защищены от загрязнения верхними водонепроницаемыми породами, артезианские скважины можно располагать вблизи снабжаемого водой пункта. Благодаря этому отпадает надобность в водоводе большого протяжения.

В рассматриваемом случае система водоснабжения состоит из 1) артезианских скважин, оборудованных глубоководными насосами первого подъема, 2) сборного резервуара, 3) насосной станции второго подъема, 4) водонапорной башни и 5) разводящей сети труб. В данном случае водонапорную башню по местным условиям оказалось более целесообразным расположить не в начале сети, как на рис. 1, а в конце сети.

Смешанное водоснабжение — из поверхностных и подземных источников — имеет, например, г. Харьков.

По способу подачи воды следует различать: 1) на-

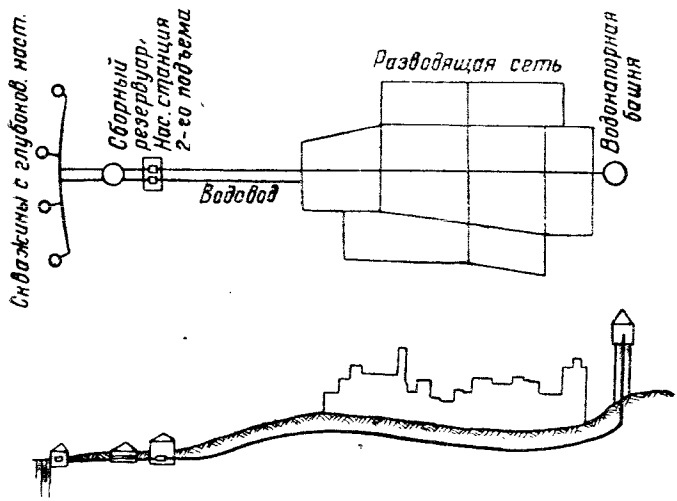


Рис. 2. Общая схема водоснабжения из подземного источника. План и профиль

порные водопроводы, 2) самотечные водопроводы и 3) водопроводы с частичной подкачкой. Способ подачи воды в значительной мере зависит от рельефа местности, а также от высоты городских и промышленных зданий и от требуемого напора в сети при тушении пожара. Большинство имеющихся у нас водопроводов относится к напорным, например в Москве, Ленинграде, Горьком, Куйбышеве, Молотове, Новосибирске, Саратове, Свердловске, Челябинске.

Устройство самотечных водопроводов чаще всего возможно в тех случаях, когда город или промышленное предприятие снабжается водой из горных рек, водохранилищ или родников. Самотечным водопроводом пользуются города Алма-Ата, Дзауджикау, Махач-Кала, Алупка, Стерлитамак, а также ряд городов Грузии и Азербайджана.

В водопроводах с частичной подкачкой вода поступает в основном самотеком, но для отдельных возвышенных райо-

нов устраиваются местные станции подкачки воды. Такие станции подкачки приходится иногда устраивать и на отдельных напорных участках самотечных водоводов, как это сделано, например, в городах Баку, Ялта, Златоуст, Сызрань, Ессентуки, Новосибирск и др.

§ 4. Расчетные расходы воды

Городские и поселковые водопроводы должны рассчитываться на то количество населения, которое будет к концу расчетного срока. Согласно действующим нормам СТ 20/НКХ РСФСР расчетный срок должен устанавливаться по материалам проекта планировки города, предусматривающего развитие народного хозяйства, а также рост населения и характер его расселения по территории города. Прирост населения может быть естественным за счет превышения рождаемости над смертностью или механическим за счет притока новых жителей со стороны.

В случае отсутствия проекта планировки рост населения принимается по данным местных плановых органов. При составлении технического проекта обычно предусматривается удовлетворение потребностей города в воде только на ближайшие 5 лет, считая со дня намеченного начала строительства, однако при составлении технического проекта должна быть предусмотрена возможность перспективного развития водопровода, для чего разрабатывается схема такого развития.

В городских хозяйственно-противопожарных водопроводах расчетный расход воды слагается из:

1) хозяйственно-питьевого водопотребления в жилых зданиях;

2) расхода воды в культурно-бытовых и лечебных учреждениях (бани, больницы и т. п.);

3) расхода воды на поливку улиц, зеленых насаждений, на фонтаны и т. п.;

4) хозяйственно-питьевого водопотребления на предприятиях и на транспорте;

5) производственного потребления воды промышленными предприятиями, для которых требуется вода питьевого качества (хлебозаводы, мясокомбинаты и пр.), а также теми предприятиями, для которых экономически нецелесообразно сооружение отдельного водопровода специально для подачи технической воды;

6) расхода воды на тушение пожаров;

7) прочих расходов воды (утечка, промывка водопроводной и канализационной сетей и др.).

§ 5. Нормы водопотребления

Норма хозяйственно-питьевого водопотребления в городах согласно СТ 20 НКХ РСФСР, принимается по табл. 3.

Таблица 3

Характеристика района	Среднесуточное водопотребление в *л*	Максимальное суточное водопотребление в *л*
В районах города, застроенных зданиями, не присоединенными к водопроводу и канализации, при водопользовании из уличных водоразборов	30—50	40—60
В районах города, застроенных зданиями, присоединенными к водопроводу и канализации	60—80	75—100
В районах города, застроенных зданиями, оборудованными внутренним водопроводом, канализацией и ваннами с местным нагревом	90—120	110—150
В районах города, застроенных зданиями, оборудованными центральным горячим водоснабжением	150—200	175—225

Нормы водопотребления для крупных городов с населением более 200 тыс. человек определяются особо в каждом отдельном случае.

Приведенные нормы охватывают все хозяйственно-питьевые потребности населения в воде; расход воды на хозяйственные и производственные нужды промышленных предприятий, пользующихся городским водопроводом, учитывается отдельно.

Для санаториев норма водопотребления устанавливается в 250—400 *л* на одного больного в сутки. Если санатории оборудованы установками для кондиционирования воздуха, холодильниками и т. п., расход воды повышается до 500—700 *л* на одного больного в сутки. Для обслуживающего персонала, проживающего на территории санатория, расходы воды принимаются по тем же нормам, как для населения.

Расход воды для хозяйственно-питьевых нужд рабочих во время пребывания их на производстве принимается по табл. 4. Число пользующихся душами принимается по данным технологического проекта.

Таблица 4

Характеристика производства	Хозяйственно-питьевой расход на одного рабочего в смену в *л*	Расход на души на одного человека в *л*
Холодное производство	25	40
Холодное производство, связанное с сильным загрязнением тела	25	60
Горячее производство	35	40
Горячее производство, связанное с сильным загрязнением тела	35	60

Уфимский химзавод
Т
БИБЛИО

Расход воды на технические нужды промышленных предприятий определяется по технологическому заданию, указывающему расход воды на единицу продукции в единицу времени.

§ 6. Режим потребления воды в городе

Расход воды в городе никогда не бывает равномерным, различают суточные и часовые колебания расхода.

Суточные колебания зависят от времени года и от уклада жизни населения; например, в больших городах расход воды повышается летом, а также в выходные дни и накануне выходных дней. В рабочих поселках расход воды увеличивается, кроме того, в дни работы бань и прачечных и т. п.

Часовые колебания водопотребления в течение суток весьма значительны; ночью воды расходуется меньше, чем днем; нарастание расхода начинается с утра, затем перед полуднем расход несколько снижается; после полудня вновь поднимается и достигает максимума; вечером расход начинает уменьшаться и постепенно доходит до ночного минимума.

Для расчета водопроводных сооружений нужно знать максимально возможные расходы воды, чтобы сооружения могли бесперебойно работать в часы наибольшего водопотребления. Отношение наибольшего суточного водопотребления к среднему суточному за год называется коэфициентом суточной неравномерности.

Максимальный суточный расход получается путем умножения среднего суточного расхода на коэфициент суточной неравномерности.

Колебания расхода воды по часам в течение суток учитываются коэфициентами часовой неравномерности. Максимальный часовой расход получается при умножении среднего часового расхода на коэфициент часовой неравномерности.

В табл. 3 приведены, кроме средних, максимальные суточные нормы, в которых уже учтен коэфициент суточной неравномерности. При необходимости определения этого коэфициента по приведенным нормам нужно максимальный суточный расход разделить на средний.

Нормами СТ 20/НККХ РСФСР установлены следующие расчетные коэфициенты часовой неравномерности хозяйственно-питьевого потребления:

При максимальном суточном расходе	40— 60 *л* . . .	1,4 —2,0
„ „ „ „	75—100 „ . . .	1,3 —1,6
„ „ „ „	110—150 „ . . .	1,2 —1,4
„ „ „ „	175—225 „ . . .	1,15—1,30

Величина коэфициента часовой неравномерности в указанных пределах зависит от размеров населенного пункта, числа

промышленных предприятий и их характера, от климата, степени благоустройства и пр.

Для хозяйственно-питьевого водопотребления рабочих во время пребывания их на производстве принимается коэфициент часовой неравномерности 3,0 для холодных производств и 2,0 — для горячих производств[1].

При учете расходов воды на души для рабочих принимается, что пропуск всех рабочих одной смены через души производится в течение 45 мин.; при этом нужно считать, что часть воды для душей (50—60%) подается непосредственно из водопроводной сети во время пользования душами, а остальная часть подается заранее для предварительного нагрева.

Коэфициенты часовой неравномерности расходов производственной воды определяются технологическими условиями производства.

§ 7. Напор в водопроводных трубах

Вода в водопроводных трубах должна находиться под некоторым напором, позволяющим подниматься ей на определенную высоту. Напор измеряется в метрах водяного столба или в атмосферах, при этом давление в 10 *м* вод. ст. принимается равным 1 *ат*. При движении воды по трубам часть напора теряется на преодоление трения воды о стенки труб, преодоление гидравлических сопротивлений при поворотах, в ответвлениях, при прохождении через краны и т. п. Потери напора измеряются так же, как и самый напор, в метрах водяного столба.

Чтобы подать воду из реки насосом *Б* в водоразборный кран *О* в верхнем этаже здания *А* (рис. 3), нужно поднять воду от отметки Z_1 уровня воды в реке до отметки Z_2 поверхности земли у здания *А* (так называемая геометрическая высота подъема воды $H_г = Z_2 - Z_1$); при этом должен оставаться напор $H_с$, так называемый свободный напор, достаточный для подъема воды от отметки Z_2 до верхнего водоразборного крана, для преодоления трения в трубах внутренней сети и обеспечения излива воды из крана с небольшим напором 1—2 *м*.

При подъеме воды из реки к зданию затрачивается еще напор $H_н$ для преодоления потерь от трения в наружном трубопроводе при движении по нему воды.

Следовательно, напор, создаваемый насосом $H_{нас}$, должен быть равен сумме перечисленных напоров, т. е.

$$H_{нас} = H_г + H_с + H_н = (Z_2 - Z_1) + H_с + H_н. \qquad (1)$$

---

[1] Промстройпроект, исходя из опыта многолетнего проектирования, коэфициент часовой неравномерности для горячих производств принимает равным 2,5.

Если давление в трубах считать от какого-либо условного горизонта например от уровня моря, то оно называется пьезометрическим. В рассматриваемом случае, если принять за условный горизонт уровень воды в реке, пьезометрическое давление у насоса будет:

$$Z_{нас}=H_г+H_с+H_п. \qquad (2)$$

Отметка давления у насоса на рис. 3 изображена точкой B отметка же пьезометрического давления у здания $Z_з=H_г+H_с$ изображена точкой $Г$.

В промежуточных точках между насосной станцией и

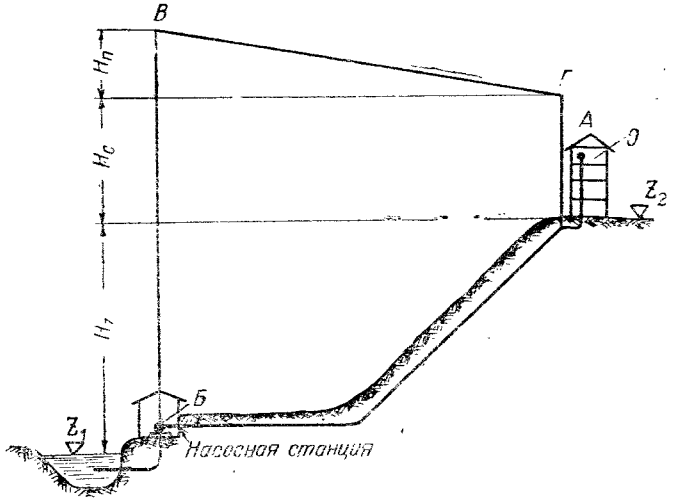


Рис. 3. Пьезометрический и свободный напоры

зданием A отметки пьезометрического давления расположатся по линии $ВГ$, называемой линией пьезометрического давления или пьезометрической линией. Эта линия может быть прямой или ломаной в зависимости от распределения потерь по трубопроводу. Если потери напора распределены по всей линии наружного трубопровода от насосной станции до здания A равномерно, то пьезометрическая $ВГ$ будет прямой.

Величина необходимого свободного напора $H_с$ зависит от этажности застройки и принимается по нормам.

По нормам СТ 20/НККХ РСФСР для населенных мест минимальный свободный напор в сети над уровнем земли при хозяйственном водоразборе должен быть:

Для районов с 1—2-этажной застройкой . . . . . 12 *м*
„ „ „ 3 „ „ . . . . . 16 „
„ „ „ 4 „ „ . . . . . 20 „
„ „ „ 5 „ „ . . . . . 25 „
„ „ „ 6 „ „ . . . . . 30 „ и т. д.
с прибавлением на каждый этаж по 5 *м*.

§ 8. Противопожарные водопроводы

При устройстве в городах и рабочих поселках водопроводов надо обеспечить возможность получения из них в любое время расхода воды, требуемого для тушения пожаров.

Если противопожарные нужды промышленных предприятий не могут быть обеспечены городским водопроводом, то промышленные предприятия должны иметь собственное противопожарное водоснабжение. Расход воды на пожар в этом случае считается по нормам строительного проектирования для промышленных предприятий (ОСТ 90015-39).

Хозяйственно-противопожарные водопроводы могут быть устроены по системе:

1) „низкого давления", при которой необходимый для тушения пожара напор создается при помощи привозных пожарных насосов, присоединяемых к пожарным кранам (гидрантам) наружной водопроводной сети;

2) „высокого давления", при которой давление в любой точке водопроводной сети, достаточное для тушения пожаров непосредственно от гидрантов (т. е. без помощи привозных пожарных насосов), создается стационарными насосами, установленными на насосной станции, причем должна быть гарантирована возможность включения их не позднее 5 мин. с момента подачи сигнала;

3) „постоянного высокого давления", при которой давление, достаточное для тушения пожаров непосредственно от гидрантов, в любой точке водопроводной сети поддерживается постоянно. Постоянное давление можно обеспечить в тех случаях, когда вода для водопровода поступает самотеком из высоко расположенных источников, а также когда необходимые для тушения пожара запасы воды хранятся в расположенных на возвышенности резервуарах.

В населенных местах, как правило, применяются противопожарные водопроводы низкого давления. На промышленных предприятиях устраиваются противопожарные водопроводы низкого или высокого давления.

Что же касается систем постоянного высокого давления, то их применение является весьма ограниченным.

При определении расхода воды для тушения пожаров учитываются расчетное количество населения, тип и характер застройки, огнестойкость строений, наличие ветров и другие условия в соответствии с табл. 5.

При наличии в городе районов с ясно выраженным различием в характере застройки расход воды на тушение пожаров определяется по соответствующим категориям и разрядам табл. 6 для каждого района в отдельности. Расчетная продолжительность времени тушения пожара принимается в 3 часа.

На промышленных предприятиях пожарные водопроводы объединяются или с производственными (техническими) или

Таблица 5

Категория населенного места	Численность населения в тыс. человек	Каменная застройка до двух этажей включительно		Деревянная застройка до двух этажей включительно		Смешанная застройка по этажности и материалу		Многоэтажная застройка	
		количество воды на один пожар в *л/сек*	расчетное число одновременных пожаров	количество воды на один пожар в *л/сек*	расчетное число одновременных пожаров	количество воды на один пожар в *л/сек*	расчетное число одновременных пожаров	количество воды на один пожар в *л/сек*	расчетное число одновременных пожаров
1	До 10	10	1	10	1—2	10—15	1	10—15	1
2	10—25	10—15	1	15—20	1—2	15—20	1—2	20	1—2
3	25—75	10—20	2	20—25	2	20—30	2	20—30	2
4	75—200	20	2—3	20—30	2—3	20—40	2—3	30—40	2—3
5	200—350	—	—	—	—	30—40	2—3	40—60	2—3
6	350—500	—	—	—	—	40—60	3—4	60—80	3—4

с хозяйственно-питьевыми водопроводами. Отдельные противопожарные водопроводы допускаются только в исключительных случаях.

По нормам устройства противопожарных водопроводов для промышленных предприятий (ОСТ 90015-39) количество воды, подаваемой на один пожар, ставится в зависимость от площади, занимаемой предприятием, причем все предприятия делятся на четыре разряда согласно табл. 6. Площадь, занимаемая предприятием (в гектарах), считается, включая административную зону, но без территории рабочих поселков и открытых складов огнестойких, полуогнестойких и малоценных материалов.

Таблица 6

Площадь, занимаемая предприятием, в *га*	Разряд предприятия	Расходы воды в *л/сек*		
		из наружных гидрантов	из внутренних пожарных кранов	всего
51—100	I	40	6	46
21—50	II	30	6	36
11—20	III	20	5	25
До 10	IV	10	5	15

В настоящее время находятся на утверждении новые нормы расхода воды для наружного пожаротушения на промышленных предприятиях (табл. 7):

Таблица 7

Расход воды для наружного пожаротушения промпредприятий в *л/сек*

Категория промышленного предприятия	Кубатура производственного корпуса в $м^3$	Здание с огнестойкими и полуогнестойкими стенами и покрытием	Здание с огнестойкими и полуогнестойкими стенами и сгораемым покрытием	Здание со сгораемыми и полусгораемыми стенами и покрытием
Предприятие с производством нормальной пожарной опасности	До 10 000 вкл.	10	15	20
	10 000— 50 000	20	25	35
	50 000—100 000	25	30	40
	Более 100 000	30	35	45
Предприятие с производством высокой пожарной опасности	До 10 000 вкл.	15	20	25
	10 000— 50 000	25	35	45
	50 000—100 000	30	45	60
	Более 100 000	35	50	60

Примечания. 1. Для предприятий, территория которых составляет 75 га и более, принимается два расчетных пожара.

2. При наличии промышленных зданий с большими площадями сгораемых зданий расходы воды по табл. 7 уточняются из расчета обеспечения фронта пожаротушения удельным расходом воды в 7,5 *л/сек* на каждые 10 *пог. м* длины фронта огня. Длиной фронта огня служит ширина указанного здания или участок, заключенный между ближайшими брандмауерами его перекрытия.

Водопроводная сеть должна быть рассчитана на пропуск пожарного расхода при одновременном максимальном хозяйственном расходе. Трубы должны иметь диаметр не менее 100 *мм*. Пожарные гидранты устанавливаются на расстоянии не более 100 *м* один от другого, а также и на всех уличных перекрестках.

В водопроводах низкого давления во время пожаров допускается снижение свободного напора в сети до 10 *м*.

Напор в противопожарных водопроводах высокого давления должен обеспечивать высоту струи не менее 10 *м* при полном пожарном расходе и расположении ствола на уровне наивысшей точки самого высокого здания на территории предприятия.

Время возобновления пожарного запаса воды в резервуарах в городских водопроводах не должно быть более 12—24 час. в зависимости от расчетного числа одновременных пожаров, а в водопроводах промышленных предприятий не должно быть более 24—36 час. в зависимости от разряда пожаротушения.

ГЛАВА III

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАХВАТА ВОДЫ

§ 9. Природные источники водоснабжения и их характеристика

Воды поверхностных источников весьма разнообразны по своему качеству не только в различных географических пунктах, но даже и в одном и том же месте в различные периоды времени. Так, например, прозрачность воды в реках, высокая зимой, резко падает в период летних и осенних дождей и особенно весной во время паводков. Меняются также солевой состав воды, температура и бактериальное загрязнение. Все эти факторы должны учитываться при выборе источника водоснабжения.

При спуске в реку каких-либо сточных вод она загрязняется на некотором протяжении. Ниже по течению речная вода вновь восстанавливает свои прежние свойства; иначе говоря, происходит так называемое самоочищение реки в результате физико-химических и биологических процессов (осаждение механических примесей, окисление органических веществ и гибель бактерий). Источник может считаться пригодным к использованию для хозяйственно-питьевого водоснабжения при отсутствии бактериальных и химических загрязнений и если содержание растворенного в воде кислорода[1] составляет не менее 6 *мг/л*.

Многие реки в промышленных районах зачастую не в состоянии справиться с вносимыми в них загрязнениями, т. е. в них самоочищения не происходит.

При выборе места водозабора нужно учитывать указанную способность реки к самоочищению.

Когда в реку поступает сразу большое количество загрязнений с фабрик и заводов, то случается, что и многоводная река не сразу их обезвреживает. Смешивание грязных вод с чистыми происходит довольно медленно. Иногда загрязнения, внесенные в большую реку, еще заметны на протяжении 20—30 *км* вниз по течению.

Это можно наблюдать на примере любого притока, впадающего в какую-нибудь большую реку. Воды их долго не смешиваются, даже на очень большом расстоянии от места впадения, и в одном русле текут две реки.

Иногда несмешивающиеся потоки можно различить только путем химического или бактериологического анализа. Так, например, в районе г. Молотова воды Камы у левого берега содержат в 1,5 раза больше хлоридов, чем у правого берега, а Нева в Ленинграде имеет значительно меньше бактерий в середине, чем у берегов.

[1] В воде, содержащей менее 5 *мг/л* растворенного кислорода, рыба не может жить.

Крупные озера отличаются более постоянным качеством воды, особенно в удаленной от берега зоне.

Закрытые (подземные) источники бывают грунтовые, артезианские и ключевые.

Грунтовыми называются воды, находящиеся в верхней части земной толщи выше водонепроницаемых пластов, под нормальным атмосферным давлением. Артезианскими или напорными, называются подземные воды, лежащие между двумя водонепроницаемыми пластами и находящиеся под напором. Ключи (родники) представляют собой естественный выход подземных вод на земную поверхность.

Качество подземных вод существенно отличается от качества речной воды. Подземные воды по большей части бывают жесткими, так как, приходя в соприкосновение с часто встречающимися в земной коре известняками, мелом, доломитом и др., они минерализуются. Иногда встречаются подземные воды с содержанием закиси железа. Температура подземных вод отличается постоянством.

§ 10. Выбор места забора воды из поверхностных источников

Если в качестве источника водоснабжения выбирается река, то в первую очередь надо выяснить, достаточен ли расход воды в реке в сухое время наиболее маловодного года. Для этой цели используются данные многолетних наблюдений речных водомерных постов.

Место забора воды для производственных целей следует выбирать по возможности ближе к предприятию и к цехам, потребляющим много воды; сооружения, забирающие воду для питьевых нужд, следует располагать выше населенных пунктов. Для защиты водоприемника хозяйственно-питьевой воды от загрязнений необходимо организовать зону санитарной охраны согласно постановлению ЦИК и СНК СССР от 17 мая 1937 г.

Зона санитарной охраны состоит из трех поясов с различными режимами. В первом поясе, так называемом поясе строгого режима, запрещены не только постоянное проживание, но и временное пребывание лиц, не имеющих отношения к водопроводу. Во втором поясе — поясе ограничений — только с особого разрешения органов государственной санитарной инспекции могут допускаться строительство, пуска зеленых насаждений, устройство железнодорожных путей, автомобильных дорог, купание и т. д. В третьем поясе — поясе наблюдений — проводится особый учет инфекционных заболеваний с обязательным эпидемиологическим обследованием каждого такого случая.

Правила санитарной охраны обязательны также и для подземных источников.

При выборе места водозабора в первую очередь должны

быть учтены технико-экономические условия. При одинаковой примерно возможности устройства водоприемника как на выпуклом, так и на вогнутом берегу предпочтительно располагать его у вогнутого берега, возле которого глубина реки более значительна. Однако вогнутый берег подвержен размыву, что часто заставляет предусматривать в проекте водозабора берегоукрепительные мероприятия.

Водозабор надо располагать на участке, где при ледоходе не бывает нагромождения льда. В случае возможности образования в данной реке глубинного льда (в виде шуги или в виде донного льда) водозабор необходимо устраивать в таком месте, где опасность закупорки глубинным льдом входных отверстий и труб минимальна.

Водозабор должен быть удален (вниз по течению) от устьев впадающих в реку притоков и оврагов во избежание заноса водоприемных устройств отложениями из этих притоков.

Участок, отводимый под водозабор, должен по площади и по гидрогеологическим условиям подходить для размещения головных сооружений водопровода с учетом последующего расширения. В выбранном месте делается съемка поперечного профиля реки, на котором по данным многолетних наблюдений наносятся горизонт высоких вод (г. в. в.), горизонт низких вод (г. н. в.), средний меженний горизонт (м. г.) и горизонты ледостава и ледохода. Сообразно с профилем составляется проект водозабора. Водоприемник выносится в реку таким образом, чтобы можно было разместить водозаборные трубы не ниже чем на 1,25—1,50 *м* над дном реки и не менее чем на 1,25—1,50 *м* от поверхности воды при низком горизонте; следовательно, глубина реки в месте расположения водоприемника должна быть не менее 2,5 *м*. Площадка под насосную станцию отводится на отметке, превышающей г. в. в. не менее чем на 1 *м*. Тип водозаборных сооружений выбирается в зависимости от местных условий (крутизна берега, глубина воды в реке при г. н. в., амплитуда колебаний горизонтов воды, характер грунта), а также от заданного количества воды.

Различают следующие основные типы водозаборных сооружений:

1) водозаборы с самотечными линиями;
2) береговые водозаборы раздельного типа;
3) береговые водозаборы совмещенного типа;
4) крибы;
5) ковшевые водозаборы.

§ 11. Типы водозаборных сооружений

А. Водозаборы с самотечными линиями

Водозабор с самотечными линиями, показанный на рис. 4, состоит из: оголовка *1*, самотечных трубопроводов (или самотечной галлереи), берегового колодца *3*, подающих

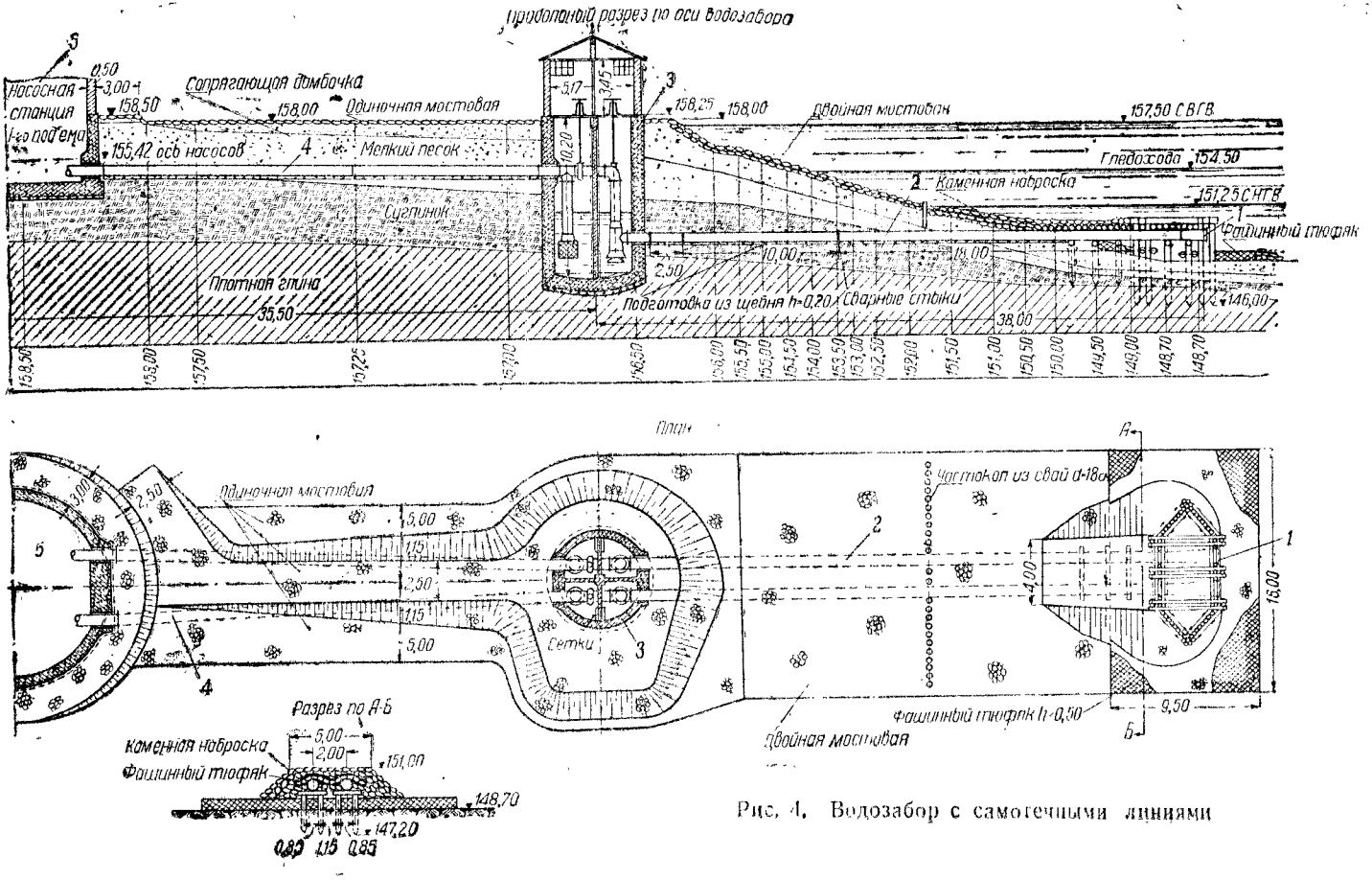


Рис. 4. Водозабор с самотечными линиями

трубопроводов *4*. Последние связывают водоприемник с насосной станцией первого подъема *5*.

Этот тип водозабора наиболее приемлем при пологом береге и сравнительно небольшой амплитуде колебаний речных горизонтов.

Оголовок в реках средней глубины — 2—4 *м* (при г. н. в.) — устраивается такого типа, чтобы были защищены приемные концы самотечных труб от ударов и обеспечена их

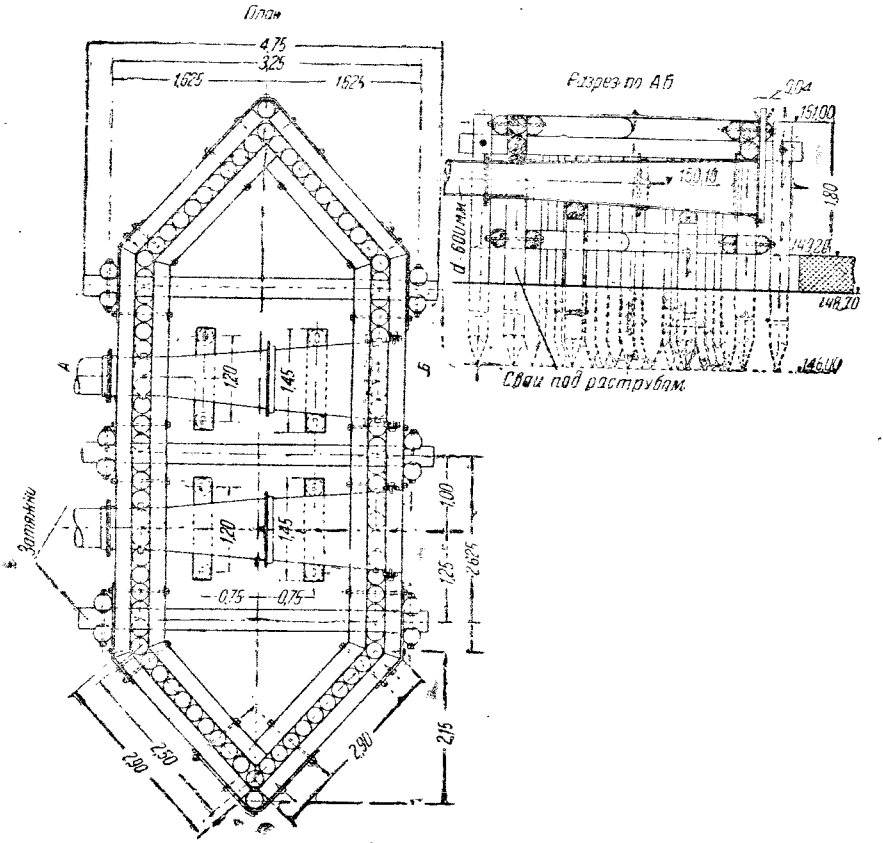


Рис. 5. Свайный деревянный оголовок

устойчивость. На рис. 5 показан весьма распространенный тип оголовка. Он представляет собой свайный массив из забитых в дно реки свай; иногда для устойчивости применяется каменная наброска вокруг ряжа. Концы труб в виде сварных конически расходящихся патрубков заделываются в массив и пропускаются насквозь до его лицевой стенки, где расширенные отверстия труб закрываются съемными решетками из вертикальных прутьев с прозорами в 40 *мм*. Оголовок должен иметь форму, удобно обтекаемую речным потоком. Если грунт

не допускает забивки свай, взамен свайного оголовка можно устроить ряжевый оголовок (рис. 6) с таким же очертанием в плане, как и свайный.

Ряж рубится на берегу, подводится на плаву к месту установки, загружается камнем и опускается на дно реки, которое надо предварительно подготовить планировкой. Зимой ряж может быть подготовлен на льду непосредственно у места опускания.

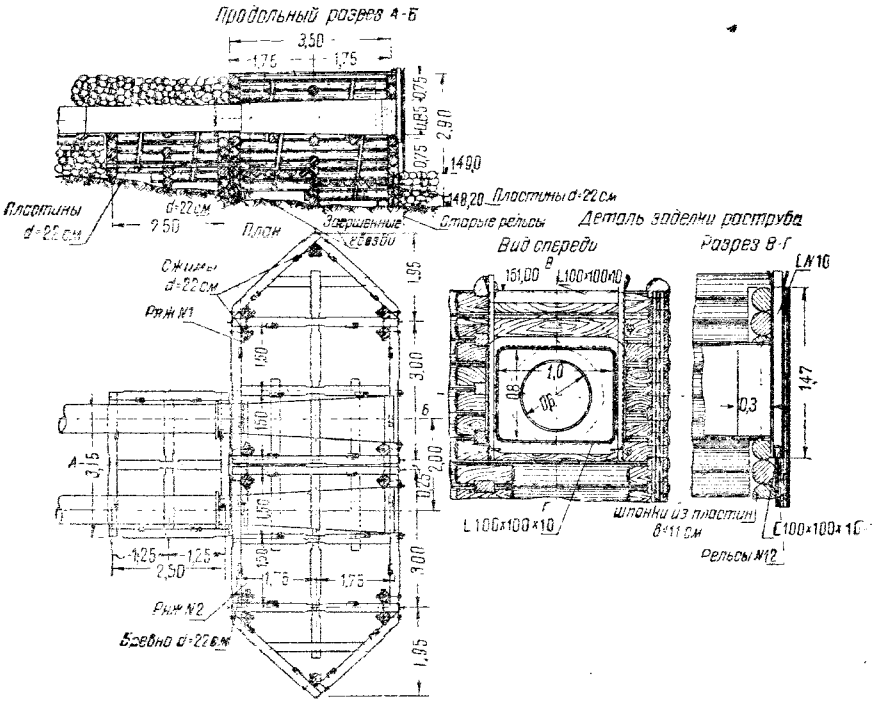


Рис 6. Ряжевый оголовок

В тех случаях, когда река в месте водозабора имеет большую глубину (не менее 5 *м* при г. н. в.), можно устраивать незащищенный оголовок в виде стояка с уширенным концом — раструбом (рис. 7); раструб должен быть повернут вниз по течению и закрыт съемной решеткой из вертикальных прутьев. Стояк надежно укрепляется на деревянной раме из брусьев, расположенных в три горизонтальных ряда.

Самотечные трубы применяются обычно стальные или чугунные и рассчитываются на скорость движения воды в них не менее 0,65—0,75 *м/сек*, чтобы выпадение осадков было наименьшим. Тем не менее нужно периодически очищать самотечные трубы путем обратной промывки водой, пода-

ваемой насосом. Для этой цели самотечные трубы соединяются со всасывающими трубами по схеме, изображенной на рис. 8. При нормальной работе водозабора задвижки *а* и *б* открыты, а задвижка *в* — закрыта. При обратной промывке задвижки *а* и *б* закрывают, а задвижку *в* открывают. Число самотечных труб должно быть не менее двух. Трубы в пределах речного русла укладывают: при твердом грунте — по дну с каменной обсыпкой для устойчивости и защиты; при

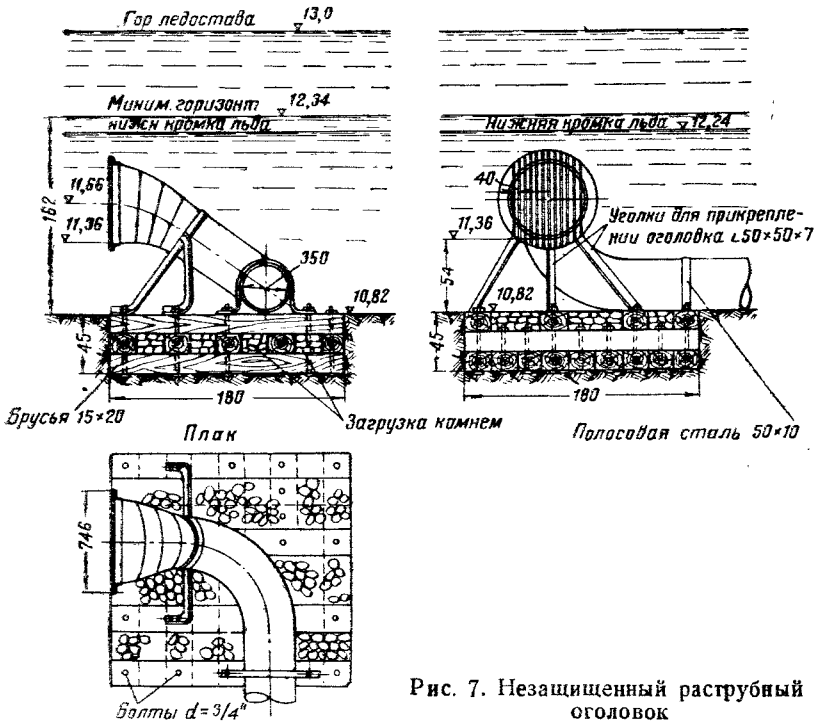


Рис. 7. Незащищенный раструбный оголовок

размываемых грунтах — на поперечинах между сваями, забитыми попарно через 1—2 *м* вдоль самотечной линии.

Береговые колодцы делают чаще всего бетонные с армированием или кирпичные. Размеры колодцев в плане определяются габаритами размещаемых в них трубопроводов и задвижек. Как правило, колодец разделяется вертикальной перегородкой на две равные части, чтобы можно было осматривать, чистить и ремонтировать одну часть колодца без прекращения работы водозабора. Обычно диаметр колодца бывает от 2,5 до 6,0 *м*. При больших размерах береговому колодцу придается в плане овальная форма. Глубина колодца зависит от амплитуды колебания горизонтов воды в реке и находится в пределах от 6 до 16 *м*.

Береговые колодцы чаще всего устраиваются опускным способом. Для этого стенки колодца снабжают в нижней части кольцом с металлическим ножом (рис. 9) и утолщают, что облегчает работы по опусканию. Днище делается из армированного бетона по окончании опускных работ. Устройство легких железобетонных стенок колодца при производстве работ опускным способом является нецелесообразным. Сверху

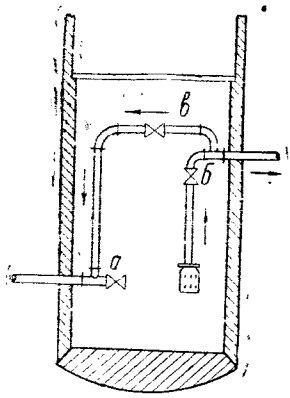


Рис. 8. Схема промывки самотечных труб

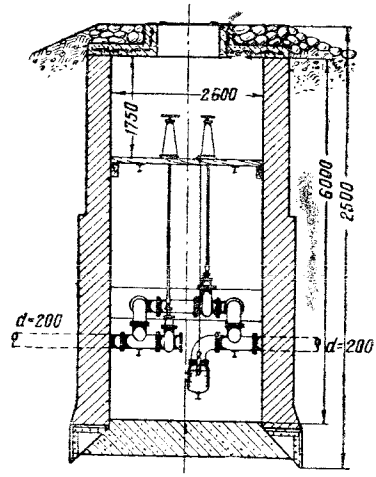


Рис. 9. Береговой колодец из кирпича

колодец перекрывается железобетонной плитой, в которой устраивается лаз, закрываемый люком. Трубопроводы с задвижками и другими деталями поддерживаются небольшими балками, закладываемыми в стенки колодца. Управление задвижками осуществляется из верхней камеры колодца.

Б. Береговые водозаборы раздельного типа

Береговой водозабор раздельного типа (рис. 10) состоит из незатопляемого берегового водоприемника и отдельной насосной станции первого подъема, располагаемой на более высокой отметке. Оба сооружения соединены между собой всасывающими трубами, которые нередко укладываются в проходной галлерее. Водозабор такого типа применяется при наличии высокого крутого берега и достаточных глубин в месте его устройства. Вода из реки поступает в водоприемник через расположенные в два ряда окна с грубыми решетками в передней его стенке, откуда она забирается насосами через всасывающие трубы. В водоприемной камере ставятся съемные сетки (с отверстиями в 4—5 *мм* при толщине проволоки 2 *мм*) для процеживания воды от мелкой взвеси. Сетки для очистки

поднимают вверх, где и смывают с них загрязнения струей воды из брандспойта.

В крупных водозаборных сооружениях могут применяться вращающиеся сетки с механической очисткой. Они представляют собой отдельные сетчатые секции с просветами в 2—3 *мм* при толщине проволоки 1 *мм* (рис. 11), соединенные в виде непрерывной ленты. Сетка вращается при помощи мотора

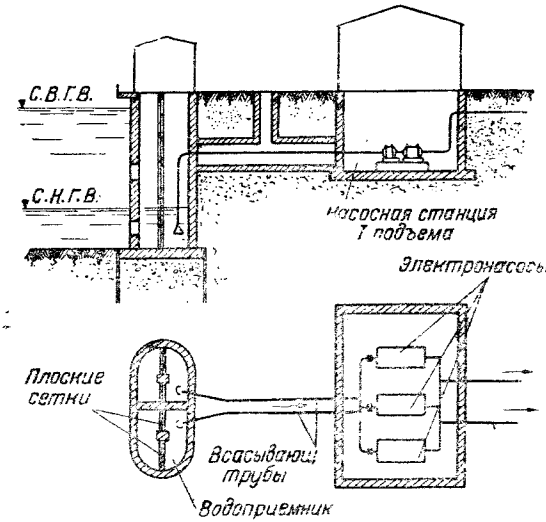


Рис. 10. Береговой водозабор раздельного типа

мощностью 2—3 *квт* со скоростью от 10 до 200 *мм/сек* в зависимости от мутности воды. Такие сетки очищаются непрерывно водой, подаваемой струйками под напором 2—4 *ат* через короткие сопла, установленные в верхней части сеток; грязная вода отводится по желобу и сбрасывается в реку ниже водозабора.

Входная скорость воды, т. е. скорость прохода ее через окна водоприемника, принимается 0,3 *м/сек*. Однако в крупных водозаборах это может привести к излишествам в размерах сооружения ввиду необходимости увеличения размеров входных окон. Поэтому для водозаборов с большой пропускной способностью входная скорость может быть принята 0,7—1,0 *м/сек*. На рис. 12 показан такой водозабор, имеющий вид массивного берегового устоя. Фундамент водоприемника защищен от подмыва брусчатым шпунтовым рядом. В плане водоприемник имеет овальную или прямоугольную форму и делится перегородками на две или на три секции, что обеспечивает возможность независимой работы и поочередной очистки каждой из них от выпавших на дно осадков; очистка произ-

водится эжектором. Работы по устройству водоприемника ведутся в перемычках, с водоотливом.

Водоприемники рассмотренного типа бывают размерами в плане от 3×6 *м* до 9×20 *м* и высотой (полной) от 15 до 45 *м*. Много больших сооружений такого рода построено на Волге, Оке и других реках для промышленных и городских водопроводов. На рис. 13 показано одно из конструктивных решений галлереи для прокладки всасывающих труб из берегового водоприемника в насосную станцию. Для входа в галлерею устраивается небольшая шахта. Размеры галлереи определяются размерами труб и должны обеспечивать возможность свободного прохода в ней эксплоатационного персонала (высота не менее 1,90 *м*, расстояние между трубами в свету не менее 0,70 *м*).

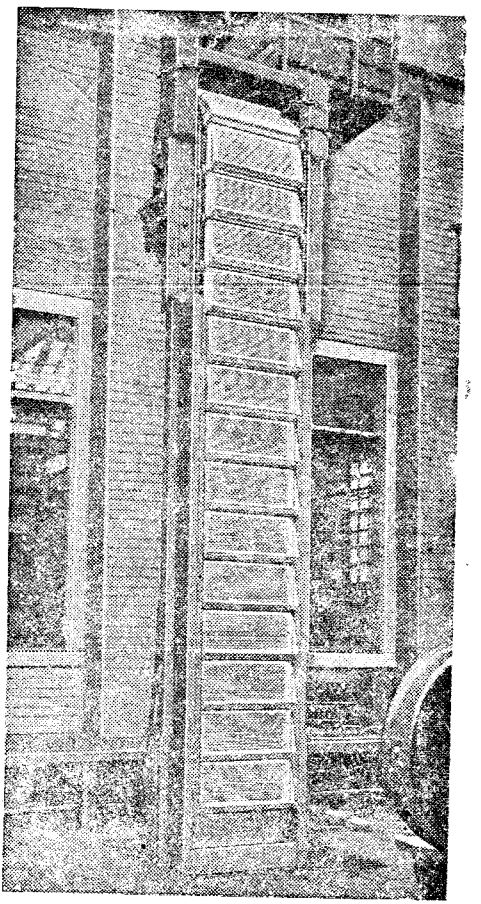


Рис. 11. Полотно вращающейся механической сетки

В. Береговые водозаборы совмещенного типа

Водозабор совмещенного типа находит применение в тех же условиях, как и предыдущий, при скальных грунтах в месте устройства сооружения. Наличие скальных грунтов позволяет совместить водоприемник (рис. 14, *а*) с насосной станцией первого подъема, не опасаясь разной осадки обеих частей сооружения. Благодаря совмещению уменьшается объем земляных и строительных работ.

При совмещенном типе водозабора в нем также устраивают входные окна для приема воды и устанавливают плоские или вращающиеся сетки.

Габариты насосной станции первого подъема можно значительно сократить, если применить вертикальные насосы (рис. 14, *б*). Большинство водоприемников совмещенного типа,

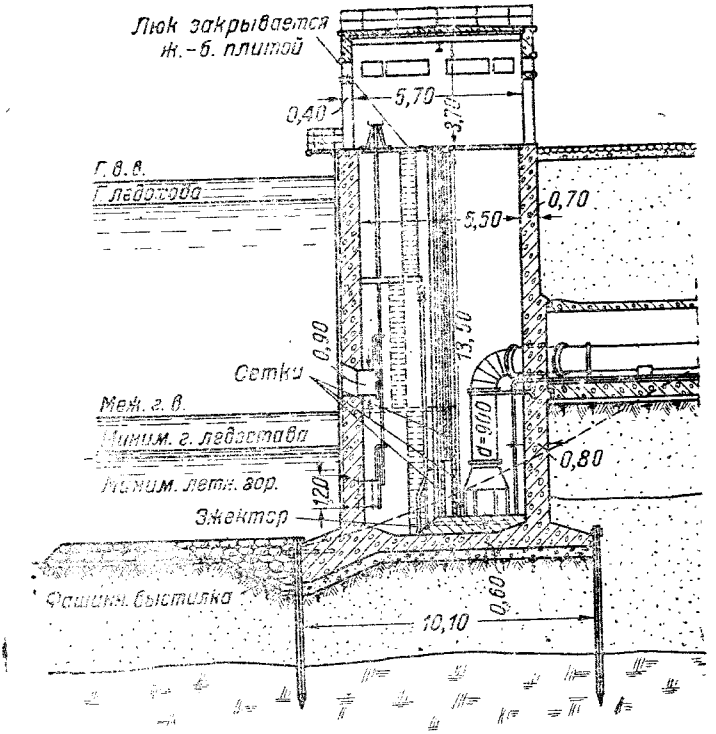


Рис. 12. Конструкция берегового водозабора раздельного типа

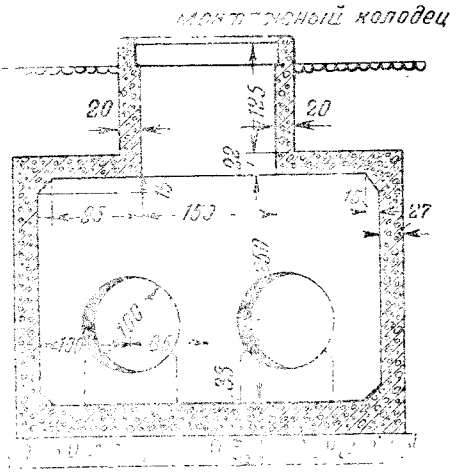


Рис. 13. Конструкция галлереи для всасывающих труб

построенных за период 1930—1940 гг., оборудованы именно вертикальными насосными агрегатами. Электромоторы в этих случаях устанавливают выше горизонта высоких вод, что обеспечивает их незатопляемость. Водоприемники иногда разде-

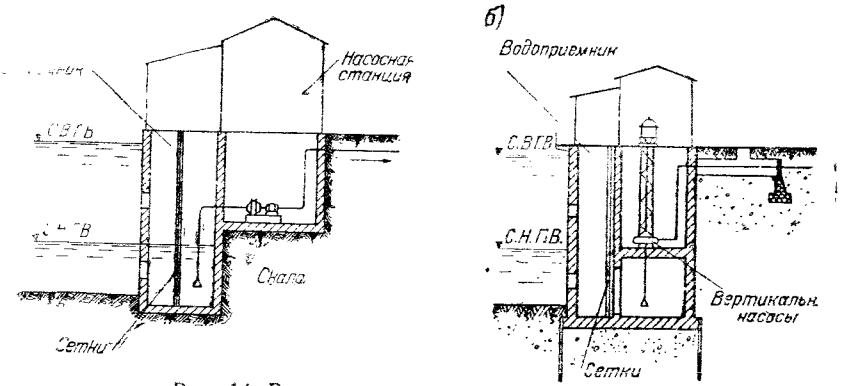


Рис. 14. Водозабор совмещенного типа

ляют на секции соответственно числу насосов или по одной секции на каждые два насоса.

Г. Крибы

Водоприемники-крибы размещают на некотором расстоянии от берега, где река глубже и вода менее загрязнена. С берегом они соединяются по возможности посредством легкого мостика (рис. 15) пролетом 30—50 *м* и в некоторых случаях

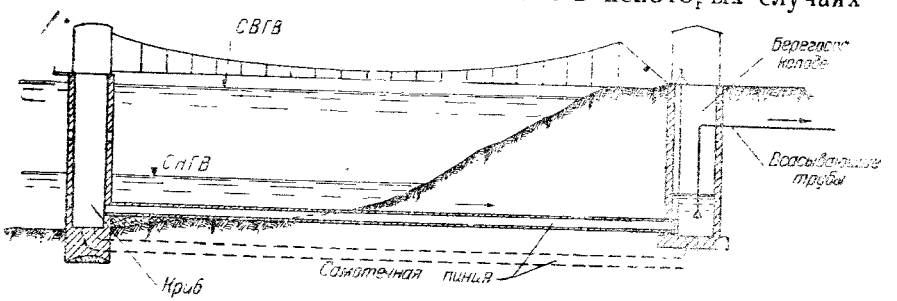


Рис. 15. Крибм с остиком для сообщения с берегом

даже до 100 *м*. Ввиду размещения крибоз в глубоких местах необходимо придавать их элементам бсльшие размеры и вес для противодействия всплыванию.

Вода поступает в криб через входные окна, располагаемые в два ряда по периметру сооружения. Из криба вода направляется к береговому колодцу по самотечным трубам или по туннелю под дном реки, т. е. криб играет роль оголовка самотечных трубопроводов.

Криб должен быть обтекаемой формы и иметь ледорезы.

Применение крибов допустимо лишь при очень больших расходах воды, при тяжелом зимнем режиме реки и нецелесообразности других типов водозаборов.

§ 12. Гидравлические расчеты водозаборов

Гидравлические расчеты водозаборных сооружений заключаются, главным образом, в определении сопротивлений (потерь напора) при проходе воды через различные элементы водозабора (окна, решетки, трубопроводы и др.).

Потери напора в сужающемся патрубке в начале самотечных труб, в месте резкого поворота труб, при входе во всасывающую трубу, в задвижке, в решетках входных окон могут быть определены по формуле:

$$h = \zeta \frac{v^2}{2g}, \qquad (3)$$

где v — скорость движения воды в *м/сек*;

$g = 9{,}81$ *м/сек*^{2} — ускорение силы тяжести;

ζ — коэфициент, принимаемый по табл. 8.

Таблица 8

Элемент водозабора	Значение коэфициента ζ
Сужающийся патрубок в начале самотечных труб	при угле конусности $\alpha = 15°$ $\zeta = 0{,}18$ $\alpha = 30°$ $\zeta = 0{,}24$ $\alpha = 45°$ $\zeta = 0{,}30$ $\alpha = 60°$ $\zeta = 0{,}32$
Резкий поворот трубопровода	при угле поворота $\alpha = 40°$ $\zeta = 0{,}139$ $\alpha = 60°$ $\zeta = 0{,}364$ $\alpha = 90°$ $\zeta = 0{,}984$
Дроссельный клапан	0,2—0,26
Вход во всасывающую трубу с приемной сеткой и всасывающим клапаном	10—16
То же без приемной сетки и всасывающего клапана	0,5
Решетка входного окна	1,5
Задвижка (максимальное значение при открытии задвижки на $^3/_4$)	0,26

Потери напора в съемных сетках принимают 0, 10—0, 15 *м* а во вращающихся сетках 0,15—0,45 *м*.

§ 13. Ковшевые водозаборы. Глубинный лед

Ковшевые водоприемники устраивают в тех случаях, когда необходимо получать большие количества воды из рек со значительным движением наносов, а также из таких рек, где образуется глубинный лед в виде донного льда или в виде шуги.

Явление образования глубинного льда может наблюдаться в холодное осеннее или зимнее время, когда река еще не покрылась льдом, особенно на порожистых участках и в местах с быстрым течением. Вследствие больших теплопотерь происходит переохлаждение воды до температуры —0,005° и даже—0, 18°.

Таким образом глубинный лед образуется вследствие одновременного воздействия гидродинамических (движение или волнение воды) и термодинамических (большая теплопотеря воды) явлений.

Внутри толщи воды, в частности, на дне реки, выделяется рыхлый лед, так называемый донный лед, который по кристаллической структуре отличается от поверхностного речного льда. Это—тонкие круглые прозрачные пластинки, превращающиеся затем в звездообразные пластинки с острыми углами. Сцепляясь друг с другом и с подводными предметами, пластинки донного льда скопляются в устьях водоприемных труб и на решетках водоприемных окон и закупоривают их.

Устранить закупоривание невозможно до тех пор, пока на поверхности реки не образуется обычный ледяной покров, прекращающий теплопотери.

Водозабор-ковш представляет собой искусственный затон, вырытый в пологом берегу (рис. 16) или огражденный земляной дамбой от стрежня реки. Верх дамбы на 0,5—0,7 *м* выше г. в. в., ширина поверху 3—4 *м*. В целях удешевления ковша его иногда делают затопляемым в паводковый период что позволяет уменьшить высоту и объем дамбы. При наступлении морозов поверхность воды в ковше быстро покрывается льдом, благодаря чему исключается образование донного льда.

Кроме донного льда во многих реках образуется шуга, представляющая собой частицы льда, находящиеся во взвешенном состоянии, которые иногда заполняют значительную часть живого сечения реки. Вход в ковш нужно размещать таким образом, чтобы была предотвращена возможность вовлечения в него как донных наносов, так и шуги. В целях предотвращения вовлечения донных наносов вход в ковш следует располагать по течению реки. Однако шуга передвигается в поверхностных слоях воды в реке и поэтому для устранения вовлечения шуги в ковш, вход в него, казалось бы, надо рас-

полагать против течения реки. Однако вопрос о действительном распределении шуги по сечению реки еще недостаточно изучен. Массы шуги на реках Восточной Сибири и Забайкалья загромождают иногда все живое сечение (Ангара, Енисей, Лена, Колыма и др.). Наблюдения показали, что при малых скоростях входа шуга вовлекается в ковш лишь в небольших количествах, независимо от расположения входа. Кроме того, при расположении входа в ковш по течению реки в него не будут попадать наносы, движущиеся преимущественно у дна реки.

Поэтому более правильно располагать вход в ковш по

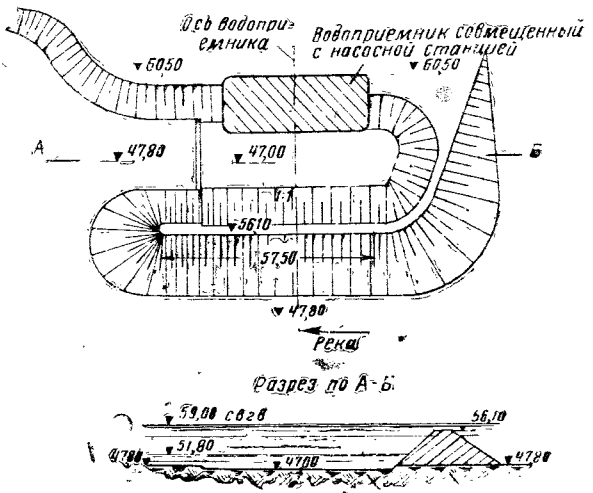


Рис. 16. Водозабор-ковш (затопляемый при горизонте высоких вод)

течению реки. Скорость движения воды в ковше принимается 0,05—0,10 *м/сек*, а продолжительность пребывания в нем воды — от 1 до 4 час. Ширина входа в ковш должна быть достаточной для прохода землечерпательного снаряда при периодической чистке ковша.

Иногда устраивают два входа — по течению и против течения и пользуются тем или другим по мере надобности (при закрытом другом входе).

Из других средств борьбы с донным льдом и шугой можно указать: подвод теплой отработанной воды к месту водозабора, обогревание (электрическим током) водоприемных решеток, применение деревянных или обитых резиной решеток, устройство шугоотбойных запаней.

§ 14. Водозаборные сооружения на озерах и морях

Устройство водозаборов из небольших озер с пологими берегами осуществляется в виде самотечных линий из стальных или чугунных труб. Оголовок самотечной линии часто делается

в виде стояка, приподнятого, если позволяет глубина, над дном озера на 3—4 *м* в целях предотвращения попадания в трубы мути при сильных волнениях.

В больших озерах водозаборы могут устраиваться в виде крибов. Озерные крибы размещаются иногда на довольно далеком расстоянии от берега — до 2—5 *км*, — где вода менее загрязнена.

Примером такого сооружения может служить криб, изображенный на рис. 17.

Криб устроен на озере в 6 *км* от берега, где глубина воды дости-

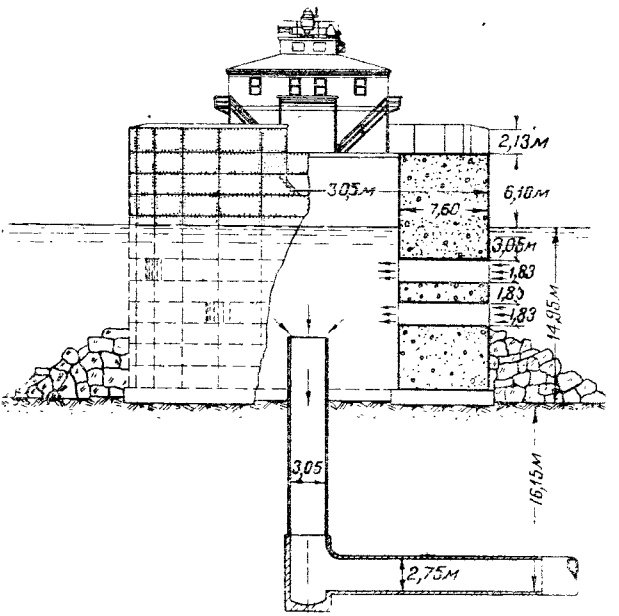


Рис. 17. Водозабор-криб

гает 15 *м*. Размеры криба: внешний диаметр 30,5 *м*, внутренний — 15,25 *м*, толщина бетонной стенки 7,63 *м* (для противодействия сдвигу и всплыванию). Вода входит через 6 окон размерами 1,8×1,8 *м*; центры окон находятся на глубине 3,9 и 7,5 *м* от уровня воды в озере. Криб имеет пропускную способность 7,7 *м*³/*сек* при входной скорости 0,38 *м*/*сек*. Забираемая вода поступает самотеком к насосной станции потуннелю длиной 8 *км* диаметром 2,75 *м*, устроенному на глубине 16 *м* ниже отметки дна озера. В период навигации с верхней площадки криба даются прожектором сигналы проходящим судам. Связь с крибом — телефонная и посредством моторных лодок.

Морские водозаборы должны проектироваться с учетом а) солености морской воды, б) цветения воды, в) скопления водорослей, г) обрастания ракушечником, д) сгонов и нагонов воды от действия ветра и е) влияния штормовой волны.

Соленость воды в разных морях различна. В воде Белого моря содержание солей составляет 3,3% в Черном море — 1,7—1,85%, в Каспийском — 1,0 — 1,5%, в воде Азовского моря — 0,93 — 1,2% и Финского залива — 0,43%, снижаясь местами до 0,2%.

Главной частью солевого состава (до 77%) является хлористый натрий (Na Cl), содержание хлористого магния ($Mg\ Cl_2$) около 11%, сернокислого магния ($Mg\ SO_4$) около 5%, сернокислого кальция ($Ca\ SO_4$) — до 4%.

Соленость воды требует мероприятий по обеспечению стойкости бетонных сооружений (специальный состав бетона).

Соленая вода, кроме того, вызывает коррозию металлических труб и чугунных дисков насосов; последние иногда служат не более 3 месяцев, а при наличии одновременно и кавитации (см. § 24) только 1—1 $^1/_2$ месяца. Металлизация чугунных дисков увеличивает срок их службы лишь на 20—25%. Единственным средством устранения коррозии является применение медных дисков в насосах.

Цветение морской воды наблюдается в конце лета. Скопление мельчайших растительных организмов, прибиваемых волнами к берегу, создает угрозу закупорки водопроводных труб. Для предотвращения последней рекомендуется устанавливать в морских водозаборах вращающиеся сетки, непрерывно промываемые чистой водой.

Морские водоросли могут забивать решетки входных отверстий и трубы водоприемников, а также усиливать коррозию их, так как эти растения содержат хлористый натрий и магний. Водоросли приходится удалять, что делают обычно вручную.

Отложения морских ракушек могут вызывать серьезные осложнения в работе морского водозабора. Слоем ракушек покрывается дно каналов водоприемных камер, особенно под всасывающими клапанами. Чрезвычайно сильно обрастают ракушкой сетки всасывающих клапанов. Иногда слой ракушки приходится сбивать со стенок водозабора ломами через каждые 5 — 10 дней. Ракушка отлагается и на стенках труб и иногда настолько толстым слоем, что нижняя половина трубы забивается полностью[1].

Для борьбы с ракушкой в водозаборе Керченского металлургического завода имеются особые предварительные камеры. Они играют роль отстойников и здесь при скорости движения воды 0, 5 *м/сек* осаждаются основные массы ракушки[2].

Сгоны воды от действия ветра, которые в морях достигают большой величины, могут обнажать входные окна,

---

[1] Отложения ракушек наблюдаются иногда и в речных водозаборах *прим. ред.*

[2] Конюшков. А. М., инж., Водоснабжение заводов черной металлургии, стр. 229., М., 1939.

отверстия самотечных труб, вызывать перерывы всасывания; нагон воды может вовлекать в водоприемник морской песок. Высота сгона и нагона воды должна учитываться при проектировании морского водозабора.

Штормовая волна вызывает замутнение воды, заносит водоприемники песком, галькой и мусором. Для защиты от волн водозаборы размещают в бухтах, хотя это и усиливает обрастание ракушкой.

§ 15. Способы получения воды из подземных источников

В настоящее время различают три вида подземных вод по их происхождению: инфильтрационные, конденсационные и ювенильные.

Инфильтрационные подземные воды образуются за

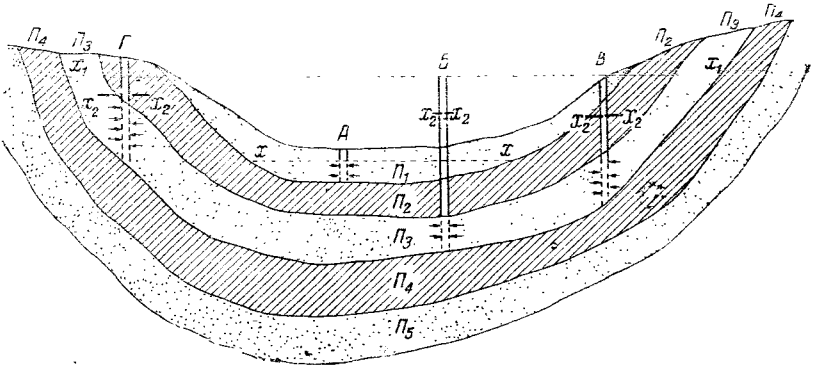


Рис. 18. Вертикальный разрез по верхним пластам земной коры

счет атмосферных осадков, падающих на поверхность земли и просачивающихся в водопроницаемые пласты. Инфильтрационное происхождение имеют подземные воды на большей части территории СССР. Атмосферные воды, проникшие в толщу земной коры до водонепроницаемого пласта и имеющие свободную поверхность, испытывающую нормальное атмосферное давление, образуют свободные подземные воды, называемые грунтовыми. При устройстве в пласте n_1 колодца A (рис. 18) уровень воды в нем $x - x$ установится на отметке, соответствующей уровню грунтовых вод в водоносном пласте. Это так называемый статический уровень.

При наличии чашеобразного (мульдообразного) залегания пород атмосферные воды могут просочиться по выклинившемуся водопроницаемому пласту n_3 на весьма большую глубину. Будучи зажаты между двумя водонепроницаемыми пластами n_2 и n_4, они находятся здесь под большим естественным напором. Такие воды называются напорными подземными водами,

или артезианскими. Если в водопроницаемый пласт n_{3}, заключающий такие воды, опустить трубчатый колодец (см. §17) в точке *Б*, то статический уровень в нем будет соответствовать статическому уровню воды $x_1 - x_1$ в данном пласте и может оказаться и выше поверхности земли. В этом случае, если трубу колодца срезать на уровне ниже, чем уровень $x_1 - x_1$, то вода будет фонтанировать.

Если трубчатый колодец устроить в точке *В*, то он уже не будет фонтанирующим ввиду повышения отметки местности по отношению к отметке напориого горизонта в пласте. При устройстве колодца в точке *Г* статический уровень устанавливается ниже отметки земли.

При откачке воды уровень ее в трубчатом колодце понижается. Этот уровень $x_2 - x_2$, имеющий место при работе колодца, называется динамическим.

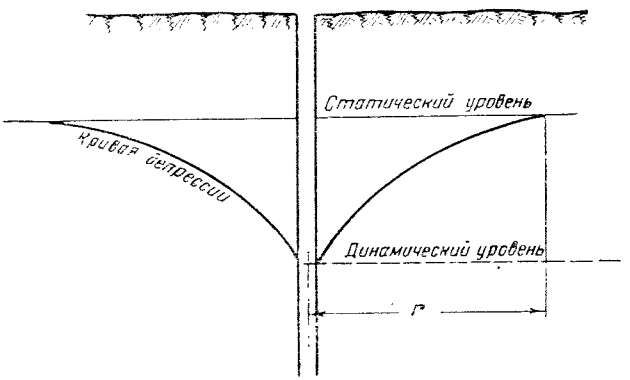


Рис. 19. Депрессионная воронка

Переход от статического уровня к динамическому происходит по плавной кривой, так называемой кривой депрессии (рис. 19). При этом вокруг колодца образуется депрессионная воронка, границы которой определяются этой кривой депрессии. Чем интенсивнее откачка, тем ниже динамический уровень и тем больше радиус депрессионной воронки. При устройстве нескольких колодцев необходимо, чтобы депрессионные кривые отдельных колодцев не пересекали друг друга, т. е. чтобы откачка из одного колодца не влияла на дебит другого колодца.

Такие условия будут и в отношении второго, третьего и других водопроницаемых напорных пластов. Воды верхних горизонтов зачастую оказываются загрязненными.

Если водоносный пласт имеет некоторый уклон, то подземные воды находятся в состоянии медленного движения.

Конденсационные подземные воды образуются вследствие конденсации паров воды из воздуха в верхних слоях земной коры (что имеет место, например, на восточном берегу Каспийского моря).

Ювенильные подземные воды могли образоваться в результате охлаждения паров магмы или даже в результате соединения водорода и кислорода.

§ 16. Бурение скважин на воду

В настоящее время наиболее распространено получение подземных вод путем устройства буровых трубчатых колодцев. С этой целью производится бурение скважины, состоящее из следующих рабочих процессов: 1) разрушения проходимой породы различным буровым инструментом, 2) извлечения разрушенной породы, 3) обсаживания (крепления) скважины трубами, 4) опускания фильтра в водоносный пласт, 5) опытной (прочной) откачки воды.

По способам проходки скважин бурение подразделяется на ручное (вращательное и штанговое) и механическое. Последнее может быть: 1) ударно-штанговое, 2) ударно-канатное, 3) вращательное колонковое и 4) вращательное роторное.

Ручной способ применим только для бурения скважин глубиной до 20—40 *м* диаметром не более 125—150 *мм* в мягких породах. Ударно-штанговое бурение возможно до глубины 100—150 *м*. Ударно-канатный способ дает большую скорость проходки и позволяет бурить скважины глубиной до 200 *м*, а в мягких породах даже до 300 *м*. Вращательное роторное бурение целесообразно для скважин глубиной более 200 *м*, при водоносных горизонтах в трещиноватых породах. Вращательное колонковое бурение производится до глубины 150 *м* при начальном диаметре скважины не более 400 *мм*.

А. Буровой инструмент и оборудование

Буровые наконечники служат для разрушения проходимой породы и имеют применение, указанное в табл. 9.

Таблица 9

№№ рис.	Название наконечника	Разновидность конструкции	При проходке каких грунтов применяется	Способ производства работ
20, *а*	Ложка	С ковшеобразным резцом	Пески, сильно песчаные глины	Вращение, забурка 30—40 *см*
		С винтовой спиралью	Неплотные глины, суглинки	
20, *б*	Змеевик	—	Плотные глины, суглинки	Вращение: через каждые 1—2 оборота приподнимать на 10—15 *см*

Продолжение

№№ рис.	Название наконечника	Разновидность конструкции	При проходке каких грунтов применяется		Способ производства работ
21, *а*	Долото	Плоское (зубильное)	Скальные и полускальные породы	Малой твердости	Удар на штанге. После каждого удара поворачивать на $^1/_8$—$^1/_{10}$ оборота
21, *б*		Двутавровое			
21, *г*		Зетовое		Средней твердости	
21, *д*		Крестовое		Большой твердости	
21, *в*		Пирамидальное	Отдельные валуны		
21, *а* 22, *б* 22, *в*	Желонка	С клапаном (откидным или шаровым)	Водоносные: песок, суглинки, плывун		Удар на штанге или на канате
		Поршневая			

Буровые штанги представляют собой стальные газовые трубы и предназначены для передачи буровому наконечнику вращательного движения (для ложки или змеевика) и поступательного движения (для долота или желонки). Звенья штанг длиной 2—5 *м* соединяются посредством муфт или конических замков с внутренней нарезкой (рис. 23).

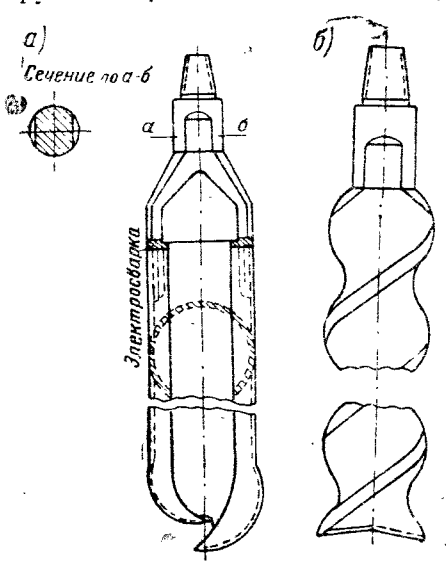


Рис. 20. Буровые наконечники: *а* — ложка; *б* — змеевик

Для извлечения разбуренного грунта на поверхность используется желонка, которая представляет собой отрезок стальной трубы длиной 2 *м*. К верхнему ее концу приварены ушки, на нижний конец навинчивается башмак с откидным клапаном. Частицы разрушенной породы входят в башмак, приподнимают клапан и заполняют трубу. Если грунт жидкий, желонка с откидным клапаном заменяется желонкой с шаровым клапаном.

Другим способом извлечения породы может служить промывка забоя водой или глинистым раствором. Последний

всегда применяется при вращательном роторном бурении. Подача воды или глинистого раствора производится при помощи

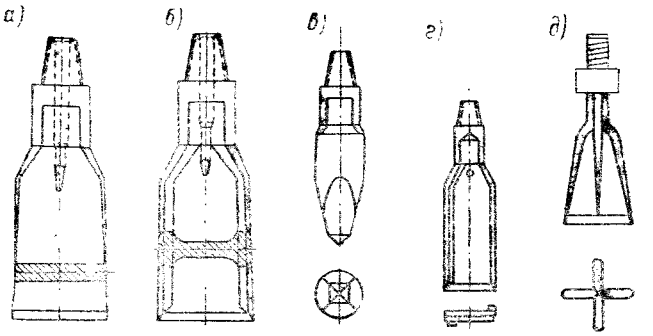


Рис. 21. Долотья: *а* — плоское; *б* — двутавровое; *в* — пирамидальное; *г* — зетовое; *д* — крестовое

насоса в трубчатые штанги, а частицы разрушенной породы вытесняются на поверхность вместе с водой или раствором по кольцевому пространству между штангами и стенками скважины.

Обсадные трубы применяются для крепления стенок скважины и изоляции верхних неиспользуемых водоносных пластов. Звенья обсадных труб имеют длину 4—6 *м* и соединяются муфтами на резьбе. До опускания колонны труб в скважину на нижнее звено навинчивают стальной фрезер с 12—18 зубцами, который срезает неровности на стенках скважины при осадке труб.

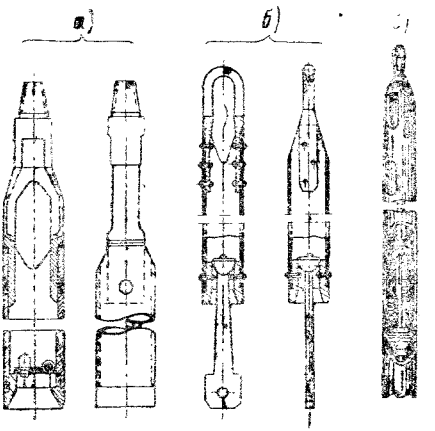


Рис. 22. Желонки: *а* — с откидным клапаном; *б* — с шаровым клапаном; *в* — поршневая

Б. Производство работ по бурению скважин

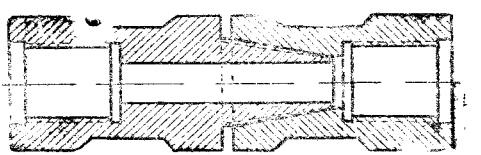


Рис. 23. Конический замок буровых штанг

При ручном бурении все операции (разрушение породы, извлечение ее и обсаживание скважины трубами) производят вручную.

Вращательное бурение применяют в мягких породах для скважин глубиной до 20 *м*; работы ведут при помощи ложкового или

спирального бура, которые при проходке медленно вращают. Штанговое бурение применяют для устройства скважин глубиной до 30—40 *м* в породах мягких и средней плотности. Штанговое бурение ведут с треноги, к которой подвешивается блок (рис. 24.). Через последний перекидывается стальной трос, один конец которого идет к балансиру-рычагу (деревянный брус), а к другому подвешивается на штангах буровой инструмент—долото. Рабочие подтягивают рычаг вниз и затем отпускают его, вследствие чего долото поднимается (на высоту 0.25—0,50 *м*) и затем сбрасывается. После каждого подъема рабочий у устья скважины поворачивает долото на 20—40°, чтобы скважина получалась круглой. Извлечение породы из скважины производят желонкой, для чего через каждые 0,3—0,5 *м* извлекают из скважины долото и опускают желонку. В сухих песках и плывунах желонка служит не только для чистки, но и для проходки скважин.

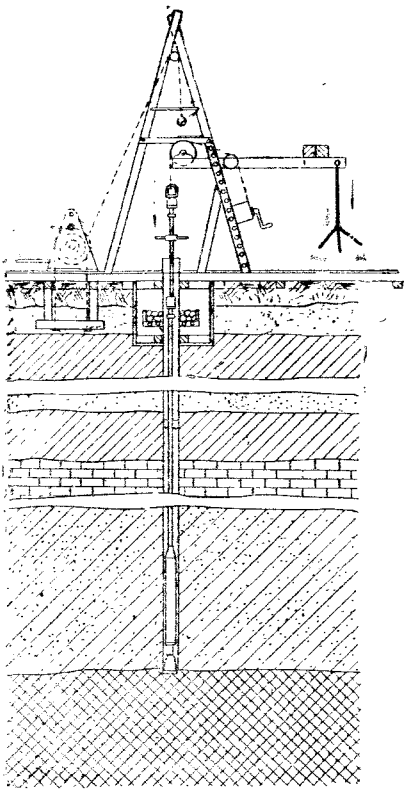


Рис. 24. Ручное штанговое бурение

Ударно-штанговое бурение производится при помощи буровых станков Пузиновского, ВИРТ-16, УА-125, СТАР и ВВТ-15. Буровой станок *1* (рис. 25) устанавливается возле буровой вышки *2* и работает от двигателя *3*. Вышка высотой 18—20 *м* монтируется на месте из инвентарных металлических или деревянных конструктивных деталей. Станок оборудован балансирным механизмом, т. е. рычагом, один конец которого служит для подвески бурового инструмента.

Между стойками вышки устраивается приямок, в центре которого вначале вручную разбуривается скважина. Сюда спускается долото, навинченное на собранную и подвешенную штангу. При работе станка долото делает 40—80 ударов в 1 мин., поднимаясь каждый раз на высоту 0,5—0,75 *м*. После проходки бурением каждых 0,3—0,5 *м* долото заменяют желонкой и извлекают разрушенную породу из скважины.

Если бурение ведется с промывкой, возле станка устанав-

живают насос *4*; число ударов при этом может быть увеличено до 120—150 в 1 мин. с некоторым снижением высоты подъема бурового наконечника (0,12—0,18 *м*). Таким путем достигается сильное раздробление породы и облегчается вынос частиц ее на поверхность при промывке.

Для ударно-канатного бурения применяется станок УА-75, смонтированный на шасси автомашины ЗИС-5 или на автоприцепе; он имеет длину 3,3 *м*, ширину 1,4 *м*, высоту 2,8 *м* и оборудован мачтой высотой 8—12 *м*. Этим станком можно бурить на глубину до 100 *м* скважины диаметром 150, 200 и 250 *мм*.

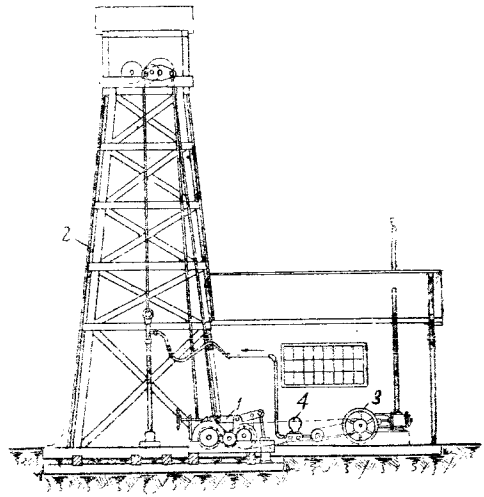


Рис. 25. Ударно-штанговое бурение

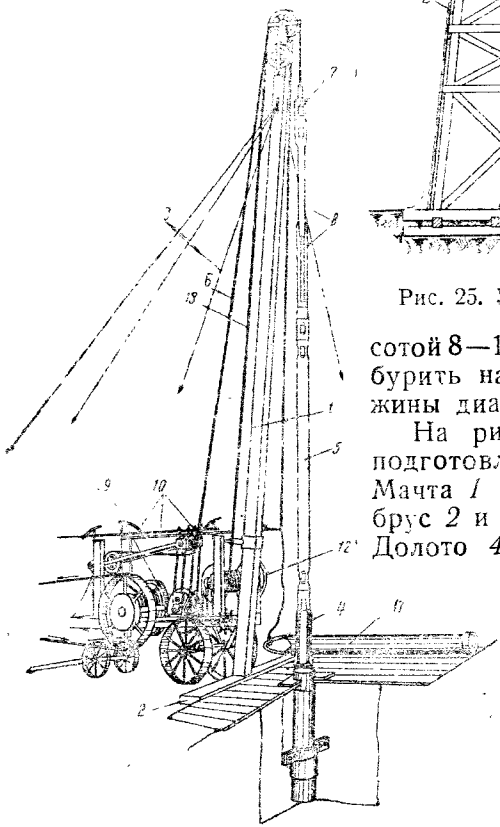


Рис. 26. Станок УА-75 для ударно-канатного бурения

На рис. 26 станок показан в подготовленном к работе состоянии. Мачта *1* опирается на подкладной брус *2* и укреплена расчалками *3*. Долото *4* подвешено к ударной штанге *5*, которую соединяет с канатом *6* канатный замок, так называемый ропсокет *7*. Для предупреждения поломок штанги установлен особый прибор — ножницы *8*. Канат *6*, поддерживающий штангу с долотом, перекинут через верхний ролик мачты и закреплен на барабане инструментального вала *9*. При помощи ударного механизма *10* долото делает 50—60 ударов в 1 мин., поднимаясь каждый раз на 0,4—0,6 *м*. Работа желонки *11* осуществляется посредством

желоночного барабана 12, на который наматывается желоночный трос *13*. Станок работает от тракторного двигателя в 20 *л. с.* через ременную передачу *9*. Скорость проходки колеблется от 0,15 до 1,5 *м/час* в зависимости от породы.

Вращательное роторное бурение производится станком АВБ-100 с промывкой забоя глинистым раствором, вследствие чего обсаживание скважины трубами делается по окончании бурения. Это повышает скорость проходки до 4 — 8 *м/час*, а при мягких породах до 10—12 *м/час*. Станок смонтирован на автомашине ЗИС-6 (рис. 27). В состав этой передвижной установки входят: приводимая в движение от двигателя автомашины мощностью 42 *л. с.* лебедка *1* для подъема инструмента, 9-м вышка *2* и поршневой грязевой насос *3* производительностью 200 *л/мин* с напором 30 *ат*. Ротор *4* вращает трубчатую квадратную штангу *5*. К нижнему концу штанги присоединено долото РХ („рыбий хвост") *6*, а в твердых породах шарошечное долото, имеющее отверстие для подачи глинистого раствора.



Рис. 27. Станок АВБ-100 для роторного бурения

Верхний конец штанги при помощи вертлюга *7*, подвешенного к крюку талевого блока *8*, соединяется с рукавом *9* для подачи глинистого раствора от грязевого насоса *3*. Раствор глинизирует стенки скважины и выносит размельченную породу; после отстаивания он снова нагнетается насосом.

Колонковое бурение производится станком Крелиус. Рабочим наконечником в данном случае является так называемая коронка, в нижнем конце которой закреплен резец из твердых сплавов („победит" и др.). При вращении коронки она выбуривает в горной породе кольцевой канал, внутри же оказывается нетронутый цилиндрический столбик (колонка) породы, называемый керном. Бурение ведется с промывкой, при которой мелкие частицы разрушенной породы выносятся на поверхность земли.

§ 17. Трубчатые колодцы и фильтры

Буровые трубчатые колодцы устраиваются начальным диаметром от 150 до 600 *мм*, а иногда и более, глубиной от 25 до 300 *м*. Встречаются и более глубокие скважины — до 700—800 *м*.

Верхняя часть трубчатого колодца (рис. 28) называется устьем, а нижняя часть — забоем. Стенки скважины крепятся так называемыми обсадными трубами; трубы эти стальные сварные или цельнотянутые. Обсадные трубы имеют по концам нарезку и соединяются между собой при помощи муфт.

Верхний участок буровой скважины обсаживается трубами большего диаметра $Д_1$. После проходки скважины на некоторую глубину H_1 приходится уменьшить диаметр до $Д_2$ ввиду увеличения трения между стенками и проходимой породой. Производить подобное изменение диаметра, или, как говорят на практике, „итти новой колонной труб“ при большой глубине колодца приходится несколько раз. В последнюю колонну спускают фильтр, т. е. дырчатую трубу, которую устанавливают в толще водоносного пласта. Фильтр не позволяет породе обваливаться и предохраняет колодец от засорения песком. С этой целью к дырчатым трубам снаружи приваривается сетка из металлических сплавов, не подвергающихся коррозии (рис. 29) (медь, нержавеющая сталь, латунь и др.).

В меловых породах сетки не применяются, так как они быстро затягиваются меловыми частицами и снижают пропускную способность фильтра.

После установки в скважине фильтра ненужные верхние части внутренних колонн (рис. 28) вырезаются при помощи специального трубореза. Кольцевые пространства между смежными трубами тампонируются цементным раствором. Таким образом крепление обсадными трубами получает телескопический вид. Рекомендуется вторую колонну труб не вырезать, а кольцевое пространство между первой и второй колоннами заполнить цементным раствором в целях лучшего предохранения от проникания вод загрязненных верхних горизонтов.

Иногда вместо сетчатого устраивают гравийный фильтр — вокруг скважины в пределах водоносного пласта после окончания бурения и крепления обсадными трубами, по так называемому способу Лейна. В скважину сначала опускается дырчатая труба, не имеющая сетки, затем в кольцевой промежуток между обсадными трубами и дырчатой трубой засыпается через устье скважины гравий. Одновременно в центральную трубу нагнетается насосом вода; пройдя через дырчатую трубу и гравий, вода вновь поднимается, и оставшиеся пустоты заполняются гравием, образующим в результате массив овоидальной формы. Это увеличивает поверхность при-

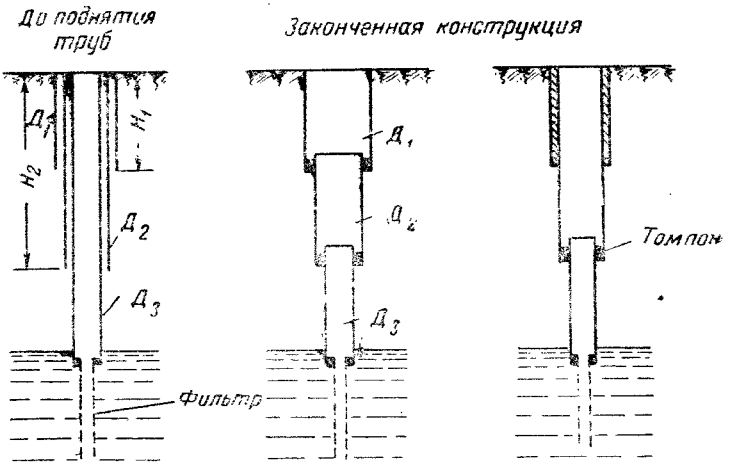


Рис. 28. Трубчатый колодец

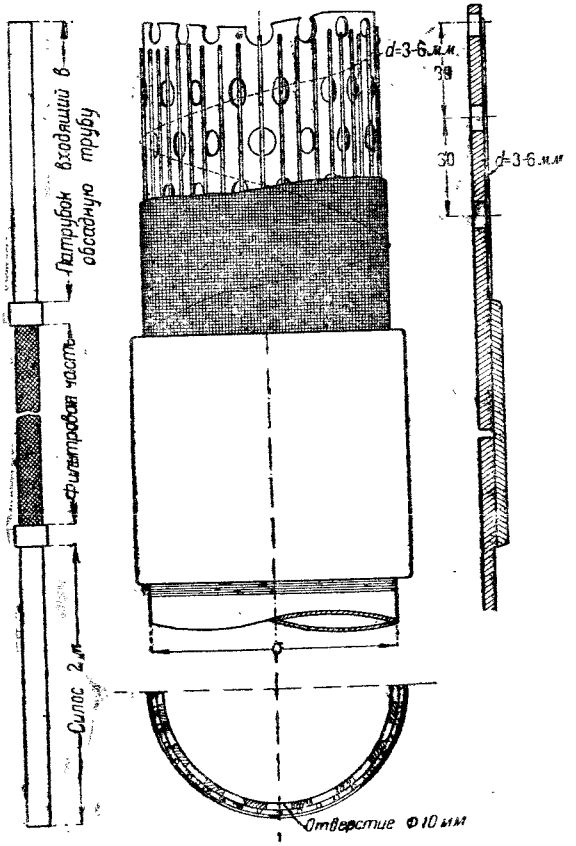


Рис. 29. Сетка-фильтр трубчатого колодца

тока воды в скважину и уменьшает входную скорость, а значит, и количество песка, вносимого водой.

При получении воды из меловых трещиноватых пород, имеющих устойчивые стенки, а также в трещиноватых песчаниках, гранитах и известняках установка фильтров даже вредна, так как фильтры увеличивают гидравлическое сопротивление поступлению воды, уменьшают поверхность притока воды, а следовательно, и дебит скважины и т. п.

В последнее время бесфильтровые скважины устраиваются и в песчаных грунтах. Такая скважина доводится до водоносного слоя, а под забоем ее создается путем откачки воды с песком искусственная воронка глубиной 1,5—2 *м*. Количество вынесенного на поверхность песка замеряется, что позволяет определить объем воронки. Поступающая в воронку вода не встречает сопротивления, которое неизбежно создавалось бы фильтром. Однако продолжительность надежной службы бесфильтровых скважин в песчаных грунтах, пока еще недостаточно выявлена.

По окончании устройства скважины производится опытная (пробная) откачка воды насосами в количестве, в 2—3 раза превышающем будущий эксплоатационный расход. При пробной откачке мелкие частицы грунта высасываются, а крупные частицы песка окружают трубчатый фильтр, создавая как бы второй фильтр, естественный, подобный только что описанному искусственному гравийному фильтру, устраиваемому по методу Лейна. Такой естественный гравийный фильтр, окружающий всасывающий конец трубчатого колодца, увеличивает поверхность притока и замедляет засорение скважин при эксплоатации. Но все же с течением времени выносимые в скважину песчинки забивают металлическую сетку фильтра и препятствуют притоку воды. Для очистки сеток применяют механические способы. С поверхности земли под большим давлением нагнетается вода, которая проходит через сетку изнутри колодца в окружающий грунт, и выносит застрявшие песчинки. В мелких колодцах возможно применение стальных щеток.

В США была применена прочистка фильтра скважины посредством сухого льда (т. е. твердой углекислоты). Скважина имела глубину 75 *м* и диаметр 150 *мм*; статический уровень находился на 45 *м* ниже поверхности земли. Сухой лед опускали в скважину отдельными порциями, чтобы находящаяся в ней вода не замерзала. При попадании сухого льда в воду происходило бурное образование газообразной углекислоты CO_2; давление в забое повышалось, и сетка фильтра быстро очищалась. Для прочистки этой скважины оказалось достаточным 23 *кг* сухого льда. Для другой скважины диаметром 900 *мм* с фильтром диаметром 600 *мм* понадобилось 200 *кг* сухого льда.

Если устраиваются несколько трубчатых колодцев, то они размещаются перпендикулярно к направлению потока подземных вод на расстоянии 100—200 *м* друг от друга. Расстояние

между скважинами зависит от так называемого радиуса влияния каждой из них, который определяется по результатам откачек.

§ 18. Шахтные колодцы

Шахтные колодцы целесообразно устраивать при неглубоком залегании водоносного пласта и при небольшой его толще, но при достаточной водообильности. Шахтные колодцы устраиваются диаметром от 2 до 6 *м* опускным способом. Приток воды в колодец происходит преимущественно через открытое

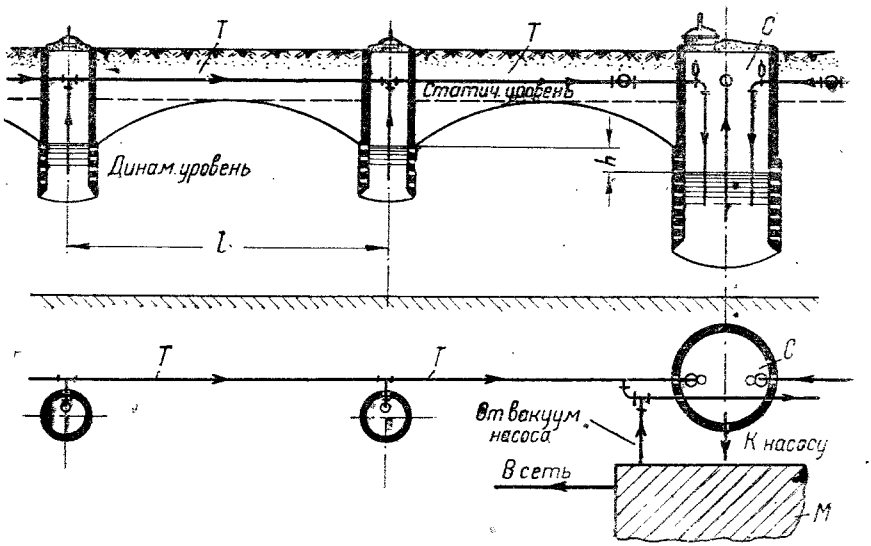


Рис. 30. Группа шахтных колодцев

днище и частично сквозь отверстия в нижней части стенок. Под днищем обычно устраивается фильтр из ряда слоев песка и гравия различной крупности. Колодец не доводится до подстилающего водонепроницаемого пласта.

На рис. 30 представлена схема устройства группы шахтных колодцев. Они размещаются так же, как и трубчатые колодцы, перпендикулярно к направлению потока подземных вод на расстоянии 150—300 *м* один от другого; отдельные шахтные колодцы оборудуются насосами или соединяются сифонным трубопроводом *T* с общим сборным колодцем *C*. Для работы сифона нужно либо создать вакуум в трубопроводе посредством вакуум-насоса, устанавливаемого в насосной станции *M*, либо наполнить сифонные трубы водой посредством водоподающих трубок, создав тем самым неразрывность струи. По

такому же типу устраивается иногда сбор воды и из группы трубчатых колодцев (скважин).

Для работы сифонов необходимо, чтобы уровень воды в сборном колодце был ниже, чем в шахтных колодцах, на величину, превышающую величину сопротивлений при движении воды по сифонным трубам. Из сборного колодца вода забирается насосами и перекачивается в сеть или в водонапорную башню.

Шахтные колодцы устраиваются из кирпича или армированного бетона. Производительность одного колодца может достигать 500—2 000 $м^3/сутки$.

§ 19. Горизонтальные водосборы

Потоки подземных вод небольшой мощности не могут быть в достаточной степени перехвачены вертикальными колодцами, находящимися на больших расстояниях друг от друга; увеличение же числа колодцев удорожило бы водозаборные сооружения.

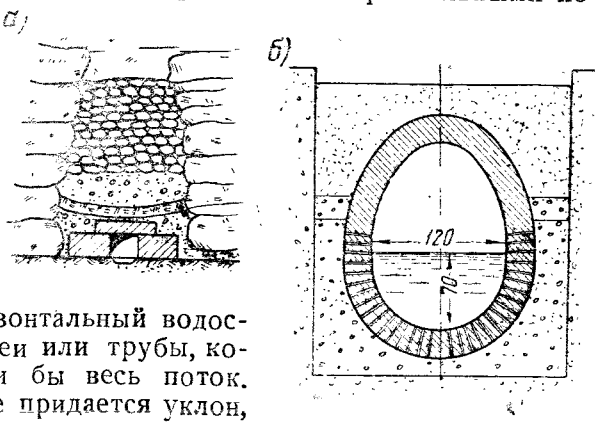


Рис. 31. Горизонтальные водосборы: *а* — дренажного типа; *б*—трубчатый

В таких случаях целесообразнее устроить горизонтальный водосбор в виде галлереи или трубы, которые перехватили бы весь поток. Галлерее или трубе придается уклон, обеспечивающий отвод воды к сборному колодцу.

Устройство горизонтальной водосборной галлереи особенно уместно возле горных склонов. Применение вертикальных колодцев в этом случае нецелесообразно, так как с увеличением уклона подземного потока количество воды, захватываемое вертикальными колодцами, резко падает.

Различаются следующие типы горизонтальных водосборов: 1) дренажи, 2) трубы, 3) галлереи.

Дренажи представляют собой траншеи глубиной 2—3 *м*, засыпанные крупной галькой или щебнем (рис. 31, *а*).

Трубчатые водосборы устраиваются из бетонных труб размером сечения до 1 000 *мм* и больше (рис. 31, *б*), а также из керамических или асбестоцементных труб диаметром до 600 *мм* с отверстиями размером не менее 5 *мм* с боков и снизу.

Водосборные галлереи должны быть доступны для

периодического осмотра; поэтому им придается высота не менее 1,5—1,8 *м* и ширина не менее 0,7—1,0 *м*. С той же целью на водосборной линии должны устраиваться смотровые колодцы через 30—50 *м*. Материалом для галлерей и колодцев служат местный камень, бетон и иногда кирпич. Кладка стен производится насухо, но подошва и нижняя часть стен на высоту 0,20 *м* штукатурится цементным раствором. Снаружи галлерея обсыпается гравием и галькой.

§ 20. Каптаж родников (ключей)

Родники или ключи бывают двух видов: 1) восходящие и 2) нисходящие. Восходящие родники встречаются в пониженных местах долин и имеют некоторый напор; нисходящие же

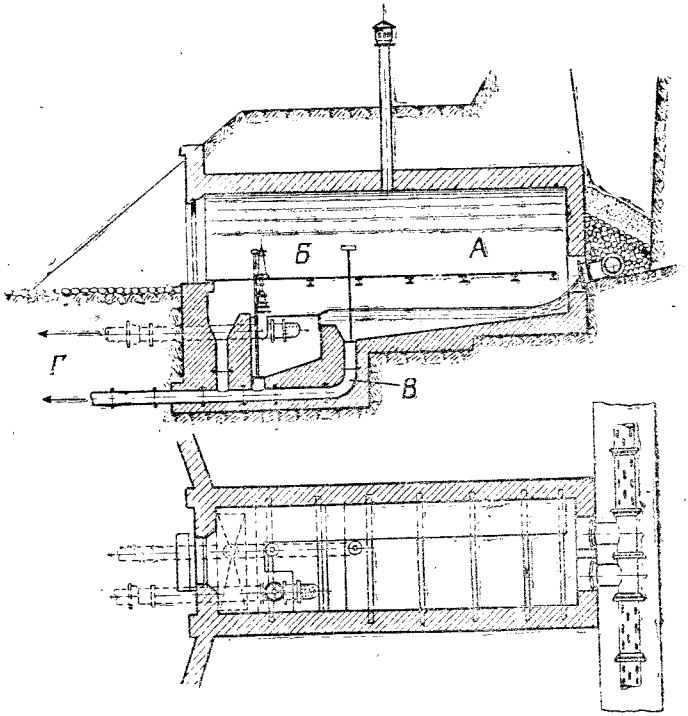


Рис. 32. Каптаж нисходящего родника

родники выходят на поверхность земли в местах выклинивания водонепроницаемых пород, подстилающих водоносный пласт. Способы каптажа родников обоих типов различны.

При каптаже восходящих родников необходимо удалить верхние слои грунта, загрязняющие родниковую воду, и устроить сооружение, ограждающие родник от загрязнения

поверхностными стоками. Очень важно предотвратить возможное образование подпора вследствие скопления воды в каптажном сооружении; подпор может препятствовать выходу родника, и родник может найти себе выход в других местах, минуя каптажное сооружение.

Если выход восходящего родника происходит на небольшой площади, то каптаж его устраивается в виде каменного опускного колодца с открытым дном и водонепроницаемыми стенками. Если водоносный пласт сложен из мелких зерен песка, дно колодца заполняется слоем гравия или щебня, т. е. устраивается фильтр. Каптажное сооружение оборудуется трубами: отводящей, сливной и спускной (для опорожнения).

При выходе восходящих родников в нескольких местах устраивается несколько каптажных сооружений.

Каптаж нисходящего родника должен устраиваться на глубине 5—6 *м*, гарантирующей от проникания в каптажное сооружение поверхностной воды, не профильтровавшейся через грунт. Каптаж осуществляется в виде каменной или бетонной камеры (рис. 32), состоящей из двух частей: приемной *А* и смотровой *Б*. Чистая родниковая вода уходит из каптажной камеры по трубе *В*. В смотровой части размещается сливная труба *Г*.

ГЛАВА IV

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПОДЪЕМА ВОДЫ

§ 21. Водоподъемные устройства

Водоподъемные устройства, весьма разнообразные по принципам действия и конструкции, можно подразделить на следующие основные виды: 1) поршневые насосы, 2) центробежные и пропеллерные насосы, 3) водоструйные приборы (эжекторы), 4) эрлифты.

Для водопроводов применяются поршневые и центробежные насосы и эрлифты; пропеллерные насосы обслуживают ирригационные сооружения, а эжекторы употребляются для откачки воды из затопляемых камер водозаборов, из береговых колодцев и из котлованов при производстве земляных работ.

Поршневые насосы. Поршневой насос имеет рабочий цилиндр, в котором движется поршень (или плунжер), шток которого соединен или непосредственно со штоком паровой машины (прямодействующий насос) или с шатунным механизмом (приводной насос). Ход поршня вправо (рис. 33) создает разрежение в цилиндре, куда под действием атмосферного давления поступает вода из водозабора или из резервуара. На своем пути вода проходит приемный клапан с сеткой, всасывающую трубу и всасывающий клапан цилиндра. Ход

поршня влево вталкивает воду через нагнетательный клапан цилиндра в напорную трубу.

Для смягчения толчков, получающихся в нагнетательных и всасывающих трубах вследствие возвратного движения поршня, как на нагнетательном, так и на всасывающем трубопроводах устанавливаются воздушные колпаки; воздух, находящийся в колпаках, играет роль буфера, смягчающего толчки воды и выравнивающего давления.

Поршневые насосы по расположению цилиндров могут

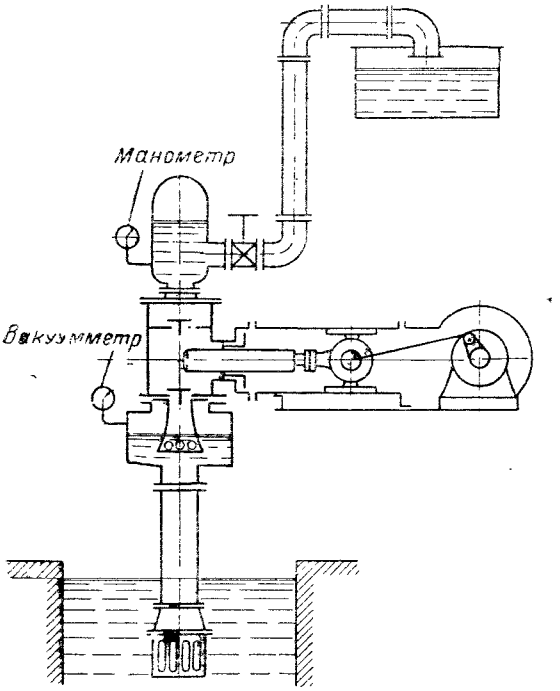


Рис. 33. Схема поршневого насоса.

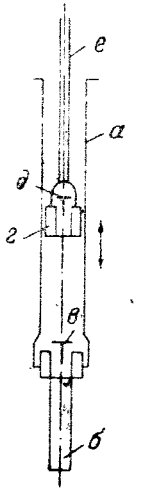


Рис. 34. Схема вертикального штангового насоса с проходным поршнем

быть вертикальные или горизонтальные. По принципу действия различают насосы одинарного, двойного и тройного действия, а также диференциальные насосы. На рис. 33 приведена схема насоса одинарного действия. За один оборот вала кривошипа этот насос один раз всасывает и один раз нагнетает воду.

В насосах двойного действия при ходе поршня вправо, в левой половине происходит всасывание воды, а из правой половины она нагнетается в напорную трубу общую для обеих половин. Таким образом за один оборот вала кривошипа насос двойного действия 2 раза всасывает и 2 раза нагнетает. Этот тип парового поршневого насоса был довольно распространен на старых насосных станциях. При реконструкции стан-

ций они иногда оставляются в качестве резервных насосов.

Насосы тройного действия (или трехскальчатые) — это строенные насосы одинарного действия, расположенные рядом, работающие от общего коленчатого вала и имеющие общую всасывающую и нагнетательную трубы.

Диференциальный насос всасывает за один ход такое количество воды, которое нагнетает за два хода.

Высота всасывания поршневого насоса теоретически равна 10,3 *м*, практически же для холодной воды бывает не более 6—7 *м*.

Производительность поршневого насоса одинарного действия составляет:

$$Q = \frac{Fskn}{60} \quad м^3/сек, \tag{4}$$

где F — площадь поршня в $м^2$;
s — ход поршня в *м*;
k — коэфициент наполнения (обычно $k = 0{,}90 \div 0{,}98$);
n — число двойных ходов поршня в 1 мин.

Для поршневых насосов двойного действия:

$$Q = \frac{(2F - f)\, skn}{60} \; м^3/сек, \tag{5}$$

где f — площадь поперечного сечения штока.

Для поршневых насосов тройного действия:

$$Q = 3\frac{Fskn}{60} \; м^3/сек. \tag{6}$$

Для диференциальчых насосов, так же как и для насосов одинарного действия, производительность принимается по формуле (4).

Мощность двигателя к насосу:

$$N_{дв} = \frac{QH}{75\ \eta_н \cdot \eta_{пер}} \cdot m \;\; л.\,с. \tag{7}$$

где Q — производительность насоса в *л/сек*;
H — полный подъем в *м*;
$\eta_н$ — к. п. д. насоса (для горизонтального — 0,7 — 0,85, для вертикального — 0,65 — 0,75);
$\eta_{пер}$ — к. п. д. передачи (при одинарной ременной или зубчатой 0,95—0,97);
m — коэфициент увеличения мощности двигателя на случай возможных перегрузок (при мощности двигателя от 10 *л. с.* и более $m = 1{,}1$; при мощности до 10 *л. с.* $m = 1{,}15 \div 1{,}20$).

В настоящее время поршневые насосы можно встретить, главным образом, на старых установках, а все новые станции оборудуются центробежными насосами. Сравнительно широ-

кое применение имеют штанговые насосы для подъема воды из буровых скважин малого диаметра с глубиной порядка 100 *м* и более. На рис. 34 показана схема штангового насоса с проходным поршнем.

Основными элементами такого насоса являются: цилиндр *а*, всасывающая труба *б*, всасывающий клапан *в* и поршень *г* со сквозным отверстием, которое закрывается клапаном *д*. Когда поршень со штангой *е* движется вверх, под ним образуется разрежение, и вода всасывается через клапан *в*. Затем поршень делает холостой ход вниз, клапан *в* закрывается, а вода проходит через клапан *д* в пространство над поршнем. При следующем движении поршня вверх вода выталкивается в напорную трубу и одновременно через клапан *в* происходит всасывание. Штанговые насосы имеют небольшое число оборотов (20—40 в 1 мин.) и предназначаются для обслуживания скважин малого диаметра от 100 до 200 *мм*. Производительность штанговых насосов не превышает 5 ÷ 12,5 $м^3/час$ (не более 4 *л/сек*); к. п. д. — в пределах 0,65 — 0,80.

Центробежные насосы. Действие центробежного насоса состоит в следующем: рабочее колесо, снабженное лопатками вращается с большой скоростью в корпусе насоса, имеющем форму улитки (рис. 35). Вследствие появляющейся при этом центробежной силы вода выбрасывается из колеса в корпус, а затем в напорную трубу. Всасывание воды центробежным насосом может происходить лишь тогда, когда корпус насоса наполнен водой, или если в начале работы искусственно создано необходимое разрежение путем отсасывания воздуха из корпуса насоса и всасывающей линии. Поэтому перед пуском насоса всасывающие трубы и корпус заливают водой или создают разрежение в них при помощи так называемых вакуум-насосов.

Центробежные насосы можно классифицировать по следующим признакам:

1) по расположению вала — на горизонтальные и вертикальные,

2) по способу привода: а) на насосы непосредственного соединения — с электромотором или с паровой турбиной (посредством упругой муфты) и б) на приводные насосы — соединяемые с двигателем при помощи передачи (ременной, зубчатой и т. д.),

3) по величине развиваемого напора — на насосы а) низкого давления (до 20 *м*), б) среднего давления (до 40—60 *м*) и в) высокого давления (более 40—60 *м*).

Насосы низкого давления имеют обычно одно рабочее колесо (одноступенчатые насосы), насосы высокого давления имеют несколько последовательно работающих колес, размещенных на одном валу (многоступенчатые насосы). Все колеса насоса делаются одинаковыми.

К насосам низкого давления относятся, в частности, упо-

мянутые ранее пропеллерные насосы, которые применяются для ирригации.

В камеру центробежного насоса высокого давления по большей части вставляется направляющий аппарат, придающий струям воды, выходящим из колеса, определенное направление. Это создает более плавный переход воды в напорную трубу. При наличии направляющих аппаратов центробежные насосы принято называть турбинными. Насосы низкого и среднего давления современных конструкций обычно не имеют направляющих аппаратов. В центробежных насосах с односторонним входом воды в колесо вследствие разности давлений по обе стороны колеса возникает осевой сдвиг, действующий в сторону, обратную направлению воды, поступающей в колесо.

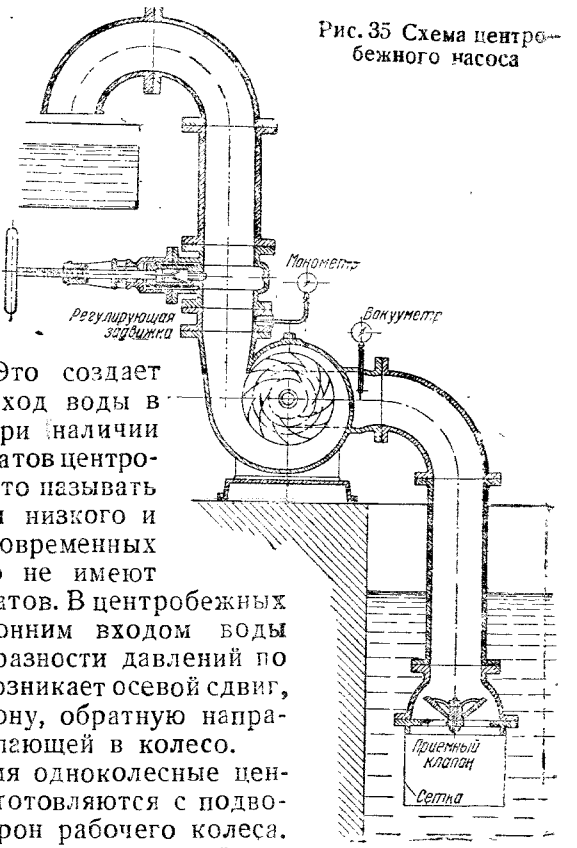


Рис. 35 Схема центробежного насоса

В настоящее время одноколесные центробежные насосы изготовляются с подводом воды с обеих сторон рабочего колеса. Это — так называемые насосы с двойным всасыванием или с двухсторонним впуском. У этих насосов благодаря разгрузке осевого давления и отсутствию трения в опорных пятах к. п. д. достигает 0,80—0,88.

В многоколесных насосах осевой сдвиг усиливается с увеличением числа колес. Уравновешивание осевого давления может быть достигнуто при помощи дополнительного уплотняющего кольца со стороны, противоположной всасыванию, и устройства отверстий в колесе для пропуска воды, просочившейся через зазоры. Так как в этом случае все же остается некоторое осевое давление, то необходим еще механический упор в виде упорного подшипника. Эти мероприятия широко распространены в конструкциях малых и средних насосов.

Современные центробежные насосы имеют конструкцию корпуса, позволяющую производить разъем его по горизонтальной плоскости вдоль оси насоса. Такая конструкция корпуса облегчает монтаж насоса и ремонт его отдельных частей.

На рис. 36 показана схема насосного агрегата с двойным

всасыванием и разъемным корпусом насоса, смонтированного на одной оси с электромотором.

Многоколесные насосы изготовляются в виде так называемых волютных (т. е. спиральных) насосов, отличающихся от прежних типов отсутствием направляющих аппаратов. Вода от одного колеса к другому направляется по находящимся в корпусе насоса переточным каналам. При такой конструкции получается меньшее число деталей, упрощается механическая

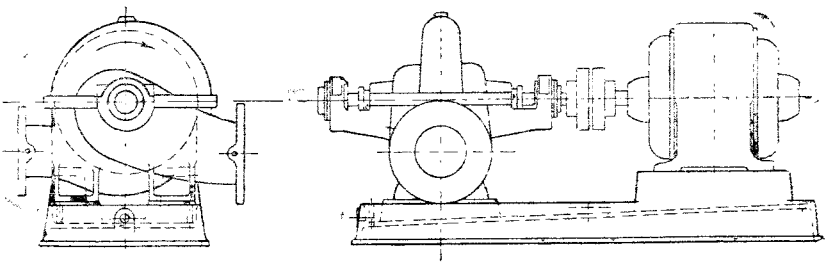


Рис. 36. Насосный агрегат (насос и электромотор), смонтированный на одной оси

обработка насоса и уменьшаются осевые усилия. Все это создает удобство, простоту и надежность в эксплоатации.

Требуемая мощность на валу центробежного насоса определяется по формуле:

$$N_н = \frac{QH}{75\eta} \text{ л. с.}, \qquad (8)$$

где Q — производительность насоса в *л/сек*;

H — полный подъем насоса в *м* (высота всасывания плюс высота нагнетания, включая потери напора);

η — к. п. д. насоса (обычно 0,7÷0,85).

Мощность мотора, приводящего насос в действие, составляет:

$$N_м = \frac{QH}{75\eta} m_1, \qquad (9)$$

где m_1 — коэфициент запаса на перегрузку, равный 1, 10÷1,20 для больших мощностей и 1,20÷1,50 для малых мощностей (от 1 до 5 *л. с.*).

Излишняя мощность электромоторов снижает их к. п. д., поэтому запас мощности их следует принимать с осторожностью.

Регулирование работы центробежных насосов возможно путем изменения числа оборотов, которое влияет как на производительность насоса, так и на напор. С изменением числа оборотов с n до n_1 производительность центробежного насоса изменяется с Q до Q_1 пропорционально числу оборо-

тов, т. е. $\frac{Q}{Q_1}=\frac{n}{n_1}$. Напор насоса пропорционален квадрату числа оборотов, т. е. $\frac{H}{H_1}=\frac{n^2}{n_1^2}$. Следовательно, нельзя изменить одну из этих величин, не меняя другой. Иначе говоря, напор, создаваемый центробежным насосом, изменяется не только с изменением числа оборотов, но также и при постоянном числе оборотов, если изменяется производительность насоса. Это свойство резко отличает центробежный насос от поршневого, у которого производительность при постоянном числе ходов остается неизменной. Требуемая мощность на валу центробежного насоса определится из соотношения $\frac{N}{N_1}=\frac{n^3}{n_1^3}$.

Нарушение этих законов пропорциональности имеет место при больших производительностях, превосходящих допускаемые для данного насоса, а также при большой высоте всасывания. Таким образом, регулировка центробежных насосов была бы возможна путем изменения числа оборотов, однако электромоторы, работающие на трехфазном переменном токе (с которыми обычно непосредственно соединен центробежный насос), не допускают регулирования числа оборотов за исключением тех случаев, когда применяются специальные устройства (в виде так называемых коллекторных моторов или с помощью гидромуфт). Поэтому использование центробежных насосов встречает затруднения в условиях переменного рабочего режима. Производительность их можно менять только на 15—20% регулированием задвижки на напорной трубе, причем даже это сопровождается значительным понижением их к. п. д. Для обеспечения более резких изменений производительности нужно устанавливать либо дополнительные насосы, повышающие напор и расход, либо более мощные агрегаты, включаемые в часы максимального потребления взамен выключаемых насосов меньшей производительности.

На современных насосных станциях с мощными центробежными насосами применяются в качестве двигателей синхронные электромоторы, которые имеют $\cos\varphi$, близкий к 1.0, а иногда даже так называемый опережающий $\cos\varphi$.

§ 22. Характеристика центробежного насоса

При испытании на заводе изготовленного центробежного насоса выявляют зависимость между его производительностью Q и напором H и изображают ее в виде кривой $Q—H$, которая называется характеристикой насоса. Характеристику строят следующим образом: не меняя числа оборотов насоса, регулируют степень открытия задвижки на напорной трубе, получая различные производительности Q, значения которых откладывают по горизонтальной оси. Изменение производи-

тельности вызывает изменение напоров H, значения которых, отсчитанные по манометру, откладывают по вертикальной оси.

Соединив нанесенные точки плавной кривой, получают характеристику насоса $Q—H$ при данном числе оборотов. На рис. 37 представлена характеристика насоса марки НДс завода им. Калинина.

Замеряя при испытании различные значения затрачиваемой мощности N на валу насоса, соответствующие различным значениям производительности, получают кривую затрачиваемой мощности $Q—N$. Пользуясь этой кривой, вычисляют отвечающие ей значения к. п. д., которые также наносят в виде кривой $Q—\eta$ для того же числа оборотов насоса.

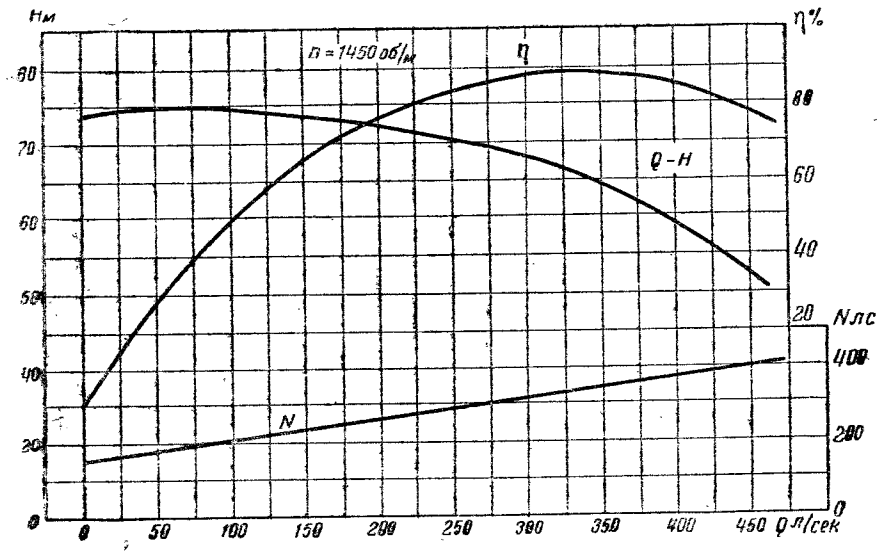


Рис. 37. Характеристика насоса марки НДс завода им. Калинина

На рис. 37 нанесены все три кривые $Q—H$, $Q—N$ и $Q—\eta$. Максимальному значению к. п. д. $\eta=0{,}88$ соответствует производительность $Q=335$ *л/сек* и напор $H=65{,}5$ *м*. Если работать с к. п. д. не ниже 0,80, можно при том же числе оборотов получить производительность от 230 до 435 *л/сек* при соответствующих напорах 71 и 54 *м*.

Рассмотрение кривых показывает, что при $Q=0$, т. е. при закрытой задвижке на напорной трубе насос развивает напор 73 *м*, расходуя мощность 150 *л. с.*, т. е. около 44% нормальной. Вся эта мощность затрачивается на нагревание воды, поэтому оставлять насос работающим с закрытой задвижкой нельзя.

После открытия задвижки, т. е. с началом подачи воды, напор несколько повышается, достигая максимума 75 *м* при

производительности 70 *л/сек*. В пределах этой части кривой работа насоса протекает неспокойно, сопровождаясь сильным шумом. При дальнейшем повышении производительности напор постепенно несколько падает, но работа насоса становится устойчивой. Этой части кривой отвечают обычно и наибольшие значения к. п. д. Затрачиваемая мощность растет пропорционально расходу, что нужно учитывать при выборе насоса и мотора, во избежание перегрузки двигателя (электромотора) при повышении производительности насоса сверх расчетной величины.

§ 23. Параллельная работа насосов

В целях увеличения подачи воды иногда включают в параллельную совместную работу на общий водовод два или

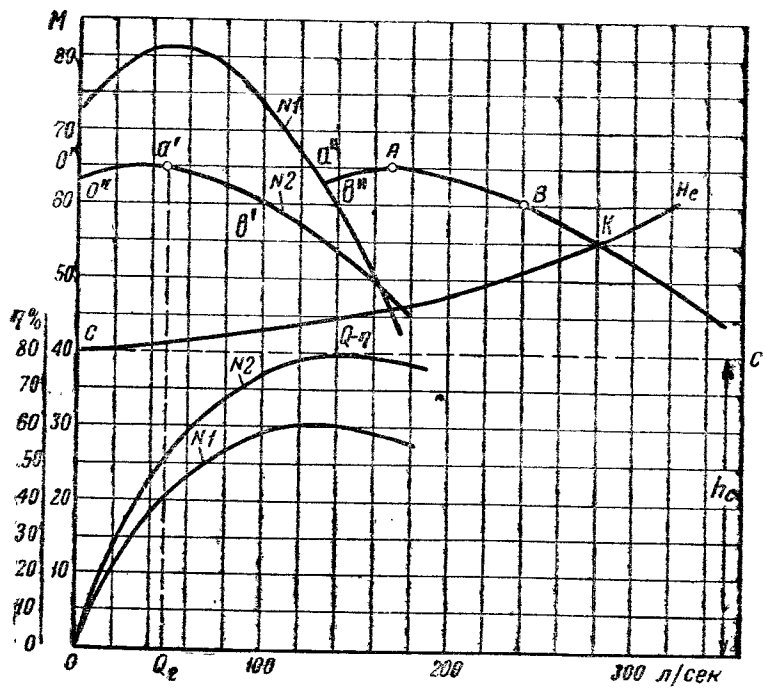


Рис. 38. Характеристика параллельной работы двух насосов с разными производительностью и напором

несколько насосов. Очень важно заранее произвести анализ условий такой параллельной работы насосов, пользуясь их характеристиками. На рис. 38 представлен график параллельной работы двух центробежных насосов № 1 и № 2 с разным числом оборотов и с разными характеристиками. Насос № 1 одноколесный, имеет 1450 об/мин, насос № 2 трехколесный, турбинный с $n=720$ об/мин.

Построение суммарной характеристики $Q-H$ производим следующим образом. Так как напоры обоих насосов в точках перегиба кривых неодинаковы (для насоса №1 $H_1=81$ *м*, для насоса №2 $H_2=65$ *м*), то оба насоса вместе могут работать лишь при напоре, равном или меньшем H_2. Поэтому проводим горизонтальную прямую через высшую точку a' кривой $Q-H$ насоса №2. От точки пересечения a'' этой прямой с кривой $Q-H$ насоса №1 откладываем отрезок $a''-A$, равный отрезку $o'-a'=Q_2$ (производительности насоса №2 при напоре H_2). Точка A будет высшей точкой кривой $Q-H$ параллельной работы насосов №1 и №2. Для нахождения остальных точек кривой параллельной работы складываем абсциссы кривых $Q-H$ насосов №1 и №2 при одинаковых напорах; например, для нахождения точки B складываем абсциссы $c''-b'$ и $o''-b''$.

Чтобы определить величину расхода двух насосов при работе в общий водовод, надо на этом же графике нанести кривую H_e—характеристику водовода. Полный подъем H, преодолеваемый насосами, складывается из гидростатической высоты h_c, которая выражается прямой $C-C$ (в данном случае $h_c=40$ *м*), а также из высоты напора, расходуемого на преодоление всех сопротивлений в водоводе h_b и зависящего от Q. Таким образом $H=h_c+h_b$. Величина h_b определяется по формуле Маннинга (см. стр. 88) и выражается кривой H_e.

Точка K пересечения кривой H_e с суммарной характеристикой $Q-H$ и есть точка совместной работы обоих насосов в водовод с характеристикой H_e. Как видно из графика, эта работа происходит при $H=55$ *м* и $Q=280$ *л/сек*, причем насос № 1 подает 150 *л/сек*, а насос №2 — 130 *л/сек*.

Эти значения определяются точками пересечения горизонтальной линии, проведенной через точку K с кривыми $Q-H$ насосов № 1 и № 2.

§ 24. Высота всасывания. Кавитация

Наибольшая геометрическая высота всасывания $H_{вс}$ центробежного насоса может быть определена по формуле:

$$H_{вс}=P_a-\left(h_t+h_в+\frac{c_1^2}{2g}\right), \qquad (10)$$

где P_a—давление атмосферы в *м* вод. ст.;

h_t — давление паров воды, зависящее от ее температуры;

$h_{вс}$ — гидравлические потери во всасывающей линии;

c_1 — скорость частиц воды при входе на лопатку колеса насоса (от 2 до 4 *м/сек*).

Давление атмосферы P_a зависит от высоты над уровнем моря, как показано в табл. 10.

Таблица 10

Высота над уровнем моря в *м*	0	100	150	200	300	400	500	1 000	2 000	3 000
Атмосферное давление P_a вод. в *м* ст.	10,33	10,21	10,12	10,08	9,94	9,83	9,7	9,2	8,1	7,29

Величины давления паров воды h_t в зависимости от температуры воды приведены в табл. 11.

Таблица 11

Температура воды t в °С	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Давление паров воды h_t в *м* вод. ст.	0,062	0,09	0,12	0,17	0,236	0,429	0,75	1,25	2,0	3,17	4,8	7,1	10,33

Таким образом, на высоту всасывания значительно влияет температура воды. При перекачивании горячей воды высота всасывания падает и горячую воду (при $t > 60 \div 70°$) приходится подводить к насосу под напором.

Практически допустимая величина $H_{вс}$ значительно меньше даваемой формулой (10).

В табл. 12 указаны практические данные о высоте всасывания при различной температуре воды и при нормальном атмосферном давлении.

Таблица 12

Высота всасывания в *м*	Температура воды в °С									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Теоретическая	—	10	9,8	9,6	9,2	8,7	8,0	6,8	5,51	3,19	0
Практическая .	—	6,7	6,3	5,8	5,0	3,7	2,1	—0,3	—0,4	—2,5	—2,5

С высотой всасывания связано весьма серьезное явление — кавитация. Сущность кавитации заключается в том, что при чрезмерном вакууме в насосе давление в отдельных местах начинает понижаться до давления водяных паров и в потоке образуются места, заполненные паром.

Вместе с парообразованием происходит отрыв потока от стенки лопатки колеса в том ее месте, где скорость наибольшая. Образующиеся вследствие разрежения водяные пары, соприкасаясь с областью повышенного давления, частично конденсируются. Конденсация сопровождается значительным

местным повышением давления и ударами вследствие стремительного движения частиц воды в пространство, занимавшееся паром. Это и вызывает постепенное разрушение материала рабочего колеса. Механические удары считаются основным разрушающим фактором, хотя не исключено и химическое воздействие выделяющихся кислорода и углекислоты.

На основании экспериментальных исследований с центробежными насосами Всесоюзный институт гидромашин рекомендует следующую формулу для определения наибольшей высоты всасывания

$$H_{вс} = P_a - \frac{n}{867}\sqrt[3]{nQ^2}, \qquad (11)$$

где $H_{вс}$ — вакуумметрическая высота всасывания (или геометрическая высота плюс потери во всасывающей линии);
n — число оборотов насоса в минуту;
Q — производительность насоса в $м^3/сек$ (для насосов с двухсторонним впуском принимается $\frac{Q}{2}$).

Высота всасывания, получаемая по этой формуле, должна быть уменьшена на 1—2 *м* во избежание появления кавитации.

Необходимо иметь в виду, что регулирование работы насоса задвижкой на всасывающей линии тоже вызывает кавитацию, так как равнозначно увеличению высоты всасывания.

§ 25. Подъем воды из скважин центробежными насосами

На современных установках подъем воды из скважин при глубине динамического уровня 15—60 *м* производится вертикальными турбинными центробежными насосами, опускаемыми в скважину (рис. 39). Электромотор устанавливается наверху над устьем скважины и соединяется с насосом посредством вертикального вала. Обычно такие насосы современного типа могут подавать воду на высоту, превосходящую 90—100 *м*. Мощность моторов—от 5 до 150 *л. с.* Диаметр скважины — не менее 150 *мм*. Производительность насосов — от 6 до 450 *л/сек* соответственно диаметрам скважин — от 150 до 450 *мм*.

К. п. д. насосных агрегатов для скважин достигает 80—81%.

Применение трансмиссионных валов большой длины (60 *м* и более) и подшипников к ним связано с рядом неудобств — дрожание вала, износ подшипников и т. д., а при кривизне скважин — является невыполнимым. Поэтому другим способом подъема воды из глубоких скважин может служить так называемый насос с погруженным мотором (рис. 40).

Конструкция этого водоподъемного агрегата исключает необходимость иметь длинные валы, так как в скважину опускаются не только насос, но и электромотор, смонтированный под ним на общей вертикальной оси. В целях гидроизоляции

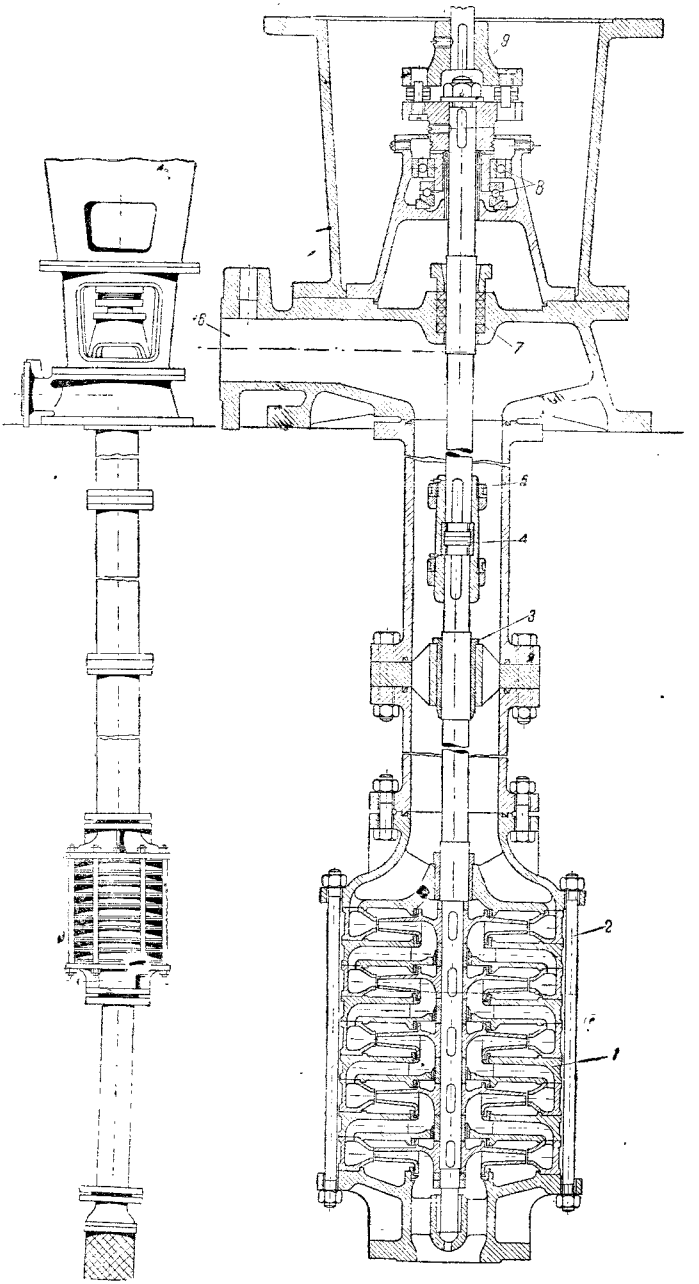


Рис. 39. Вертикальный турбинный центробежный насос: *1* — лопатки колеса; *2* — болты для крепления секций насоса; *3* — втулки; *4* — соединительная муфта валов; *5* — контргайка; *6* — напорный штуцер; *7* — грунд-букса; *8* — роликовые подшипники; *9* — гайка; *10* — станина мотора

мотор заключен в стальной кожух, в который посредством небольшого компрессора, устанавливаемого над устьем скважины, нагнетается сжатый воздух, что создает противодавление, на $^1/_2$ *ат* превышающее наружное давление воды.

Подача тока к мотору производится по изолированному электрокабелю, прокладываемому в скважине параллельно напорному трубопроводу (рис. 40). При производительности насоса 45 *л/мин* диаметр его составляет только 135 *мм*, что допускает его установку в скважине диаметром 150 *мм*. Насосы с погруженным мотором имеют производительность от 5 до 200 $м^3/час$ с максимальной высотой подачи 120 *м* при нормальном числе оборотов 2 850 в 1 мин.

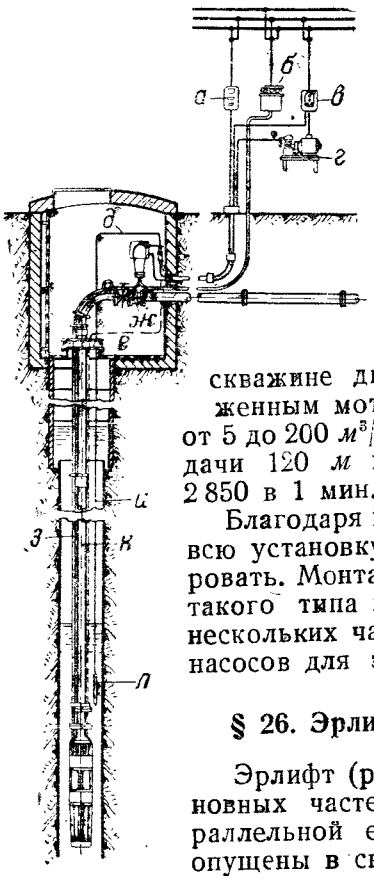


Рис. 40. Насос с погруженным мотором для подъема воды из скважины: *а* — реле для измерителя уровня воды в скважине; *б* — защитный автомат; *в* — реле для наблюдения за погруженным электродвигателем; *г* — компрессор (для подачи сжатого воздуха к электромотору); *д* — кабель для измерителя уровня; *е* — задвижка; *ж* — обратный клапан; *з* — кабель к электродвигателю; *и* — воздушная труба; *к* — напорная труба; *л* — измеритель уровня; *м* — погруженный насосный агрегат

Благодаря погружению мотора в скважину всю установку для забора воды легко замаскировать. Монтаж и демонтаж насосной установки такого типа могут быть выполнены в течение нескольких часов, тогда как при других типах насосов для этого требуется несколько дней

§ 26. Эрлифты (воздушные подъемники)

Эрлифт (рис. 41) состоит из следующих основных частей: 1) водоподъемной трубы; 2) параллельной ей воздушной трубы; обе трубы опущены в скважину и соединены между собой внизу так называемым башмаком; 3) компрессора, устанавливаемого в специальном здании и подающего сжатый воздух в скважину, 4) ресивера, т. е. воздушного котла-аккумулятора.

При подаче сжатого воздуха в скважину ниже уровня воды в скважине образуется воздушно-водяная смесь (эмульсия). Эмульсия эта имеет гораздо меньший удельный вес, чем вода, и вследствие этого поднимается по водоподъемной трубе кверху и изливается в резервуар. Над водоподъемной трубой устанавливается специальный зонтичный отражатель или сепаратор с целью скорейшего выделения воздуха из смеси.

Иногда воздушная труба проходит внутри водоподъемной, концентрично с нею, и тогда

эмульсия поднимается по кольцевому пространству между стенками обеих труб. Чем больше высота подъема воды, тем меньше должен быть удельный вес смеси. Иначе говоря, с увеличением высоты подъема воды необходимо увеличить объем сжатого воздуха W, подаваемого на $1\,м^3$ получаемой воды.

Для установки эрлифта водоподъемная и воздушная трубы должны быть погружены в скважине на такую глубину, чтобы не только был уравновешен столб воздушно-водяной смеси, но чтобы ему было еще сообщено движение вверх. Чрезмерное увеличение объема воздуха и глубины погружения приводит к снижению к. п. д., который у эрлифтных установок вообще невысок и составляет всего только 15—22% (в редких случаях до 25—28%). Подъем воды эрлифтом производится обычно только до уровня земли, после чего воду перекачивают центробежными насосами (так называемыми насосами второго подъема), так как использование эрлифта для дальнейшей подачи воды невыгодно (ввиду низкого к. п. д.) и неудобно.

Несмотря на низкий к. п. д. эрлифтные установки имеют еще довольно широкое применение, особенно в тех случаях, когда требуется надежность и непрерывность подачи воды. Они являются единственно возможным средством для подъема воды из скважин малого диаметра. При оборудовании эрлифтом не имеет существенного значения некоторая кривизна скважин. Наконец, эрлифты наиболее рациональны для подъема из скважин воды с большим содержанием песка, который, как показывает практика, довольно быстро изнашивает насосы всех типов.

Расчет требуемого количества воздуха для эрлифтов производится по формуле Рикс-Абрамса, имеющей вид:

$$W=\frac{H_2}{C\lg\frac{H_1+10{,}33}{10{,}33}}, \qquad (12)$$

где W — необходимое количество воздуха в $м^3/мин$ на $1\,м^3$ поднимаемой воды при нормальном давлении и температуре $+15{,}5°$;

H_1 — глубина погружения воздушных труб в $м$ от динамического уровня до места впуска воздуха в башмак (рис. 42);

H_2 — высота подъема воды в $м$ от динамического уровня воды в скважине до верхнего конца водоподъемной трубы;

C — эмпирический коэфициент, изменяющийся в зависимости от степени погружения β, выражаемой обычно в процентах:

$$\beta=\frac{100\,H_1}{H_1+H_2}. \qquad (13)$$

Процент погружения на практике колеблется от 35 до 70% (табл. 13).

В табл. 14 приведено значение коэфициентов C для случаев центрального (концентричного) и параллельного размещения воздушной трубы.

Сравнение коэфициентов C (табл. 14) показывает, что при параллельном размещении воздушной трубы требуемое количество воздуха на 10—30% (в среднем 20%) меньше, чем при центральном размещении, причем разница увеличивается обратно пропорционально величине погружения.

Для расчета требуемого количества воздуха для эрлифтов применяется также формула Андерсона:

$$W = \frac{k H_2}{23 \lg \frac{H_1 + 10}{10}}, \qquad (14)$$

где $k = 2{,}17 + 0{,}0164 H_2$; значения H_1 и H_2 те же, что и в формуле (12).

Формула Андерсона взята из нефтяной практики и потому в большей мере отвечает условиям глубоких скважин. Для обычных артезианских скважин глубиной до 200—250 *м* она дает преувеличенные результаты.

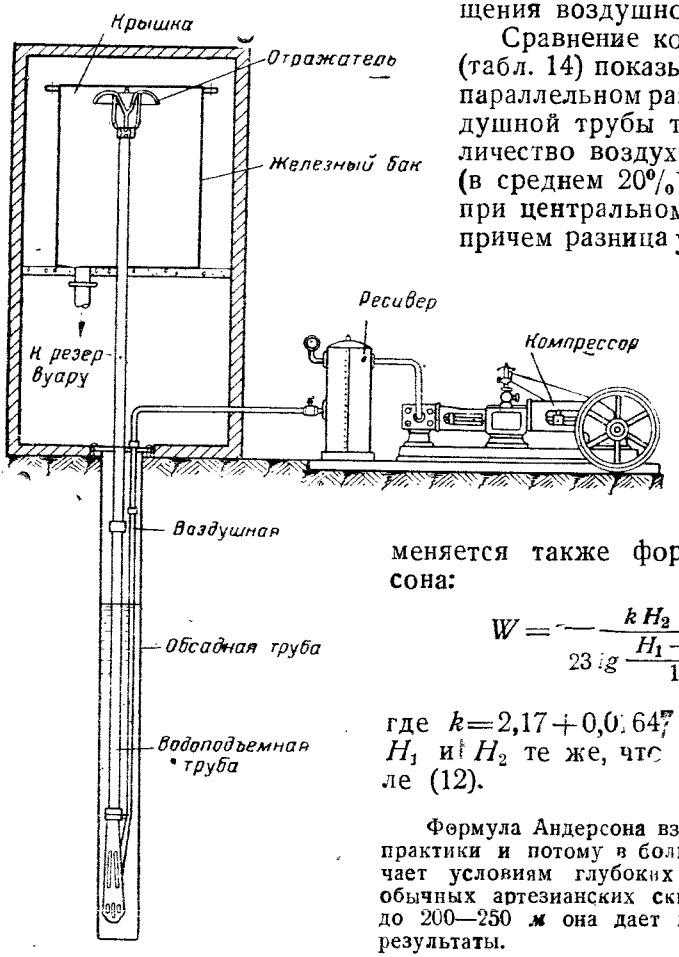


Рис. 41. Эрлифтная установка

Объем воздуха W на 1 $м^3$ поднимаемой воды практически колеблется в пределах от 1,5 до 3,5 $м^3$ а иногда и более.

Глубина погружения водоподъемной трубы в воду, а следовательно, и глубина скважины должна составлять:

$$h_c = H_1 + H_2 = \frac{H_1}{\beta} \cdot 100, \qquad (15)$$

где β — оптимальный процент погружения, определяемый по табл. 13.

На практике глубина погружения водоподъемной трубы, а следовательно, и глубина скважины h_c принимается в пределах (при погружении 40—70%):

$$h_c = 1{,}5\ H_2 \div 3{,}0\ H_2.$$

Диаметр водоподъемной трубы определяется по формуле:

$$d = 1\,128{,}38\ \sqrt{\frac{Q}{v}}, \qquad (16)$$

где d — диаметр трубы в *мм*;
Q — расход смеси воздуха и воды в $м^3/мин$;
v — скорость движения смеси в трубе в *м/сек*.

Таблица 13

Высота подъема в *м*	Обычно допускаемый процент погружения	Оптимальный процент погружения
6—38	50—70	65—70
38—53	40—65	60—65
53—76	40—60	55—60
76—106	37—55	50—55
106—200	37—50	45—50
200—250	35—45	40—45

Таблица 14

Процент погружения	Значение коэфициента C	
	параллельное размещение	концентрическое размещение
75	14,7	13,2
70	14,4	12,9
65	14	12,3
60	13,5	11,4
55	12,8	10,5
50	11,9	9,5
45	10,9	8,6
40	9,9	7,4
35	8,7	6,5

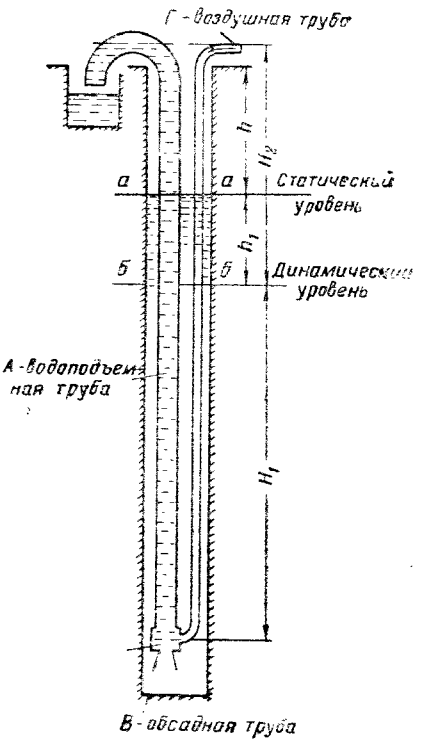


Рис. 42. Схема эрлифта

При водоподъемной трубе постоянного диаметра оптимальная скорость движения эмульсии для высоты подъема от 12 до 60 *м* колеблется от 10 *м/сек* при 35%-ном погружении и до 3,5 *м/сек* при 70%-ном погружении.

При суживающейся (книзу) водоподъемной трубе оптимальная скорость колеблется от 7 *м/сек* при 35%-ном погружении до 2,3 *м/сек* при 70%-ном погружении. Оптимальная скорость эмульсии у входа внизу водоподъемной трубы 6 *м/сек* при 35%-ном погружении и 2,3 *м/сек* при 70%-ном погружении.

§ 27. Насосные станции

По условиям работы различают насосные станции первого и второго подъема. Первым называется подъем (подача) воды непосредственно из источника, например на очистные сооружения; вторым — вторичная перекачка воды, например перекачка воды, прошедшей очистные сооружения из так называемых резервуаров чистой воды.

Насосные станции первого подъема надо располагать в местах, не затопляемых паводками так, чтобы отметка порога воды превышала не менее чем на 0,50 *м* горизонт высоких вод в источнике. Одновременно надо заглублять станции с таким расчетом, чтобы отметка оси насосов не превышала отметки наинизшего горизонта в реке более чем на высоту всасывания. Это требование зачастую вызывает необходимость в большом заглублении насосного здания и в устройстве его в виде насосной шахты глубиной, достигающей 8—14 *м* (рис. 43). Глубокие шахты устраиваются обычно круглого сечения с применением опускного способа производства работ, если это допускают грунтовые условия. В глубоких шахтах целесообразно устанавливать вертикальные центробежные насосы для сокращения габаритов сооружения, которые могут быть уменьшены таким путем почти вдвое.

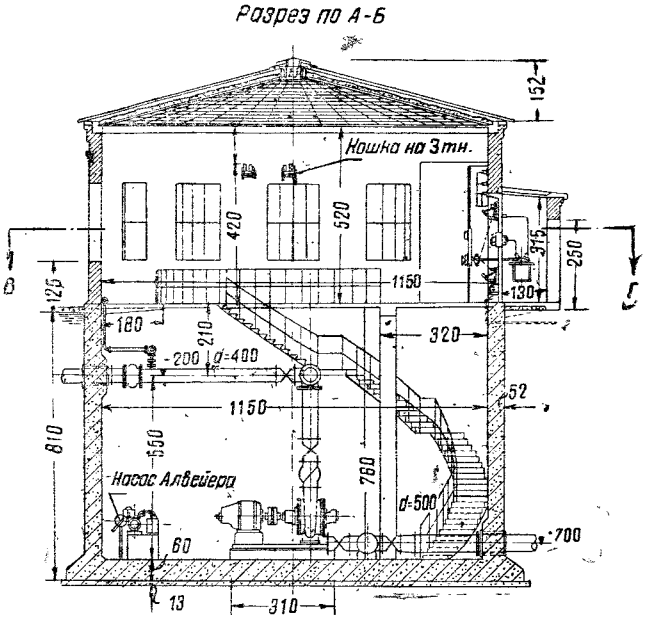
Здания насосных станций второго подъема (рис. 44) обычно имеют правильную прямоугольную форму. Насосы в них размещаются в один или два ряда.

Если насосы первого подъема подают воду на очистные сооружения, а насосы второго подъема из резервуаров чистой воды в сеть, то при небольших колебаниях горизонтов воды в реке можно разместить насосы первого и второго подъемов в общем здании, причем насосы первого подъема устанавливаются в заглубленном помещении, а второго подъема — в незаглубленной части здания.

Напор насосов первого подъема, подающих воду на очистные сооружения, обычно составляет 15—20 *м*, но при больших расстояниях до очистных сооружений и при большой высоте подъема может быть и выше.

Насосы второго подъема, подающие воду от очистных сооружений в сеть, должны создавать в последней давление, достаточное для подачи воды в верхние этажи обслуживаемых зданий. Поэтому напор насосов второго подъема составляет обычно 40—65 *м*. Однако, если насосная станция второго подъема расположена далеко от сети и на более низких отметках, то напор насосов может быть значительно более высоким. На станциях второго подъема обычно устанавливаются также пожарные насосы.

Если вода забирается из скважин, оборудованных эрлифтами, которые в этом случае являются устройствами первого подъема, то компрессоры, подающие сжатый воздух в сква-



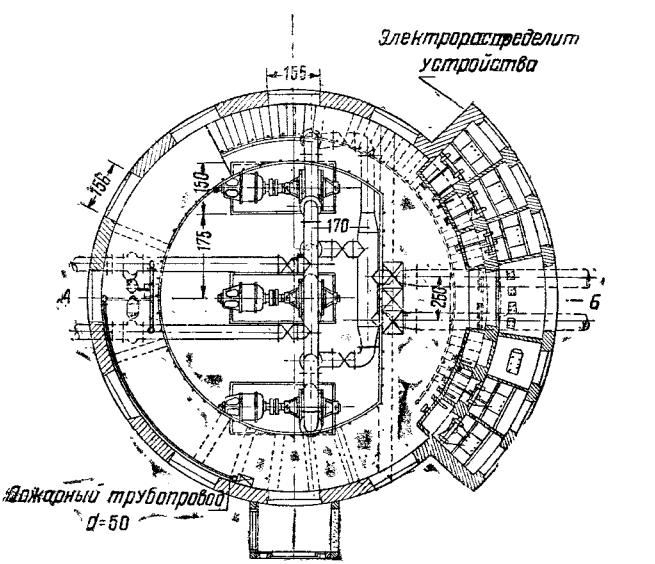


Рис. 43. Насосная станция первого подъема

жины, устанавливаются в насосной станции, являющейся в этом случае станцией второго подъема.

Здания насосных станций должны иметь стены и перегородки из несгораемых материалов. Перекрытия могут быть

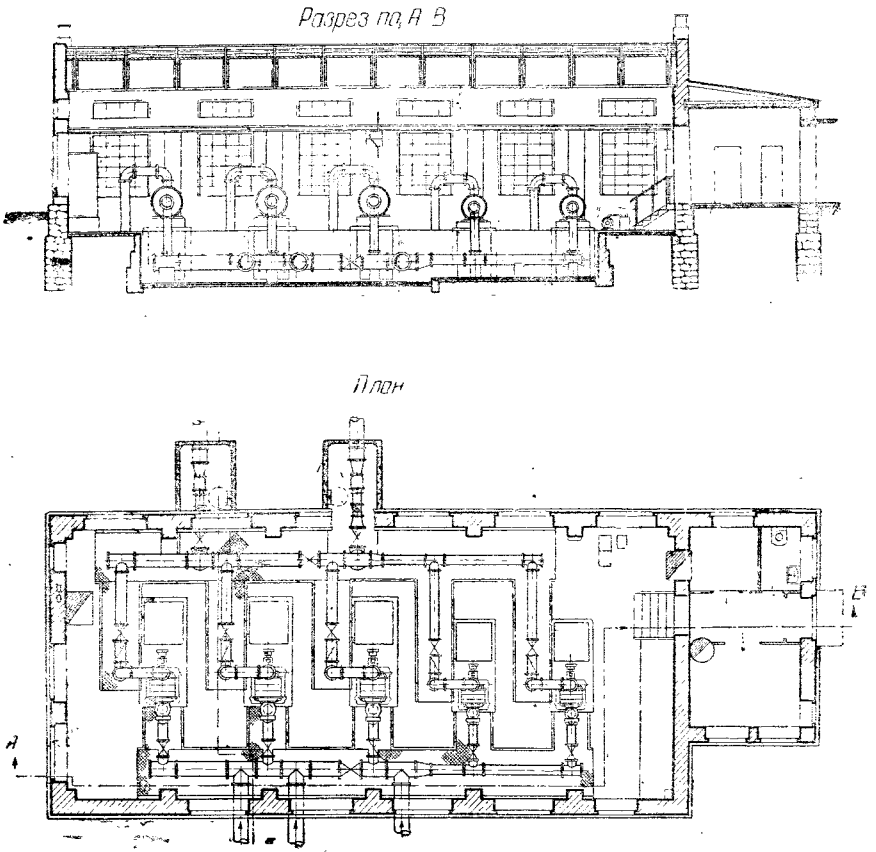


Рис. 44. Насосная станция второго подъема

устроены из дерева, но должны быть оштукатурены или обиты железом,

Высота машинного зала насосных станций, не имеющих кранового оборудования, принимается не менее 3,5 *м*, а подсобных помещений — не менее 3 *м*. При наличии кранового оборудования расстояние от верхней выступающей части крана до нижнего пояса фермы (или потолка) должно быть не менее 0,80 *м*.

Для установки оборудования станции должны быть предусмотрены монтажные проемы, которыми могут служить окна или двери, если они имеют достаточные размеры.

В насосных станциях производительностью более 200 *м* ^{3}/*час*

должно быть помещение для мастерской площадью 10—15 $м^2$ и для кладовой площадью 5 $м^2$. Фундаменты насосов и двигателей не должны быть связаны с фундаментами здания. Расстояние между рядом стоящими агрегатами должно быть такое, чтобы можно было разместить между ними при ремонте снятый мотор или насос и чтобы при этом оставался небольшой проход. Расстояние между агрегатами должно быть не менее ширины агрегата плюс 0,60 *м*. Проход между агрегатом и стеной принимается не менее 1,25 *м*. Расстояние от торца насоса до стены или соседнего агрегата должно быть на 0,50 *м* больше длины вала насоса, чтобы можно было вынуть вал рабочего колеса или ротора мотора при ремонте. Ширина прохода между агрегатом и щитом управления принимается не менее 1,5 *м*.

Для работ по монтажу, ремонту и демонтажу агрегатов в насосной станции применяются следующие подъемные приспособления: 1) при наличии агрегатов весом до 0,3 *т* — переносные треноги с талями, 2) при агрегатах весом до 0,5 *т* — неподвижные металлические балки с талями или с блоками Людерса, 3) при агрегатах весом до 5 *т* и при пролетах от 5 до 10 *м* — мостовой кран однобалочный с блоком Людерса с ручным управлением и 4) при числе агрегатов более 5 весом более 5 *т* каждый и пролетах от 6 до 16 *м* — мостовой кран с тележкой.

Все задвижки оперативного назначения, т. е. находящиеся в частом употреблении, диаметром 350 *мм* и более, должны быть с гидравлическим или электрическим приводом.

Трубы в насосных станциях укладываются в каналах, размеры которых указан в табл. 15.

Таблица 15

Диаметр труб в *мм*	100	125	150	200	250	300	350
Высота канала в *мм*	400	500	550	600	650	750	800
Ширина канала в *мм*	400	450	500	550	600	650	700

Каналы должны быть перекрыты рифленой сталью или съемными железобетонными плитами.

В станции с числом агрегатов не более трех допускается укладка труб по полу с устройством через них переходных мостиков (при диаметре труб 200 *мм* и более).

Трубы, проходящие через фундаменты стен, укладываются в футлярах, а в затопляемых местах или при наличии грунтовых вод — в сальниках.

§ 28. Водомеры

Для измерения расхода воды в трубопроводах применяются водомеры. Водомеры бывают двух основных типов, отличаю-

щихся самим принципом измерения. При водомерах первого типа расход воды определяется путем измерения разности давлений перед сужением в трубе (насадкой, диафрагмой) и в самом сужении; к этому типу относятся водомеры и шайбы Вентури. При водомерах второго типа расход воды определяется путем измерения скорости движения воды по числу оборотов крыльчатого колеса, помещенного в корпусе водомера и связанного системой зубчатых колес с циферблатом; к этому типу относятся водомеры Вольтмана, Мейнеке и др.

Водомеры системы Вентури устанавливаются для учета количества поданной воды в насосных станциях. В условиях работы насосной станции у них имеется ряд преимуществ по сравнению с другими системами водомеров, а именно:

1) большая пропускная способность;

2) прямой поток воды и, следовательно, незначительная потеря напора;

3) отсутствие легко изнашивающихся частей.

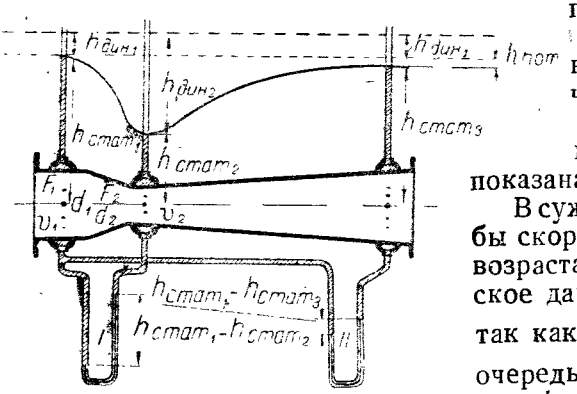


Рис. 45. Схема работы водомера Вентури

Схема действия водомера Вентури показана на рис. 45.

В суженном сечении трубы скорость движения воды возрастает, и ее динамическое давление повышается, так как $h_{дин} = \frac{v^2}{2g}$; в свою очередь статическое давление $h_{стат}$ понижается.

Для замера величины понижения статического давления в узком сечении водомера можно применять диференциальный ртутный манометр. Когда вода неподвижна, ртуть в обоих коленах манометра находится на одинаковом уровне. При движении же воды получается разность давлений, причем чем больше расход, тем больше и разность давлений.

Величина расхода определяется косвенным путем по разности давлений из формулы:

$$Q = \mu \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{F_2}{F_1}\right)^2}} F_2 \sqrt{2gH}. \qquad (17)$$

Здесь H — разность давлений в расширенном входном сечении и в узкой горловине в *м* вод. ст.;

F_1 и F_2 — площади этих сечений;

μ — коэфициент, зависящий от размеров конической части трубы, диаметра трубы и вязкости жидкости.

При проходе воды через водомер Вентури на преодоление сопротивлений теряется часть напора, составляющая для труб диаметром от 100 до 400 *мм* от 14 до 12% разности давления H, а для труб диаметром более 400 *мм* — от 12 до 10% разности давлений H.

Недостатками водомеров Вентури являются: 1) небольшая область учета — от 1:5 до 1:12, т. е. они пригодны для сравнительно постоянного расхода воды и 2) значительная длина, в 5—10 раз превышающая диаметр трубы.

Применяются укороченные водомеры в 2,5—3 раза меньшей длины и вставки Вентури еще более короткие; они имеют меньшую область учета 1:3 до 1:4 и вызывают большую потерю напора — 30—50% от разности давлений H.

На современных насосных станциях отсчеты водомера Вентури гидравлическим или электрическим путем передаются регистрирующему прибору, монтируемому на щите управления и автоматически записывающему количество поданной воды.

Водомеры Вентури могут устанавливаться только на горизонтальных участках трубопровода.

Водомер Вольтмана измеряет расход воды по скорости ее протекания через водомер. В корпусе водомера находится вертушка с лопастями из пластмассы или из легкого металла. Вращение вертушки передается при помощи червячной передачи счетному механизму.

Отношение между расходом воды и числом оборотов вертушки является постоянным, причем

$$\frac{Q}{n} = \frac{Fl}{k}, \qquad (18)$$

где Q — расход воды в $м^3/сек$;
n — число оборотов вертушки;
F — площадь проходного сечения водомера в $м^2$;
l — шаг лопастей вертушки в $м$;
k — коэфициент.

Для замера расходов воды от 15 до 600 $м^3/час$ водомеры Вольтмана изготовляются диаметром от 50 до 300 *мм* и длиной от 155 до 800 *мм*. При бо́льших расходах применяются водомеры Вольтмана диаметром до 1000 *мм*. Принято ставить водомеры несколько меньшего диаметра, чем диаметр водовода, в целях повышения скорости движения воды в них. В зависимости от конструкции водомеры Вольтмана могут измерять расходы, меняющиеся от 1 до 20 раз и даже от 1 до 30 раз. Установка их возможна как на горизонтальном, так и на вертикальном трубопроводах. Необходимо только, чтобы до водомера был прямой участок трубопровода длиной в 5—10 диаметров водомера.

§ 29. Автоматизация управления насосными станциями

По степени автоматизации все электрифицированные насосные станции могут быть подразделены на четыре категории:

1) станции с центральным управлением агрегатами и задвижками (полуавтоматические станции);

2) станции автоматические, работающие под постоянным или периодическим наблюдением специального персонала;

3) станции автоматические с дистанционным (диспетчерским) управлением от главной станции;

4) станции автоматические с дистанционным телефонным контролем.

В современных условиях наиболее распространены полуавтоматические насосные станции, оборудованные центробежными насосами с синхронными электромоторами. Применение последних дает экономию в расходовании электроэнергии. Управление агрегатами осуществляется либо от распределительного щита, либо посредством нажима пусковых кнопок у насосов (при малом числе агрегатов).

На пульте управления задвижками монтируются миниатюрные макеты коммуникаций трубопроводов, так называемые мнемонические схемы, и устанавливаются цветные сигнальные лампы.

В оборудование станции входят предохранительные устройства против перегрузки моторов и падения напряжения, а также комплект измерительных и самозаписывающих приборов дистанционного действия.

Хотя управление подобными станциями автоматизировано не полностью, но все же потребность в персонале на них значительно меньше.

Полностью автоматизированные станции представляют обычно небольшие насосные установки для местного повышения напора. Они забирают воду из магистралей нижней зоны. Работа насосов поставлена в зависимость от уровня воды в резервуаре или от давления в сети или же от времени (по контрольному часовому механизму). Насосы начинают работать при определенном падении давления в сети, например, ниже 3 *ат*, или при определенном понижении уровня воды в баке башни, например, более чем на 3 *м*, или же в определенные часы суток.

Для обслуживания больших автоматических станций достаточно одного дежурного, который выполняет только наблюдательные функции. Небольшие автоматические станции вовсе не имеют постоянного штата; они должны лишь посещаться раз в сутки уборщиком и 1—2 раза в неделю специалистом по автоматическому оборудованию. Каждую неделю производится также смена диаграмм самозаписывающих приборов.

На станциях с дистанционным (диспетчерским) управлением последнее осуществляется из какого-

либо центрального пункта (например со станции второго подъема) и состоит в постоянном контроле за работой отдаленных насосных установок. Таким образом здесь отпадает необходимость в частных инспекционных посещениях станций.

В диспетчерском пункте на распределительном щите смонтировано все пусковое и сигнальное оборудование, позволяющее включать или выключать на расстоянии любой агрегат и получать информацию о его работе. На специальном поле щита сосредоточена телеметрическая аппаратура, т. е. измерительные и регистрирующие приборы дистанционного действия. Они показывают и записывают расход воды, давление в трубах, уровень воды в резервуарах и т. д.

Применение дистанционного управления особенно целесообразно при наличии группы артезианских скважин, оборудованных самостоятельными насосными агрегатами.

Насосные станции с телефонным контролем работают совершенно автоматически, причем исключена даже необходимость периодических посещений или постоянного контроля из центрального диспетчерского пункта.

Контроль осуществляется по телефонным проводам. Если с диспетчерского пункта или по любому телефону вызвать такую насосную станцию, тотчас же от нее начинают передаваться звуковые сигналы (по типу азбуки Морзе) о состоянии установки (какой агрегат в работе, какое давление в напорной линии и т. д.). Ключ для расшифровки сигналов помещается на одной странице записной книжки.

Основными деталями системы являются главный контрольный элемент, состоящий из двух искателей, и реле, установленные на панели управления и соединенные проводами с теми элементами станции, о работе которых передаются сообщения.

ГЛАВА V

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

§ 30. Водоводы

Для транспортирования воды от узла головных сооружений к разводящей сети города или промышленного предприятия служат водоводы. Протяжение водоводов может быть от нескольких десятков метров до нескольких сот километров. Длинные водоводы приходится устраивать при отсутствии или недостаточности местных водных ресурсов. Так, например, Шолларский водовод, подающий воду в г. Баку, имеет 180-*км* длину, Эмбинский водовод по трассе Гурьев-Макат-Доссор-Косчагыл в Казахстане устроен протяжением 183 *км*, длина водовода от водохранилища Гет-Гетчи к г. Сан-Франциско

(Калифорния) составляет 273 *км*. Централизованное водоснабжение Донбасса располагает также значительным числом водоводов большого протяжения: Алмазно-Марьевский — 72 *км*, Сталинский — 52 *км* и др.

По способу подачи воды различаются: 1) напорные (нагнетательные) водоводы, 2) самотечные водоводы.

Напорные водоводы устраиваются для подачи воды к объектам, расположенным выше уровня воды в источнике. Этот случай наиболее часто встречается в условиях средней равнинной полосы СССР (например, напорные водоводы из Рублева в Москву, из Щитникова в Москву и др.).

Самотечные водоводы удается устраивать при благоприятном рельефе местности, когда город или промпредприятие снабжается водой из вышерасположенных источников, например из горной реки или водохранилища, или же из горных родников. Следует различать самотечные водоводы: 1) с естественным напором при работе их полным сечением и 2) безнапорные — при работе их неполным сечением. В первом случае разность отметок источника и снабжаемого объекта может обеспечить требуемый свободный напор; во втором случае вода только подводится к объекту, а напор должен создаваться насосами на месте потребления воды. Самотечный водовод с естественным напором устроен в г. Алма-Ата. Примером безнапорного самотечного водовода может служить Баку-Шолларский водовод и ряд других в городах Грузии и Азербайджана.

В конструктивном отношении водоводы могут устраиваться: 1) из труб, 2) в виде туннелей, 3) в виде открытых каналов. Иногда возможно применение всех этих конструктивных типов на различных участках одного и того же водовода.

Водоводы напорные устраиваются только из труб: стальных, чугунных, асбестоцементных, железобетонных или деревянных. Самотечные водоводы, имеющие естественный напор, могут быть выполнены из труб всех типов или в виде туннелей. Безнапорные самотечные водоводы выполняются из бетонных, асбестоцементных и керамических труб, либо в виде туннелей, либо, наконец, в виде открытых каналов и лотков.

При устройстве напорных водоводов из чугунных, асбестоцементных или деревянных труб необходимо укладывать две параллельные трубы или, как принято говорить, нужна укладка их в две нитки. Расстояние между двумя нитками, по соображениям ПВО, должно быть не менее 50 *м*.

При этом обязательно предусматриваются соединительные линии не реже чем через каждые 3—4 *км*, для выключения отдельных участков в случае повреждения труб. Число переключений между двумя параллельными нитками водовода определяют расчетом, исходя из требования, чтобы при аварии на одной нитке подача воды была не менее 75% от нормальной.

Места переключений оборудуются задвижками, как показано на рис. 46. Для размещения задвижек устраиваются колодцы. Водоводы большого диаметра требуют значительного времени на опорожнение их при ремонте. Поэтому, если расстояние между переключениями, получившееся по расчету, слишком велико, то следует устанавливать промежуточные задвижки через 1,5—2 *км* и рядом с ними выпуски, через

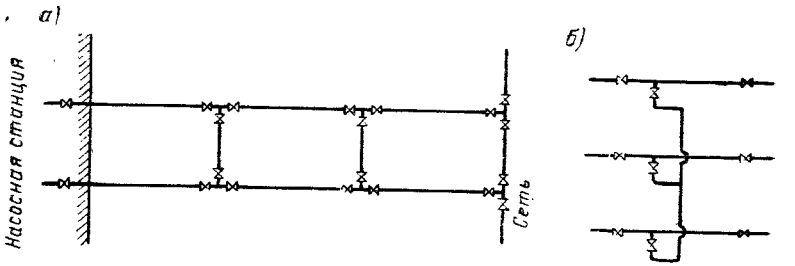


Рис. 46. Схема размещения задвижек на переключениях водоводов: *а* — при двух нитках; *б* — при трех нитках

которые можно освободить от воды перекрытые задвижками участки.

В возвышенных точках водовода, являющихся точками перегиба профиля (рис. 47), может скапливаться воздух. Для удаления этого воздуха на переломных точках устанавливаются воздушные вантузы диаметром 50 *мм*, располагаемые в колодцах. Для трубопроводов диаметром более 500 *мм* диаметр вантуза определяется расчетом. В возвышенных точках стальных и деревянных водоводов диаметром более 400 *мм* в местах переломов или у задвижек, где при опорожнении водовода возможно образование вакуума более 5 *м* вод. ст., надо устанавливать автоматические клапаны для выпуска воздуха. В пониженных точках трассы водовода устраиваются выпуски для опорожнения и промывки труб, позволяющие отводить воду и грязевые отложения в ближайший водосток, канаву, ручей, пруд и т. д. Диаметр выпускного отростка и задвижки на нем принимается равным примерно $^1/_3$ от основного диаметра водовода. Например, на водоводе диаметром 900 *мм* выпуск должен быть диаметром 300 *мм*. При давлении в водоводах более 5 *ат*

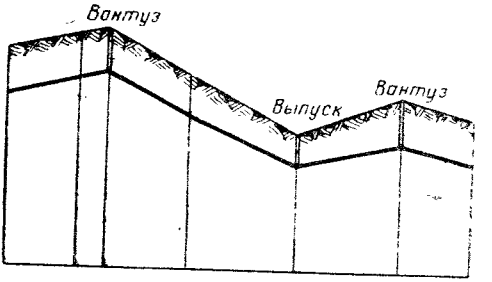


Рис. 47. Размещение вантузов и выпусков на водоводе

для предупреждения гидравлических ударов ставятся в наиболее пониженных точках возле задвижек предохранительные клапаны.

Глубина заложения водовода, считая от поверхности земли до верха трубы, в северной и средней климатических полосах СССР при диаметрах не более 300 *мм* при-

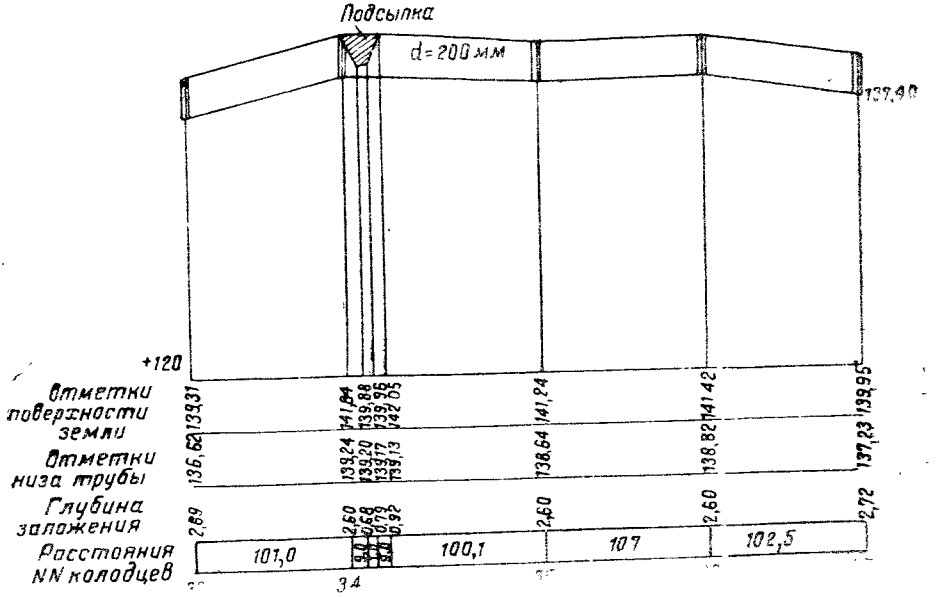


Рис. 48. Профиль водовода при нормальной глубине заложения

нимается равной глубине промерзания. При диаметрах 350 *мм* и более глубина заложения до верха должна быть меньше глубины промерзания на диаметр трубы. Если в водоводе движение воды происходит с перебоями, трубы укладываются всегда ниже глубины промерзания, считая до верха трубы.

Для южных районов глубина заложения труб назначается 1,25—1,50 *м* во избежание сильного прогрева воды в летнее время.

В тех случаях, когда на трассе водовода имеются отдельные неровности рельефа, можно производить в отдельных местах подсыпку для обеспечения нужной глубины заложения труб (рис. 48), если такая подсыпка не мешает движению и стоку воды с поверхности.

§ 31. Трассировка и устройство водопроводной сети

При нанесении разводящей сети труб на план одновременно выбирается местоположение водонапорной башни (или резервуара). Башня должна быть построена в таком месте,

чтобы путь движения воды от насосной станции к ней и от нее к наиболее возвышенным точкам был по возможности короток. Такие точки выбираются в районах с высокими нивелирными отметками и с многоэтажной застройкой.

В разводящей сети различают: магистральные (главные) трубопроводы и трубопроводы второго порядка. Магистрали служат не только для подачи воды в непосредственно примыкающие к ним районы, но и для транзита ее в остальные части города или заводской площадки. Рассчитывается только магистральная сеть, трубопроводы же второго порядка проверяются лишь на пропуск получаемой из магистралей воды до обслуживаемых ими кварталов.

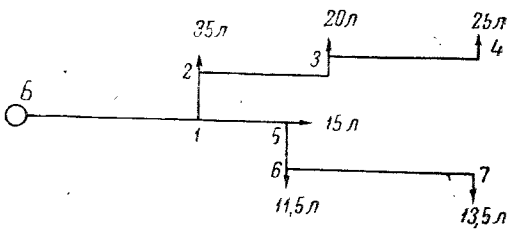


Рис. 49. Разветвленная водопроводная сеть

Сеть может быть либо разветвленной, либо кольцевой. Разветвленная сеть состоит из магистральных трубопроводов, имеющих попутные ответвления, которые все являются тупиковыми (рис. 49). Кольцевая сеть состоит из нескольких магистралей, образующих одно или несколько колец (рис. 50).

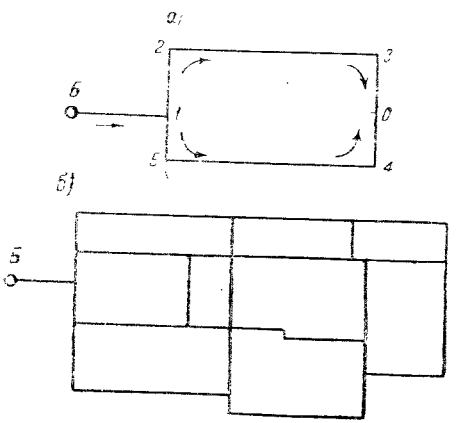


Рис. 50. Кольцевая водопроводная сеть: *а* — одно-, *б* — многокольцевая

В городских водопроводах в настоящее время применяются кольцевые сети для обеспечения бесперебойности водоснабжения в случае аварии на каком-либо трубопроводе, а также в целях уменьшения возможности возникновения гидравлических ударов.

Кольцевые сети применяются, как правило, и в водопроводах промышленных предприятий, однако в некоторых случаях здесь допускается устройство и тупиковой сети. Тупиковые магистрали целесообразно устраивать, когда нужно подвести воду к небольшому числу потребителей, например к отдельно стоящим корпусам и цехам. Тупиковые линии применяются также для подвода свежей воды в оборотные системы водоснабжения.

В тех случаях, когда временное прекращение подачи воды из-за аварии на магистрали может принести существенный вред производству, тупиковые линии устраиваются из двух или более трубопроводов.

Наиболее часто встречается, особенно на промышленных предприятиях, сеть одновременно и кольцевая и разветвленная (тупиковая). При этом основное распределение воды производится по кольцевым магистралям, а к таким цехам, где временный перерыв подачи воды не приносит ущерба производству, вода подается по тупиковым ответвлениям.

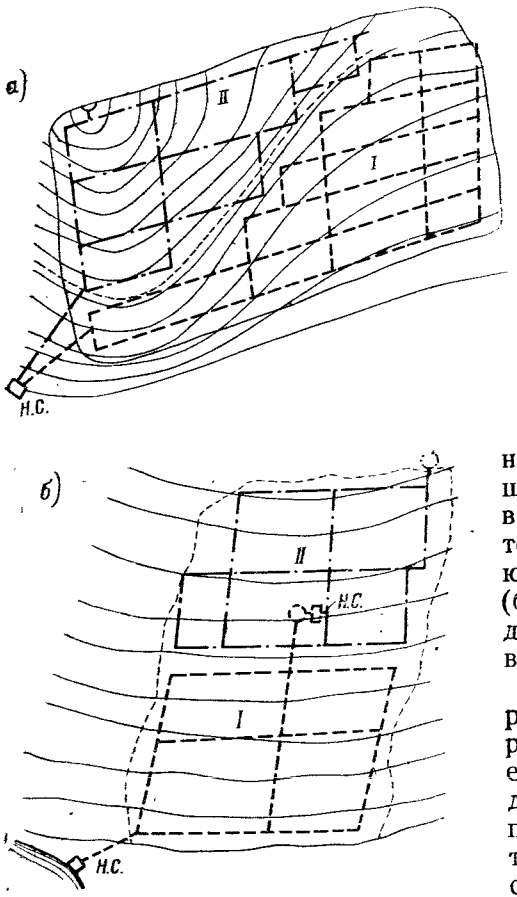


Рис. 51. Схема двухзонного водопровода: *а* — с подачей воды в обе зоны одной насосной станцией; *б* — с подачей воды в верхнюю зону из нижней зоны: *I* — нижняя зона; *II* — верхняя зона

В зависимости от топографии территории снабжаемого водой объекта устраиваются: однозонные, двухзонные или многозонные водопроводы.

Однозонные водопроводы допустимы в тех случаях, когда при наличии общей разводящей сети статические давления в трубах в низких точках города получаются не выше 8—9 *ат* (большой напор опасен для прочности трубопроводов).

Если территория города или завода имеет резко выраженный рельеф, то нерационально подавать всю воду под напором, который нужен только для районов с высокими отметками. В таких случаях устраиваются двухзонные водопроводы, представляющие собой систему из двух отдельных сетей: нижней зоны и верхней зоны (рис. 51). Каждая из них охватывает части городской территории с относительно небольшой (40—50 *м*) разностью топографических отметок. В каждую зону вода подается отдельными насосами

с разными напорами (рис. 51, *а*), но установленными на одной насосной станции. Это уменьшает мощность насосной станции и устраняет чрезмерный напор в трубах нижней зоны. Иногда вся вода подается в нижнюю зону с напором, необходимым для этой зоны, а в верхнюю зону подается вода из нижней зоны при помощи насосной станции второго подъема под напором, требующимся для верхней зоны (рис. 51, *б*). При большой разнице в отметках может потребоваться устройство трех зон и более.

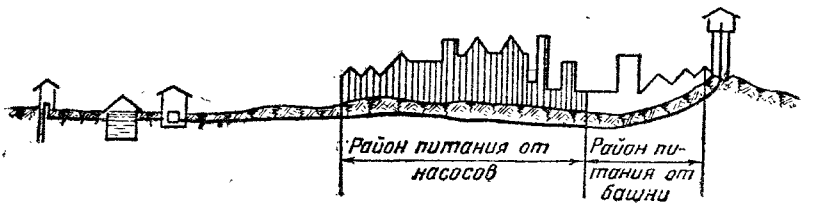


Рис. 52. Схема водопроводной сети с контррезервуаром

Многозонное водоснабжение иногда может оказаться необходимым на промышленных предприятиях, где оно может быть вызвано не только топографическими условиями, но и потребностью в разных напорах для разных цехов.

Водопроводы могут быть: с односторонним питанием и с многосторонним питанием, т. е. с подачей воды из одного источника и из двух или более источников, расположенных с разных сторон.

При одностороннем питании необходима укладка нескольких (не менее двух) ниток водоводов от источника водоснабжения до сети.

Многостороннее питание бывает обычно в крупных городах (Москва, Ленинград). Двухстороннее (и более) питание является одним из необходимых мероприятий ПВО, вследствие чего оно должно устраиваться на важных промышленных предприятиях.

По расположению водонапорного резервуара или водонапорной башни могут различаться: 1) водопроводы с башней (или резервуаром) в начале сети, 2) водопроводы с башней (или резервуаром) в конце сети (водопроводы с контррезервуаром) и 3) водопроводы с башней (или резервуаром) внутри сети. Расположение башни определяется рельефом местности, требуемой высотой напора и рядом других условий.

На рис. 1 была представлена схема водопровода с расположением башни в начале сети, поскольку в этом месте оказались наиболее высокие отметки местности. Схема на рис. 52 дает представление о водопроводе с контррезервуаром, т. е. с башней, расположенной в конце разводящей сети. В период усиленного водоразбора такая башня обслуживает

прилегающие к ней участки сети, тогда как остальная сеть обслуживается насосной станцией. Такое размещение башни способствует выравниванию давлений в сети и разгружает ее в часы максимального водоразбора, позволяя уменьшить диаметры труб.

Наконец, возможны случаи, когда из-за отсутствия подходящих возвышенных точек в концах разводящей сети приходится помещать башню в центральной части сети.

§ 32. Расчет водопроводной сети

А. Расчетные расходы

Нормальный режим работы сети должен обеспечивать подачу воды не ниже максимальной потребности. Максимальный секундный расход на хозяйственно-питьевые нужды в городах и поселках определяется по формуле:

$$q_{\max} = \frac{N_p \cdot q_н}{24 \cdot 60 \cdot 60} k_{час} \cdot k_{сут}, \qquad (19)$$

где $q_{\max}$ — расход воды в *л/сек*;

N_p — расчетное число жителей;

$q_н$ — норма расхода воды в *л* на одного человека в сутки (см. стр. 17);

$k_{час}$ — коэфициент часовой неравномерности;

$k_{сут}$ — коэфициент суточной неравномерности[1].

При распределении хозяйственно-питьевого расхода воды по городским кварталам условно принимается, что в районах с одинаковой плотностью населения и одинаковой нормой потребления из 1 *пог. м* уличной магистрали разбирается в течение 1 сек. одинаковое количество воды, которое называется удельным расходом.

Таким образом величина удельного расхода q_0 составля

$$q_0 = \frac{q_{\max}}{\Sigma l}, \qquad (20)$$

где $q_{\max}$ — максимальный расчетный расход в *л/сек*;

Σl — общее протяжение магистралей в *м*.

Произведение удельного расхода на длину l_x какого-либо участка сети между двумя узловыми точками представляет собой путевой или попутный расход $Q_п$ для рассматриваемого участка, равный:

$$Q_п = q_0 \cdot l_x,$$

где l_x — длина данного участка.

[1] Если дается максимальная суточная норма расхода воды, то коэфициент $k_{сут}$ в формулу не вводится.

Кроме того, по каждому участку проходит транзитный расход — Q_m. Следовательно, расход воды в начале любого участка сети будет $Q_m + Q_n$, а в конце участка — Q_m. На самом же участке расход будет переменный. В целях упрощения расчетов этот переменный расход принимают равным условному постоянному расчетному расходу воды, эквивалентному ему по потере напора (т. е. потеря напора при условном постоянном расходе такая же, как и при переменном).

Величина этого расчетного расхода по формуле Дюпюи:

$$Q_p = Q_m + 0{,}55\, Q_n. \tag{21}$$

С достаточной для практических целей точностью можно пользоваться формулой:

$$Q_p = Q_m + 0{,}5\, Q_n. \tag{21'}$$

Определение максимального секундного расхода воды на хозяйственно-питьевые нужды промышленных предприятий производится по формуле:

$$q_{a\,\max} = \frac{q_a \cdot N_a \cdot k_a}{n_a \cdot 60 \cdot 60}, \tag{22}$$

где q_a — расход на одного человека в смену (см. стр. 17);

N_a — число рабочих в смену;

k_a — коэфициент часовой неравномерности;

n_a — число часов работы в смену.

Для душевых устройств:

$$q_{b\,\max} = \frac{q_b \cdot N_b}{45 \cdot 60}, \tag{23}$$

где q_b — расход на одного человека, принимающего душ (см. стр. 17);

N_b — число принимающих душ в конце смены за время в 45 мин.

При расчете сети на тушение пожара расход для душей учитывается только в размере 15% от расчетного расхода.

Расчет водопроводной сети заключается в определении диаметров ее и в определении потерь напора при движении воды по сети.

Б. Определение диаметров трубопроводов

Диаметр трубопровода определяется по формуле:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v;$$

$$d = 2\sqrt{\frac{Q}{\pi v}}, \tag{24}$$

где d — диаметр в $м$;

Q — расход в $м^3$,

v — скорость в $м/сек$.

В этой формуле два неизвестных d и v. Поэтому для определения d задаются величиной v, намечая ее в пределах 0,75—1,25 *м/сек* для труб небольших диаметров (до 350 *мм*) и 1,0—1,4 *м/сек* для труб больших диаметров. Эти скорости являются так называемыми „экономическими", т. е. такими, при которых получается наиболее экономичный режим работы трубопроводов.

Разводящая сеть хозяйственно-противопожарного водопровода рассчитывается на подачу максимального хозяйственно-питьевого расхода и проверяется затем на пропуск пожарного расхода, причем в последнем случае допускаются повышенные скорости движения воды в трубах (до 2,0—2,5 *м/сек*).

В. Определение потерь напора

Для определения потерь напора используются основные формулы гидравлики.

Потери напора на трение:

$$h = \lambda \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{l}{d} = \frac{16\lambda}{2g\pi^2} \cdot \frac{Q^2 l}{d^5} = k\frac{Q^2 l}{d^5}; \qquad (25)$$

гидравлический уклон:

$$i = \frac{h}{l} = k\frac{Q^2}{d^5}, \qquad (26)$$

где Q — расход воды в *м³/сек*;

d — внутренний диаметр труб в *м*;

l — длина трубопровода в *м*;

k — коэфициент трения.

Эта формула может быть также получена из формулы Шези:

$$v = c\sqrt{Ri}, \qquad (27)$$

если выразить в ней v через Q и подставить значение гидравлического радиуса $R = 0{,}25\,d$ (для круглых труб, заполненных водой).

Значение коэфициента c в формуле Шези принимается по формуле Маннинга:

$$c = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n},$$

где n — коэфициент шероховатости стенок труб.

В этой формуле для чугунных и стальных труб, находившихся уже в работе и утративших гладкость поверхности стенок изнутри, можно полагать $n = 0{,}012$. Приняв такое значение коэфициента шероховатости, формулу для определения i после преобразований можно представить в следующем виде[1]:

$$i = 0{,}0014825\,\frac{Q^2}{d^{5{,}33}}. \qquad (28)$$

[1] На практике пользуются для расчета сети таблицами проф. Н. Н. Гениева, где для любых расходов и диаметров легко находятся значения v, i и, следовательно, h.

Г. Напор в сети и пьезометрические линии

Напор в сети хозяйственно-питьевого водопровода должен быть достаточным для подачи воды насосами до верхнего этажа наиболее высокого или наиболее удаленного здания, обслуживаемого сетью. Как было указано, этот напор, создаваемый насосами (рис. 3), равен сумме величин геометрического подъема, потерь напора и свободного напора (см. стр. 19).

Свободный напор, как указано выше, в свою очередь складывается из напора, необходимого для подъема воды от уровня земли до уровня наиболее высоко расположенного санитарного прибора в здании, напора у санитарного прибора (1—2 *м*) и напора, теряемого в трубах водопровода внутри здания.

Напор для пожаротушения из наружных гидрантов определяется в зависимости от того, производится ли тушение пожара передвижными пожарными автонасосами или непосредственно из гидрантов.

В первом случае, т. е. при так называемой системе противопожарного водопровода низкого давления, напор у гидранта должен быть не менее 10 *м*. Дополнительный напор, необходимый для получения пожарных струй, создается передвижными автонасосами.

Во втором случае, т. е. при системе противопожарного водопровода высокого давления, напор у гидранта должен быть:

$$H_г = (Z_к - Z_г) + H_р + H_{сп}, \qquad (29)$$

где $Z_к - Z_г$ — разность отметок конька крыши и поверхности земли у пожарного гидранта;

$H_р$ — потеря напора в рукаве;

$H_{сп}$ — напор у спрыска, требующийся для создания струи.

Величины $H_р$ и $H_{сп}$ находят по таблицам проф. В. Г. Лобачева [1].

Напор (на уровне земли), необходимый для внутреннего пожаротушения, зачастую получается более высокий, чем для наружного пожаротушения, особенно при наличии многоэтажных зданий; он составляет:

$$H_з = (Z_{кр} - Z_2) + H_{тр} + H_р + H_{сп}, \qquad (30)$$

где $Z_{кр} - Z_2$ — разность отметок пожарного крана и земли;

$H_{тр}$ — сумма потерь напора в трубопроводах внутренней сети;

$H_р$ — сумма потерь напора в рукавах внутренних пожарных кранов;

$H_{сп}$ — напор у спрыска, необходимый для создания струи.

---

[1] Лобачев В. Г., проф., Расчет противопожарных водопроводов и подача воды к месту пожара, Госстройиздат, 1939.

Д. Расчет разветвленной сети

Метод расчета разветвленной сети легко понять из следующего примера (рис. 49).

Заводская сеть снабжается водой из башни *Б* по магистрали *Б*—1. Нужно определить диаметры всех трубопроводов с таким расчетом, чтобы обеспечить во всех точках сети минимальные заданные напоры при заданных расходах, величины которых указаны на рис. 49.

Для удобства расчета все исходные и определяемые данные располагаем в таблице (табл. 16).

Таблица 16

Участок сети	Длина участка сети в *м*	Расход, протекающий по участку *q* в *л/сек*	Диаметр труб *d* в *мм*	Скорость *v* в *м/сек*	Гидравлический уклон 100 *i* (потеря напора на 100 *м*)	Потеря напора на участке *h* в *м*
		Левая ветвь				
3—4	350	25	200	0,79	0,494	1,73
2—3	350	45	250	0,92	0,487	1,70
1—2	200	80	300	1,13	0,574	1,15
		Правая ветвь				
6—7	500	13,5	150	0,76	0,670	3,35
5—6	200	25	200	0,79	0,494	0,99
1—5	300	40	250	0,81	0,385	1,16
		Водовод от башни до разветвления сети				
Б—1	400	120	350	1,25	0,582	2,33

Диаметры определяем, принимая скорости в трубах порядка 0,75—1,25 *м/сек*, которые являются, как указано выше, наиболее экономичными при диаметрах 100—350 *мм*; при диаметрах 400—900 *мм* скорость можно было бы принимать от 1 до 1,4 *м/сек*.

Потери напора на пути от наиболее удаленных точек *4* и *7* до башни составляют:

по линии *4—3—2—1—Б*:

$h_1 = 1{,}73 + 1{,}70 + 1{,}15 + 2{,}33 = 6{,}91$ *м*;

по линии *7—6—5—1—Б*:

$h_2 = 3{,}35 + 0{,}99 + 1{,}16 + 2{,}33 = 7{,}83$ *м*.

Зная потери напора в сети, можно определить высоту водонапорной башни (см. стр. 96).

Е. Расчет кольцевой сети

Рассмотрим сначала случай, когда имеется всего только одно кольцо (рис. 50, *а*). Прежде всего задаемся направлением движения воды по кольцу и намечаем так называемую „точку встре-

чи" потоков, или нулевую точку — точку 0; назначаем диаметры согласно предыдущему и подсчитываем потери напора по левой и правой стороне кольца. Если точка встречи намечена правильно, то сумма потерь напора по одной стороне кольца должна равняться сумме потерь напора по другой стороне, т. е

$$h_{0-3}+h_{2-3}+h_{2-1}=h_{0-4}+h_{4-5}+h_{1-5},$$

где h — потеря напора на соответствующем участке. Невязка допускается не более 5% от суммы потерь напора по длине полукольца и не более 0,5—1,5 *м* [1].

Если указанное равенство не получается, то это значит, что точка встречи была намечена неправильно и ее нужно

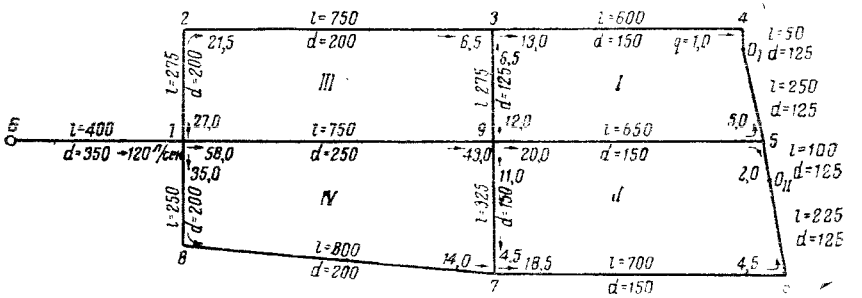


Рис. 53. Схема расчета сети из четырех колец

перенести в ту или другую сторону в зависимости от того, на какой стороне кольца получились большие потери напора, и так продолжать до тех пор, пока не будет получено упомянутое равенство с допустимой невязкой.

Таким образом расчет кольцевой сети производится путем приближения, путем повторных попыток.

При наличии нескольких колец решение усложняется и тем более, чем больше число колец.

Рассмотрим для примера расчет сети из четырех колец (рис. 53).

Вода поступает в городскую сеть из водонапорной башни *Б* по магистрали *Б—1*. От точки *1* вода разделяется на три потока — по линиям *1—2*; *1—8* и *1—9*, на линиях *4—5* и *5—6*, замыкающих систему колец, потоки должны встретиться в нулевых точках (точках встречи 0_{I} и 0_{II}).

Сумма потерь напора по линии 0_{I} — *4—3—2—1* должна быть равна сумме потерь напора по линии 0_{I} — *5—9—1* (с указанной выше допустимой невязкой). Одновременно сумма потерь напора по пути 0_{II} — *5—9—1* должна равняться сумме потерь напора по пути 0_{II} — *6—7—8—1*. Это

[1] Если потери напора подсчитываются для определения высоты водонапорной башни, то допустима невязка не более 0,5 *м*; если потери напора подсчитываются для определения напора насосов, то допустима невязка не более 1,0—1,5 *м*.

Таблица 17

Номера		Длина участка l в *м*	Расходы в *л/сек*			Диаметр труб в *мм*	Предварительное распределение расходов			Окончательное распределение расходов				
							потери напора в *м*		скорость v в *м/сек*					
колец	участков		Q_n	Q_m	Q_p		100_i	$h = il$		Q_m	Q_p	100_i	$h = il$	v *м/сек*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I	0_I—4	50	1	0	0,5	125	0,010	+0,01	0,04	0	0,5	0,010	+0,01	0,04
	4—3	600	12	1	7	125	0,477	+2,86	0,57	1,0	7,0	0,477	+2,86	0,57
	3—9	275	5,5	6	8,75	125	0,746	+2,05	0,71	5,5	8,25	0,663	+1,82	0,67
	0_I—5	250	5	0	2,5	125	0,061	—0,15	0,20	0	2,5	0,061	—0,15	0,20
	5—9	650	13	7,5	14	150	0,721	—4,69	0,79	7	13,5	0,67	—4,35	0,76
							$\Delta h_I = +0,08$						$\Delta h_I = +0,19$	
II	0_{II}—5	125*	2,5*	0	1,25	125	0,015	+0,02	0,10	0	1,0	0,010	+0,01	0,08
	5—9	650	13	7,5	14	150	0,721	+4,69	0,79	7	13,5	0,670	+4,35	0,76
	0_{II}—6	200	4*	0	2	125	0,039	—0,08	0,16	0	2,25	0,049	—0,10	0,18
	6—7	700	14	4	11	150	0,445	—3,12	0,62	4,5	11,5	0,496	—3,47	0,65
	7—9	325	6,5	7,5	10,75	150	0,426	—1,38	0,61	4,5	7,75	0,221	—0,72	0,44
							$\Delta h_{II} = +0,13$						$\Delta h_{II} = +0,07$	

III	3—2	750	15	7	14,5	150	0,773	+5,80	0,82	6,5	14	0,721	+5,41	0,79
	2—1	275	5,5	22	24,75	200	0,485	+1,33	0,79	21,5	24,25	0,466	+1,28	0,77
	3—9	275	5,5	6	8,75	125	0,746	−2,05	0,71	6,5	9,25	0,833	−2,29	0,75
	9—1	750	15	46	53,5	250	0,688	−5,15	1,09	43	50,5	0,612	−4,58	1,03
								$\Delta h_{III} = -0,07$					$\Delta h_{III} = -0,18$	
IV	7—9	325	6,5	7,5	10,75	150	0,426	+1,38	0,61	4,5	7,75	0,221	+0,72	0,44
	9—1	750	15	46	53,5	250	0,688	+5,15	1,09	43	50,5	0,612	+4,58	1,03
	7—8	800	16	10,5	18,5	200	0,271	−2,17	0,59	14	22,0	0,383	−3,07	0,76
	8—1	250	5	26,5	29	200	0,665	−1,67	0,92	30	32,5	0,837	−2,10	1,04
								$\Delta h_{IV} = +2,69$					$\Delta h_{IV} = +0,13$	
—	1—Б	400	—	120	120	350	—	—	—	120	120	0,582	2,33	1,25

* При окончательном распределении расходов нулевая точка 0_{II} перемещена на 25 *м* в сторону точки 5; таким образом длины участков $0 - 5$ и $0_{II} - 6$ составляют 100 и 225 *м*, а попутные расходы 2 и 4,5 *л/сек*.

требование должно быть соблюдено и для всех остальных колец, составляющих систему, например для кольца IV сумма потерь напора по пути *7—9—1* должна равняться сумме потерь напора по пути *7—8—1* и т. д. Расчет ведем по путевым расходам.

Допустим, что для рассматриваемого примера расчетный расход $q_{max} = 120$ *л/сек*, удельный расход $q_0 = \frac{q_{max}}{\Sigma l} = \frac{120}{6\,000} = 0{,}02$; следовательно, попутные расходы составляют по линиям: *1—2*

$$q_{1-2} = q_0 \cdot l_{1-2} = 0{,}02 \cdot 275 = 5{,}5 \text{ л/сек};$$

по линиям *2—3*

$$q^{2-3} = q_0 \cdot l_{2-3} = 0{,}02 \cdot 750 = 15{,}0 \text{ л/сек и т. д.}$$

Эти величины попутных расходов вносятся в расчетную табл. 17 (в графу 4). Затем производится предварительное распределение транзитных расходов воды по сети и намечаемые величины их также вносятся в табл. 17 (в графу 5). После этого определяются расчетные расходы $Q_p = Q_m + 0{,}5Q_n$ (графа 6).

Диаметры труб (графа 7) намечаются по скорости движения в них воды (0,75—1,25 *м/сек*).

Далее при помощи таблиц для расчета водопроводных труб по формуле Маннинга для намеченных Q_p и d определяются потери напора на единицу длины 100 i (графа 8) и на всю длину участка l, составляющие $h = il$ (графа 9). Скорости, соответствующие принятым расходам воды, указываются в графе 10.

Когда потери напора на всех участках определены, производят увязку сети, т. е. добиваются получения указанных выше равенств потерь напора. Противоположные направления потоков воды в каждом кольце обозначаются знаками плюс и минус. Это позволяет для каждого кольца подсчитать алгебраическую сумму потерь напора на составляющих его участках. Величина невязки Δh и ее знак показывают, какие ветви кольца недогружены, а какие — перегружены

Если потери напора по обеим ветвям каждого кольца не увязываются, надо изменить величины транзитных расходов путем взаимной перебросски их с одной ветви на другую или же изменить диаметры отдельных участков сети.

В рассматриваемом примере расчета кольцевой сети при предварительном распределении расходов величина невязки в кольце IV достигла 2,69 *м*, что недопустимо. После ряда повторных попыток правильного распределения расходов удалось получить невязку в каждом кольце в пределах 0,07—0,19 *м*.

Потери напора в сети от точки *1* до точки 0_I по линии *1—2—3—4—*0_I : $h_I = 1{,}28 + 5{,}41 + 2{,}86 + 0{,}01 = 9{,}56$ *м*, а по линии *1—9—5—*0_I : $h^1{}_I = 4{,}58 + 4{,}35 + 0{,}15 = 9{,}08$ *м*; таким образом общая невязка равна 0,48 *м*. (< 0,5 *м*) и составляет около 5% к общей сумме потерь.

Потери в сети от точки *1* до точки 0_{II} по линии *1—9—5—*0_{II} : $h_{II} = 4{,}58 + 4{,}35 + 0{,}15 + 0{,}01 = 9{,}09$ *м* и соответственно по линии *1—8—7—6—*0_{II}: $h^1{}_{II} = 2{,}10 + 3{,}07 + 3{,}47 + 0{,}10 = 8{,}74$ *м*. Таким образом общая невязка в этом случае равна 0,35 *м* (< 0,5 *м*) и составляет около 4% к общей сумме потерь.

Ж. Проверка сети на пропуск пожарного расхода воды

Сеть, рассчитанная на максимальный секундный хозяйственно-питьевой расход воды, проверяется на пропуск пожарного расхода воды к гидрантам, расположенным в неблагоприятной точке, т. е. наиболее удаленной и возвышенной; в данном примере считаем, что это точка *4*.

Пожарный расход 30 *л/сек* подается как по левой, так и

по правой ветвям колец I—IV примерно в равном количестве Распределение расходов сведено в табл. 18.

Таблица 18

Номера участков	Длина участка в *м*	Диаметр трубы в *мм*	Хозяйственно-питьевой расход в *л/сек*	Пожарный расход в *л/сек*	Суммарный расчетный расход в *л/сек*	Скорость при пропуске пожарного расхода в *м сек*	Гидравлический уклон 100 *i*	Потеря напора *h* в *м*
			Левая ветвь					
4—3	600	125	7,0	14,75	21,75	1,77	4,605	27,63
3—2	750	150	14,0	14,75	28,75	1,63	3,05	22,88
2—1	275	200	24,25	14,75	39,0	1,24	1,20	3,30
								$\Sigma h_n = 53{,}81$
			Правая ветвь					
4—0	50	125	— 0,50	15,25	14,75	1,19	2,12	1,06
0—5	250	125	2,5	15,25	17,75	1,45	3,07	7,68
5—9	650	150	13,5	15,25	28,75	1,63	3,05	19,83
9—1	750	200	50,5	15,25	65,75	2,09	3,415	25,61
								$\Sigma h_n = 54{,}18$
			Водовод от башни до начала сети					
Б—1	400	350	120	30	150	1,56	0,912	3,65

Как видно из табл. 18, разница потерь напора в правой и левой ветвях при пропуске пожарного расхода составляет всего $54{,}18 - 53{,}81 = 0{,}37$ *м*.

При пропуске суммарного хозяйственного и пожарного расходов скорость в трубопроводах увеличивается (например на участке *9—1* до 2,09 *л/сек*); еще значительнее возрастают сопротивления.

Если бы скорости увеличились более 2,5—3,0 *м/сек*, то во избежание таких скоростей пришлось бы увеличить диаметр труб на соответствующих участках.

3. Понятие о работе сети с контррезервуаром

В том случае, когда башня находится в конце сети, она называется контррезервуаром. В часы максимального расхода контррезервуар обслуживает некоторую прилегающую к нему часть сети, тогда как остальная часть сети будет обслуживаться насосной станцией (рис. 52), т. е. в эти часы, наиболее неблагоприятные для работы сети, в нее поступает вода с двух противоположных сторон. Благодаря этому при наличии контррезервуара диаметры сети уменьшаются.

Наполнение башни происходит в ночные часы, когда расход сети резко падает и вода проходит в контррезервуар транзитом.

И. Связь водопроводной сети с насосной станцией и водонапорной башней

Разводящая сеть трубопроводов тесно связана с насосной станцией и водонапорной башней, входящими в систему водопровода. Поэтому расчет сети должен производиться с учетом ее совместной работы с этими водопроводными сооружениями.

Потребление воды из городской водопроводной сети в течение суток значительно колеблется, между тем насосы подают воду в сеть равномерно в течение всех суток или в течение нескольких часов. Поэтому в те часы, когда насосы подают воды больше, чем разбирается воды из сети, избыток воды поступает в водонапорную башню. В часы же усиленного водоразбора, когда подача насосов не может удовлетворить возросшего потребления, недостаток воды в сети пополняется из башни.

Таким образом башня выравнивает неравномерность работы системы, вызываемую несоответствием работы насосной станции потреблению из сети.

К. Определение высоты водонапорной башни

Зная необходимый свободный напор H_c в самой невыгодной точке сети, топографическую отметку Z_o этой точки и отметку $Z_б$ у башни и определив сумму потерь напора Σh на

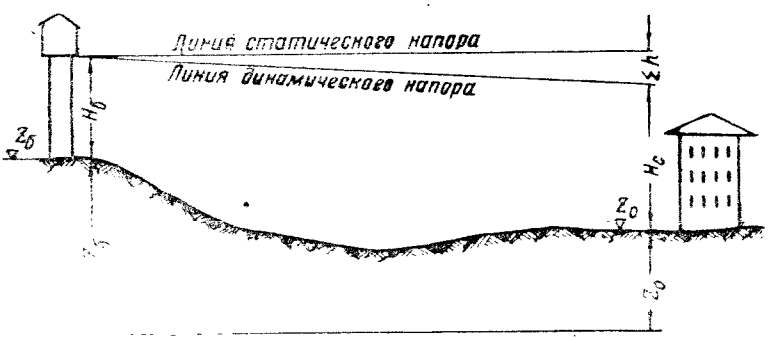


Рис. 54. Определение высоты водонапорной башни

пути от башни до этой точки, можно определить высоту башни из выражения (рис. 54):

$$H_б = H_c + \Sigma h + (Z_o - Z_б). \qquad (31)$$

Для определения высоты башни, работающей как контррезервуар, нужно построить пьезометрические линии при макси-

мальном хозяйственно-питьевом расходе. Так как в это время разбор воды в сети превышает подачу воды насосами, то недостающее количество воды поступает из башни. Обе пьезометрические линии от насосов и от башни встретятся в так называемой точке схода, *а*, разделяющей область питания сети от насосов и от башни.

Высота башни-контррезервуара (рис. 55) равна:

$$H_б = H_c + (Z_a - Z_б) + \Sigma h, \qquad (31^1)$$

где H_c — свободный напор в точке схода;
Z_a — нивелирная отметка этой же точки;

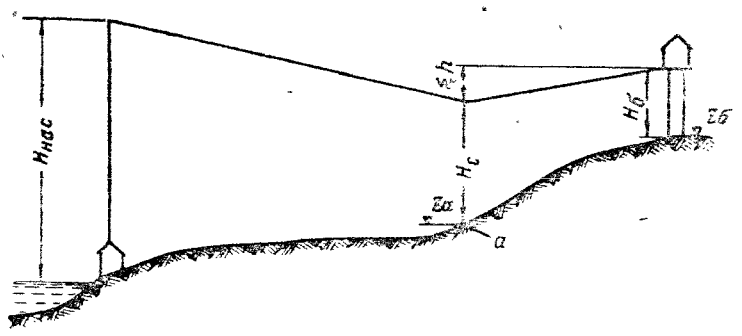


Рис. 55. Определение высоты контррезервуара

Σh — сумма гидравлических потерь от башни до точки схода пьезометрических кривых;
$Z_б$ — нивелирная отметка башни.

33. Трубы и фасонные части

В настоящее время для устройства водопроводов применяются трубы: 1) чугунные, 2) стальные, 3) асбестоцементные, 4) железобетонные и 5) деревянные. Чугунные трубы рассчитаны на рабочее давление 10 *ат* (ОСТ 12523-40 предусматривает также изготовление чугунных труб на 15 *ат* — класс С). При давлении 8—10 *ат* допустимы асбестоцементные трубы, при 5—6 *ат* — железобетонные, а при 3—4 *ат* пригодны деревянные трубы.

А. Чугунные трубы и фасонные части

Чугунные трубы и фасонные части изготовляются по общесоюзному стандарту, введенному в 1940 г. (ОСТ 12523-40). Чугунные трубы делаются с фланцевыми (рис. 56 *а*) и раструбными (рис. 56, *б*) соединениями стыков. В табл. 19 и 20 приведены основные размеры раструбных и фланцевых чугунных труб по ОСТ 12523-40. Чугунные фланцевые трубы изготов-

ляются внутренним диаметром от 50 до 200 *мм*, а чугунные раструбные трубы — диаметром от 50 до 1 000 *мм*. Длина труб составляет 2 *м* при диаметре 50 *мм*, 3 *м* — при диаметрах от 75 до 150 *мм* включительно, 4 *м* — при диаметрах от 200 до 450 *мм* и 5 *м* — при диаметрах от 500 до 1 000 *мм*.

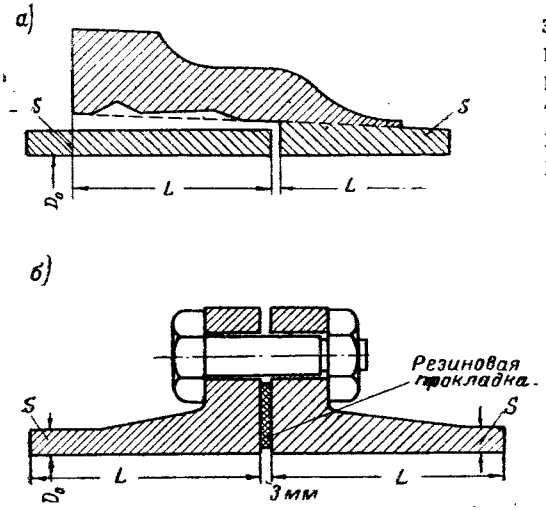


Рис. 56. Стыковые соединения чугунных труб: *а* — раструбные; *б* — фланцевые

В настоящее время заводы временно выпускают трубы длиной не более 4 *м*; кроме того, встречаются чугунные трубы, изготовленные еще по старым стандартам, длиной 3,75 *м* при диаметрах 350—500 *мм* и трубы с другими отклонениями от ОСТ 12523-40 по длине, толщине стенок, весу и т. п.

Раструб представляет собой уширение специальной формы на одном конце трубы, в которое вставляется гладкий конец другой трубы. Кольцевой зазор между внутренней поверхностью раструба и внешней поверхностью вставленного конца заполняется уплотняющими материалами (см. стр. 133).

Таблица 19

Размеры раструбных чугунных труб ОСТ 12523-40

Внутренний диаметр D_0 в *мм*	50	75	100	125	150	200	250	300	350
Толщина стенки S в *мм*	7,5	8	8,5	9	9,5	10,5	11,5	12,5	13
Длина трубы L в *м*	2	3	3	3	3	4	4	4	4
Вес всей трубы в *кг*	23,9	51,2	70,7	91,8	115	218	96	385	468

Продолжение

Внутренний диаметр D_0 в *мм*	100	450	500	600	700	800	900	1 000
Толщина стенки S в *мм*	14	15	16	18	21	24	27	30
Длина трубы L в *м*	4	4	5	5	5	5	5	5
Вес всей трубы в *кг*	574	692	1 006	1 358	1 848	2 417	3 064	3 794

Таблица 20

Размеры фланцевых чугунных труб ОСТ 12523-40

Внутренний диаметр D_0 в *мм*	50	75	100	125	150	200
Толщина стенки S в *мм*	7,5	7	8,5	9	9,5	10,5
Число болтов	4	4	8	8	8	8
Диаметр болтов в дюймах	5/8	5/8	5/8	5/8	3/4	3/4
Длина трубы L в *м*	2	3	3	3	3	3
Вес трубы в *кг*	25	53,8	72,1	94,5	118	172

Фланцевые трубы соединяются посредством сбалчивания фланцев двух соседних труб.

Фланец имеет форму тарельчатого прилива на конце трубы. Для обеспечения герметичности стыка между фланцами вводится резиновая прокладка толщиной около 3 *мм*. Фланцевые трубы имеют длину 3*м*.

Фланцевые трубы имеют ограниченное применение, так как при укладке их в земле быстро ржавеют болты стыковых соединений; они прокладываются только внутри зданий или в галлереях.

Фасонные части применяются для устройства соединений между трубами при изменении направлений трубопроводов в плане или в профиле, при устройстве ответвлений, для установки арматуры и т. д.

ОСТ 12523-40 предусматривает следующие типы чугунных фасонных частей — раструбных и фланцевых (рис. 57):

колена *1*, служащие для поворота трубопровода под углом 90°, полуколена для поворота под углом 45°; отводы для изменения направления трубопроводов с углами поворотов в 30° и 15°; тройники *2* для устройства ответвлений от трубопроводов; крестовины для устройства пересечений двух трубопроводов; переходы *3* от большего диаметра трубы к меньшему; выпуски *4*, применяемые для опорожнения трубопроводов; патрубки — для перехода от раструбных труб к фланцевым (патрубок „фланец-раструб" *5* и патрубок „фланец-гладкий конец" *6*); муфты — надвижные *7* для вставки кусков труб при ремонте (короткие муфты) или при постройке (длинные муфты); муфты свертные *8*, применяемые для быстрого ремонта находящихся в работе труб, если на них обнаружен свищ или небольшая трещина (на дефектное место накладывают муфту, свертывают ее болтами, после чего заделывают ее раструбы); двойные раструбы *9*, служащие для соединения между собой двух гладких концов труб; глухие фланцы — ставятся, если нужно заглушить конец фланцевого трубопровода; седелки — устанавливаются для устройства домовых ответвлений на действующих трубопроводах; седелки бывают фланцевые — *10* и с резьбой *11*.

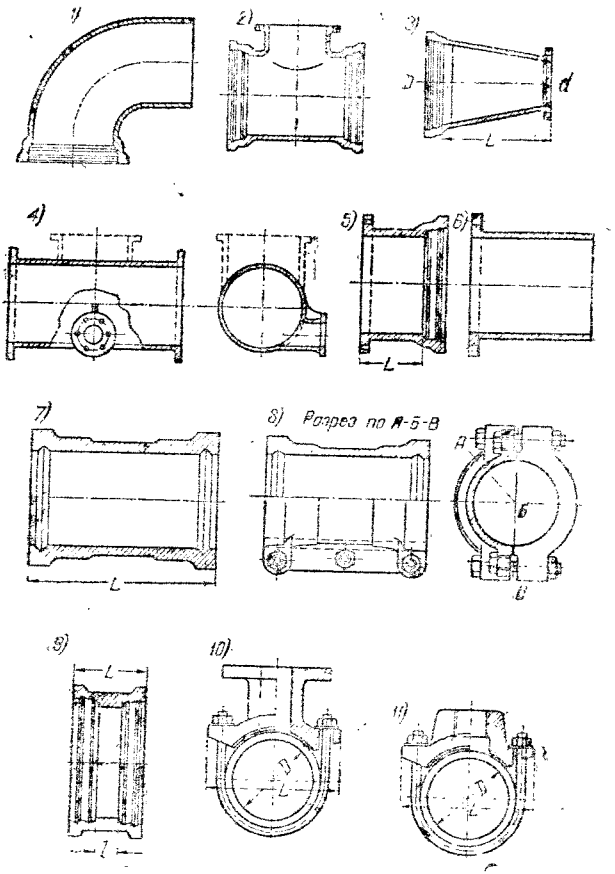


Рис. 57. Чугунные фасонные части по ОСТ. 12523-40: *1* — колено раструб — гладкий конец (УРГ); *2* — тройник раструб — фланец (ТФР); *3* — переход раструб — фланец (ХРФ); *4* — выпуск фланцевый (ВФ); *5* — патрубок фланец — раструб (ПФР); *6* — патрубок фланец — гладкий конец (ПФГ); *7* — муфты надвижные (МН); *8* — муфты свертные (МС); *9* — двойной раструб (ДР); *10* — седелка фланцевая (СФ); *11* — седелка с резьбой (СР)

Б. Стальные трубы

Стальные трубы изготовляются: цельнотянутые (бесшовные) и сварные. Для водопроводов могут быть применены: 1) стальные цельнотянутые бесшовные трубы общего назначения наружным диаметром от 51 до 152 *мм*, длиной от 6 до 19 *м*,

испытываемые гидравлическим давлением в 60 *ат* (ГОСТ 301-44); 2) стальные—нефте- водо- и газопроводные бесшовные трубы наружным диаметром от 146 до 426 *мм*, длиной от 5 до 19 *м* (ГОСТ 3101-46), испытываемые гидравлическим давлением также в 60 *ат*; 3) сварные стальные водо-газопроводные трубы внутренним диаметром от 400 до 1 200 *мм* длиной от 5 до 6 *м*, испытываемые гидравлическим давлением в 15 *ат* (ОСТ 12370-39); 4) стальные водо- газопроводные (газовые) трубы малых диаметров, длиной от 4 до 7 *м*—для внутренних сетей диаметром от $^1/_4$ до 6", рассчитанные на рабочее давление до 10 *кг/см*^{2} (обыкновенные) и до 16 *кг/см*^{2} (усиленные) (ОСТ 18828-39).

Толщина стенок стальных труб для одного и того же условного внутреннего диаметра меняется в довольно широких пределах в зависимости от рабочего давления, причем происходит это за счет изменений внутреннего, а не наружного диаметра.

Толщина стенок при давлении 15 *ат* составляет: для труб диаметром 500 *мм* — 9 *мм*, диаметром 700 *мм* — 10 *мм*; диаметром 900 *мм* — 11—12 *мм*; диаметром 1 200 *мм*—12—13 *мм*.

Стальные трубы большого диаметра вследствие небольшой толщины стенок и, следовательно, недостаточной жесткости могут сплющиваться под действием давления земли, засыпки и веса воды при отсутствии напора в заполненной водой трубе и в особенности при образовании вакуума в трубе вследствие ее быстрого опорожнения.

При недостаточной (по статическому расчету) толщине стенок стальных труб можно усилить жесткость трубы приваркой через 1 *м* по ее длине ребер жесткости из уголков.

Стальные трубы имеют гладкие концы и соединяются путем сварки (см. § 36, Ж), а трубы небольшого диаметра (газовые)—при помощи нарезных муфт.

Необходимо обращать особое внимание при приемке стальных труб на правильность формы их поперечного сечения, так как овальность трубы значительно снижает качество сварного стыка. Разность между наибольшим и наименьшим диаметрами трубы в любом ее поперечном сечении не должна быть более 0,015 от диаметра трубы.

Стальные трубы выпускаются с заводов без асфальтировки. Поэтому до укладки трубу нужно покрывать изоляцией для предупреждения коррозии.

Без изоляции стальные трубы могут притти в негодность через 5 — 6 лет в зависимости от корродирующих свойств грунта, наличия грунтовых вод и т. д. Хорошая изоляция удлиняет средний срок их службы до 30 лет.

Фасонные части для стальных трубопроводов заводы не изготовляют; они свариваются на месте из кусков труб соответствующих диаметров и соответствующим образом вырезанных.

В. Асбестоцементные трубы

Асбестоцементные трубы изготовляются из массы, состоящей на 80—85% из портландцемента и 20—15% из асбеста (по весу). Хорошая сопротивляемость волокон асбеста растягивающим усилиям улучшает работу труб на растяжение.

Основные размеры изготовляемых нашими заводами асбестоцементных труб по ГОСТ 539-41 приведены в табл. 21.

Таблица 21

Внутренний диаметр в *мм*	Длина в *м*	Марка В 10 на давление 10 *ат*			Марка В 8 на давление 8 *ат*			Марка В 5 на давление 5 *ат*		
		наружный диаметр D в *мм*	толщина стенки обточенных концов δ в *мм*	вес в *кг*	наружный диаметр D в *мм*	толщина стенок обточенных концов δ в *мм*	вес в *кг*	наружный диаметр D в *мм*	толщина стенок обточенных концов δ в *мм*	вес в *кг*
50	3	68	9	11,3	68	9	11,3	68	9	11,3
75	3	93	9	16,2	93	9	16,2	93	9	16,2
100	3	122	11	24	122	11	24	120	10	21
125	3	149	12	34,8	149	12	34,8	145	10	28,5
	4			46,4			46,4			38
150	3	178	14	49,5	178	14	49,5	172	11	37,5
	4			66			66			50
200	4	232	16	96,8	232	16	96,8	226	13	78
250	4	288	19	144	288	19	144	280	15	112
300	4	346	23	209	346	23	209	334	17	152
350	4	404	27	286	404	27	286	388	19	197
400	4	460	30	362	460	30	362	442	21	248
500	4	—	—	—	576	38	574	550	25	369
600	4	—	—	—	690	45	812	660	30	531

Асбестоцементные трубы соединяются при помощи надвижных асбестоцементных же муфт „Симплекс“ с уплотнительными резиновыми кольцами (рис. 58, *а*).

По краям муфты с внутренней ее стороны имеются выступы, которые препятствуют выпиранию резиновых колец при давлении на них воды, находящейся в трубопроводе.

Монтаж муфты „Симплекс“ выполняется при помощи особого станка-домкрата (рис. 59). Вращая винты *1*, закрепленные на трубе посредством зажимов *2*, муфту „Симплекс“ захватывают лапками *3* и надвигают на соединяемые концы труб. До установки муфты одно резиновое кольцо надевают на трубу на самом ее конце, а второе — на другую трубу на расстоянии от соединяемого конца, несколько меньшем, чем длина муфты.

Вместо муфты „Симплекс“ можно применять муфту „Жибо“

(рис. 58, *б*). Однако недостатком такого соединения является наличие в нем быстро ржавеющих болтов. Асбестоцементные трубы соединяются с чугунными фасонными частями посред-

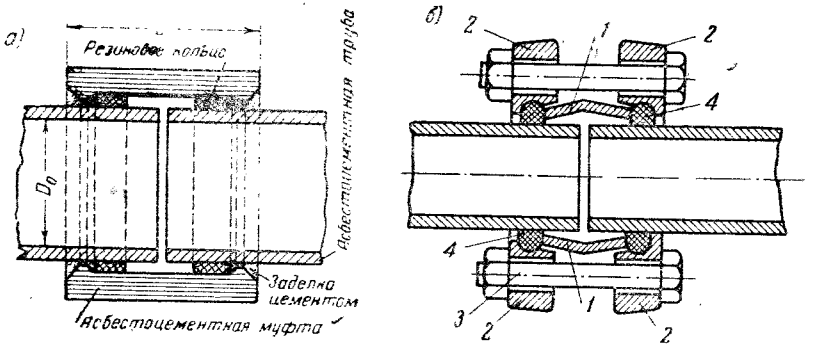


Рис. 58. Муфты для соединения асбестоцементных труб: *а* — муфта Симплекс; *б* — муфта Жибо; *1* — центральное кольцо (патрубок); *2* — чугунные кольца; *3* — болты для скрепления колец; *4* — резиновые кольца

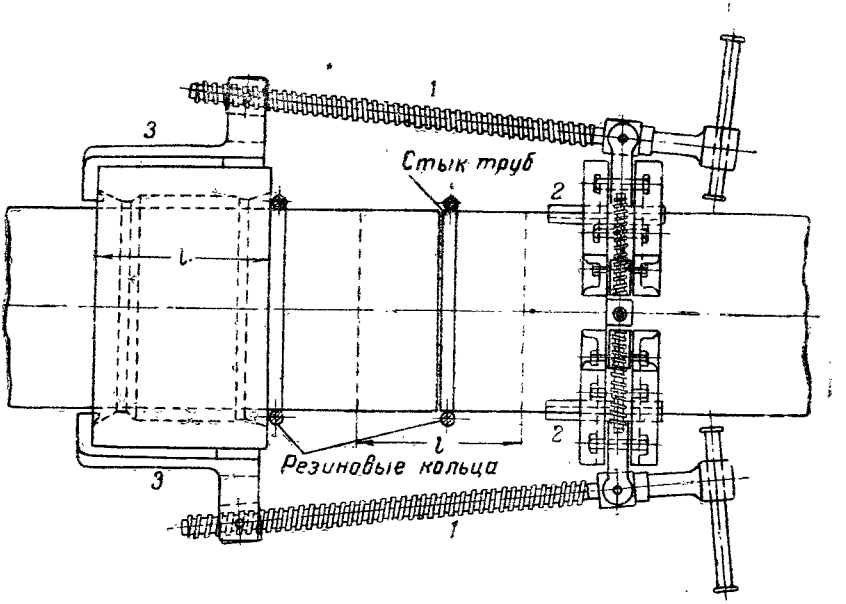


Рис. 59. Домкрат для монтажа муфты Симплекс

ством специальных патрубков с уширенными раструбами, куда вводятся концы асбестоцементных труб.

По сравнению с чугунными и стальными асбестоцементные трубы обладают рядом преимуществ, а именно:

1) большей пропускной способностью (примерно на 10% больше, чем у металлических труб) вследствие гладкой внутренней поверхности стенок, снижающей потери на трение;

2) диэлектричностью, вследствие чего они не разрушаются блуждающими электрическими токами, возникающими вблизи трамвайных линий;

3) морозостойкостью;

4) малым весом (удельный вес около 2,1, тогда как удельный вес железа 7,8);

5) малой теплопроводностью;

6) сопротивляемостью действию минеральных и органических кислот при концентрациях их менее 0,1%.

Недостатки асбестоцементных труб:

1) слабая сопротивляемость ударам и толчкам; при сбрасывании, например, труб с грузовика на землю на них образуются невидимые на глаз трещины, сильно снижающие прочность труб;

2) необходимость применять муфтовые соединения.

Г. Железобетонные и бетонные трубы

Железобетонные трубы могут быть изготовлены:

1) на месте постройки путем набивки бетона в цилиндрические формы — опалубку, которая может быть деревянной или металлической);

2) на специальных заводах по так называемому центробежному способу.

Набивные трубы бывают звеновые (в виде отдельных труб) и непрерывные. Первые годны лишь для безнапорных водоводов. Они изготовляются диаметром от 500 до 1 500 *мм* при толщине стенки 55—130 *мм*. Непрерывные набивные трубы изготовляются тоже на месте постройки диаметром от 600 до 3 500 *мм*, причем бетонирование ведется непрерывно в передвижной опалубке. Эти трубы могут выдержать внутреннее давление до 3 *ат*, если они достаточно армированы. Арматура делается в виде железной спирали, рассчитанной на внутреннее давление.

Стандартов на железобетонные трубы в СССР пока еще не имеется. Можно рекомендовать типовые звеновые железобетонные трубы по проекту Центроспецстройпроекта диаметром от 500 до 800 *мм* с одиночной арматурой и от 700 до 1 500 *мм* с двойной арматурой.

Трубы изготовляются в инвентарной опалубке на месте строительства и имеют длину 1,5 *м*.

Стенки железобетонных труб должны быть водонепроницаемыми. Однако надежная гарантия водонепроницаемости железобетонных труб достигается лишь при заводском их изготовлении по так называемому центробежному способу. Сущность этого способа заключается в следующем.

В стальные формы, соответствующие по наружному диаметру и длине изготовляемой трубе, устанавливают готовый каркас из арматуры. Формы приводят во вращение на станке и забрасывают в них бетон. После этого скорость вращения доводят до 500—550 об/мин, что вызывает прижимание частиц бетона под действием центробежной силы к стенкам формы. Вода, находящаяся в бетоне, вытекает. Через 15—20 мин. форму с трубой снимают со станка и направляют в паровую камеру, где оставляют на 8 час. при температуре +50°, благодаря чему твердение ускоряется. Затем трубы освобождают от формы и выдерживают под навесом в течение 28 дней. Железобетонные трубы, изготовленные центробежным способом, могут выдерживать рабочее давление до 6 *ат*.

В 1940—1941 гг. в СССР действовало несколько заводов железобетонных труб.

Взамен спиральной арматуры, вводимой в изготовляемую трубу, можно выполнить обмотку готовых труб из нагретой арматуры. Охлаждаясь и укорачиваясь, арматура сжимает бетонную трубу. Это сжатие уравновешивает растягивающие усилия, появляющиеся в стенках после заполнения труб водой, подаваемой под напором. Описанный способ изготовления труб с предварительно напряженной арматурой позволяет уменьшить толщину стенок и вес арматуры. Последняя покрывается сверху защитным слоем цемента для предохранения от ржавления.

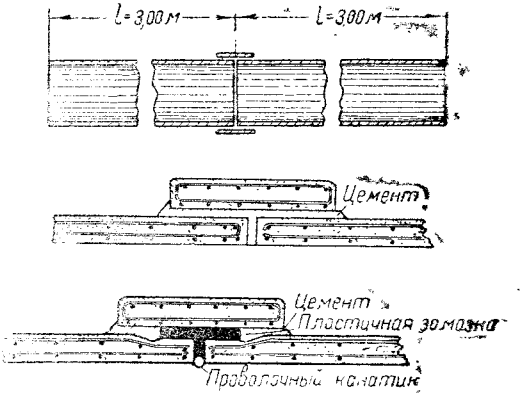


Рис. 60. Стыковые соединения железобетонных труб при помощи надвижной муфты

Наиболее слабым местом железобетонных трубопроводов являются стыковые соединения. Обычным типом такого соединения служит железобетонная муфта, надвигаемая на концы обеих соседних труб (рис. 60). Зазор между муфтой и поверхностью трубы заделывается пенькой и цементом. Можно также заделывать стык по краям муфты цементом, а в средней части битумом, что несколько увеличивает упругость соединения. Недостаточная надежность стыков зачастую ограничивает применение железобетонных труб для рабочих давлений 5—6 *ат*

Д. Деревянные трубы

Существует три вида деревянных труб: 1) сверлёные диаметром от 50 до 125 *мм*, 2) звеновые диаметром от 100

до 600 *мм* из клепок (изготовляемые на заводах) и 3) непрерывные диаметром от 400 до 3 500 *мм*, собираемые на месте из готовых клепок.

Применение сверленых труб возможно лишь при наличии на месте подходящего по диаметру лесоматериала и целесо-

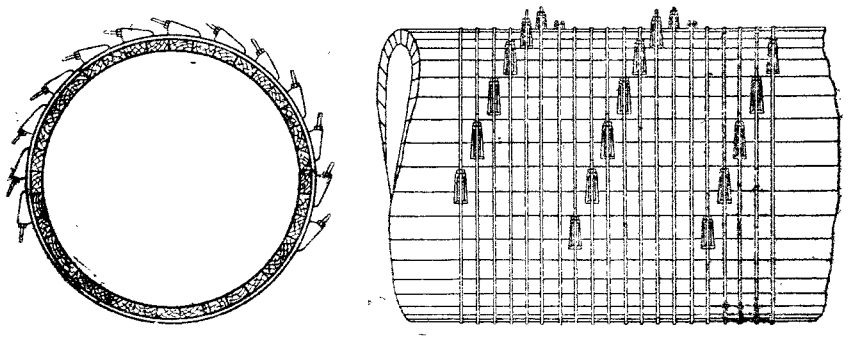


Рис. 61. Непрерывный деревянный трубопровод из клепок

образно только для небольших сельских или временных водопроводов.

Клепочные звеновые трубы собираются на заводах из клепок, обтягиваемых по спирали оцинкованной проволокой толщиной 4—6 *мм*. Снаружи трубы асфальтируются и покрываются древесными опилками. Звеновые трубы соединяются между собой при помощи деревянных муфт. Стык является наиболее слабым местом всего трубопровода, ограничивая рабочее давление 3 *ат*. Кроме того, звеновые трубы нетранспортабельны и дают большую утечку воды. Все это исключает возможность их широкого применения.

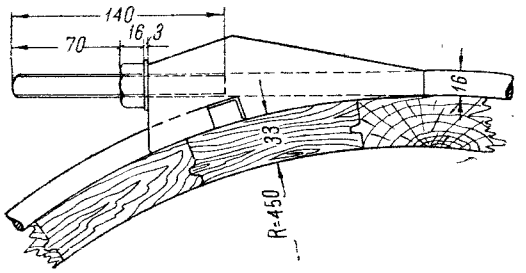


Рис. 62. Закрепление бандажа деревянной трубы посредством чугунного башмака

Непрерывные деревянные трубы собираются, как указано, из заранее заготовленных клепок на месте строительства (рис. 61). Толщина клепок колеблется от 40 до 120 *мм* в зависимости от диаметров труб и напоров в них; ширина клепок — от 40 до 180 *мм*, длина от 3 до 6 *м*. Клепки собираются при помощи временных кружал и стягиваются бандажами из круглой стали диаметром 10—25 *мм*. Бандажи устанавливаются на расстоянии 150—300 *мм* в зависимости от диаметра труб и внутреннего давления в них. Бандажи закрепляются по концам при помощи

чугунных башмаков (рис. 62). Стыки клепок при монтаже деревянных трубопроводов располагают вразбежку, чтобы уменьшить утечку воды. В прорези на торцевых частях клепок вставляются пластинки (так называемые „язычки") из оцинкованной 3-*мм* стали или твердых пород дерева (рис. 63). Непрерывные трубы больших диаметров прокладываются на деревянных или железобетонных опорах—стульях, называемых седлами (рис. 64). Седла увеличивают сопротивляемость деревянных трубопроводов сплющиванию и устанавливаются на расстоянии друг от друга, равном 1,5—2 диаметрам трубопровода.

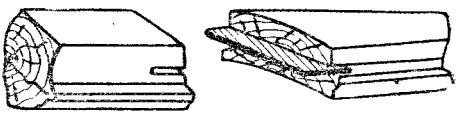


Рис. 63. Деревянный язычек для стыка клепки

К недостаткам деревянных труб относятся: 1) ржавление бандажей у непрерывных труб и проволочной обмотки у звеновых труб; 2) ослабление с течением времени бандажей и связанное с этим расстройство клепки (подтягивание болтов при зарытых в землю трубах практически невыполнимо); 3) значительная утечка, достигающая в сутки 15 — 60 *л* на 1 *мм* диаметра трубы, 1 *км* протяжения и 1 *ат* внутреннего давления; 4) необходимость 10—15-дневного замачивания деревянных трубопроводов до передачи их в эксплоатацию; 5) плохая сопротивляемость деревянных труб внешним нагрузкам; 6) возможность попадания загрязнений из почвы внутрь деревянного водовода в случае образования в нем вакуума; 7) невыгодность применения деревянных труб для рабочих давлений выше 3—4 *ат*, так как в этом случае требуется значительно увеличить число и диаметр бандажей.

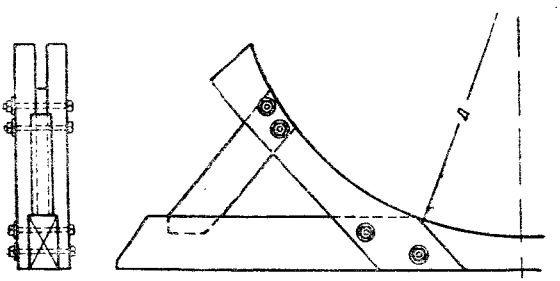


Рис. 64. Деревянное седло для укладки непрерывных труб

Достоинства деревянных труб:

1) возможность прокладки их в любое время года, в частности, в зимних условиях;

2) возможность укладки на меньшей глубине;

3) экономия дефицитного металла;

4) меньшая стоимость (при больших диаметрах), чем стоимость металлических труб.

§ 34. Оборудование водопроводной сети

На водопроводной сети должны быть установлены задвижки, пожарные гидранты, иногда предохранительные и обратные клапаны, воздушные вантузы.

А. Задвижки

Задвижки служат для отключения участков сети при аварии или ремонте. Устройство задвижки по типу, применяемому на московском водопроводе, показано на рис. 65. В чугунном корпусе *А* этой задвижки находятся два диска *Б*, между которыми помещены два клина: верхний *В* и нижний B_1. Шпиндель *Г* входит в верхний клин на нарезке, пройдя через сальник в крышке *Д* задвижки. На верхнем конце шпинделя сидит маховичок *Е*, при вращении которого справа налево поднимается верхний клин, освобождая диски *Б* от распора клиньями. Маховичок захватывает диски имеющимися на нем заплечиками. Ребра последних захватывают нижний клин. Благодаря этому диски и клинья поднимаются вверх под крышку *Д* задвижки, и сечение трубы становится свободным.

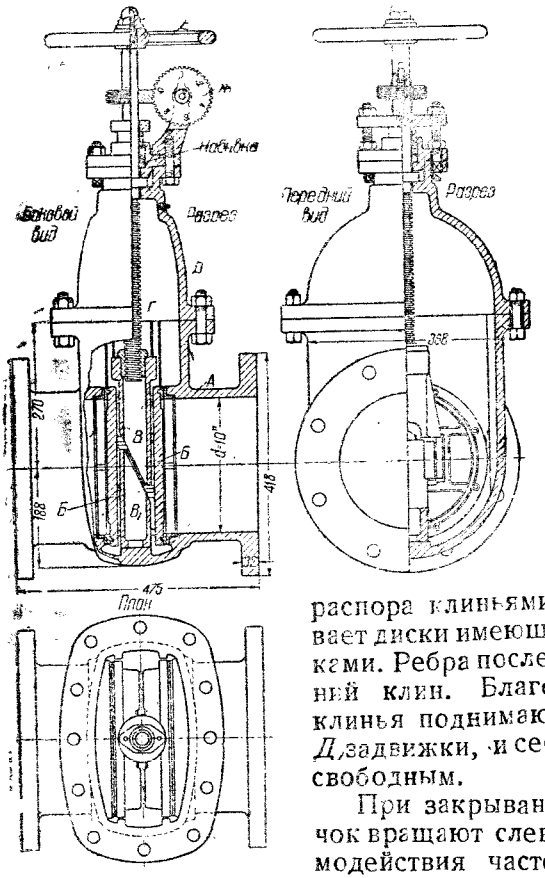


Рис. 65. Задвижка по типу Московского водопровода

При закрывании задвижки маховичок вращают слева направо, и все взаимодействия частей задвижки происходят в обратном порядке.

Для определения степени открытия задвижки имеется указатель *Ж* со стрелкой, который передает вращение шпинделя *Г* диску с нанесенными на него делениями.

Задвижки диаметром от 600 *мм* и более снабжаются конической передачей для удобства открывания и закрывания. На задвижках диаметром от 500 *мм* и более устраивается обходная труба (так называемый байпас) небольшого диаметра,

на которой ставится маленькая задвижка. Назначение обходной трубы—выравнивать давление с обеих сторон основной задвижки, так как при большом одностороннем давлении открыть задвижку очень трудно.

Задвижка типа „Лудло" отличается от задвижки московского типа конструкцией шпинделя, который при вращении получает поступательное движение. Находясь вне корпуса открытой задвижки, шпиндель при закрывании ее входит внутрь и может внести загрязнение в трубопровод.

Закрывание и открывание вручную задвижек большого диаметра требует затраты труда нескольких человек и про-

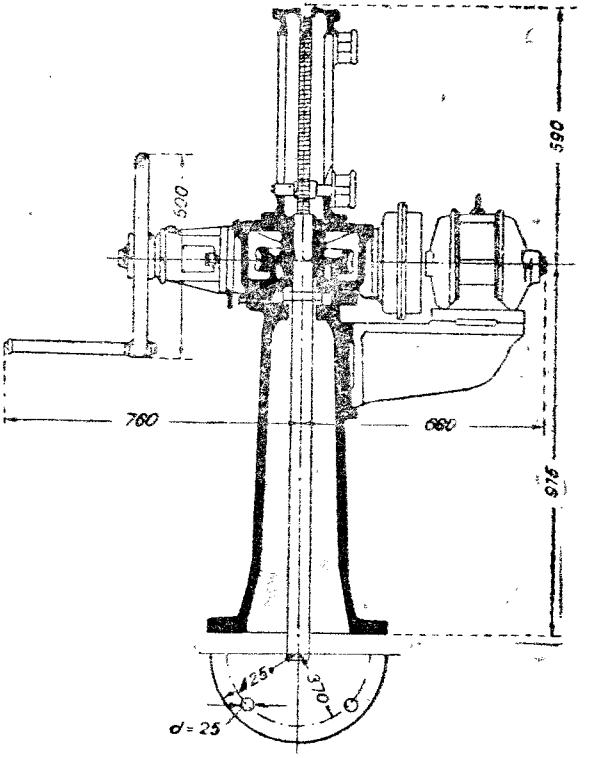


Рис. 66. Электрифицированная задвижка

должительного времени (1—2 часа). Поэтому крупные задвижки целесообразно электрифицировать, т. е. снабжать электромоторами мощностью от 0,5 до 5 *квт* с противосыростной изоляцией (рис. 66). Одновременно предусматривается и маховичок для ручного управления задвижкой в случае аварии мотора или прекращения подачи тока.

Задвижки устанавливаются в колодцах или специальных камерах переключений.

Б. Пожарные гидранты

Пожарные гидранты (пожарные краны) устанавливаются по всей сети на расстоянии 80—100 *м* друг от друга. Гидранты бывают подземные и надземные. Подземный пожарный гидрант московского наиболее распространенного типа (рис. 67) пред-

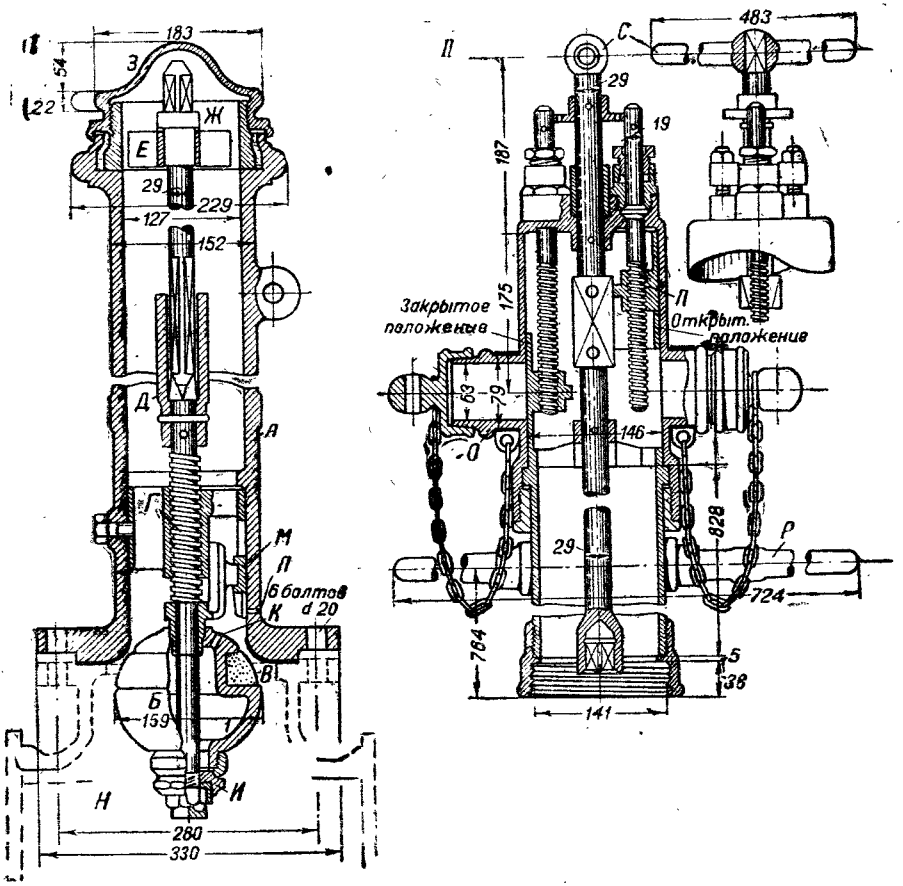


Рис. 67. Пожарный гидрант московского типа

ставляет собой чугунный стояк *А* (пожарную колонку) диаметром 127 *мм*. Высота стояка зависит от глубины заложения трубы и может быть от 1,2 до 2,4 *м*.

Запорный клапан *Б* сконструирован в виде полого чугунного шара, на который надето резиновое кольцо *В*. Последнее при запирании крана прижимается к низу стояка. В шар входит стержень *Г* с винтовой нарезкой. Сверху на стержне укреплена чугунная муфта *Д* с квадратным гнездом, куда вставлен второй стержень, проходящий до верха стояка. Здесь стержень

входит в направляющее кольцо *Е*, с насадкой *Ж*, служащей для установки стендера.

Боец пожарной команды снимает колпачок *З*, закрывающий гидрант, навертывает вместо него привезенный с собой стендер (справа на рисунке) и присоединяет к последнему пожарные рукава. Затем, вращая центральный стержень обратно направлению движения часовой стрелки, опускает и отводит головку от шарового запорного клапана. Вода из трубы проходит в шар через малый клапан *И* и через щели *К* проникает в стояк, что облегчает дальнейшее открывание шарового затвора.

Для выпуска из гидранта воды, оставшейся после пользования им (после его закрытия), имеется отверстие *Л*. Когда клапан открыт, отверстие закрыто шибером *М*, скользящим вместе с винтом.

Гидрант устанавливается на специальной фасонной части — так называемой пожарной подставке — *Н*.

Стендер имеет два штуцера *О*, к которым присоединяются пожарные рукава. Отверстия штуцеров закрываются изнутри посредством золотников *П*. Стендер навертывается на гидрант при помощи рукоятки *Р*. Для поворачивания стержня служит рукоятка *С*.

Надземные гидранты применяются, главным образом, на промышленных предприятиях; они имеют такую же конструкцию, как и подземные, но снабжены постоянной надземной колонкой (вместо стендера).

В. Обратные клапаны

Назначение обратного клапана состоит в том, чтобы допускать проход воды только в одном направлении и автоматически закрываться в случае возникновения обратного течения. Чаще всего обратные клапаны ставят в насосных станциях у центробежных насосов на напорных трубопроводах.

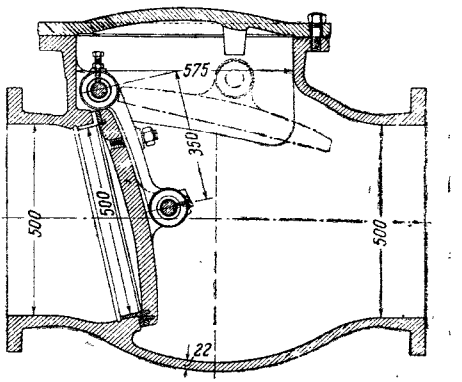


Рис. 68. Обратный клапан

При диаметрах до 600 *мм* обратный клапан имеет одну глухую крышку (рис. 68). При бо́льших диаметрах применяется многостворчатый обратный клапан, имеющий ряд круглых отверстий с крышками.

В многостворчатых клапанах диаметром 1 000 *мм* имеется четырнадцать таких отверстий.

Г. Воздушные вантузы

Воздушный вантуз служит для выпуска воздуха, скопляющегося в повышенных точках (в точках перелома) водоводов во избежание образования воздушных пробок в трубопроводе.

На рис. 69 показан разрез вантуза. Когда вследствие скопления воздуха в вантузе уровень воды понижается, поплавок

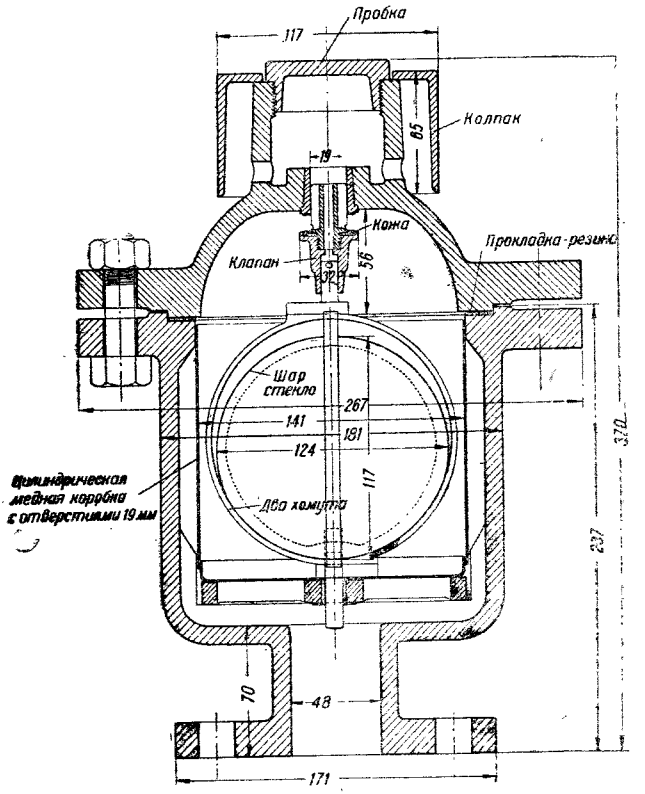


Рис. 69. Воздушный вантуз

(стеклянный шар), опускаясь, открывает клапан и выпускает воздух.

На разводящей сети вантузы не ставятся, так как воздух удаляется через домовые водоразборные краны вместе с водой.

Д. Водоразборные колонки

Назначением водоразборной колонки является снабжение водой населения домов, не имеющих внутренних водопроводов.

На рис. 70 представлена водоразборная колонка московского водопровода, применяемая и в других наших городах.

При нажиме на рукоятку поднимается внутренняя трубчатая штанга, открывающая клапан *А* (рис. 70, *б*). Вода проходит из сети в колонку по трубке *Б*. Проходя через эжектор, вода увлекает воду из нижней части кожуха *В* и опорожняет его. Когда колонка закрывается, вода из трубки *Б* выливается через щели в нижнюю часть корпуса колонки, вследствие чего

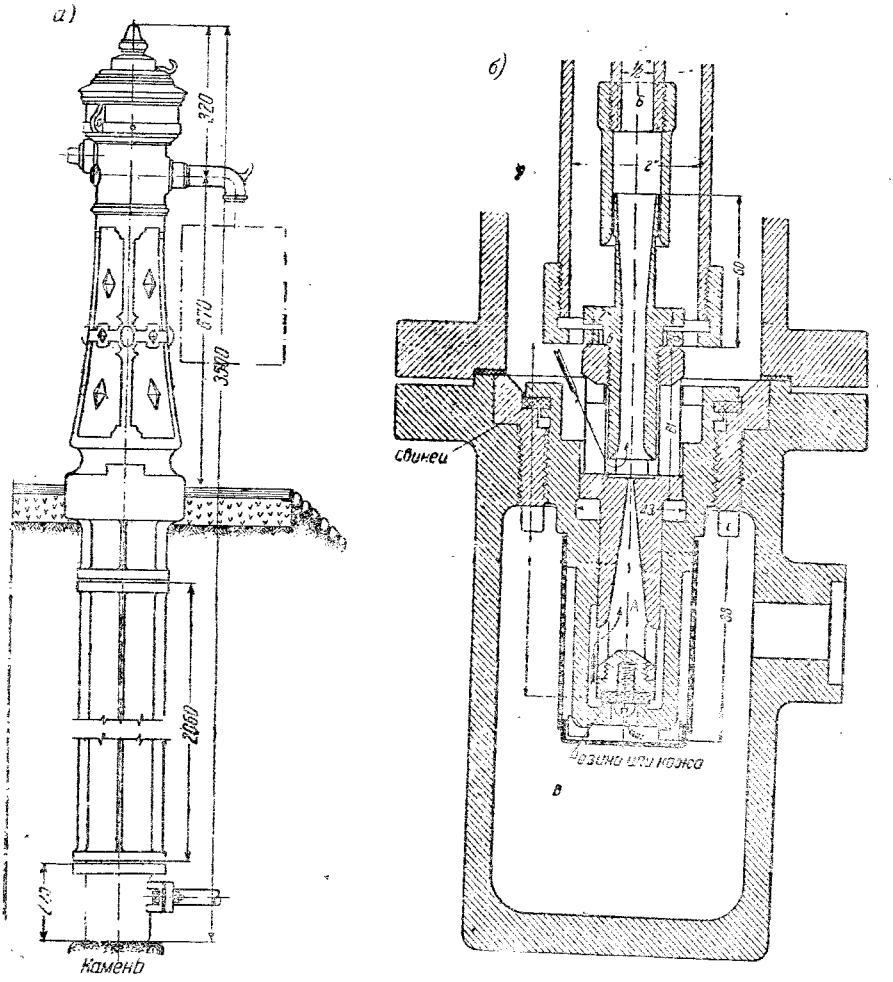


Рис. 70. Водоразборная колонка московского типа: *а* — общий вид; *б* — деталь нижней части

исключается возможность ее замерзания. При колонках этого типа излишне устройство колодцев. Для работы колонки необходим напор в сети минимально 0,8—1,0 *ат*.

§ 35. Сооружения на водопроводной сети

А. Колодцы

На водопроводной сети и на водоводах обязательно устройство колодцев, в которых размещается вся водопроводная арматура — задвижки, обратные клапаны, вантузы, гидранты и т. д., включая все фасонные части с фланцевыми стыками. Колодцы устраиваются из кирпича, железобетона или из бетончых колец. Форма колодца (прямоугольная, квадратная или круглая) и его размеры выбираются в зависимости от узла сети. В тех случаях, когда узловое соединение удобно вписывается в круг, устраивается круглый колодец. Если колодец устраивается для размещения в нем гидранта, то нужно правильно расположить ось гидранта относительно центра люка (рис. 71), чтобы можно было легко навертывать стендер на гидрант. Такой колодец должен иметь размер не менее 1,0—1,2 *м*. Круглые колодцы удобно устраивать из бетонных колец диаметром в свету 0,7—1 *м* и высотой 0,7 *м*, заранее заготовляемых.

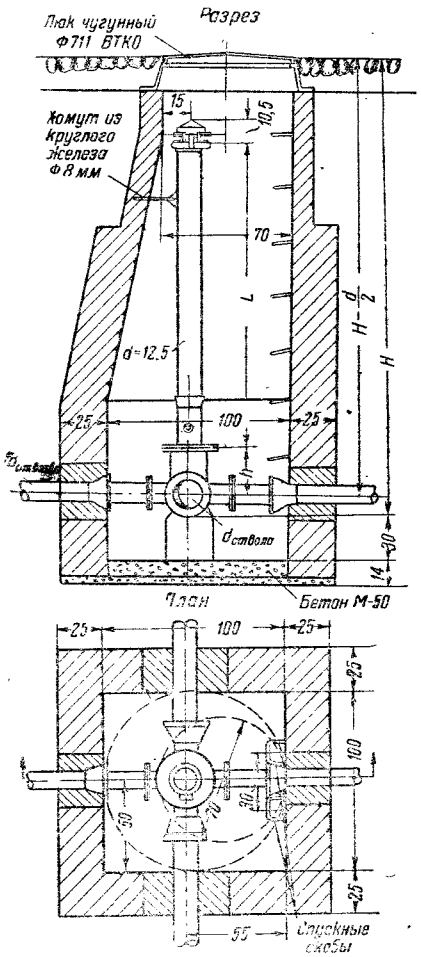


Рис. 71. Колодец с гидрантом на водопроводной сети

Размеры колодцев должны обеспечивать размещение всех фасонных частей и оборудования. Раструбы должны быть обращены от стенки колодцев, а не к стенке. Верхняя часть колодцев делается обычно в форме усеченного конуса.

На водоводах и магистральных линиях колодцы обычно приходится устраивать значительных размеров (несколько метров), чтобы можно было разместить задвижки и фасонные части большого диаметра. Перекрытие кирпичных колодцев больших размеров делается в виде кирпичных сводов по стальным балкам (рис. 72).

Если колодец железобетонный, то перекрытие устраивается из съемных или сплошных железобетонных плит.

Высота колодца до низа балки перекрытия должна быть не менее 1,8 *м*, чтобы в нем можно было удобно работать.

Крупные задвижки приходится устанавливать в горизонтальном (лежачем) положении (рис. 72), так как иначе задвижки не поместятся в колодце в открытом состоянии.

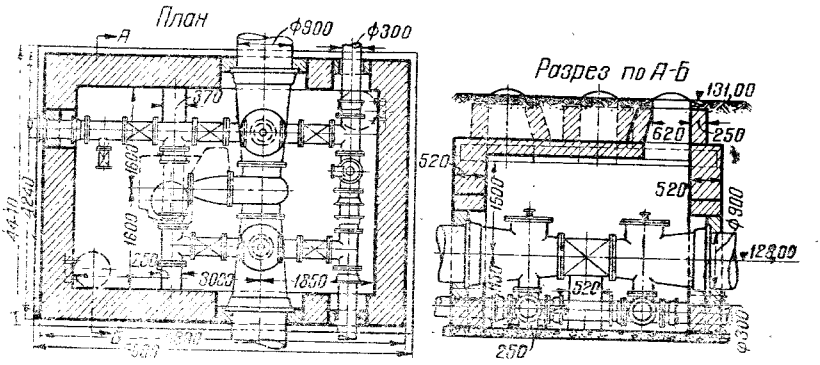


Рис. 72. Кирпичный колодец на магистральной линии

Заделка труб, пропускаемых сквозь стенки колодца, должна быть герметичной, но вместе с тем не жесткой (битум, глина и др.).

Для спуска в колодец на горловине, устраиваемой над перекрытием, устанавливается чугунный люк, а в стенки колодца заделываются стальные скобы.

Б. Упоры

По условиям городской или заводской планировки трассам напорных водоводов или магистральных линий приходится зачастую давать крутые повороты. Такие же повороты возможны и вне городской или заводской территории в зависимости от существующей застройки и направления путей сообщения.

В местах поворотов линий водоводов возникает опасность продольного сдвига труб под действием внутреннего давления. Для предупреждения таких сдвигов и возможных аварий на водоводах необходимо устраивать в местах поворотов упоры из бетонных или кирпичных массивов, если стыки трубопроводов не рассчитаны на восприятие разрывающих усилий, направленных вдоль оси трубы. Это относится к раструбным стыкам, муфтам Жибо или Симплекс и к надвижным муфтам (без резьбы).

Упоры должны быть основаны на материке с заглублением в него не менее чем на 1 *м*. Котлован для упора должен быть

вырыт аккуратно по расчетным размерам без нарушения целостности остального грунта. При бетонировании упоров в коренном грунте опалубка не применяется, так как ею служат стенки котлована. Поворотное колено, хорошо зачеканенное с одной трубой, укладывается в упор вместе с устройством последнего. Труба, примыкающая к колену с другой стороны, зачеканивается в раструб колена после устройства упора. Для возможности осадки упора независимо от поворотного колена

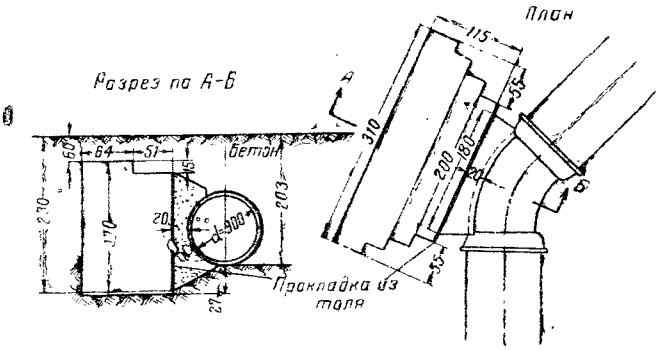


Рис. 73. Кирпичный упор в горизонтальной плоскости с железобетонной частью, примыкающей к трубе

между упором и коленом делается прокладка из двух листов толя. Если трубопровод работает под большим внутренним давлением, то часть упора, непосредственно примыкающая к трубе, делается из железобетона, а толь прокладывается между нею и основным бетонным массивом (рис. 73).

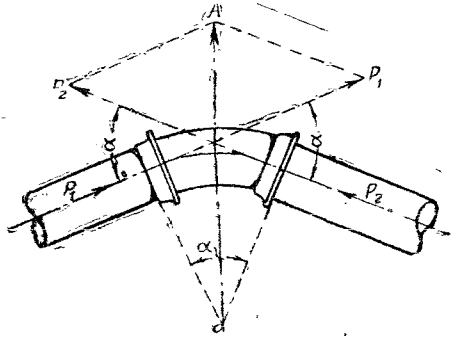


Рис. 74. Усилия от гидростатического давления, действующие на колено трубопровода

Расчет упоров производится по сдвигающим усилиям, возникающим в местах поворотов водовода под действием гидростатического напора.

Усилия от гидростатического давления, действующие на колено трубопровода (рис. 74), определяются по формуле:

$$p_1 = p_2 = P \cdot \omega,$$

где P — полное давление на единицу площади;

$\omega = \frac{\pi D^2}{4}$ — площадь сечения трубы.

Сдвигающая сила:

$$R=2p\sin\frac{\alpha}{2},$$

где α — угол поворота.

Подставляя значение p, имеем:

$$R=2P\frac{\pi D^2}{4}\sin\frac{\alpha}{2}=\frac{\pi}{2}PD^2\sin\frac{\alpha}{2}. \qquad (32)$$

Сдвигающее усилие от скоростного напора весьма незначительно по сравнению с R и может не учитываться.

Необходимая площадь части упора, погруженной в коренной грунт:

$$\Omega=\frac{R}{\sigma_{zp}}. \qquad (33)$$

В целях исключения деформаций грунта в вертикальной плоскости соприкасания упора с грунтом допускаемое напряжение на грунт принимается равным 50% от установленного по ОСТ.

На стальных водоводах со сварными стыками упоры в углах поворота могут не устраиваться, за исключением стальных водоводов большого диаметра и с высоким внутренним давлением; в этом случае упоры рассчитывают только на часть действительного усилия, например 75%, считая, что остальная часть усилий будет воспринята стальными трубами.

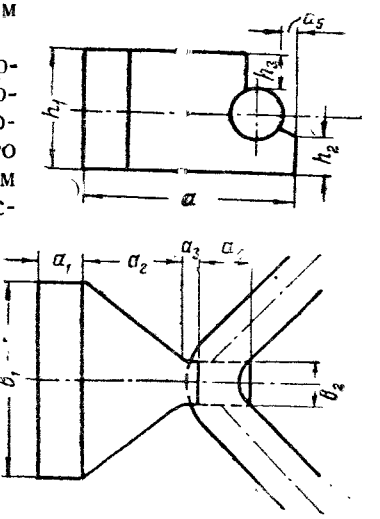


Рис. 75. Бетонный упор для трубопровода

Размеры упора принимаются (рис. 75):

высота $h_1=kD+D$;

h_2 — не менее 10 *см*;

$h_3=30$ *см*;

ширина $b_1=2kD+D$;

$b_2=\frac{D}{2}$, но не менее 20 *см*;

толщина a_1 — по месту, но не менее 15 *см*;

$$a_2=kD+\frac{1}{2}D;$$

$$a_3=\frac{1}{4}D;\ a_4=40\ см;$$

$$a_5=\frac{1}{4}D,\ \text{но не менее 15 } см;$$

$$a=a_1+a_2+a_3+a_4.$$

При этом:

$$k = -0{,}75 \pm \sqrt{0{,}0625 + 0{,}785 \cos\left(90° - \frac{\alpha}{2}\right)} \frac{P}{\sigma_{гр}}. \qquad (34)$$

Опорная площадь упора $\Omega = b_1 h_1$ должна соответствовать величине Ω, полученной по формуле (34). Сила трения массива упора о грунт обычно в запас прочности не учитывается.

В. Переходы под железными дорогами

Переход водопроводных труб под железной дорогой должен быть устроен так, чтобы:

1) была предотвращена возможность размыва железнодорожного полотна в случае аварии на водоводе;

2) было можно производить ремонт труб без перерыва железнодорожного движения.

При пересечении с магистральными железнодорожными путями трубы укладываются в проходном туннеле высотой не менее 1,7 *м*. Под внутризаводскими путями водопроводные трубы могут прокладываться в чехлах, т. е. в стальных или железобетонных трубах несколько большего диаметра.

По обоим концам переходов устраиваются входные колодцы, а на трубопроводах устанавливаются задвижки.

Железобетонные туннели устраиваются круглого или прямоугольного сечения. Бетонные и кирпичные туннели перекрываются обычно полуциркульным сводом. Внутренние размеры туннеля должны допускать возможность прохода по туннелю и протаскивания трубы для замены аварийной.

Таким образом при больших диаметрах труб и укладке водовода в две нитки туннели приобретают довольно значительные размеры (рис. 76). Туннель должен иметь небольшой продольный уклон для стока воды при аварии и при опорожнении труб перед ремонтом.

Г. Дюкеры

При прокладке трубопроводов иногда встречается необходимость в пересечении рек и других водных протоков. Эти пересечения устраиваются по одному из следующих способов:

1) подвеской трубопровода к существующим мостам;

2) постройкой специальных легких мостов для трубопроводов или использованием самих труб как арочных ферм;

3) прокладкой так называемых дюкеров по дну пересекаемых рек.

Наиболее простой и экономичной является подвеска трубопровода к существующим мостам. Устройство специального

моста для трубопроводов обходится дорого, особенно на больших реках, а поэтому при отсутствии мостов применяются, главным образом, дюкеры.

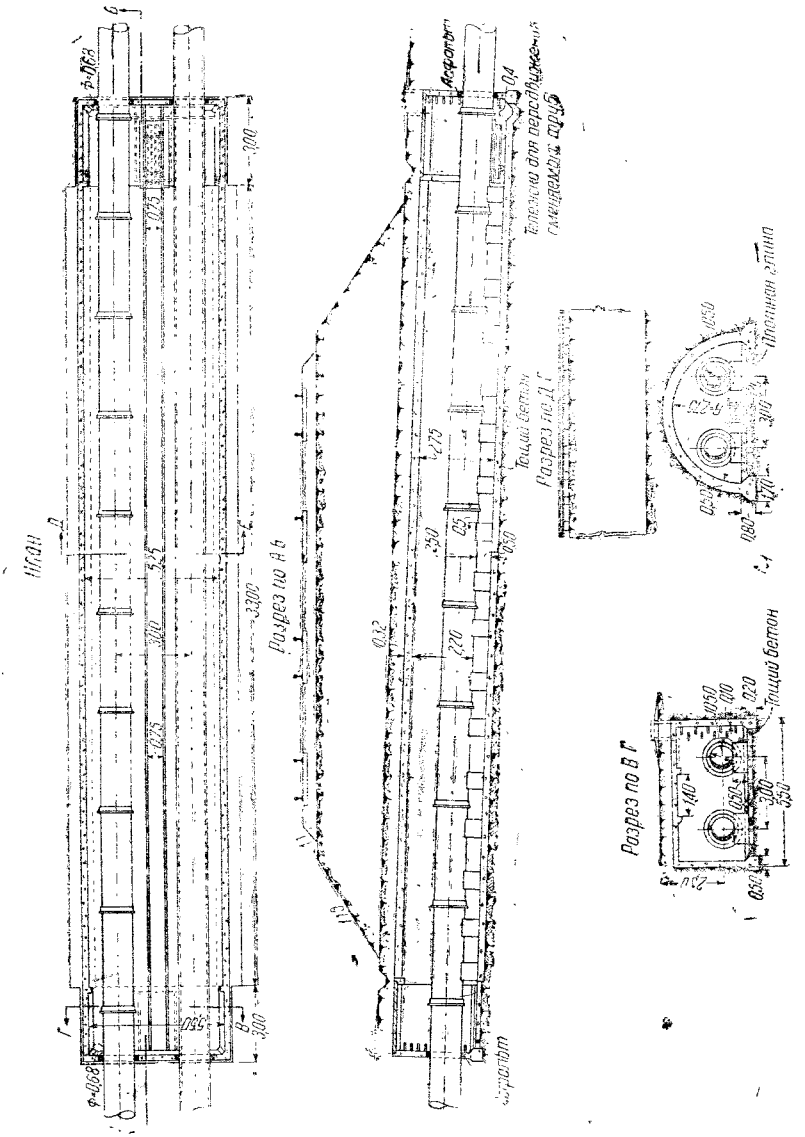


Рис. 76. Туннельный переход водопровода под железной дорогой

Дюкер представляет собой трубопровод, изогнутый в вертикальной плоскости соответственно поперечному профилю реки (рис. 77). Укладка дюкера по речному дну производится

в траншее на глубине 1—2 *м* до верха трубы в зависимости от характера (размываемости) грунта. На судоходных реках глубина заложения должна быть такой, чтобы трубопровод не мог быть поврежден проходящими судами. На дюкерах иногда приходится применять подвижные (шарнирные) соединения, допускающие изменение угла между осями двух смежных звеньев трубопровода. К таким соединениям относятся шарнирные стыки специальных конструкций, стыки Жибо и др. Обычно подвижные стыки устраиваются только в точках перегиба дюкера. Участки дюкера, проходящие в береговых откосах, имеют форму буквы *г*, что дало повод называть их „гусями".

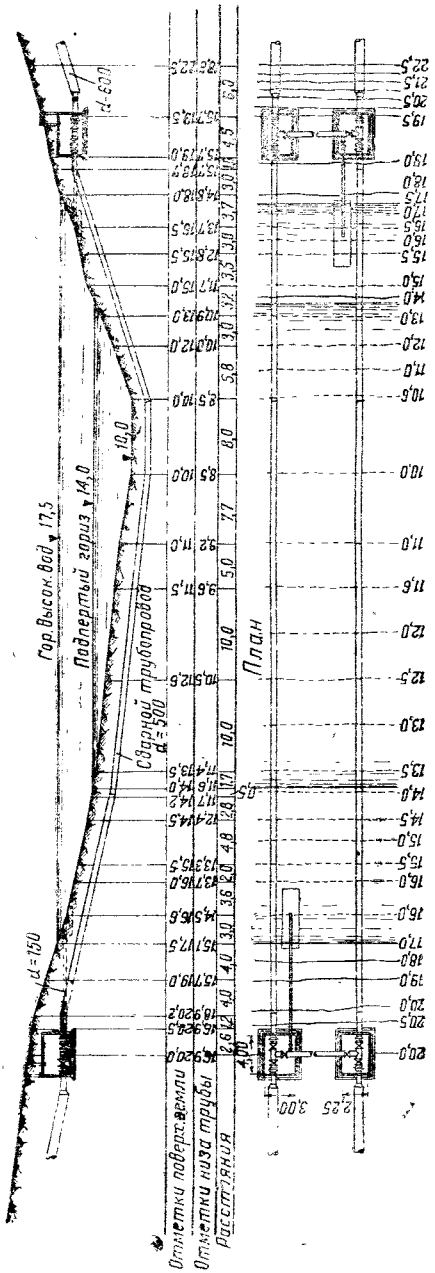


Рис. 77. Дюкер

Дюкеры устраиваются из чугунных или стальных труб. Деревянные дюкеры прокладываются только в редких случаях.

Для самотечных дюкеров могут быть применены железобетонные трубы. Чугунные трубы применяются, главным образом, для дюкеров небольших диаметров и протяжения.

Наиболее крупные дюкеры построены в США и в СССР, а именно: стальной дюкер диаметром 3 000 *мм* на водопроводе г. Сан-Франциско (1934 г.), железобетонный дюкер диаметром 3 660 *мм* на водопроводе г. Лос-Анжелоса (1935 г.), и железобетонный дюкер диаметром 3 500 *мм* на водопроводном канале от Учинского водохранилища до Сталинской станции московского водопровода (1935 г.).

Трубы дюкера укладываются обычно в две нитки. При

больших расходах воды могут потребоваться 3 и даже 4 параллельные нитки.

Экономически целесообразная величина скорости в дюкерах колеблется от 0,9 до 1,70 *м/сек* при диаметре труб 400—1 000 *мм*. Скорость 0,9 *м/сек* является минимальной и для дюкеров малых диаметров (200—350 *мм*).

Аварийная пропускная способность каждой нитки дюкера должна быть выше нормальной на 35—50%. При этом скорость в трубопроводе желательна не более 2,5—3 *м/сек*.

Потери напора в дюкере определяются по общему методу расчета напорных трубопроводов — по формуле Маннинга.

На самотечных водоводах устраиваются дюкеры по типу канализационных; расчет их приводится в курсах по канализации [1].

На каждом берегу, на концах дюкера должны быть устроены колодцы, которые надо располагать на 0,5—1 *м* выше горизонта высоких вод. Колодцы устраиваются из железобетона или кирпича. Размеры колодцев определяются габаритами их внутреннего оборудования, т. е. задвижек, соединительных (фасонных) частей и т. д.

Для опорожнения от воды прилегающих к дюкеру береговых участков трубопровода в случае аварии или ремонта устраивается аварийный выпуск.

§ 36. Производство работ по устройству водоводов и разводящей сети

А. Размещение трубопроводов под проездами

При устройстве водопроводной сети в городах и на промышленных предприятиях необходимо считаться с существующими подземными проводками, как-то: трубопроводами (канализационными, водопроводными, дренажными, газовыми, теплофикационными, нефтепроводными и водосточными), кабелями сильных токов высокого и низкого напряжения, кабелями городских железных дорог, кабелями слабых токов — телефонными, телеграфными, пожарной сигнализации и других электросигнальных систем.

В больших городах СССР введены правила, устанавливающие порядок расположения подземного хозяйства по ширине улиц.

На рис. 78 представлено размещение подземных сооружений, принятое в Москве: все трубопроводы располагаются под проезжей частью улиц, а все кабели под тротуарами.

Б. Разбивка сети на месте и нивелировочные работы

Для разбивки сети на месте, т. е. для переноса трассы трубопровода с рабочих чертежей на местность, необходимы:

[1] Шишкин З. Н., проф., Канализация, Стройиздат, 1946.

1) план улиц или проездов в масштабе 1 : 500 с нанесением границ прилегающих зданий и трассы прокладываемого трубопровода с указанием диаметров труб и колодцев, расстояний между последними, мест вводов в здания и пр.;

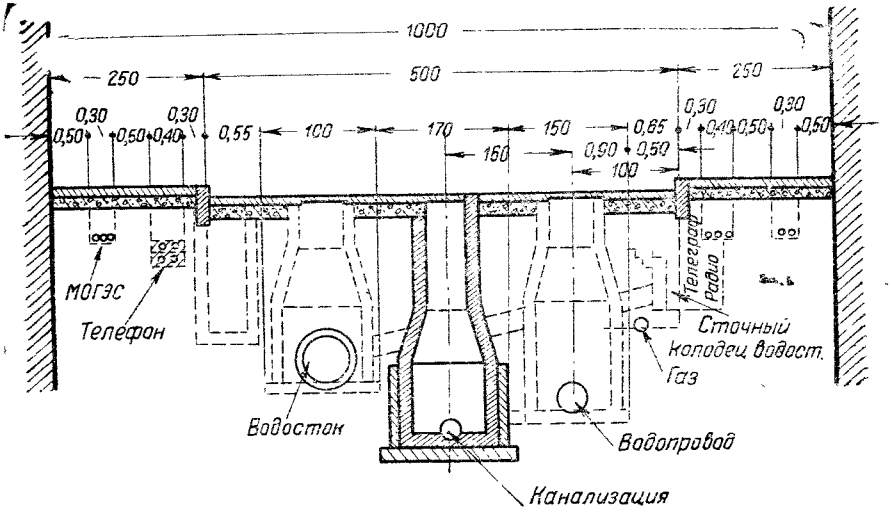


Рис. 78. Поперечный профиль улицы с размещением подземных сооружений

2) продольный профиль трассы трубопровода с нанесением гидрогеологических данных, отметок земли и заложения труб, глубин колодцев, диаметров труб и их уклонов.

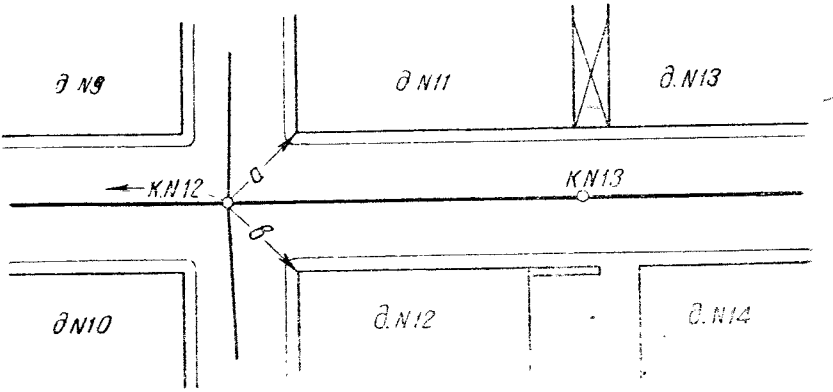


Рис. 79. Разбивка местоположения колодца методом засечек

Прежде всего разбивают на местности ось прокладываемого трубопровода между узловыми колодцами или поворотными точками. При переносе с рабочего чертежа на городскую улицу колодца (например колодца № 12 — рис. 79)

делают не менее двух засечек от неподвижных, хорошо заметных предметов (например от углов домов № 11 и № 12).

Длины a и b отмеряют стальной лентой и в точке их пересечения забивают кол. Длину этих линий следует принимать в пределах длины ленты, т. е. не более 20 *м*. При этом желательно, чтобы линии пересекались под острым углом и в крайнем случае под углом около 90°; при больших углах возможны ошибки при разбивке.

Таким же образом устанавливают местоположение колодца на другом конце разбиваемого участка трубопровода. Затем между закрепленными точками провешивают прямую линию при помощи вешек, пантометра или теодолита.

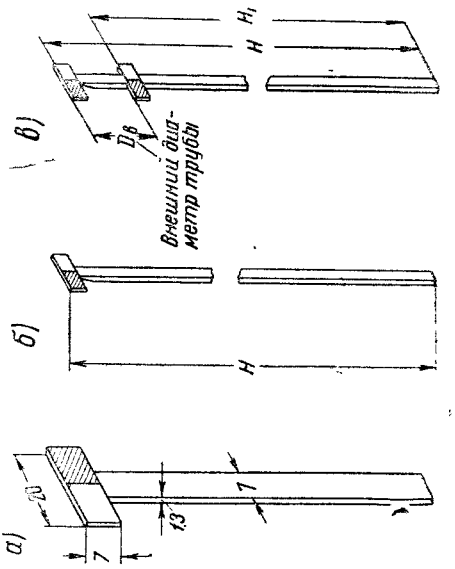


Рис. 81. Визирки: *а* — постоянная; *б* — ходовая с одной планкой; *в* — ходовая с двумя планками

Вслед за разбивкой узловых и поворотных точек делают поверочную нивелировку трассы трубопровода, что позволяет уточнить объем земляных работ. Прямая линия между упомянутыми точками является осью, пользуясь которой производят разбивку траншеи.

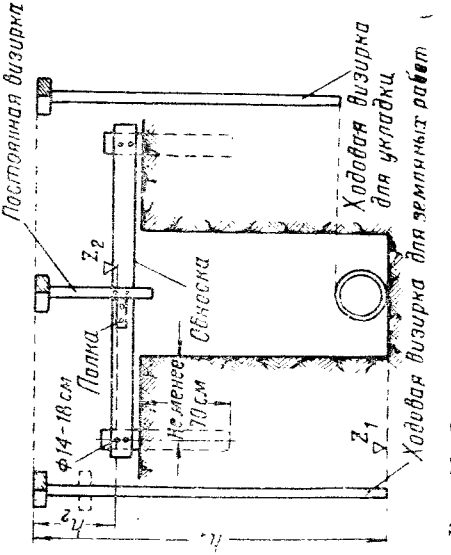


Рис. 80. Обноска и визирки для производства земляных работ и укладки труб

Для правильной (соответствующей проектному профилю) планировки дна траншеи и правильной укладки трубопровода служат обноски и визирки.

Обноски делают из досок толщиной 50 *мм*, врезанных и прочно прибитых к двум столбам из 14—18-*см* бревен, вкопанных на глубину не менее 0,7 *м* и на расстоянии не менее 0,7 *м* от краев траншеи (рис. 80); нормальное расстояние между обносками не более 100 *м*.

В верхнее ребро доски обноски забивают гвоздь, называемый центровым. Между центровыми гвоздями двух соседних обносок протягивают причалку из двойной бечевы или из тонкой обожженной проволоки; эта причалка обозначает точное положение оси трубопровода в плане. При помощи веска, подвешенного на причалку, ось трубопровода переносят на дно траншеи.

К обноске прочно прибивают брусочек-полочку таким образом, чтобы его верхняя профугованная грань была строго горизонтальна (по уровню). Абсолютная отметка этой грани определяется нивелировкой и от нее производят все необходимые при земляных работах и при укладке промеры.

Визирки имеют Т-образный вид и изготовляются из тонких тесин толщиной 13 *мм* и шириной 7 *см*. Визирки бывают постоянные и ходовые (рис. 81).

Постоянную визирку прибивают к обноске таким образом, чтобы линия, проходящая через верхние грани постоянных визирок двух соседних обносок (линия визирования), была параллельна проектному дну траншеи или трубе. Наличие постоянных визирок, определяющих положение этой воображаемой линии, позволяет спланировать дно траншеи и произвести укладку труб в строгом соответствии с проектными отметками. Для этого служит ходовая визирка, которая имеет длину, равную расстоянию между линией визирования и проектной линией дна траншеи. При производстве земляных работ дно траншеи проверяется визированием через три точки (рис. 82) а именно: верхние грани двух постоянных визирок (на соседних обносках) и ходовой визирки, устанавливаемой в траншее в том месте, где желают проверить отметку дна.

Длину ходовой визирки h_1 (рис. 80) принимают кратной 0,5 *м*, но не более 5,0 *м*, так как при большей длине возможны ошибки при визировании. При большей глубине траншеи постоянные визирки прибивают визирной планкой вниз.

Длина постоянной визирки h_2 должна иметь определенную длину на каждой обноске:

$$h_2 = h_1 - (z_2 - z_1) = 4 - (z_2 - z_1),$$

где z_2 — отметка верхней грани полки, а z_1 — отметка дна траншеи под обноской.

Пример. Отметка дна траншеи (низа трубы) в месте установки обноски — в узловом колодце — должна быть (по проектному профилю) $z_1 = 109{,}716$; отметка верхней грани полки, определенная нивелировкой, — $z_2 = 113{,}262$ При длине ходовой визирки $h_1 = 4$ *м* длина постоянной визирки должна быть:

$$h_2 = 4{,}0 - (113{,}262 - 109{,}716) = 0{,}454 \text{ м}.$$

Найденную высоту постоянной визирки точно отмеряют от ее верхней грани и отмечают карандашом, после чего прибивают визирку к обноске рядом с полкой так, чтобы карандашная линия совпала с верхней гранью полки.

Теми же постоянными визирками пользуются и при укладке труб. Ходовая визирка в этом случае должна быть короче на величину, равную наружному диаметру трубы и ставят ее при визировании не на дно траншеи, а на трубу. Для труб небольшого диаметра можно пользоваться одной визиркой для земляных работ и для укладки труб, но с двумя поперечными планками (пунктир на рис. 80), верхней из которых пользуются при земляных работах, а нижней при укладке труб.

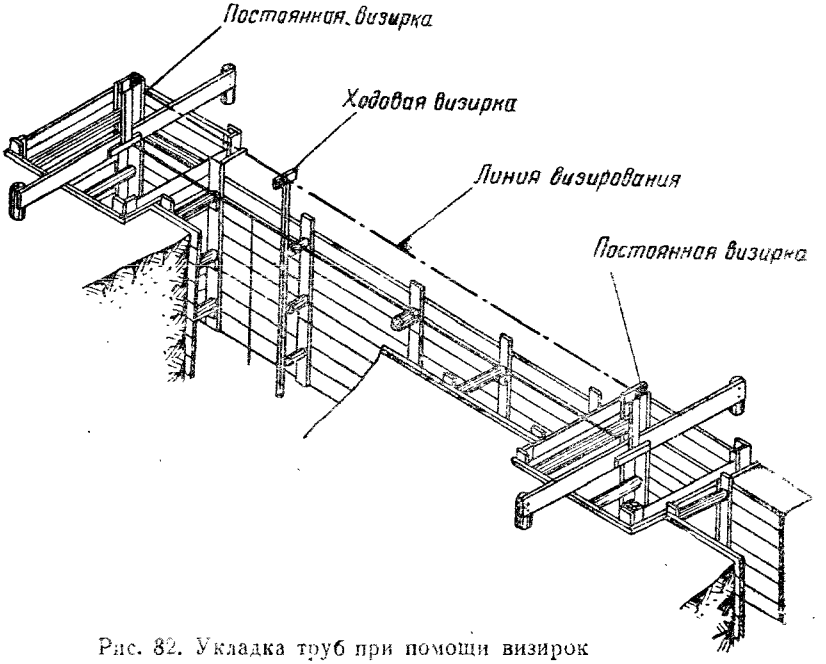


Рис. 82. Укладка труб при помощи визирок

Для более отчетливого визирования одна половина планки постоянной визирки окрашивается в белый цвет, а другая — в красный, а ходовой визирки наоборот.

В. Земляные работы по рытью траншей

Траншеи для прокладки водопроводных труб в зависимости от характера грунта возможны трех типов (рис. 83): 1) с отвесными стенками, 2) с откосами, 3) смешанного типа — низ траншеи с отвесными стенками, верх — с откосами.

Отвесные стенки большей частью требуют крепления их деревянными распорами, что удорожает производство работ. При устройстве откосов крепления не нужно, но объем земляных работ увеличивается. Наконец, смешанный тип целесообразен для глубоких траншей с грунтовыми водами в их нижней части.

Крутизна откосов зависит от рода грунта. В песке уклон откоса должен быть от 1:0,75 до 1:1; в суглинках от 1:0,33 до 1:0,75; в глинистых грунтах от 1:0,25 до 1:0,67; в скале 1:0, т. е. в скалистых грунтах стенки отвесные, а в сухих глинистых грунтах близки к отвесным; в этих грунтах креплений не устраивают.

Ширина траншеи понизу должна быть для чугунных и стальных труб диаметром D до 500 *мм*:

$$b = D + 0{,}60 \ м;$$

для чугунных и стальных труб диаметром $D = 500$ *мм* и более

$$b = D + 1{,}0 \ м.$$

Для асбестоцементных, бетонных и железобетонных труб ширина траншеи должна быть на 0,10—0,20 *м* больше.

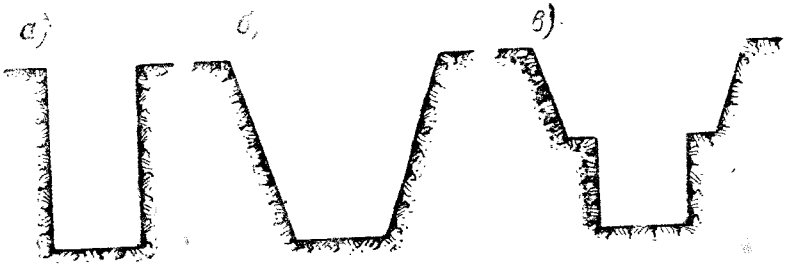


Рис. 83. Типы траншей для водопроводных труб

Для рытья траншей применяются экскаваторы одноковшевые или многоковшевые. Наиболее надежным является одноковшевый экскаватор с ковшом емкостью 0,25—0,75 $м^3$, при помощи которого можно выполнить также весь комплекс работ по устройству водопроводной сети, а именно: рытье траншей, забивку свай для крепления траншей, укладку труб, засыпку канавы, корчевание корней. Для этого экскаватор должен иметь следующие приспособления: 1) механическую лопату, 2) обратную лопату (дитчер), 3) драглайн, 4) грейфер, 5) скрепер, 6) засыпатель (бекфиллер), 7) кран, 8) копер, а также струг и корчеватель корней.

Первые четыре приспособления применяются для раскопки траншей. Механические лопаты при устройстве водопровода применяются редко, так как использование их целесообразно при разработке каналов и только таких траншей, ширина которых позволяет движение экскаватора по дну.

Обратная лопата — дитчер наиболее удобна и применяется чаще всего для устройства траншей, так как она копает ниже плоскости стояния экскаватора.

Драглайн-ковш разрабатывает грунт тоже ниже плоскости стояния экскаватора, но требует большого простора в работе

и поэтому применяется только при слабых грунтах, когда работать обратной лопатой нецелесообразно.

Грейфером разрабатывают сыпучие, слабые и мокрые грунты.

Из одноковшевых экскаваторов на сетевых работах применяются, главным образом, неполноповоротный гусеничный экскаватор „Комсомолец", модели М-1-ДВ (рис. 84), имеющий ковш объемом 0,35 $м^3$. Он может быть снабжен любым из перечисленных приспособлений, но при рытье траншей обычно применяется с обратной лопатой, т. е. как дитчер. Производительность его 35 $м^3/час$, глубина разработки до 3,5 $м$.

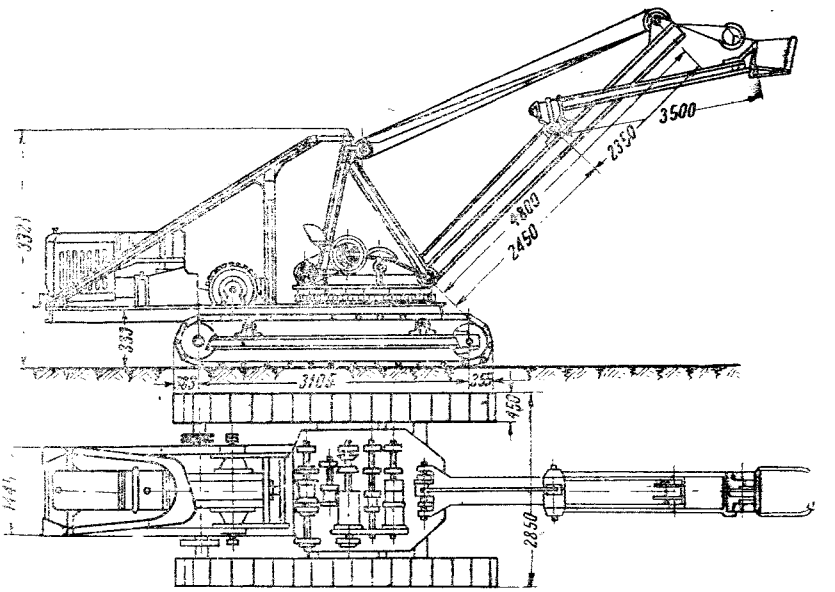


Рис. 84. Экскаватор „Комсомолец"

Для раскопки траншей, устраиваемых в грунтах, способных сохранять отвесные стенки без крепления хотя бы непродолжительное время, применяются многоковшевые траншейные экскаваторы-канавокопатели МК-1 (рис. 85) и МК-II.

Рабочим органом этих экскаваторов является бесконечная цепь с закрепленными на ней ковшами. Цепь размещена на ковшевой раме, один конец которой шарнирно закрепляется на раме экскаватора, а другой конец при помощи особого механизма может подниматься или опускаться на требуемую глубину.

Канавокопатель МК-I имеет гусеничный ход, дает производительность 40—60 $м^3/час$ и пригоден для разработки траншей шириной 0,775 $м$ и глубиной 2,25 $м$. В таких траншеях можно укладывать чугунный трубопровод диаметром до 250 $мм$ и стальной до 350 $мм$. Экскаватор МК-II на колесно-гусеничном

ходу имеет производительность 70—100 $м^3/час$ при ширине траншеи 1,20 *м* и глубине до 6 *м*.

Г. Крепление траншей

В зависимости от свойств грунта, глубины траншей и местных условий применяется крепление горизонтальное, вертикальное или шпунтовое.

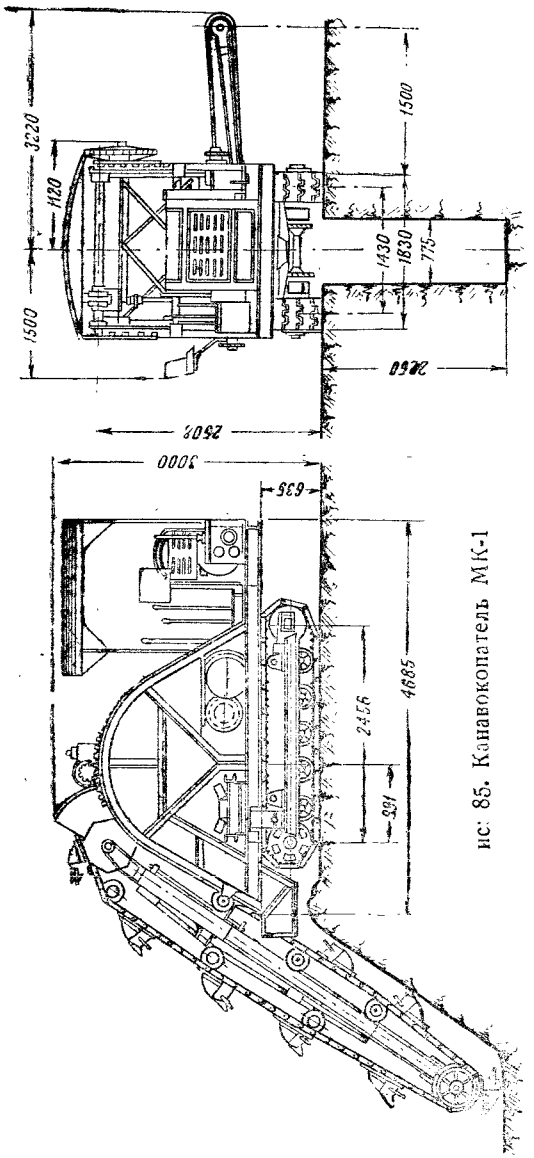
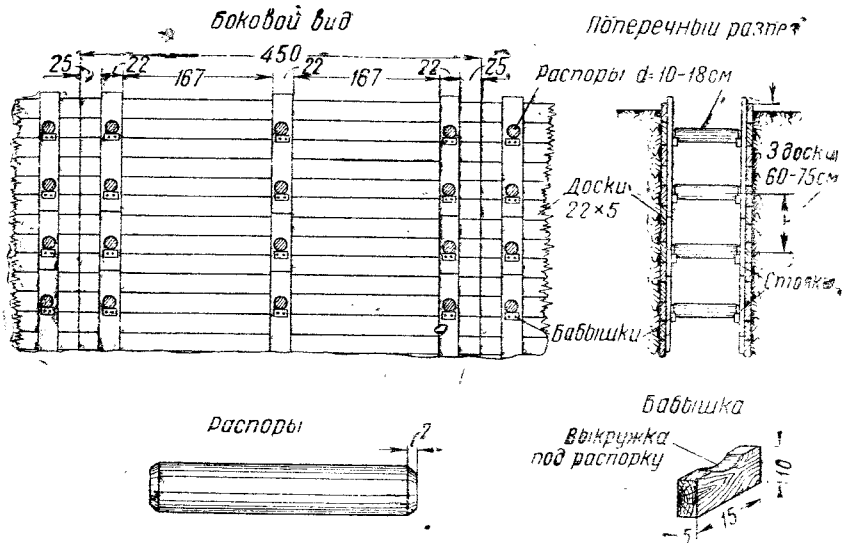


Рис. 85. Канавокопатель МК-1

Горизонтальное крепление может быть сплошным или вразбежку. Сплошное крепление (рис. 86) состоит из уложенных горизонтально досок шириной 20—25 *см*, прижатых к стенкам траншей распорами из бревен диаметром 12—18 *см*, упирающимися в дощатые стояки. Такое крепление применяется в малоустойчивых грунтах. Для обеспечения прочности крепления распоры должны быть на 10—20 *мм* длиннее расстояния между прижатыми к доскам стояками; распоры ставятся на место ударами кувалды. В сухих грунтах (глина, суглинок, крупный щебень и галька) возможно крепление вразбежку (рис. 87); тогда доски укладываются на расстояниях 100—200 *мм* одна от другой.

Вертикальное крепление целесообразно применять в грунтах сыпучих, водоносных и особенно при рытье траншей многоковшовыми экскаваторами. В последнем случае применяется исключительно вертикальное крепление

вразбежку, которое должно производиться быстро вслед за экскаватором. После передвижения экскаватора на каждые 0,5 *м*



Р с. 8[illegible]. Сплошное горизонтальное крепление

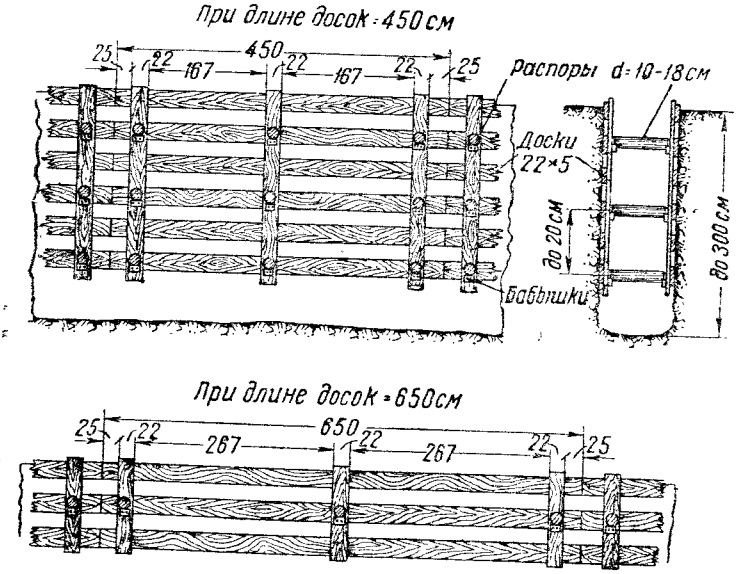


Рис. 87. Горизонтальное крепление вразбежку

ставят две вертикальных доски, которые распирают двумя временными распорами.

Далее по мере передвижения экскаватора устанавливают

верхние рамы с постоянными распорами, а затем и нижние рамы. Временные распоры снимают и используют повторно.

Шпунтовое крепление. Рытье траншей в плывунах (разжиженных грунтах) возможно только при условии предварительного устройства шпунтового крепления — одноярусного или двухъярусного.

Установка первого яруса производится после того, как траншея вырыта на глубину, допустимую для данного грунта (0,5—1 *м*). К стенкам траншеи прижимают поставленные на ребро закладные рамы длиной 6,5 *м* (рис. 88) и к каждой из них 4—5 маячных шпунтин. Далее устанавливают внутренние верхние рамы и распирают их распорами против маячных шпун-

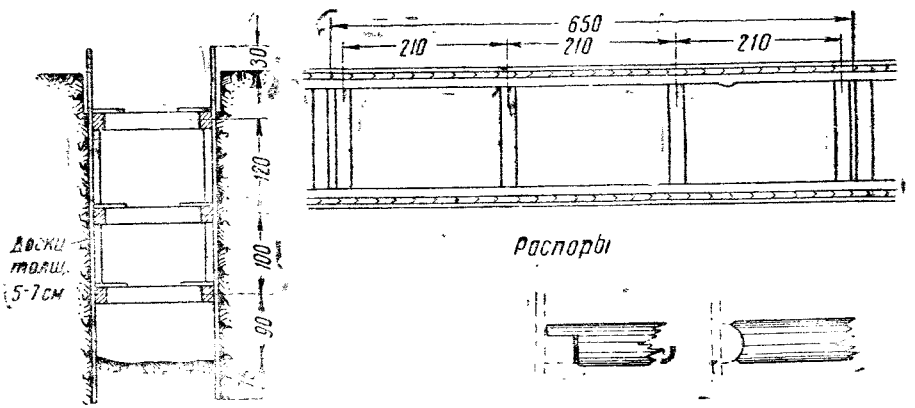


Рис. 88. Шпунтовое крепление одноярусное

тин. Затем между маячными шпунтинами ставят впритык промежуточные шпунтины толщиной 5—7 *см* и забивают в грунт на 0,5—0,75 *м* ниже дна траншеи.

Для обеспечения строго вертикальной забивки шпунтин на высоте 2—2,5 *м* над первыми рамами ставят временную направляющую раму.

В глубоких траншеях необходимо двухъярусное крепление, причем установка второго яруса должна производиться с отступом от первого ряда не менее 10 *см* (рис. 89), который нужен для свободного прохода бабы или пневматического молота при забивке шпунтин.

Для забивки шпунтин первого яруса вполне пригоден легкий свайный молот. Шпунтины второго яруса необходимо забивать чугунной штыревой бабой или пневматической шпунтобойкой.

На забиваемую шпунтину устанавливают штыревую бабу, пропускают через нее штырь (рис. 90), который слегка забивают в шпунт. Один человек должен держать штырь вертикально и следить за правильностью ударов, а бригада из 4—6

человек (сообразно с весом бабы) поднимает и опускает ее. На шпунтины надевают сверху бугели из полосовой или швеллерной стали.

Пневматическую шпунтобойку или сваебой СБ-38, показанный на рис. 91, ставят на шпунтину, которая плотно обхваты-

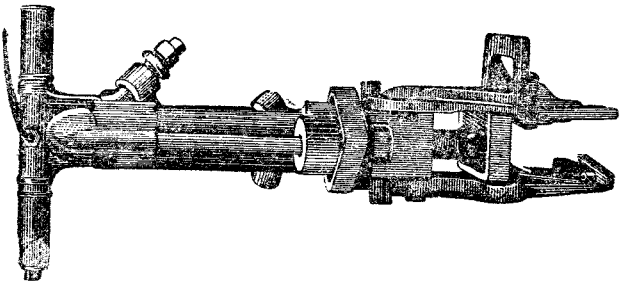


Рис. 91. Пневматический сваебой СБ-38

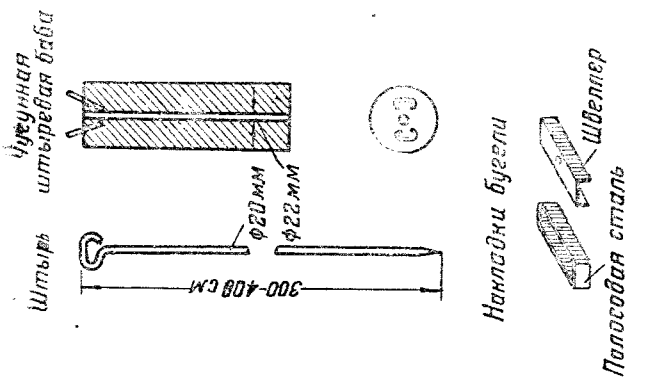


Рис. 90. Чугунная штыревая баба для забивки шпунта

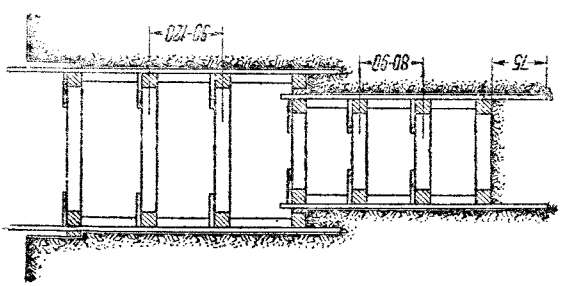


Рис. 89. Шпунтовое крепление двухъярусное

вается вверху щеками сваебоя. Сжатый воздух при нажатии на курок проходит в распределительные устройства, и боек сваебоя дает до 1 300 ударов в 1 мин. по торцу шпунта.

Засыпка траншей должна сопровождаться обязательной разборкой креплений. Крепления разбираются по мере засыпки

траншей — в сухих грунтах по 3 доски зараз, а в неустойчивых и мокрых грунтах по 1—2 доски.

Вынимаемые доски и бревна-коротыши (распоры) используют на следующих участках. Износ лесоматериала принимается в 10%, т. е. оборачиваемость его должна быть 10-кратной. Более всего изнашиваются деревянные распоры-коротыши, поэтому при устройстве креплений иногда применяют винтовые распоры, цельнометаллические (рис. 92) либо с металлической винтовой пятой из отрезков стальных труб, надеваемых на концы распор (рис. 93).

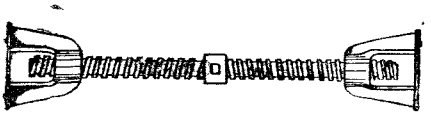


Рис. 92. Цельнометаллическая винтовая распора

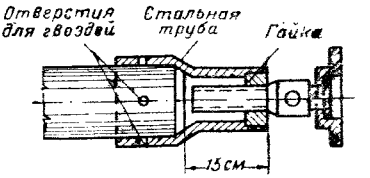


Рис. 93. Винтовая пята

При разборке вертикального и шпунтового креплений сперва снимаются рамы, как только травшея засыпана до их уровня. Вертикальные доски или шпунтины вытаскиваются лишь после засыпки всей траншеи и разборки верхней рамы. В некоторых случаях выемка угрожает смещением уложенных трубопроводов и нарушением прочности стыков. Тогда приходится оставлять крепление в земле,—это относится, главным образом, к нижнему ярусу шпунтового ограждения. Засыпку крепления производят с разрешения начальника работ и с составлением соответствующего акта.

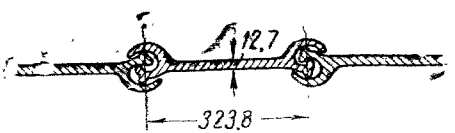


Рис. 94. Металлический шпунт Лакованна

Для повышения оборачиваемости шпунта и облегчения его вытаскивания целесообразна замена дощатого шпунта металлическим, например, типа Лакованна (рис. 94). Его легче забивать и вытаскивать, чем деревянный шпунт, он дает более плотное соединение, при этом производство работ ускоряется и становится более безопасным.

Д. Опускание труб

Трубы должны быть заранее, до начала работ по укладке, развезены по трассе и размещены параллельно траншее с расстоянием между торцами 0,1—0,2 *м*. Можно также укладывать трубы группами в штабелях по 10—12 шт. в отдельных пунктах, но первый способ размещения труб предпочтительнее.

Опускание труб в траншею должно быть плавным. Нельзя допускать сбрасывания их на дно траншеи, а также сотрясений и ударов о распоры.

Трубы малого диаметра (до 250 *мм*) опускают при помощи канатов вручную. Если распоры поставлены на расстоянии, которое меньше длины трубы, то трубы опускают, просовывая их между распорами. Тяжелые трубы диаметром 300—900 *мм* опускают при помощи талей или других грузоподъемных приспособлений. Над трубой устанавливают козла (рис. 95) или треногу с подвешенной талью. Трубу обматывают тросом около ее середины и подвешивают на крюк тали так, чтобы гладкий конец немного перевешивал раструбный конец трубы. В таком наклонном положении трубу опускают в траншею гладким концом книзу, чтобы она не задела распор. Приэтом приходится иногда делать перераспорку нижней части траншей.

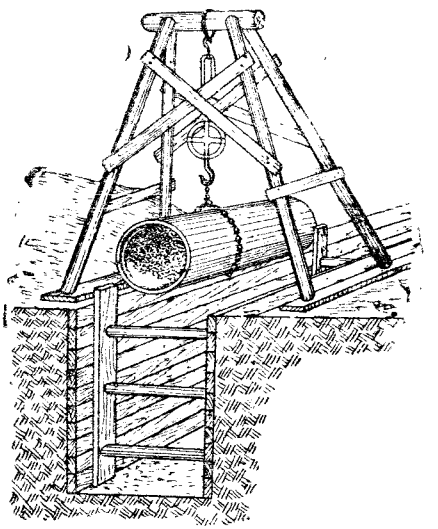


Рис. 95. Укладка труб с козел

Раструбные трубы при опускании надо заводить гладким концом в раструбы ранее уложенных соседних труб. После вставки оба конца трубы центрируют при помощи дощатого шаблона, вставляемого в раструб, что необходимо для получения одинакового по ширине кольцевого пространства между торцевой окружностью гладкого конца трубы и внутренней поверхностью раструба. Трубы больших диаметров можно также укладывать при помощи поворотных кранов или других подъемных механизмов.

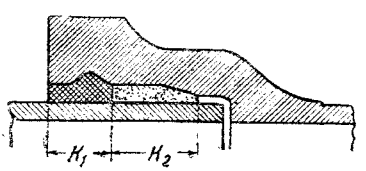


Рис. 96. Заделка раструбного стыка

Е. Заделка стыков чугунных труб

Для заделки стыков чугунных раструбных труб в кольцевой зазор раструба на глубину K_2 (рис. 96) вводится набивка из просмоленной пряди, которая плотно и равномерно законопачивается при помощи ручника (легкого молотка) и конопатки (рис. 97). Остальная часть раструба—K_1 (рис. 96) заполняется свинцом, цементом или другим материалом (из перечисленных далее).

Для заливки расплавленного свинца у раструбов устраивают глиняную форму или устанавливают металлическую форму. Для устройства глиняной формы кольцевое отверстие раструба обвивают веревкой толщиной 10—12 *мм* (рис. 98) и обмазывают глиной с небольшим отверстием вверху. Затем веревку вытягивают и к отверстиям приделывают литник из глины. В образовавшееся кольцевое пространство и заливают через литник расплавленный свинец.

Металлическая форма представляет собой кольцо (рис. 99) из двух половин диаметром, соответствующим диаметру трубы.

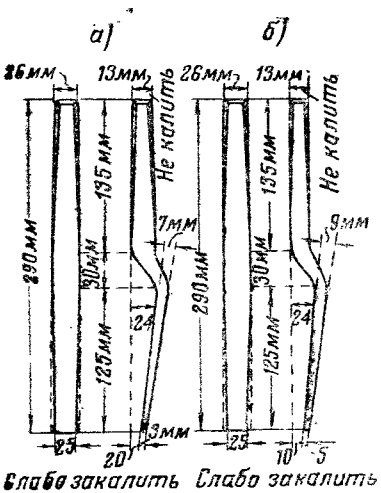


Рис. 97. Конопатка: *а*—ручная; *б*—под молоток

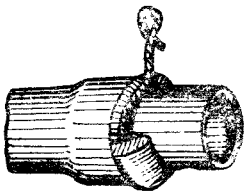


Рис. 98. Глиняная форма для заливки стыка свинцом

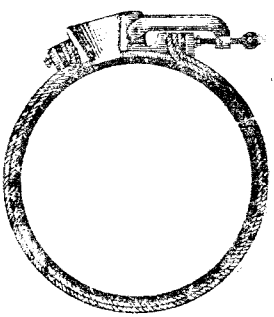


Рис. 99. Металлическая форма для заливки свинца

Когда свинец остынет, его чеканят ручной чеканкой (рис. 100), ударяя по ней тяжелым молотком.

Применяют также пневматические чеканки. На рис. 101 показан рубильно-чеканный молоток РК-41, состоящий из ствола *1* с ударником *2*. Сжатый воздух подводится по шлангу к футорке *3* и при нажатии курка *4*, обтекая кольцевую выточку *5* вентиля *6* по каналу *7*, рукоятки *8* поступает в золотниковую коробочку *9* с золотником *10*. Рабочий инструмент — чеканка вставляется в ствол молотка со стороны буксы *11*. Вес чеканки — 4,5 *кг*, длина 260 *мм*, расход воздуха 0,7 $м^3$/*мин*, давление воздуха 5—6 *ат*. Число ударов в 1 мин. 2500. Производительность труда при пневматической чеканке в 3—5 раз больше производительности ручной чеканки.

Свинцовый стык обладает эластичностью, благодаря которой

он сохраняет водонепроницаемость в случае даже некоторой просадки грунта под трубопроводом.

Кроме расплавленного свинца для заделки стыков применяется свинцовая шерсть, т. е. свинцовая стружка, которая закладывается в раструб слоями и зачеканивается в холодном состоянии.

В целях экономии свинца, начиная с 1929 г., широко применяют заделку раструбов цементом. Так же как и при свинцовой заделке, в раструб вводят пеньковую набивку, но в части, примыкающей к цементной заделке, набивка должна быть непросмоленной. После этого в несколько приемов набивают 4—6 слоев чистого портланд-цемента с добавкой 10% по весу воды. При помощи конопатки и молотка цемент уплотняют до необходимой твердости.

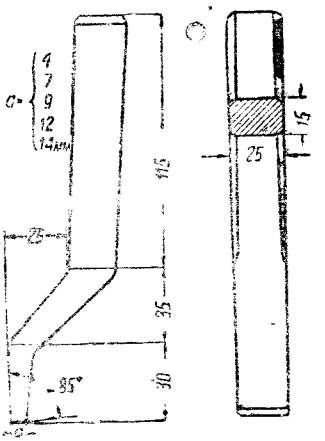


Рис. 100. Чеканка для литого свинца

Заделка раструбных стыков цементом допустима для трубопроводов любых диаметров и давлений, однако цементный стык не обладает упругостью. Вследствие этого цементная заделка неприемлема: 1) в слабых грунтах, 2) в местах с интенсивной подвижной нагрузкой, 3) в сейсмических районах, 4) в районах вечной мерзлоты.

Другие заменители свинца — это, главным образом, асбестоцемент, отчасти сернистые сплавы и алюминий.

Асбестоцемент состоит из 30% асбеста и 70% цемента (по весу), и заделка им труб производится так же как и цементом, т. е. слоями, с последующей их зачеканкой.

При агрессивных грунтовых водах поверхность асбестоцементного стыка изолируется мастикой из нефтяного битума. Гибкость асбестоцементных стыков выше, чем цементных; в частности, они лучше сопротивляются вибрационным нагрузкам.

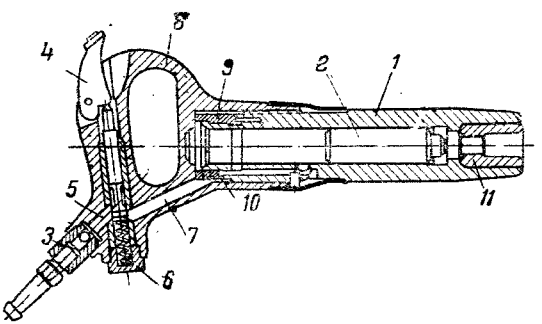


Рис. 101. Рубильно-чеканный молоток РК-41 пневматического действия

Ввиду многих преимуществ по сравнению с цементными стыками, асбестоцементные стыки в последнее время получают все более широкое распространение.

Сернистый сплав состоит из 60—65% серы и 30%

инертных наполнителей, 3—4% древесного угля и 1—2% нафталина или тиокола. На место работ сернистый сплав доставляется в виде чушек и после расплавления в котелках его заливают в раструб подобно свинцу.

Такие стыки быстро твердеют, что позволяет быстро пускать трубопроводы в действие; их применение особенно целесообразно в солончаковых грунтах ввиду их химической стойкости. Однако для слабых грунтов они не пригодны вследствие недостаточной пластичности. Широкого применения сернистые стыки пока не имеют.

Алюминий получается из отходов производства (бракованные многожильные провода); могут быть также использованы старые алюминиевые провода. Заделка стыков алюминием производится холодным способом так же, как и заделка свинцовой шерстью, но последние 5 *мм* заделываемого стыка заполняются антикоррозийной битумной мастикой. Заделка стыков алюминием также еще мало применяется.

Если принять стоимость свинцового стыка за единицу, то, по данным Института Водгео стоимость цементного и асбестоцементного стыка составляет 0,45, алюминиевого 0,75, из сернистых сплавов 0,55[1].

Ж. Укладка и соединение стальных труб

Стальные трубы сначала сваривают в секции длиной 100—200 *м* возле траншеи, а затем опускают в нее и секции сваривают друг с другом. Порядок работы следующий: трубы, развезенные по трассе, укладывают на лежни в 1,5—2 *м* открая траншеи, точно центрируют и прихватывают сваркой в четырех местах по окружности стыка. После этого стык сваривают поворотной сваркой, т. е. сначала верхнюю половину, а затем после поворота трубы на 180° — вторую половину.

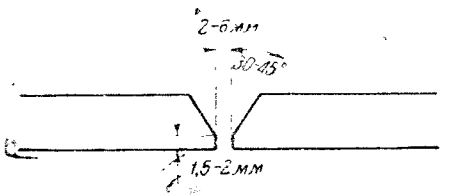


Рис. 102. Фаски для сварки концов стальных труб

До сварки необходимо очистить концы трубы от ржавчины и снять фаски, как показано на рис. 102 (если на доставленных трубах фаски не сняты).

Применяется либо автогенная (газовая) сварка либо электросварка.

Газовая сварка производится пламенем с температурой 3500°, получаемым при горении смеси кислорода и ацетилена. При помощи горелки пламя направляют на свариваемые концы

[1] Институтом Водгео испытан в лабораторных условиях стык, заделанный металлической отожженной битумизированной стружкой; полученные результаты позволяют рассчитывать, что такой стык получит широко распространение благодаря его многим положительным свойствам.

труб, а как только они начинают плавиться, вводят присадочную стальную проволоку, которая расплавляясь, образует сварной шов.

Сущность электросварки в том, что свариваемые трубы присоединяются к одному полюсу электрической цепи, а электрод — к другому. При сварке надо прикоснуться электродом к свариваемой поверхности трубы и тотчас же отодвинуть его на 2—3 *мм*. Тогда между трубой и электродом возникает вольтова дуга, имеющая температуру до 4000°. Мельчайшие частицы расплавленного металла с конца электрода наносятся на свариваемую поверхность трубы, которая тоже плавится в точке соприкосновения с вольтовой дугой. Образующееся углубление заполняется расплавленным металлом электрода. Если передвигать электрод по окружности стыка постепенно, то между свариваемыми поверхностями получается наплавленный шов, прочно и герметично соединяющий обе трубы.

При автогенной сварке исполнитель надевает предохранительные очки для защиты глаз; при электросварке надевается специальная маска или щиток, так как необходимо защитить все лицо от лучей вольтовой дуги. Для защиты кожи рук надеваются рукавицы с крагами.

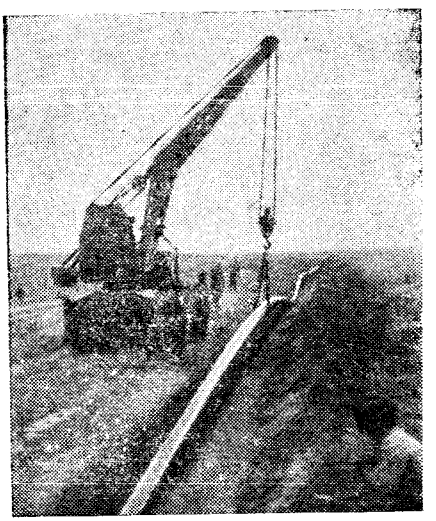


Рис. 103. Укладка стального водовода в траншею длинными секциями (плетями)

Применение сварки позволяет производить работы по укладке стальных трубопроводов с большой скоростью. Так, Гурьевский водовод, подающий воду для нефтяных промыслов от г. Гурьева до Кос-Агыла, протяжением 183 *км* диаметром 300 *мм* был построен всего за 4 месяца, причем было сварено около 20 000 стыков.

Трубы соединялись сначала в секции длиной до 200 *м* путем поворотной электросварки, а затем посредством потолочной электросварки в плети длиной до 2 *км*.[1] На трубы наносилась изоляция против коррозии (см. далее), для чего наружная поверхность труб предварительно тщательно очищалась. Очистка производилась механическим способом при помощи трубочистилок. Трубы (плети) укладывались в траншею после нанесения изоляции посредством автокранов „Январец" АТК-1 (рис. 103).

Во время Великой отечественной войны в 1941—1942 гг. подобными методами построен большой туркменский стальной водовод по трассе Казанджик—Небит-Даг—Вышка общим протяжением 130 *км*.

---

[1] Поворотной называется такая сварка, когда трубопровод поворачивается по мере наложения шва. Потолочная сварка выполняется на неподвижном трубопроводе, для чего сварщику приходится вести сварку над голо-

3. Засыпка траншей

Перед засыпкой траншей надо тщательно заполнить приямки (вырытые в местах расположения стыков для удобства их заделки) грунтом, утрамбовать его и подбить землю с боков трубы. После этого засыпают траншею на 0,20—0,25 *м* выше трубы и утрамбовывают грунт сначала по бокам трубы, а затем уже над ней. Последующую засыпку продолжают слоями

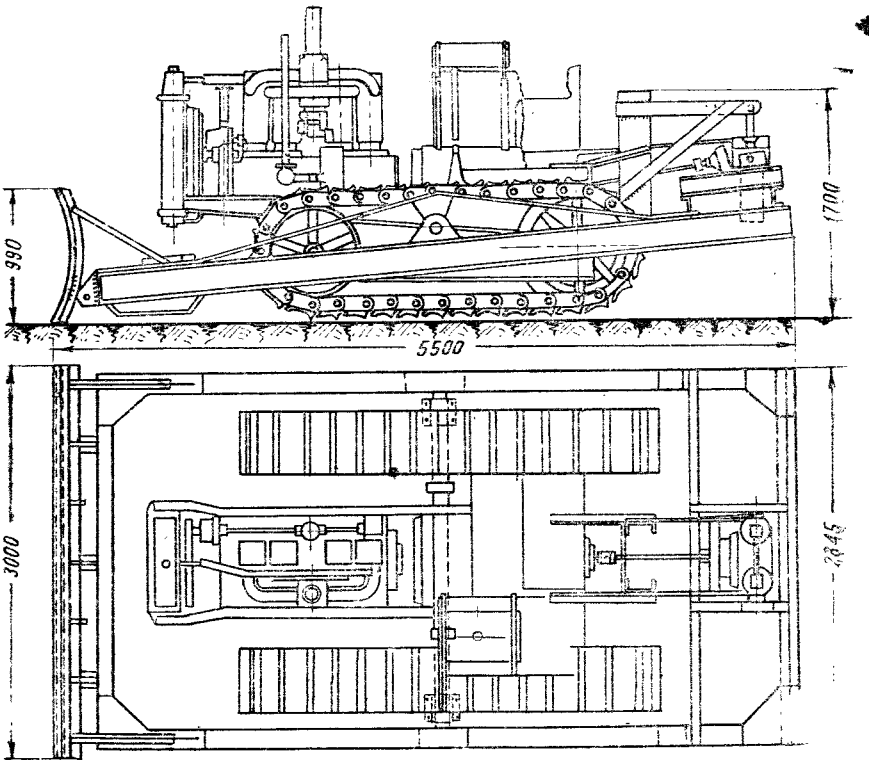


Рис. 104. Бульдозер для засыпки траншей с гидравлическим управлением

по 0,20—0,25 *м* с трамбовкой. При плохой трамбовке получается просадка грунта, что может вызвать неравномерную нагрузку на трубу.

Как указано, по мере засыпки ведется постепенная разборка креплений траншеи.

При значительном объеме засыпки применяют **бульдозеры** (рис. 104), имеющие производительность 15 $м^3/час$, или ковшевые канавозасыпатели (20 $м^3/час$). Трамбование в этом

вой (т. е. как бы на потолке). Для этого под стыком вырывается приямок, лежа в котором сварщик и производит сварку. Потолочная сварка отнимает много времени и требует сварщиков высокой квалификации.

случае осуществляется пневматическим инструментом от передвижного компрессора.

И. Испытание (опрессовка) уложенных трубопроводов

После укладки и засыпки трубопровод до сдачи его в эксплоатацию подвергают гидравлическому испытанию[1]. Для опрессовки трубопровод разделяют на участки длиной 500—1 000 *м*. По концам участка ставят заглушки и устраивают надежные упоры, чтобы предотвратить разрыв линии, возможный при раструбных стыках. В высоких точках трубопровода монтируют стояки с вентилями для выпуска воздуха. К нижней точке трубопровода присоединяют линии диаметром 25—50 *мм* для наполнения его водой (от существующей сети или насосом от ближайшего источника). Наполнение нужно производить медленно, чтобы лучше удалить воздух из труб. Когда испытываемый трубопровод наполнен водой (на что указывает вытекание воды из воздушных стояков), линию, подводящую воду, отключают. После этого трубопровод опрессовывают при помощи передвижного гидравлического пресса.

Испытание производят давлением, равным удвоенному рабочему, если последнее меньше 5 *ат* или равным рабочему давлению плюс 5 *ат*. Трубопровод считается выдержавшим испытание, если пробное давление понижается на 1 *ат* не менее чем за 3 мин.

Причиной падения давления является наличие неплотностей в трубопроводе, вызывающих утечку, которая не должна превышать установленных норм.

Необходимо учесть, что имеющийся в трубах воздух не удается полностью удалить, и при испытании труб он является аккумулятором, задерживающим падение давления. Поэтому кроме испытания линии на пробное давление надо определить возможную утечку из нее воды при рабочем давлении, вводя поправку на объем воздуха, находящегося в трубопроводе.

Допускаемая суточная утечка в *л* при рабочем давлении в линии определяется по формуле, применяемой на московском водопроводе:

$$q = \frac{1\,440\,(n - n_1)\,W}{(n_1 + 1)\,(n + 1)\,t}\sqrt{\frac{n_{раб}}{n}}, \qquad (35)$$

где n — давление в *ат* (по манометру), до которого прессуется линия;

n_1 — давление в *ат* (по манометру), наблюдаемое в испытуемой линии через t минут (при выключенном прессе);

$n_{раб}$ — рабочее давление в *ат*;

[1] В отдельных случаях производят предварительное испытание трубопровода до засыпки траншеи.

W — объем воздуха в *л*, находящегося в воде, заполняющей испытываемую линию (при нормальном атмосферном давлении).

Величину W находят из закона Бойля-Мариотта, допуская, что вся вода, накачиваемая в испытываемый трубопровод идет на сжатие воздуха, т. е. что утечки нет. Тогда:

$$W = \frac{(p+1)(p_1+1)}{p_1-p} Q, \qquad (36)$$

где p и p_1 — давления в *ат* (по манометру) в начале и в конце подкачки воды в линию;

Q — количество воды в *л*, накачанной в линию за период подъема давления от p до p_1.

Величина утечки допускается

на 1 *дм* диаметра, 1 *км* длины и 1 *ат* давления для чугунных труб — не более 1 *м³/сутки*; для асбестоцементных труб — не более 3 *м³/сутки*: для железобетонных труб — не более 1—1,25 *м³/сутки*; для деревянных непрерывных клепочных труб — от 1,5 до 6,0 *м³/сутки*.

К. Промывка и дезинфекция трубопроводов

Все трубопроводы диаметром не более 600 *мм* перед пуском в эксплоатацию промываются сильным потоком воды до тех пор, пока выпускаемая из них вода не станет чистой. Трубопроводы диаметром 700 *мм* и выше предварительно осматривают изнутри, освобождают от загрязнений и обмывают водой при помощи щеток.

После этого, если водопровод подает хозяйственно-питьевую воду, производят дезинфекцию, для чего трубопровод наполняют на сутки водой, содержащей 20—40 *мг/л* активного хлора. После 24-часовой выдержки хлорную воду выпускают и вновь производят промывку трубопровода чистой водой.

§ 37. Производство работ по устройству дюкеров

При пересечении с малой, несудоходной рекой дюкер прокладывается в траншее, огражденной шпунтовыми рядами или перемычкой. Если грунт на дне реки песчаный, то целесообразно использование живой силы речного потока для вымывания грунта течением воды. С этой целью со стороны течения реки вдоль ряда свай ставятся сбитые из теса щиты, не доходящие до дна реки на 35—40 *см*. Стеснение живого сечения реки вызывает внизу под щитом большую скорость воды и вымывание грунта. Этот так называемый метод искусственной эррозии был применен, например, при постройке дюкера через р. Клязьму, где он дал большую экономию на земляных работах. Живая сила речного потока может быть использована и для засыпки траншей после укладки труб и заделки стыков.

Для этого нужно только переставить щиты на 2—3 *м* выше по течению от траншеи. Тогда вследствие изменения скоростного режима реки траншея будет занесена песком.

Устройство дюкера на большой судоходной реке является обычно сложной и трудной работой. Для выполнения ее необходима особенно тщательная подготовка и организация производства работ.

Рытье траншеи для дюкера при ширине реки до 75 *м* может производиться драглайном (канатно-скребковым экскаватором с подвесными саморазгружающимися ковшами). На реках шириной до 150—200 *м* применяют скреперные лебедки, устанавливаемые на оси дюкера и приводимые в действие электромотором или бензиновым двигателем. Однако применение ковша-скрепера целесообразно только при малых скоростях в реках, так как в противном случае траншея быстро заносится песком.

На больших судоходных реках рытье траншей производят плавучим грейфером или землечерпалкой. На береговых участках дюкера применяют одноковшевые экскаваторы или грейферы на гусеничном ходу. Грунт, вынимаемый из траншеи в русле реки, доставляют на шаландах к берегу, где разгружают их при помощи транспортеров. Траншея при песчаных грунтах должна иметь двухсторонние откосы 1:2 или даже 1:3. Учитывая возможность некоторого заноса песком, глубину траншеи принимают обычно с небольшим запасом (0,5—1,0 *м*).

Соответствие дна траншеи проектным отметкам проверяют в необходимых случаях с помощью водолазов.

При наличии в русле реки каменистых грунтов, пней и т. п. применяют подводные взрывные работы.

Рассмотрим наиболее распространенный способ опускания дюкера—с подмостей. Сборку труб дюкера в этом случае производят на специальной монтажной площадке выше по течению реки по отношению к трассе пересечения. Стальные трубы сваривают участками по 35—40 *м*. После сварки участки трубопровода заглушают и испытывают воздушным давлением от компрессора. Затем наносят изоляцию и готовые секции дюкера доставляют на плаву к месту их укладки. Здесь прибуксированные трубы при помощи талей поднимают на подмости, устроенные вдоль трассы дюкера. Подмости устраивают не сплошные, а с разрывами для пропуска судов. Разрывы между подмостями ограничены, с одной стороны, необходимостью сохранить минимальный проход для речных судов (35—40 *м*), а с другой стороны – величиной допускаемого напряжения в трубах дюкера при свободной подвеске их между соседними подмостями. Вместе с тем места установки подмостей должны совпадать с точками перегиба труб дюкера.

При опускании дюкера с подмостей нужно: 1) проверить

напряжение в трубах и стрелу прогиба при свободной подвеске секций дюкера между двумя опорами (подмостями) и 2) определить давление на опоры и рассчитать во всех деталях наиболее нагруженные подмости и подъемные приспособления.

Пример. Требуется рассчитать речной дюкер из двух стальных трубопроводов внутренним диаметром $d = 900$ *мм* с толщиной стенок 15 *мм*.

Суммарный вес сдвоенных трубопроводов, включая поперечные соединения, $q = 800$ *кг/пог. м*.

Наибольший пролет между подмостями составляет $l = 40$ *м*.

Максимальный момент в пролете в состоянии свободной подвески

$$M_{макс} = \frac{ql^2}{8} = \frac{800 \cdot 40^2}{8} = 160\,000 \text{ кг/м} = 16\,000\,000 \text{ кг/см}.$$

Момент сопротивления одной трубы дюкера:

$$W_0 = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{3{,}14}{32} \cdot \frac{93^4 - 90^4}{93} = 9710 \text{ см}^3.$$

Здесь D — внешний диаметр дюкера в *см*;

d — внутренний диаметр дюкера в *см*.

Ввиду наличия жесткой связи между двумя параллельными трубами дюкера суммарный момент сопротивления:

$$W = 2 \cdot 9710 = 19\,420 \text{ см}^3.$$

Наибольшее напряжение в трубе:

$$n = \frac{M}{W} = \frac{16\,000\,000}{19\,420} = 823{,}8 \text{ г/см}^2.$$

Величина наибольшего прогиба:

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI},$$

где $E = 2\,100\,000$ *кг/см*^{2}.

Момент инерции одной трубы:

$$I_0 = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) = 451\,444 \text{ см}^4.$$

Для двух жестко связанных труб:

$$I = 2I_0 = 902\,968 \text{ см}^4,$$

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{8 \cdot 40^4 \cdot 100^4}{2 \cdot 10^5 \cdot 902\,968} = 14{,}7 \text{ см}.$$

Во время погружения трубы подвергаются еще давлению, вызываемому течением воды в реке.

Расчет этого давления должен вестись исходя из скорости течения реки при наивысшем горизонте воды, возможном во время погружения дюкера.

Сила, с которой движущаяся вода давит на трубу дюкера:

$$P = \frac{\gamma}{g} Qv,$$

где $\gamma = 1\,000$ *кг/м*³ (объемный вес воды);
$g = 9{,}81$ *м/сек*² (ускорение силы тяжести);
$Q = 0{,}93$ *м*³/*сек* — расход, приходящийся на 1 *пог. м* вертикальной проекции трубы при внешнем диаметре $D = 0{,}93$ *м* и скорости течения реки 1 *м/сек*;
$v = 1{,}2$ *м/сек* — скорость течения реки.

$$P = \frac{1\,000}{9{,}81} \cdot 0{,}93 \cdot 1{,}2 = 113{,}7 \text{ кг}.$$

Дополнительный момент от бокового давления воды:

$$= \frac{113{,}7 \cdot 40^2}{8} = 22\,740 \text{ кг/м} = 2\,274\,000 \text{ кг/см}.$$

Дополнительные напряжения в трубе:

$$n' = \frac{M_б}{W} = \frac{2\,274\,000}{19\,420} = 117 \text{ кг/см}^2.$$

Далее надо проверять, какие напряжения возникают в трубопроводе в случае осадки отдельных опор. В данном примере при осадке опоры лишь на 20 *см* в дюкере появляются напряжения, равнозначные получающимся при свободной подвеске. Эти напряжения, как наименее выгодные, следует принимать в расчет при выборе опускных приспособлений. Те же нагрузки нужно принимать для статического расчета подмостей.

Козла, которые испытывают наибольшее опорное давление (в данном примере 32 *т*), должны быть рассчитаны во всех деталях (балки для подвески труб, поперечные и продольные прогоны, вертикальные стойки, направляющие трубу при опускании).

Дюкер опускают с подмостей либо целиком, либо отдельными секциями длиной 60—200 *м*, которые затем соединяют под водой водолазы. Опускание производят при помощи цепных полиспастов одновременно со всех подмостей отдельными приемами (по 20 *см*) по звуковому или световому сигналу, подаваемому с командной вышки. Последнюю желательно связать с подмостями временным телефоном.

Когда дюкер опущен до уровня воды в реке, для погружения его необходимо наполнить балластной водой. Количество балластной воды при каждом погружении должно соответствовать подъемной силе плавающего тела дюкера и отмеряться по водомеру или другими способами. График наполнения дюкера балластной водой составляется заранее.

Испытание дюкера на водонепроницаемость следует производить три раза:

1) после монтажа отдельных секций — воздушным давлением до 6 *ат*;

2) в подвешенном состоянии на подмостях после сварки всего дюкера — воздушным давлением до 6 *ат* (если дюкер опускается целиком);

3) в погруженном состоянии — гидравлическим давлением на рабочее давление плюс 5 *ат*, но не менее 15 *ат*.

Дюкер можно опускать также с понтонов или посредством

пловучих кранов. При производстве работ в зимнее время целесообразно спускать дюкер со льда в прорубленную по его трассе майну[1].

§ 38. Антикоррозийная защита стальных труб

А. Нанесение наружной изоляции

Для защиты от корродирующего действия грунта наружная поверхность стальных труб должна быть покрыта изоляцией (после сварки). Степень коррозийности грунта определяется при помощи специальных приборов, показывающих электросопротивление почвы в омах на 1 *мм*^{2} (методы Шлюмберже или Шепарда). Грунты со слабой коррозийностью имеют электросопротивление более 20 *ом/мм*^{2}, с повышенной коррозийностью от 10 до 20 *ом/мм*^{2} и с высокой коррозийностью от 0 до 10 *ом/мм*^{2}. В зависимости от этих категорий коррозийности применяются три типа изоляции: нормальная, усиленная и весьма усиленная.

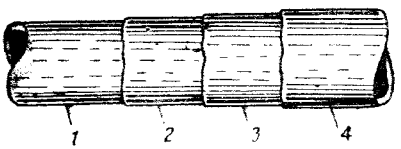


Рис. 105. Нормальная изоляция стальных труб

На рис. 105 показана нормальная изоляция для стальной трубы *1*, состоящая из грунтовки *2*, т. е. слоя очень жидкого раствора битума в бензине (так называемого праймера) толщиной 0,1—0,2 *мм* и битумного покрытия из двух слоев *3* и *4* по 1,5—2 *мм*.

Усиленная изоляция состоит из праймера, первого и второго слоев битумного покрытия толщиной по 1,5 *мм*, обмотки, третьего и четвертого слоев битумного покрытия. При весьма усиленной изоляции добавляется вторая обмотка и сверх нее еще два слоя битумного покрытия.

Битумное покрытие, состоящее из нефтяного битума марки IV (85% — по весу) и мелкоразмолотого каолина (15%), наносится в горячем виде. Для обмотки труб применяется гидроизол (асбестовая бумага, пропитанная битумом) или джутовая ткань (мешковина, пропитанная битумом).

Перед нанесением изоляции поверхность труб очищают от грязи, окалины, ржавчины и жира при помощи специальной перемещаемой по трубе машины с шарошками и щетками или при помощи ручной трубочистилки.

---

[1] Возможны и многие другие способы опускания дюкера в зависимости от местных условий и оборудования, которым располагает строительство. В частности, в последнее время получает распространение способ „затаскивания", при котором собранный на берегу (на продолжении трассы) дюкер затаскивают на свое место посредством лебедки с трактором, установленных на противоположном берегу. *Прим. редактора.*

Б. Катодная защита

Битумная изоляция довольно скоро теряет свое действие. Способом дополнительной защиты стальных трубопроводов от коррозии является создание в окружающем их грунте искусственного движения электрического тока к наиболее уязвимым в отношении коррозии участкам трубопровода — так называемая катодная защита.

Схема катодной защиты показана на рис. 106. Источник постоянного тока *1* соединен проводником с зарытыми в землю кусками железа *2*. Ток течет по этому проводнику, попадает в заземление (анод), переходит из него в почву, течет по ней к трубе и через повреждения в изоляции попадает в трубу *3*. Пройдя по трубе, ток через присоединенный к ней проводник попадает обратно к отрицательному полюсу источника тока. Поступая в трубу через повреждения в изоляции, электрический ток делает все эти места катодными благодаря чему поверхность самого трубопровода не подвергается коррозии. При этом очень сильно корродирует анодное железо, которое для этого и предназначено.

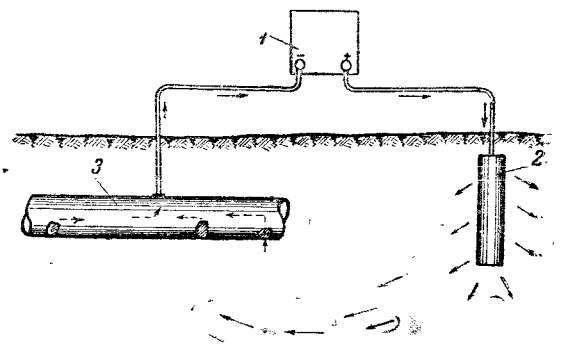


Рис. 106. Схема катодной защиты

Катодная защита может быть применена и для неизолированных трубопроводов, но расход электроэнергии при этом получается столь значительный, что делает применение этого способа для неизолированных трубопроводов невыгодным. Вообще же расход энергии тем меньше, чем лучше битумная изоляция трубопровода.

В 1946 г. система катодной защиты стальных водопроводов от электрокоррозии осуществлена на Сталинской станции московского водопровода.

ГЛАВА VI

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ И ОБРАБОТКИ ВОДЫ

§ 39. Свойства воды — физические, химические и бактериологические

Для качественной оценки воды нужно определить ее физические, химические и бактериологические свойства.

Физическими свойствами являются: прозрачность, мутность, цветность, вкус, запах и температура.

Прозрачность воды зависит от содержания в ней взвешенных и растворенных веществ.

Для определения прозрачности вода наливается в высокий стеклянный цилиндр (высотой до 300 *см*).

Прозрачность выражается высотой слоя воды в сантиметрах, через который еще виден условный шрифт определенного размера, так называемый шрифт Снеллена. Зачастую определяют прозрачность „по кресту", т. е. по двум пересекающимся чертам толщиной по 1 *мм*, нанесенным на пластинке, опущенной на дно стеклянного цилиндра.

Для питьевой воды норма прозрачности принята 30 *см* по шрифту Снеллена и не менее 200 *см* „по кресту".

Мутность воды обусловливается содержанием в ней взвешенных веществ и измеряется милиграммами в литре. За стандарт принимается мутность воды, искусственно замутненной измельченным кремнием. При содержании последнего 100 *мг* в 1 *л* воды мутность принимается равной 100 *мг/л*. Путем разбавления такой воды дестиллированной водой в 2, 4 раза и т. д. можно получить эталоны с мутностью 50, 25 *мг/л* и т. д. Для питьевой воды мутность, измеряемая по мутномеру Бейлиса, в среднем за год должна быть не более 1 *мг/л*, а при отдельных определениях не более 2 *мг/л*.

Цветность воды свойственна природным источникам, имеющим примесь болотных вод. В последних всегда содержатся растворенные гуматы и коллоидальные частицы гуминовых кислот, которые и вызывают желтоватый оттенок воды. Интенсивность этого оттенка, или цветность воды, выражаемую в градусах, определяют по так называемой платиново-кобальтовой шкале путем сопоставления с несколькими эталонами, имитирующими различную степень окраски воды. Один градус цветности соответствует содержанию в растворе эталона 1 *мг/л* платины. Цветность питьевой воды в среднем за год должна быть не более 15°, а при отдельных определениях не более 35°.

Вкус и запах. Вода может иметь привкусы: горький и соленый (характерные для сильно минерализованных вод), кислый (например для рудничных вод) и сладковатый. Запахи воды различают следующие: ароматический (вызываемый простейшими организмами), травянистый (от водорослей), рыбный (от зеленых диатомовых водорослей), болотный, затхлый, землистый.

Возбудители запахов воды, почвенные микроорганизмы и др., совершенно безвредны для здоровья человека. Однако неприятный запах воды всегда вызывает бо́льшие беспокойства и жалобы населения, чем излишняя мутность и цветность воды. Отсюда понятна необходимость устранения привкусов и запахов питьевой воды.

Привкус и запах определяются непосредственно исследователями путем обоняния и на вкус. Интенсивность запаха

определяется по условной 5-балльной шкале, основывающейся на средней восприимчивости исследователя. Баллу 1 отвечает очень слабый запах, баллу 2 — слабый, 3 — заметный, 4 — отчетливый и 5 — очень сильный запах. По аналогичной 5-балльной шкале определяется и привкус.

Температура воды для питьевых целей наиболее желательна в пределах от +7 до +12°. Однако при подаче воды из поверхностных источников (рек и водохранилищ) это условие соблюсти весьма трудно вследствие изменения температуры воды в источнике в различные времена года от 1—2° до 25—26°.

Задача облегчается при пользования подземными источниками, отличающимися обычно большим постоянством температуры воды.

Химические свойства воды зависят от содержания в ней химических веществ. При определении химических свойств воды прежде всего вычисляется общая сумма твердых минеральных примесей — так называемый плотный остаток после выпаривания (в *мг/л*). С этой целью выпаривается 1 *л* воды, а затем остаток высушивается при температуре 110° и взвешивается. Основываясь на заключении Д. И. Менделеева,—„содержание 1 *г* в литре каких бы то ни было веществ уже делает воду мало пригодной и даже вредной для питья“,— считают, что для питьевой воды плотный остаток должен составлять не более 500 — 1000 *мг/л*. Однако это не всегда достижимо в некоторых южных районах нашей страны (в Туркмении, Казахстане и др.), где местные источники отличаются высокой минерализованностью; пресная питьевая вода с плотным остатком до 1 500 *мг/л* считается там удовлетворительной, а с плотным остатком до 2 000 *мг/л* еще пригодной для питья.

Окисляемость служит показателем общего содержания в воде органических веществ. Окисляемость определяется путем добавки к воде марганцево-кислого калия $KMnO_4$, расход которого, требуемый для окисления воды, пропорционален содержанию органических веществ. Повышенная окисляемость (более 10 *мг/л* $KMnO_2$ на 1 *л* воды) по большей части характеризует загрязнение сточными водами.

Если окисляемость воды является следствием присутствия в ней органических веществ животного происхождения, то при анализе в ней обычно обнаруживаются также аммиак (NH_3), азотистая (NO_3) и азотная (N_2O_5) кислоты. Наличие аммиака и азотистой кислоты подтверждает недавнее загрязнение сточными водами. Присутствие азотной кислоты свидетельствует о бывшем когда-то загрязнении, уже обезвреженном благодаря окислению всех азотистых веществ и переходу их в неорганические соединения.

Если одновременно с аммиаком и азотистой кислотой в воде содержатся хлориды, то это также служит подтвер-

ждением загрязнения источника сточными водами. При отсутствии такого сочетания присутствие хлоридов может объясняться их минеральным происхождением вследствие вымывания из засоленных почв.

Активная реакция воды является очень важным фактором. Она может быть кислотной, щелочной или нейтральной.

В настоящее время за измеритель активной реакции воды принята концентрация в воде водородных ионов.

Молекулы воды подвергаются в той или иной степени диссоциации с образованием ионов водорода H′ и ионов гидроксила OH′. В чистой воде эта диссоциация чрезвычайно незначительна; количество ионизированного водорода (т. е. концентрация водородных ионов) в чистой воде (в нейтральных средах) составляет одну десятимиллионную часть грамма в литре или $\frac{1}{10^7}$ *г/л* или точнее $\frac{1}{10^{7,07}}$; в таком же количестве в чистой воде находятся и гидроксильные ионы. При повышении кислотности концентрация водородных ионов увеличивается (а концентрация гидроксильных ионов соответственно уменьшается), т. е. при повышении кислотности показатель в знаменателе приведенной дроби будет меньше 7. Напротив, при переходе к щелочной реакции концентрация водородных ионов уменьшается и показатель в знаменателе будет больше 7.

Концентрацию водородных ионов обозначают через pH (потенциал водорода), а величину ее условно выражают численным значением упомянутого показателя, т. е. логарифмом этого значения с обратным знаком.

Таким образом

При нейтральной реакции	pH = 7
» почти нейтральной реакции	pH = 6 ÷ 8
» слабо-кислой »	pH = 4,5 ÷ 6
» сильно-кислой »	pH = 4,5
» слабо-щелочной »	pH = 8 ÷ 10
» сильно-щелочной »	pH > 10

Величина pH влияет на все почти физико-химические процессы (коррозия, коагуляция, осаждение) и даже на биологические процессы (развитие микрофлоры и микрофауны).

Важным химическим свойством воды является ее жесткость. Жесткость воды обусловливается наличием солей кальция и магния и выражается в градусах. У нас принято измерять жесткость немецкими градусами; один немецкий градус жесткости соответствует содержанию 10 *мг* окиси кальция CaO или 7,14 *мг* окиси магния MgO в 1 *л* воды.

Содержание в воде двууглекислых и углекислых соединений кальция и магния называется карбонатной жесткостью воды. Часть этой жесткости, обусловливаемая, главным образом, содержанием двууглекислой соли кальция $Ca(HCO_3)_2$,

а также магния $Mg(HCO_3)_2$, устраняется (в результате выпадения раствора этих солей) при кипячении воды и носит название временной или устранимой жесткости. Причиной выпадения этих солей жесткости является выделение при кипячении растворенной в воде углекислоты CO_2, улетучивающейся в атмосферу. Связанные с нею растворимые в воде углекислые соли кальция и магния становятся почти нерастворимыми, и углекислый кальций $CaCO_3$ выпадает в виде осадка. Что же касается углекислого магния $MgCO_3$, то ввиду его большей растворимости процесс осаждения происходит медленнее. Только при продолжительном кипячении углекислый магний переходит в почти нерастворимый гидрат окиси магния — $Mg(OH)_2$.

Жесткость, остающаяся в воде после кипячения, в течение 1 часа, называется постоянной (некарбонатной) и зависит от некарбонатных солей кальция и магния (сульфатов, хлоридов, нитратов, фосфатов и силикатов кальция и магния).

Сумма временной и постоянной жесткости называется общей жесткостью воды.

Бактериологические свойства воды имеют решающее значение при выборе питьевого источника. Число видов болезнетворных (патогенных) бактерий, встречающихся в воде, сравнительно невелико. Однако к числу их принадлежат опасные бактерии, а именно: возбудители холеры, брюшного тифа, дизентерии, гастроэнтерита и других желудочно-кишечных заболеваний. Присутствие болезнетворных бактерий в водопроводе является недопустимым. Показателем бактериального загрязнения могут служить кишечные палочки (бактерии коли), которые легко обнаружить при анализе и которые попадают в воду тем или иным путем из кишечника (поэтому они и называются кишечными). Тот наименьший объем воды в кубических сантиметрах, в котором содержится одна кишечная палочка, называется титром-коли.

По Уайпл'у качество воды природного источника на основании титра-коли определяется следующим образом (табл. 22):

Таблица 22

Титр-коли (число *см*³ воды, в котором содержится одна кишечная палочка)	Качество воды источника
100	Вполне хорошее (здоровая вода)
10	Удовлетворительное
1	Сомнительное
0,1	Плохое (нездоровая вода)
0,01	Совершенно негодная вода

Табл

Основные требования к качеству водопроводной воды, подаваемой в сеть хозяйственно-питьевых водо по ГОСТ 2874-45, утвержденному Всесоюзным комитетом стандартов 29/IV-1945 г.

№ п/п	Качественные свойства воды	Способ определения	Условия определения	Максимально-допустимая величина	Примечание
1	Мутность	Мутнометр Бейлиса	—	1,0 *мг/л*	Для водопроводов, имеющих устройства для осветления, обезжелезивания или умягчения воды
			Для отдельных определений	2,0 *мг/л*	
2	Цветность	Платино-кобальтовая шкала	—	15°	
			Для отдельных определений	35°	
3	Запах	Пятибалльная система	При температуре воды + 20°	2 балла	Общие нормы для всех водопроводов
	Привкус	Пятибалльная система	При температуре воды + 20°	2 балла	
4	Коли-тест = $\frac{1000}{\text{коли-титр}}$	Подсчет числа колоний кишечных палочек в 1 *л* воды	На среде Эндо с применением концентрации бактерий на мембранных фильтрах	3	То-есть не более трех кишечных палочек на 1 *л* воды
	Коли-титр = $\frac{1000}{\text{коли-тест}}$	—	—	Более 300	То-есть одна кишечная палочка в объеме воды более 300 *см*³
5	Число бактерий (общее)	При посеве 1 *мл* неразбавленной воды	Инкубация при температуре 37° при счете через 24 часа	100 в 1 *мл* воды	Общие нормы для всех хозяйственно-питьевых водопроводов

6	Остаточный активный хлор	—	В наиболее удаленных точках водоразбора (наружного и внутреннего)	Не менее 0,1 *мг/л*	
7	Общая жесткость			Не более 40°	Для водопроводов, имеющих устройства для осветления и обезжелезивания или умягчения воды
8	Активная реакция pH			6,5—9,5	
9	Содержание железа и марганца в сумме, в том числе закисного железа			0,3 *мг/л* 0,2 „	
10	Свинец			0,1 *мг/л*	Общие нормы для всех хозяйственно-питьевых водопроводов
11	Мышьяк			0,05 „	
12	Фтор			1,0 „	
13	Медь			3,0 „	
14	Цинк			15,0 „	
15	Фенолы			0,001 „	

Таблица Уайпл'а применима для характеристики санитарного состояния водного источника. Если титр-коли 0,1 $см^3$ и ниже, это значит, что природный источник загрязнен и является вообще непригодным для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Для определения числа бактерий в воде им дают возможность развиться в питательной среде (желатин или агар) при определённой температуре (желатин 22°, агар 37°). Подсчет числа колоний бактерий может быть произведен через 48 час. после посева (при желатине) или через 24 часа (при агаре).

Питьевая вода должна содержать не более 100 колоний безвредных бактерий в 1 *мл* воды после 24-часового выращивания при 37°. Титр-коли должен быть более 300 $см^3$. Стандартом качества питьевой воды установлено также понятие коли-тест (или коли-индекс), который соответствует $\frac{1\,000}{\text{коли-титр.}}$ Таким образом коли-тест питьевой воды должен быть не выше 3, т. е. не более 3 кишечных палочек в 1 *л* воды.

§ 40. Требования различных потребителей к качеству воды

А. Требования к питьевой воде

Требования к питьевой воде устанавливает ГОСТ 2874-45 (табл. 23).

Американский стандарт на питьевую воду, изданный в США в феврале 1946 г., ограничивает, кроме того, определенными величинами содержание в воде еще некоторых других веществ, а именно:

селена	0,05	*мг/л*
хрома (шестивалентного) .	0,05	»
магния	125	»
хлоридов	250	»
сульфатов	250	»
плотного остатка	500 — 1000	»

Содержание фтора по американским нормам 1946 г. допускается в количестве до 1,5 *мг/л*.

Необходимо отметить еще значение содержания в воде иода, отсутствие или недостаточное содержание которого может вызывать распространение тяжелого заболевания — эпидемического зоба. Установлено, что для предотвращения зобной болезни содержание в воде иода должно быть не менее 10^{-8} *мг/л*.

Б. Требования к технической воде

Требования к воде, употребляемой для промышленных целей в различных производствах, сгруппированы в табл. 24, из которой видно, что почти для всех производств требуется вода с небольшой жесткостью.

Таблица 24

№ п/п	Показатели	Вода для питания котлов			Охлаждение	Наименование производств					
		до 10 ат	10–17 ат	17 ат		бумажное	вискозное	дубление кожи	текстильное	кожевенное	пивоваренное
1	Мутность в *мг/л* . .	20	10	5	50	25	5	20	5	10	10
2	Цветность в градусах	—	—	—	—	15	5	10–100	5–20	—	—
3	Сероводород в *мг/л* .	10	5	0	5	—	—	—	—	1	0,2
4	Общая жесткость в нем. град.	4,2°	2,2°	0,45°	—	5,6°	0,45°	2,8°–7,6°	0,56°	1,4°	—
5	Кальций в *мг/л* . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
6	Железо „ „ . .	—	—	—	0,5	0,2	0,05	0,2	0,2	—	0,1
7	Марганец „ „ . .	—	—	—	—	0,1	0,03	0,2	0,2	—	0,1
8	Кремнезем „ „ . .	40	20	5	—	—	25	—	—	—	—
9	Плотный остаток в *мг/л*	3 000–1 000	2 500–500	1 500–100	—	300	100	—	—	—	500–1 000
10	pH	8 и более	8,5 и более	9 и более	—	—	—	—	—	—	—

Нормы качества питательной и котловой воды и пара, изданные Главэнергостроем в 1940 г., устанавливают следующие величины допускаемой жесткости (табл. 25).

Таблица 25

Род котлов	Допустимая жесткость в немецких градусах	
	нормальвая	кратковременная
Барабанные котлы с естественной циркуляцией при давлении до 35 *ат*	0,15	0,20
То же при давлении до 110 *ат* . .	0,10	0,15
Прямоточные котлы с давлением до 110 *ат*	0,05	0,15

При пользовании жесткой водой в паровых котлах образуется твердая накипь на стенках — „котельный камень". Это ведет к снижению теплопроводности стенок и перерасходу топлива.

В кожевенном производстве жесткая вода вызывает перерасход дубильных веществ, в текстильном — понижает качество тканей, делая их грубыми, а также затрудняет их окраску. При пользовании жесткой водой для хозяйственных нужд (стирка, мытье и т. д.) происходит лишний расход мыла.

При жесткой воде в водопроводных трубах вследствие выпадения $CaCO_3$ быстро образуются отложения на стенках (так называемая инкрустация), что вызывает резкое понижение пропускной способности труб.

Железо недопустимо в воде, расходуемой при производстве бумаги и особенно вискозы, так как вызывает появление желтых, ржавых пятен на выпускаемой продукции; в этой воде, а также и в питательной воде котлов высокого давления недопустимы взвешенные вещества.

В котельной воде нежелательно присутствие хлоридов и сульфатов, которые способствуют коррозии металлических стенок котлов.

Реакция питательной воды для котлов рекомендуется не ниже pH=8 или pH=9 во избежание коррозии металлических стенок и труб.

Цветность воды должна быть низкой для производств бумажного, вискозного и текстильного.

Температура воды имеет большое значение при охлаждении конденсаторов паровых турбин электростанций. Высокая температура охлаждающей воды влечет за собой перерасход пара. Некоторые производства химической промышленности требуют для нормального хода технологических процессов воды со строго определенной температурой.

§ 41. Осветление воды в отстойниках

А. Задачи и способы осветления воды

Очистка питьевой воды заключается в ее осветлении (т. е. устранении взвешенных веществ) и обеззараживании (т. е. устранении бактерий). Удаление взвешенных веществ снижает мутность воды и делает ее прозрачной, способствуя одновременно и некоторому уменьшению цветности благодаря исчезновению взвешенных коллоидных веществ, вызывающих окраску.

Более стойкими оказываются привкус и запах воды, для устранения которых нужны дополнительные операции, а именно: очистка активированным углем или добавка аммиака.

Основным способом осветления воды является отстаивание, при котором происходит медленное выпадение взвеси. Для ускорения процесса выпадения применяется коагуляция воды, т. е. добавка химических реагентов, так называемых коагулянтов, образующих хлопья, которые, оседая, увлекают за собой взвесь.

Высокий осветлительный эффект может быть достигнут путем так называемой суспензионной сепарации (см. § 42).

Так как, несмотря на коагуляцию, мелкая взвесь выпадает медленно, целесообразно ее устранение производить на песчаных фильтрах, после того как в отстойниках или в суспензионных сепараторах осядут крупные взвешенные вещества. Одновременно со взвешенными веществами в отстойниках или в осветлителях выпадает и часть бактерий, но основная масса оставшихся бактерий (98—99%) задерживается только на фильтрах. Однако и фильтр все же пропускает от 1 до 2% бактерий, среди которых могут попадаться и патогенные. Ввиду этого необходима дезинфекция профильтрованной воды путем хлорирования.

Б. Осаждение взвеси с коагулированием

В качестве коагулянта обычно используется сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$, который добавляется к воде в дозах от 40 до 120 *мг/л* сообразно с качеством воды. Наибольшая доза применяется во время весенних паводков, когда вода имеет высокую мутность и низкую щелочность.

Сернокислый алюминий вступает в обменную реакцию с солями двууглекислого кальция (или магния), обычно имеющимися в воде, по уравнению:

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 =$$
$$= 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2.$$

Для двууглекислого магния формула аналогична.

Образующаяся гидроокись алюминия $Al(OH)_3$ представляет собой коллоидальное вещество, которое переходит в нераство-

римую водную окись алюминия $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$, выпадающую на дно в виде хлопьев, увлекающих за собой взвесь и бактерии.

При излишней щелочности переход гидроокиси в водную окись может задерживаться. При недостаточной же щелочности не может происходить самая реакция образования гидроокиси из сернокислого алюминия. В этом случае надо подщелачивать воду негашеной известью CaO или кальцинированной содой Na_2CO_3, добавляя их в количестве:

$$X = (0{,}05Д - Щ + 2) \cdot K,$$

где X — количество в *мг/л* реагента, добавляемого для подщелачивания;
$Д$ — максимальная доза сернокислого алюминия;
$Щ$ — щелочность воды (карбонатная жесткость в немецких градусах) по данным анализа;
K — норма добавки реагента на 1° повышаемой жесткости, составляющая при подщелачивании известью 10 *мг*, а содой — 18,9 *мг*.

Пример. $Д = 80$ *мг/л*; $Щ = 2{,}9°$; $K = 10$ *мг/л*.

Тогда:

$X = (0{,}05 \cdot 80 - 2{,}9 + 2) \cdot 10 = 31$ *мг* на каждый литр подщелачиваемой воды.

В нашей водопроводной практике применяется как очищенный сернокислый алюминий, содержащий около 45% безводного $Al_2(SO_4)_3$, так и неочищенный, называемый муттовским глиноземом (приготовленным по способу Мутта) и содержащий 33% безводного $Al_2(SO_4)_3$. Следовательно, теоретически 1 *кг* муттовского коагулянта эквивалентен 0,74 *кг* очищенного. Практически этот эквивалент почти достигает 0,9 *кг* за счет мелкозернистых нерастворимых примесей в муттовском продукте, усиливающих коагуляцию.

В качестве коагулянта может быть применен железный купорос $FeSO_4$. Вступая в реакцию с двууглекислыми солями кальция (или магния), $FeSO_4$ превращается в двууглекислое железо по уравнению:

$$FeSO_4 + Ca(HCO_3)_2 = Fe(HCO_3)_2 + CaSO_4.$$

Для ускорения процесса необходима добавка гашеной извести, отнимающей углекислоту:

$$Fe(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = Fe(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2,$$

Гидрат закиси железа окисляется за счет находящегося в воде кислорода:

$$2Fe(OH)_2 + H_2O + O = 2Fe(OH)_3,$$

а получившийся гидрат окиси железа выпадает в виде хлопьев, увлекая взвесь.

Коагулирующая способность $FeSO_4$ не уступает $Al_2(SO_4)_3$, но железный купорос не способствует устранению цветности воды подобно сернокислому алюминию.

Применение $FeSO_4$ экономически целесообразно, когда он является отходом местного производства. Однако пользование им сложно, так как требуется второй реагент — известь, при-

чем подача обоих реагентов должна быть очень точной. Так, например, при обработке железным купоросом мягких вод болотного происхождения с высокой цветностью избыток извести в воде остается в виде гидратной щелочности, и железо образует с гуминами невыпадающие соединения, придающие воде чернильную окраску.

Заготовка и дозирование рассмотренных выше коагулянтов осуществляется при помощи: 1) бачка *А* для затворения (рис. 107), где приготовляется крепкий раствор; 2) двух рабочих баков *Б* для попеременного приготовления в них 5—10%-ного раствора коагулянта и 3) дозировочного бачка *В* с шаровым поплавковым краном *Г* для регулирования уровня в бачке и с дозирующим краном *Д*, который служит для подачи раствора в приемную воронку *Е*.

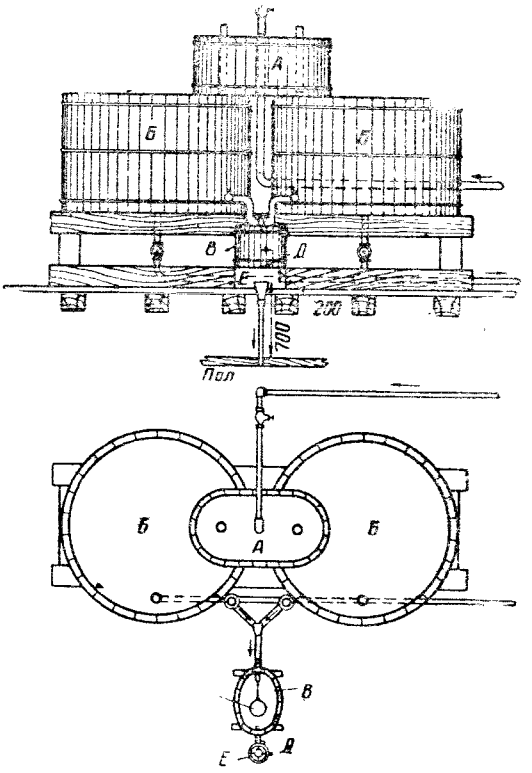


Рис. 107. Устройство для заготовки и дозирования реагента

Емкость рабочего бака:

$$W = \frac{Q\,a}{417\,p\,m}\ м^3, \quad (37)$$

где Q — расход воды в $м^3/час$;

a — доза (максимальная) коагулянта в $г/м^3$;

p — крепость раствора в % (обычно 5%, муттовского коагулянта $p=7\%$);

m — число затворений в сутки (2—4).

Таких баков должно быть два (один работает, а в другом изготовляется раствор).

Трубы, подающие раствор коагулянта, должны быть из свинца для предотвращения разъедания и засорения. Поплавковый и дозирующий краны в тех же целях делаются из эбонита.

Если баки для рабочего раствора имеют объем до 2—3 $м^3$, они устраиваются из дерева (круглые). При бо́льшем объеме —

из железобетона (прямоугольные). Верхний затворный бак должен иметь от $^1/_7$ до $^1/_{10}$ емкости рабочего бака; размеры дозирующего бачка — 0,50×0,40 *м* при высоте 0,40 *м*.

В Америке большим распространением пользуется сухая дозировка реагентов, при которой коагулянт добавляется непосредственно к воде в порошкообразном виде. Для этого применяются так называемые сухие дозаторы или фидер-машины, которые позволяют автоматизировать весь процесс дозировки; размеры сухих дозаторов значительно меньше, чем размеры оборудования для мокрого дозирования. Кроме того, при сухом дозировании устраняется пыль и сокращается потребность в эксплоатационном персонале.

На современных крупных станциях очистки питьевой воды процесс подачи, раздробления и дозировки коагулянта полностью механизирован. Коагулянт к складу реагентов доставляется на автомашинах. Перед выгрузкой его взвешивают на автомобильных весах (рис. 108) и выгружают на транспортер для подачи на склад. Вместо ленточного транспортера могут применяться подъемники (грузовые лифты), монорельсы и шнеки. Раздробление кусков коагулянта производится сперва на дробилках, а затем на механических мельницах, работающих от электромоторов.

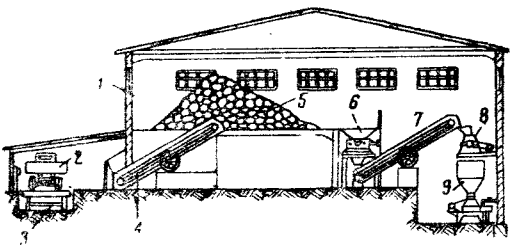


Рис. 108. Схема оборудования для сухого коагулирования: *1* — склад реагентов; *2* — автомашина; *3* — автомобильные весы; *4* — транспортер; *5* — кусковой коагулянт; *6* — дробилка; *7* — транспортер, *8* — мельница; *9* — сухой дозатор

Во время Великой Отечественной войны 1941—1945 гг. для очистки воды использовались заменители серно-кислого алюминия, а именно: зольный коагулянт, зольный кальцинированный (так называемый термический), железный, нефелиновый и другие коагулянты.

Зольный коагулянт приготовляется путем специальной обработки золы, получаемой из электрофильтров ТЭЦ, и обладает хорошей растворимостью и коагулирующими свойствами. 1 *кг* зольного коагулянта эквивалентен примерно 0,55 *кг* муттовского глинозема и содержит до 60% нерастворимых осадков (тогда как в муттовском их только 30%). Это требует увеличения емкости баков для приготовления раствора в 2—3 раза.

Зольный кальцинированный (термический) коагулянт приготовляется из тех же сырьевых материалов; по своим свойствам он близок к зольному, но трудно растворим и требует предварительной гидратации (размачивания).

Железный коагулянт, изготовляемый из пиритовых огарков, представляющих отходы сернокислотных заводов, хорошо растворяется и обладает хорошей коагулирующей способностью, но дает 30—40% нерастворимого осадка в виде клейкой густой массы. Это требует дополнительной промывки растворных баков, коммуникационных трубопроводов и насосов для перекачки раствора.

Основным недостатком всех заменителей являлась их некондиционность, т. е. весьма различный состав каждой вновь получаемой партии.

Процесс коагуляции состоит из трех этапов: 1) смешения воды с раствором реагента, 2) реакции реагента с солями, содержащимися в воде, сопровождающейся хлопьеобразованием, 3) осаждения хлопьев с частичным выпадением взвеси.

Смешение должно быть быстрым и выполняться в течение 1—2 мин. Наиболее удобно с этой целью пользоваться насосом первого подъема, вводя раствор коагулянта во всасывающую трубу насоса. Можно вводить реагент и в напорный трубопровод насоса первого подъема. При использовании в качестве смесителя напорного трубопровода ввод реагента в него должен быть сделан на расстоянии не менее 50 диаметров от его конца. Иногда применяется перегородчатый смеситель, так называемый ершовый, представляющий собой горизонтальный жолоб с четырьмя-пятью поперечными перегородками, устанавливаемыми под углом 45°, для изменения направления течения (рис. 109). Благодаря наличию перегородки в жолобе создается вихревое течение, обеспечивающее смешение реагента с водой. Скорость движения воды через щель между перегородками принимают 0,8 *м/сек*.

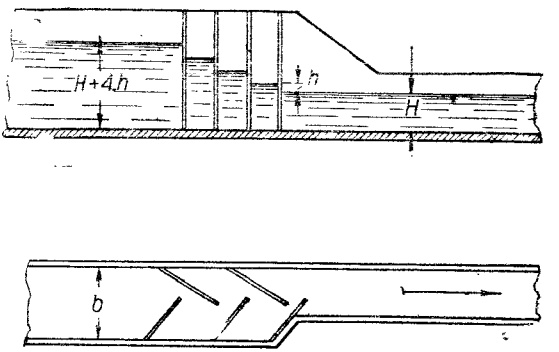


Рис. 109. Перегородчатый смеситель

Пример расчета ершового смесителя на $Q = 0{,}075$ *л/сек*. Принимаем скорость воды в лотке после смесителя $v_л = 0{,}6$ *м/сек*. Площадь поперечного сечения лотка:

$$f_л = \frac{Q}{v_л} = \frac{0{,}075}{0{,}6} = 0{,}125 \text{ м}^2;$$

при ширине лотка $b = 0{,}6$ *м* глубина воды после смесителя:

$$H = \frac{f_л}{b} = \frac{0{,}125}{0{,}6} = 0{,}21 \text{ м}.$$

Скорость в щелях ерша $v = 0{,}8$ *м/сек*.
Потери напора в каждой щели:

$$h = \alpha \frac{v^2}{2g} = 2{,}5 \frac{(0{,}8)^2}{2 \cdot 9{,}81} = 0{,}082 \text{ м}.$$

α — коэфициент, принимаемый равным 2,5 при движении по ершу и 3,5 — при движении воды против ерша.
Площадь поперечного сечения каждой щели:

$$f = \frac{Q}{v} = \frac{0{,}075}{0{,}8} = 0{,}0938 \text{ м}^2.$$

Уровень воды перед щелями (считая с конца)
перед первой: $H+h=0{,}21+0{,}082=0{,}292$ *м*
" второй: $H+2h=0{,}21+0{,}164=0{,}374$ "
" третьей: $H+3h=0{,}21+0{,}246=0{,}456$ "
" четвертой $H+4h=0{,}21+0{,}328=0{,}538$ "

Ширина щелей:

$$b_1=\frac{f}{H+h}=\frac{0{,}0938}{0{,}292}=0{,}321\ м,$$

$$b_2=\frac{f}{H+2h}=\frac{0{,}0938}{0{,}374}=0{,}251\ м,$$

$$b_3=\frac{f}{H+3h}=\frac{0{,}0936}{0{,}456}=0{,}205\ м,$$

$$b_4=\frac{f}{H+4h}=\frac{0{,}0938}{0{,}538}=0{,}174\ м.$$

Другой тип перегородчатого смесителя с тремя-четырьмя дырчатыми перегородками (рис. 110) позволяет создать боль-

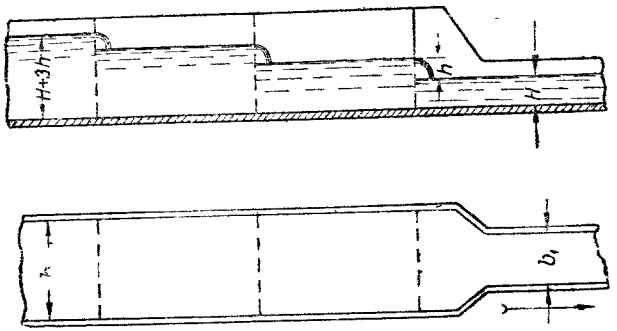


Рис. 110. Дырчатый смеситель

шое число мелких вихрей, способствующих очень хорошему смешению. Скорость в лотке принимается 0,4—0,6 *м/сек*, в отверстиях 1—1,5 *м/сек*. Диаметр отверстий обычно от 30 до 120 *мм*.

в. Камеры реакции

Из смесителя вода направляется в камеру реакции по трубопроводу или каналу со скоростью 1—1,5 *м/сек*.

Назначением камер реакции является перемешивание воды для обеспечения реакции коагулянта и образования хлопьев. Емкость камеры реакции рассчитывается на время пребывания воды от 15 до 30 мин. Камеры реакции бывают: перегородчатые, водоворотные и лопастные.

В перегородчатых камерах, как видно из самого названия, устраивается несколько перегородок, заставляющих воду изменять направление своего движения либо в вертикальной

(рис. 111, *а*) либо в горизонтальной плоскости (рис. 111, *б*) что и обеспечивает необходимое перемешивание.

Водоворотные камеры имеют вид вертикального цилиндра, куда впускается вода из смесителя по горизонтальной трубе.

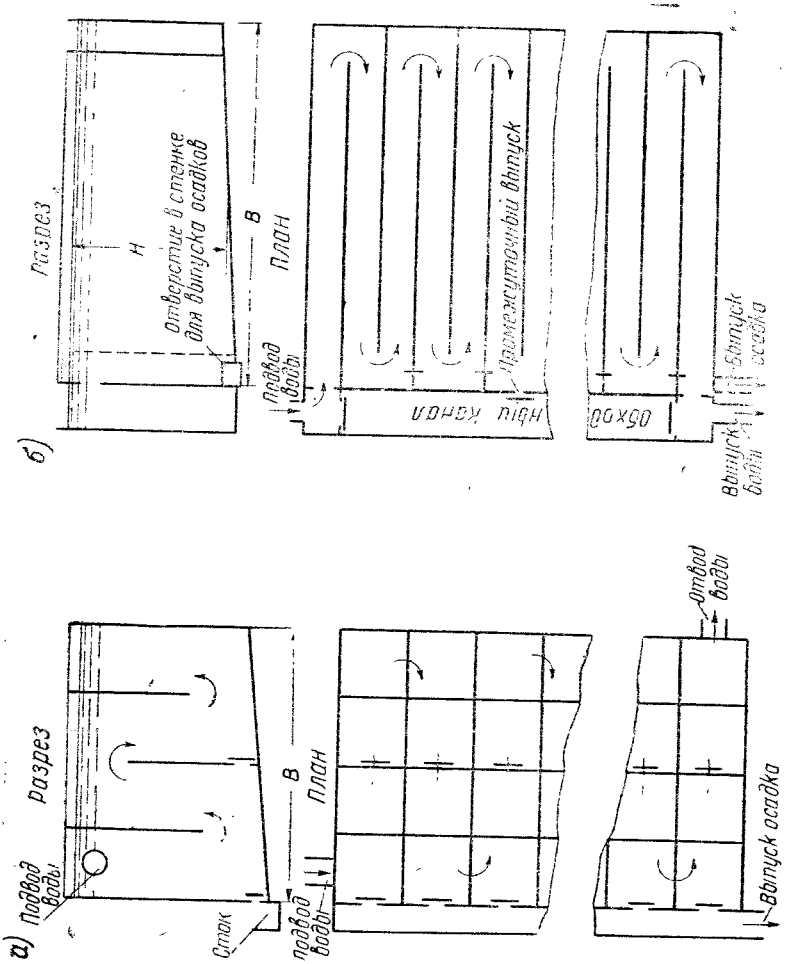


Рис. 111. Схемы перегородчатых камер реакции: *а* — с вертикальной циркуляцией воды; *б* — с горизонтальной циркуляцией воды

Последняя на конце снабжена насадками, поставленными перпендикулярно к радиальной плоскости, благодаря чему при выходе воды создается вращательное (водоворотное) движение воды в камере, обеспечивающее перемешивание. Чаще всего такая водоворотная камера устраивается в виде трубы, расположенной в центре вертикального отстойника.

Наиболее современными камерами реакции являются лопастные механического действия. Перемешивание воды достигается в них при помощи лопастей, вращающихся вокруг

вертикальных или горизонтальных осей. Камера, имеющая мешалку с лопастями на вертикальной оси, известна также под названием „а ж и т а т о р", а с лопастями на горизонтальной оси — под названием „ф л о к у л я т о р" (рис. 112). На крупных станциях устраивается обычно несколько лопастных камер реакции (3—4), через которые последовательно проходит вода с постепенным уменьшением скорости вращения лопастей от 10—12 до 5—6 об/мин. Время пребывания воды в каждой такой камере постепенно увеличивается, составляя, например, 10, 14 и 21 мин. Такие условия перемешивания наиболее способствуют хлопьеобразованию.

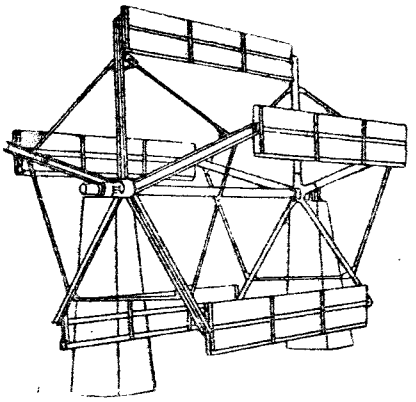


Рис. 112. Лопастные мешалки (флокуляторы) для камер реакции

Объем камеры реакции, оборудованной лопастными мешалками на горизонтальной оси (т. е. флокулятора,) равен

$$W = \frac{qt}{60} м^3, \qquad (38)$$

где q—расход воды в $м^3/час$;

t—время прибывания воды в камере реакции (обычно $t = 15$ мин.).

Направление вращения лопастей двух соседних последовательно размещенных флокуляторов должно быть взаимно перпендикулярным. Потребляемая мощность для вращения лопастей весьма незначительна и при длительности пребывания воды во флокуляторе, равной 1 часу, составляет только 0,4 *л. с.* на 1 000 $м^3/сутки$.

Из камеры реакции вода направляется на отстойники по трубопроводу или по каналу со скоростью не более 0,6 *м/сек*.

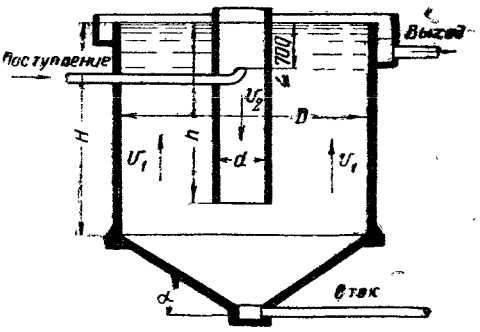


Рис. 113. Схема вертикального отстойника

Г. Отстойники

Отстойники могут быть вертикальные или горизонтальные. Вертикальные отстойники — это цилиндрические резервуары с коническим (рис. 113) или с почти плоским днищем. Вода поступает в отстойник

сверху через центральную трубу, не доходящую до дна. Пройдя по трубе вниз, вода направляется снова вверх и сливается через кромку жолоба, опоясывающего верхний край отстойника.

Выпадение взвеси начинается в момент резкого изменения направления движения воды при выходе из центральной трубы.

Скорость восходящего движения воды принимается $v_1 = 0{,}75$ *мм/сек*, что соответствует предельной скорости выпадения осадков. Время пребывания воды в отстойнике обычно $t = 2$ час. Поэтому полезная глубина отстойника, равная $H = t \cdot v$, должна быть около $H = 2 \cdot 0{,}75 \cdot 3\,600 = 5\,400$ *мм* $= 5{,}4$ *м*.

Скорость движения воды в центральной трубе (нисходящая) принимается при предварительных расчетах $v = 20 \div 25$ *мм/сек*.

Площадь сечения отстойника:

$$\Omega = \frac{q}{3{,}6\, v_1} + \frac{q}{3{,}6\, v_2} = 0{,}278\left(\frac{q}{v_1} + \frac{q}{v_2}\right); \qquad (39)$$

диаметр отстойника:

$$D = \sqrt{\frac{4\Omega}{\pi n}},$$

где q — расход воды в $м^3/час$;

n — число отстойников.

Действительная (уточненная в зависимости от принятого числа отстойников) скорость в центральной трубе:

$$v'_2 = v_2 \sqrt{D}\ мм/сек;$$

отсюда диаметр центральной трубы:

$$d = \sqrt{\frac{4q}{3{,}6\,\pi\, v'_2}} = 0{,}595\sqrt{\frac{q}{v'_2}}, \qquad (40)$$

а при числе отстойников, равном n,

$$d = 0{,}595\sqrt{\frac{q}{n\, v'_2}}.$$

Центральная труба должна иметь высоту $h = 0{,}8\ H$.

Пример. $q = 750\ м^3/час$; $v_1 = 0{,}75$ *мм/сек*; $v_2 = 20$ *мм/сек*.

$$\Omega = 0{,}278\left(\frac{750}{0{,}75} + \frac{750}{20}\right) = 0{,}278\ (1\,000 + 37{,}5) = 288{,}43\ м^2;\ \text{при}\ n = 4$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 288{,}43}{3{,}14 \cdot 4}} = \sqrt{91{,}85} \approx 9{,}60\ м;$$

$$v'_2 = 20\sqrt{9{,}6} = 20 \cdot 3{,}10 = 62\ мм/сек;$$

$$d = 0{,}595\sqrt{\frac{750}{4 \cdot 62}} = 0{,}595\sqrt{3{,}03} = 0{,}595 \cdot 1{,}74 = 1{,}04\ м;$$

$$h = 0{,}8 \cdot 5{,}4 = 4{,}32\ м.$$

Центральная труба, зачастую используется как водоворотная камера реакции. В этом случае диаметр центральной трубы определяется по ранее приведенной формуле (38) для расчета камеры реакции.

Осадок из вертикальных отстойников можно выпускать, не опорожняя их; для этого достаточно открыть задвижку на грязевой трубе; осадок будет вытекать под напором воды в отстойнике. Коническое днище облегчает сползание осадков.

При небольшом содержании взвеси в очищаемой воде дно вертикального отстойника можно устраивать почти плоским с незначительным уклоном $i=0{,}02$ к центру. Это уменьшает объем строительных работ, но для удаления осадков требуется периодическое смывание их из брандспойта.

Вертикальные отстойники устраиваются диаметром от 5 до 28 *м*, однако с увеличением диаметра эффект их работы резко ухудшается. В настоящее время исследованиями Ленинградского института коммуиального хозяйства установлено, что диаметр вертикальных отстойников следует ограничить 8—8,5 *м*.

Горизонтальные отстойники. Горизонтальный отстойник устраивается в виде вытянутого прямоугольного бассейна к одной из торцевых стенок которого подводится вода. Медленно двигаясь по бассейну, вода освобождается от взвеси, которая выпадает на дно отстойника. Каждая взвешенная частица движется в отстойнике по направлению равнодействующей горизонтальной скорости v движения воды и вертикальной скорости v_0 выпадения частицы (рис. 114). В пределах отстойника могут осесть только те частицы, которые выпадают со скоростью не менее v_0. Путь их выразится диагональю ac. Все частицы, скорость выпадения которых меньше v_0, будут выноситься с водой из бассейна. Осаждение взвеси в начале бассейна будет более обильным, и выпавший осадок займет в идеальных условиях пространство, заштрихованное на рис. 114. Поэтому дну отстойника придается уклон в сторону, обратную течению воды, т. е. начальная часть отстойника, где скапливается осадок, устраивается более глубокой. Из подобия треугольника abc и треугольника скоростей, построенного на диагонали ac, следует, что v так относится к v_0, как L к H, т. е.

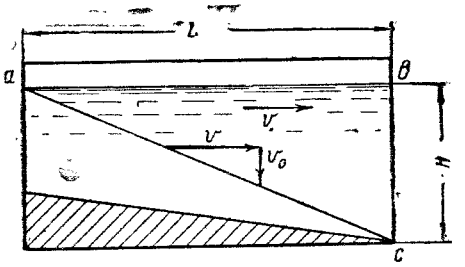


Рис. 114. Схема работы горизонтального отстойника

$$\frac{v}{v_0}=\frac{L}{H},$$

откуда

$$v_0 = \frac{v}{L/H}. \qquad (41)$$

Скорость v движения воды в отстойнике принимают от 5 до 20 *мм/сек*. Расчетную скорость v_0 выпадения взвеси можно считать равной максимально 0,5—0,75 *мм/сек*. Горизонтальный отстойник рассчитывают на продолжительность пребывания воды $t = 2 \div 4$ часа. Глубина принимается $H \approx 3 \div 5{,}5$ *м*. Длина горизонтальных отстойников L обычно в 10 — 30 раз больше их глубины, а ширина равна:

$$B = \frac{q \cdot 1000}{v \cdot H \cdot 60 \cdot 60}, \qquad (42)$$

где q — расход воды в *м³/час*.

Отстойник разделяется продольными перегородками на отсеки шириной по 3,5—5,0 *м* в целях равномерного протекания воды. По концам устраиваются поперечные перегородки — водосливы для напуска и выпуска воды по всей ширине отстойника. Хорошим способом равномерного распределения воды являются также дырчатые перегородки с несколькими рядами отверстий диаметром 0,20—0,30 *м*, допускающих проход воды со скоростью около 0,30 *м/сек*. На рис. 115 показан горизонтальный отстойник, расположенный рядом с очистной станцией (зданием фильтров).

Пример. Суточное потребление воды составляет 36 000 *м³*, или

$$q = \frac{36\,000}{24} = 1\,500 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Принимаем глубину $H = 4{,}35$ *м*, а скорость осаждения $v_0 = 0{,}6$ *мм/сек*. Тогда продолжительность пребывания воды в отстойнике

$$t = \frac{H \cdot 1\,000}{60 \cdot 60 \cdot v_0} = \frac{4{,}35}{3{,}6 \cdot 0{,}6} = 2{,}01 \approx 2 \text{ часа}.$$

Примем

$$\frac{L}{H} = 11{,}5,$$

откуда

$$v = v_0 \frac{L}{H} = 0{,}6 \cdot 11{,}5 = 6{,}9 \text{ мм/сек}.$$

Длина отстойника $L = H.11{,}5 = 4{,}35 \cdot 11{,}5 = 50{,}0$ *м*.

Ширина $B = \frac{q \cdot 1\,000}{v \cdot H \cdot 60 \cdot 60} = \frac{1\,500 \cdot 1\,000}{6{,}9 \cdot 4{,}35 \cdot 3\,600} = \frac{1\,500}{108{,}05} = 13{,}88$ *м*.

Устраиваем 3 отделения шириной:

$$b = \frac{B}{3} = \frac{13{,}88}{3} = 4{,}63 \text{ м} \approx 4{,}65 \text{ м}$$

Осадок из горизонтального отстойника удаляют путем спуска воды в сток по трубопроводу со скоростью 1,5 *м/сек*. Оставшуюся часть осадков смывают струей воды из брандспойта. Поэтому дно бассейна должно иметь продольный уклон не менее 0,02 в сторону, противоположную течению воды, и попе-

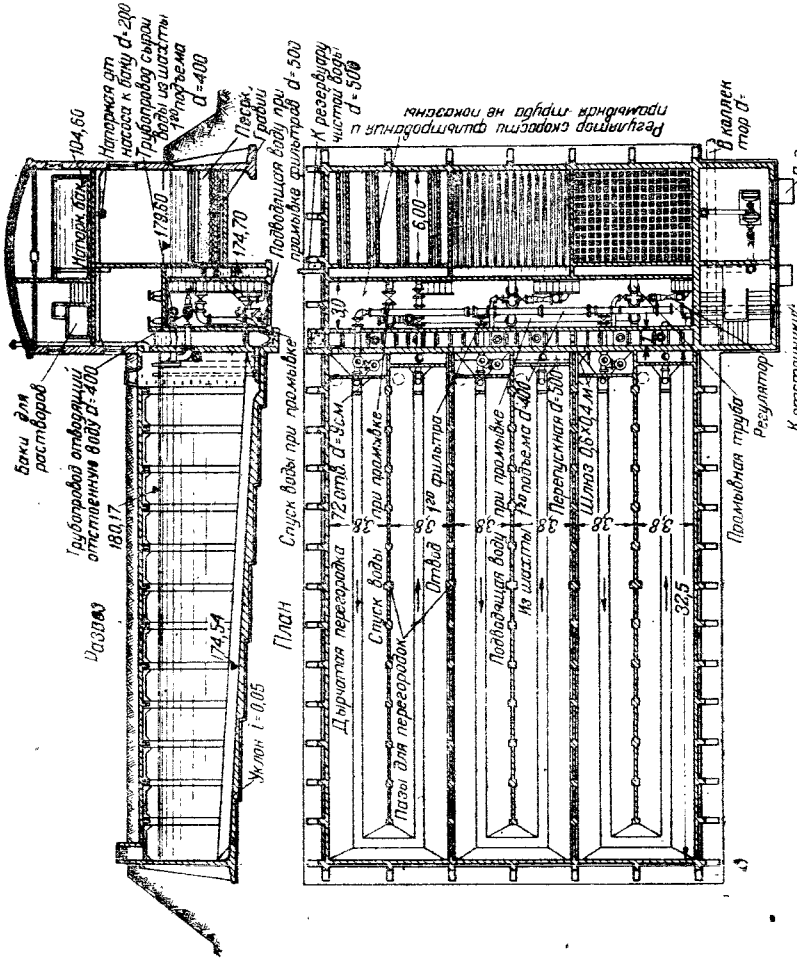


Рис. 115. Горизонтальный отстойник

речные уклоны 0,05 к средней продольной оси отстойника. При большом количестве осадка для удаления его рационально применить систему прямолинейно движущихся скребков, укрепленных по краям на двух бесконечных цепях, вращаемых от электромотора. На рис. 116 показан один из типов такого устройства.

Горизонтальные отстойники применяются для осаждения взвеси на очистных станциях большой производительности —

30 тыс. *м³/сутки* и более. Вертикальные отстойники более целесообразны на станциях малой и средней производительности (от 2 500 до 25 000 *м³/сутки*).

Из отстойников вода направляется на фильтры по трубопроводу или по каналу со скоростью не более 0,6 *м/сек*.

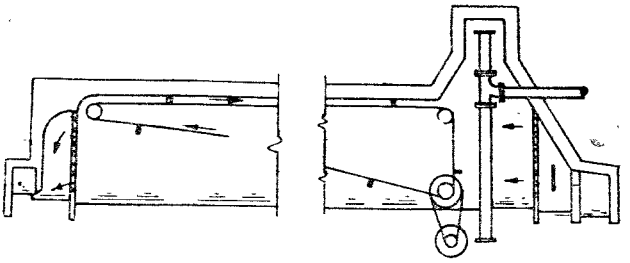


Рис. 116. Горизонтальный отстойник с механизированным удалением осадка

Отстойники Дорра. При большом содержании взвеси целесообразно применение так называемых отстойников Дорра с механическим непрерывным удалением осадка при помощи скребков, прикрепленных к медленно вращающейся ферме (рис. 117). Эти отстойники относятся к типу горизонтальных

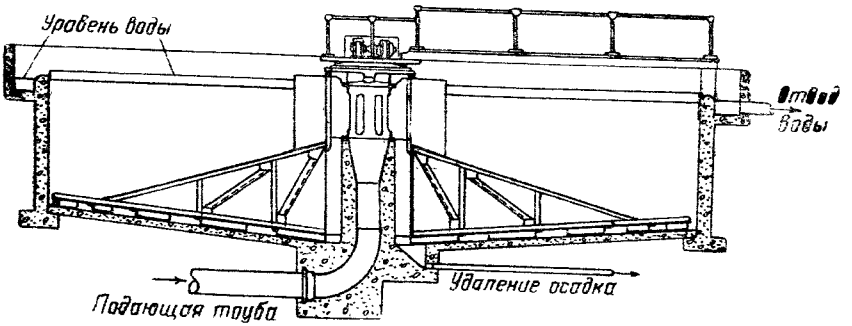


Рис. 117. Отстойник Дорра

Вода для осветления поступает снизу вверх по трубе, расположенной в центре бассейна, и по радиальным направлениям движется от центра к лотку, опоясывающему отстойник по периметру.

Осадок сгребается в центральный приямок, откуда откачивается по трубопроводу специальными шламовыми насосами, установленными в насосной станции. В отстойниках Дорра диаметром до 15—20 *м* ферма приводится в движение механизмом, расположенным в центре отстойника, а в отстойниках

диаметром более 20 *м* — механизмом, передвигающимся вместе с фермой по борту отстойника (по одиночному рельсу).

Отстойники Дорра производительностью 750—2 500 *м*^{3}/*час* имеют диаметр 25—50 *м* при глубине воды в центральной части от 2,5 до 3,2 *м* и у периферии 1,5 *м*. Число оборотов вращающейся фермы 3—3,5 в 1 час, мощность мотора 1,5—2 *квт*.

Отстойники Дорра усовершенствованной конструкции запроектированы Ленинградским отделением Водоканалпроекта для строящегося Закавказского металлургического завода; в этих отстойниках будет осветляться производственная вода, получаемая из р. Куры, содержащая большое количество взвешенных веществ.

§ 42. Осветлители-суспензионные сепараторы

Качество работы вертикального отстойника может быть улучшено, если воду, подаваемую в отстойник, пропускать через выпавший уже осадок, используя его как своего рода фильтр. Действие такого осветлителя происходит следующим образом. Вода из смесителя поступает по горизонтальной трубе *1* в водоворотную камеру реакции *2* из листовой 5-*мм* стали, расположенную в центральной части осветлителя (рис. 118). На конце трубы имеется сопло *3*, установленное на расстоянии 0,2 диаметра от стенки камеры реакции. Это создает вращательное движение воды, которое благодаря установке в камере еще двух струенаправляющих щитов *4* (в виде сегментов в $^1/_4$ окружности) приобретает направление вверх по спирали. Наверху вода, пройдя гаситель *5*, переливается в воронку *6* центральной трубы *7*, а оттуда поступает в распределительные трубы *8*, числом 4 или 6 (в зависимости от диаметра осветлителя), уложенные на коническом дне осветлителя. Через отверстия, расположенные по одной стороне распределительных труб *8*, вода проходит в междудонное пространство *9*, отделенное дырчатым дном *10* из металлических сегментных щитов (числом 10—12).

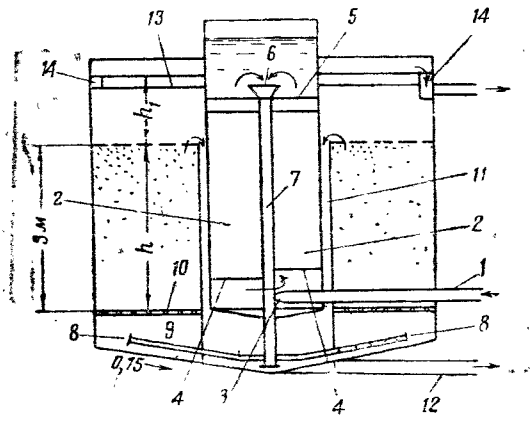


Рис. 118. Суспензионный сепаратор

Находящееся над этим дном кольцевое пространство, образуемое стенками осветлителя и стенками шламоотделителя *11*,

заполняется на высоту $h=3$ *м* взвешенным (или суспендированным) осадком. Шламоотделитель устраивается в виде железобетонного цилиндра с толщиной стенки в 6 *см*. Избыток осадка переливается в шламоотделитель через его верхнюю кромку и по мере накопления удаляется по трубе *12* для отвода шлама. Над слоем взвешенного осадка располагается водяная подушка высотой h_1, а в верхней части осветлителя устроены радиальные лотки *13* и кольцевой сборный жолоб *14* с приемным карманом для отвода осветленной воды.

Высокий осветлительный эффект суспензионного сепаратора объясняется тем, что накопившийся осадок, находящийся во взвешенном состоянии, обеспечивает дальнейшее укрупнение частиц взвеси, поступающей вместе с водой, проходящей снизу вверх через слой осадка. Прозрачность воды после суспензионного сепаратора в $2^1/_2-3$ раза выше, чем после обычного вертикального отстойника (где она составляет в среднем 35 *см*), а в отдельных случаях даже близка к прозрачности воды, прошедшей фильтры.

Важным фактором в работе осветлителя является скорость восходящего движения воды в плоскости выхода из взвешенного осадка, которая определяется по формуле:

$$v=1{,}2k\sqrt{h}\ мм/сек, \qquad (43)$$

где v — скорость восходящего движения воды в *мм/сек*;

h — толщина слоя взвешенного осадка в *м*;

k — коэфициент, равный:

$k=1{,}0$ при умягчении воды, содержащей углекислые соли кальция,

$k=0{,}75$ при умягчении воды с магнезиальной жесткостью больше 25% от общей,

$k=0{,}60$ при умягчении воды, загрязненной стоками органического происхождения,

$k=0{,}40$ при осветлении коагулированной воды.

Толщина защитного слоя воды (так называемой водяной подушки) над осадком составляет:

$$h_1=0{,}4+0{,}2\ h,$$

где h_1 — высота водяной подушки;

h — высота слоя осадка.

Обычно принимают h от 1,2 до 1,5 *м*.

Скорости в трубах и в лотках принимаются:

1) в центральной трубе, подводящей воду к распределительной системе осветлителя, — 0,5 *м/сек*;

2) при входе воды в распределительные трубы — 0,5 *м/сек*;

3) в отверстиях распределительных труб — 0,8—1 *м/сек*; при диаметре отверстий 40—60 *мм*;

4) в отверстиях дырчатого дна — 0,3—0,5 *м/сек* при диаметре отверстий 25 *мм*;

5) в отверстиях лотков — 0,2 *м/сек* при диаметре отверстий 30—40 *мм*;

6) при выходе из лотка — 0,4 *м/сек*;

7) в подводящей трубе — 1,0—1,2 *м/сек*;

8) воды при выходе из сопла — 3,3 *м/сек*;

9) воды в отводящей трубе (из осветлителя на фильтры) — 0,6 *м/сек*.

Пример расчета осветлителя со встроенной водоворотной камерой реакции.

а) Определение площади осветлителя. Расчетный расход 25 000 *м³/сутки* = 1 040 *м³/час*. При устройстве четырех осветлителей производительность каждого составит:

$$q = \frac{1\,040}{4} = 260 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Приняв высоту слоя взвешенного осадка $h = 3$ *м*, определим скорость восходящего движения воды в плоскости выхода из взвешенного осадка:

$$v = 1{,}2 \cdot 0{,}4 \cdot \sqrt{3{,}0} = 0{,}83 \text{ мм/сек} \approx 0{,}85 \text{ мм/сек} = 3{,}06 \text{ м/час}^1.$$

Полезная площадь одного осветлителя:

$$f = \frac{q}{v} = \frac{260}{3{,}06} = 85 \text{ м}^2.$$

б) Расчет камеры реакции. Объем камеры реакции:

$$W = \frac{qt}{60} = \frac{260 \cdot 15}{60} = 65 \text{ м}^3;$$

при высоте камеры $h_{кр} = 5{,}5$ *м* полезная площадь камеры реакции:

$$f = \frac{W}{h_{кр}} = \frac{65}{5{,}5} = 11{,}8 \text{ м}^2.$$

Диаметр приемной воронки центральной трубы принимаем $d_{вор} = 1\,050$ *мм*.

При рекомендуемой скорости в центральной трубе $v_ц = 0{,}5$ *м/сек* и расходе 72 *л/сек* диаметр центральной трубы $d_ц = 400$ *мм* и скорость $v = 0{,}57$ *м/сек*. Площадь центральной трубы $f_ц = 0{,}126$ *м²*. Полная площадь камеры реакции с учетом центральной трубы:

$$f'_{кр} = f_{рк} + f_ц = 11{,}8 + 0{,}126 = 11{,}926 \text{ м}^2;$$

откуда внутренний диаметр камеры реакции:

$$d_{кр} = \sqrt{\frac{4f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11{,}926}{3{,}14}} = 3{,}9 \text{ м}.$$

Наружный диаметр камеры реакции:

$$d'_{кр} = d_{кр} + 2\delta = 3{,}9 + 2 \cdot 0{,}005 = 3{,}91 \text{ м},$$

где δ — толщина стенки камеры (из стальных листов).

---

[1] В 1946 г. доц. В. А. Радциг сделано исследование работы отстойников свердловского водопровода, реконструированных в суспензионные сепараторы, доказавшее возможность повышения скорости v до 1,4—1,5 *мм/сек*.

Вода в камеру реакции подводится снизу по трубе $d = 300$ *мм* со скоростью около 1,0 *м/сек*.

в) Расчет сопла на подводящей трубе.

При скорости выхода воды из сопла 3,3 *м/сек* и расходе $q = 72$ *л/сек* диаметр сопла: $d = 167$ *мм* ($6^1/_2''$); потеря напора в сопле:

$$h_c = \frac{v^2_c}{\mu^2 2g} = \frac{3{,}25^2}{0{,}92^2 \cdot 2 \cdot 9{,}81} = 0{,}7 \text{ м}.$$

Принимаем расстояние между сегментными струенаправляющими щитами 0, 15 *м* (по вертикали), расстояние между нижним сегментным щитом и подводящей трубой с соплом тоже 0,15 *м*.

г) Расчет шламоотделителя. Кольцевой зазор между стенками камеры реакции и шламоотделителя принимаем $b = 0{,}25$ *м*; толщина стенки шламоотделителя $\delta_ш = 0{,}06$ *м*.

Таким образом, внешний диаметр шламоотделителя:

$$D'_ш = d'_{кр} + 2b + 2\delta_ш = 3{,}91 + 0{,}50 + 0{,}12 = 4{,}53 \text{ м};$$

Отсюда полная площадь, занимаемая шламоотделителем с учетом камеры реакции составляет:

$$F_ш = \frac{\pi D'^2_ш}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 4{,}53^2}{4} = 16{,}12 \text{ м}^2.$$

Полная площадь одного осветлителя с учетом шламоотделителя и камеры реакции:

$$F_0 = 85 + 16{,}12 = 101{,}12 \text{ м}^2,$$

откуда внутренний диаметр осветлителя:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4F_0}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 101{,}12}{3{,}14}} \approx 11{,}4 \text{ м}.$$

Высоту междудонного пространства принимаем 0,8 *м*; при уклоне дна $i = 0{,}15$; это дает среднюю высоту нижней части шламоотделителя $h'_2 = 1{,}5$ *м*; тогда емкость шламоотделителя:

$$W_ш = h\frac{\pi}{4}\left(D^2_ш - d'^2_{кр}\right) + h'_2 \frac{\pi}{4} D^2_ш = 3{,}0 \cdot 0{,}785\ (4{,}41^2 - 3{,}91^2) +$$

$$+ 1{,}5 \cdot 0{,}785 \cdot 4{,}41^2 = 32{,}71 \text{ м}^3,$$

где $D_ш$ — внутренний диаметр шламоотделителя, равный 4,41 *м*.

д) Расчет распределительных труб. Число труб принимаем $n = 6$, тогда расход на одну трубу $d = \frac{72}{6} = 12$ *л/сек*; при рекомендуемой скорости в распределительных трубах $v = 0{,}5$ *м/сек*, $d = 175$ *мм*.

Площадь отверстий распределительной трубы при скорости выхода воды $v_0 = 0{,}8$ *м/сек*:

$$\Sigma f_0 = \frac{q}{v} = \frac{0{,}012}{0{,}8} = 0{,}015 \text{ м}^2;$$

при принятом диаметре отверстий 60 *мм* $= 0{,}06$ *м* площадь одного отверстия:

$$f_0 = 0{,}785 \cdot 0{,}06^2 = 0{,}00283 \text{ м}^2.$$

Число отверстий в одном ответвлении:

$$m = \frac{\Sigma f_0}{f_0} = \frac{0{,}015}{0{,}00283} = 5{,}3;\ \text{принимаем } m = 5;$$

тогда действительная скорость в отверстиях

$$v_0' = \frac{q}{\Sigma f_0} = \frac{0{,}012}{0{,}00283 \cdot 5} = 0{,}85\ м/сек;$$

длина ответвления, на котором размещены отверстия:

$$l = \frac{D_0 - D_ш'}{2} - 0{,}4 = \frac{11{,}4 - 4{,}53}{2} - 0{,}4 = 3{,}03\ м.$$

Расстояния между отверстиями:

$$e = \frac{l}{m} = \frac{3{,}03}{5} = 0{,}60\ м.$$

е) Расчет дырчатого дна. Дырчатое дно состоит из сегментных дырчатых съемных щитов, число которых примем $n_д = 12$. Площадь дырчатого дна: $F_д = 85\ м^2$.

Площадь дырчатого щита:

$$f_щ = \frac{F_д}{n_д} = \frac{85}{12} = 7{,}08\ м^2.$$

Расход воды через один щит:

$$q_щ = \frac{72}{12} = 6\ л/сек.$$

Площадь всех отверстий в одном щите при скорости воды в отверстии $v_{отв} = 0{,}35\ м/сек$:

$$\Sigma f_0 = \frac{q_щ}{v_{отв}} = \frac{0{,}006}{0{,}35} = 0{,}0171\ м^2.$$

Площадь одного отверстия при диаметре $d = 0{,}025\ м$:

$$f_{отв} = 0{,}000491\ м^2.$$

Число отверстий на одном щите:

$$m_{отв} = \frac{\Sigma f_{отв}}{f_{отв}} = \frac{0{,}0171}{0{,}000491} = 35\ \text{отверстий}.$$

Число отверстий на всем дне:

$$n_д \cdot m_{отв} = 35 \cdot 12 = 420\ \text{отверстий}.$$

Число отверстий на $1\ м^2$ дна $\frac{420}{85} = 5$.

Отверстия на щите располагаются в шахматном порядке.

Высота защитного слоя воды (водяной подушки):

$$h_1 = 0{,}4 + 0{,}2\ h = 0{,}4 + 0{,}2 \cdot 3{,}0 = 1{,}0\ м.$$

Принимаем $h_1 = 1{,}5$ *м*.

ж) Расчет сборных лотков. Площадь отверстий в лотках при нагрузке на осветлитель 72 *л/сек* и скорости воды в отверстиях лотков $v_1 = 0{,}2$ *м/сек*:

$$F_{отв.\,л} = \frac{Q_0}{v_1} = \frac{0{,}072}{0{,}2} = 0{,}36 \text{ м}^2.$$

Площадь одного отверстия при его диаметре $d = 40$ *мм*:

$$f_{отв.\,л} = 0{,}001256 \text{ м}^2.$$

Число отверстий в радиальных лотках и в кольцевом сборном желобе:

$$n = \frac{F_{отв.\,л}}{f_{отв.\,л}} = \frac{0{,}36}{0{,}001256} = 286 \text{ отверстий}.$$

Принимаем 6 радиальных лотков. Длина каждого лотка:

$$l_л = \frac{11{,}4 - 3{,}91}{2} - b = \frac{7{,}49}{2} - 0{,}25 = 3{,}50 \text{ м},$$

где $b = 0{,}25$ — ширина кольцевого желоба.

Отверстия делаются в двух боковых стенках и в дне радиальных лотков, т. е. в трех плоскостях, общая длина которых равна $3 \cdot 6 \cdot 3{,}50 = 63$ *м*.

Длина сборного кольцевого желоба:

$$p = \pi D_0 = 3{,}14 \cdot 11{,}4 = 35{,}8 \text{ м},$$

а учитывая, что отверстия делаются в дне желоба, имеем длину плоскостей с отверстиями в желобе:

$$p_1 = 2 \cdot 35{,}8 = 71{,}6 \text{ м}.$$

Таким образом, общая длина плоскостей лотков с отверстиями:

$$\Sigma p = 63 + 71{,}6 = 134{,}6 \text{ м}.$$

Расстояния между отверстиями:

$$e = \frac{\Sigma p}{n} = \frac{134{,}6}{286} = 0{,}47 \text{ м}.$$

Размеры радиальных лотков:

$$b_л \times h_л = 0{,}20 \times 0.20 \text{ м}.$$

Размеры кольцевого желоба: $0{,}25 \times 0{,}30$ *м*.

Диаметр отводящей трубы при $q = 72$ *л/сек* и рекомендуемой скорости $v = 0{,}6$ *м/сек*; $d = 400$ *мм*; $v = 0{,}57$ *м/сек*.

§ 43. Фильтрация воды

А. Устройство и загрузка фильтров

Фильтрация воды производится, главным образом, на песчаных фильтрах. Песчаные фильтры современной конструкции представляют собой железобетонные резервуары, загруженные несколькими слоями песка и гравия, крупность которых возрастает сверху вниз. Самый верхний слой толщиной 0,70 *м*

называется фильтрующим слоем и состоит из чистого кварцевого песка крупностью от 0,3 до 1 *мм*.

Механический состав песка для фильтров подбирается на основе общепринятых характеристик, которыми являются: 1) эффективная величина песка, т. е. калибр сита, через которое проходит 10% данного песка и 2) коэфициент однородности песка, т. е. отношение 60%-ного калибра к 10%-ному. У нас в СССР по § 36 „Основных положений для составления проектов фильтровальных станций", принятых IV Всесоюзным водопроводным и санитарно-техническим съездом, эффективная величина песка должна составлять 0,35—0,45 *мм*, а коэфициент однородности песка — не более 1,60. В связи с улучшением предварительной обработки воды (т. е. до подачи ее на фильтр) в настоящее время замечается тенденция к повышению эффективной величины песка, которая на новых фильтровальных станциях принимается более высокой, — до 0,60 *мм*.

Фильтрующий слой песка лежит на поддерживающих слоях с зернами крупностью в 1—2, 2—4, 4—8 и 8—16 *мм* общей толщиной 0,30 *м*. Еще ниже располагаются поддерживающие слои гравия крупностью 16—32 и 32—64 *мм* общей толщиной 0,35 *м*. Назначение поддерживающих слоев — препятствовать вымыванию мелкого фильтрующего песка и уносу его вместе с водой. Поддерживающие слои соприкасаются с дренажем фильтра, который собирает просочившуюся воду.

Б. Медленные фильтры

На „медленных" фильтрах вода проходит через фильтрующий слой с очень небольшой скоростью (скорость фильтрации), составляющей только 100 *мм/час* и лишь при сравнительно прозрачной воде источника достигающей 170 *мм/час*. Поэтому площадь фильтра должна иметь большие размеры. Вода напускается на фильтр слоем 1,20—1,50 *м*. Основная масса загрязнений задерживается на поверхности фильтра и в верхнем 10-*мм* слое песка, образуя слизистый осадок. Этот осадок имеет важное значение; он представляет собой фильтрующую пленку, в которой улавливаются мелкие частицы взвеси и бактерий. Пленка образуется на фильтре не сразу. Для ее созревания необходимо несколько суток, в течение которых фильтруемую воду нельзя использовать, а приходится сбрасывать в сток.

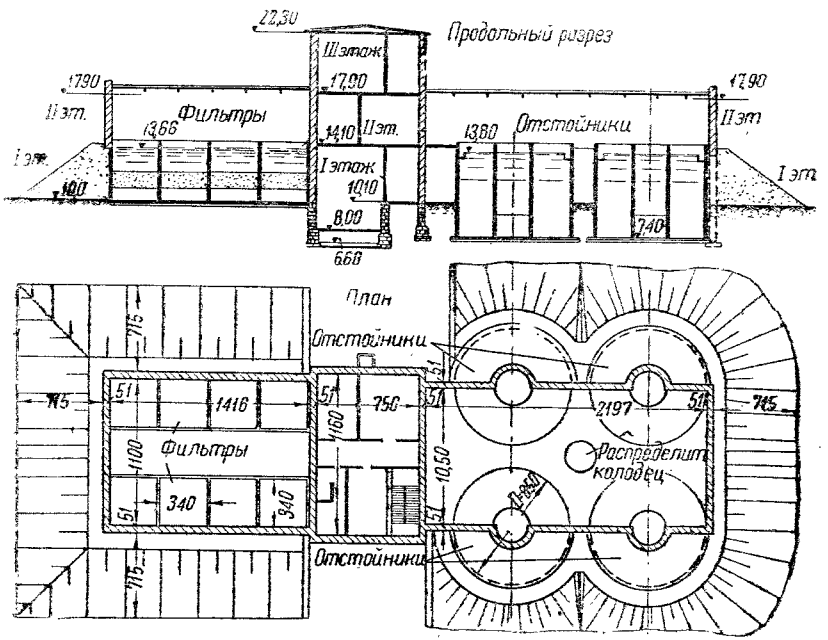
С течением времени утолстившаяся пленка вызывает увеличение потерь напора на фильтре. Поэтому примерно через $1^1/_2$—3 месяца необходима очистка фильтра.

Дренажем медленных фильтров служат железобетонные плитки с отверстиями, уложенные на бетонных столбиках.

Медленные фильтры впервые были применены в Англии в 1829 г. (отсюда их название „английские") и только там имеют еще довольно большое распространение. В СССР и других странах они вытеснены скорыми фильтрами, появившимися в 1885 г. и с тех пор непрерывно совершенствующимися.

В. Скорые фильтры

При скорых фильтрах необходима предварительная коагуляция взвеси. Образовавшиеся после коагуляции хлопья, частично попадая из отстойника на фильтр, ускоряют образование пленки (пленка бывает готова через 15—20 мин. вместо нескольких суток при медленной фильтрации). Пленка, образовавшаяся из хлопьев, позволяет довести скорость фильтра-



1 Строительные размеры в см
2 Отметки в м

Рис. 119. Типовая фильтровальная станция

ции до 5 *м/час*, т. е. в 50 раз больше по сравнению с медленными фильтрами.

Таким образом применение скорых фильтров позволило сократить площадь фильтровальных станций в 35—50 раз и облегчить условия эксплоатации. На рис. 119 представлена типовая фильтровальная станция Центроспецстройпроекта, разработанная до войны. В 1947 г. Центроспецстройпроектом разработаны новые типовые проекты. Компоновка станций почти не изменилась, но предусмотрен переход на суспензионную сепарацию, а скорость фильтрации увеличена до 6,2 *м/час*.

Повышение скорости фильтрации осуществляется двумя путями: 1) за счет улучшения процесса предварительной обработки воды перед фильтра-

цией (улучшение реакции, применение флокуляторов и особенно суспензионной сепарации) и 2) за счет усиления процесса хлопьеобразования путем добавки к коагулянту до 40% силикатов, обработанных в серной кислоте. Благодаря этим мероприятиям на одной из больших фильтровальных станций скорость фильтрации установлена 6,1 *м/час* зимой и 7,33 *м/час* летом, а в часы пик до 9,8 *м/час* (летом).

Вода, прошедшая через фильтр, направляется в резервуары чистой воды по трубопроводу со скоростью около 1 *м/сек*.

Г. Обратная промывка скорых фильтров

Скорые фильтры требуют и более частой очистки, а именно 1—2 раза в сутки. Однако очистка не вызывает затруднений и больших перерывов в работе, так как осуществляется механизированным способом — посредством промывки фильтра обратным током чистой воды, т. е. в направлении снизу вверх.

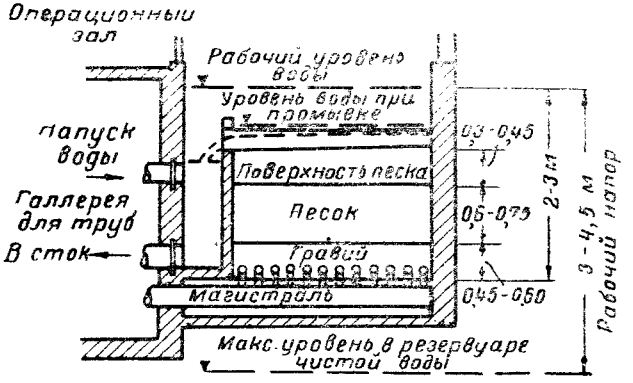


Рис. 120. Схематический разрез скорого фильтра

При этом интенсивность промывки составляет 10—12,5 *л/сек* воды на 1 $м^2$ фильтрующей поверхности. Вода для промывки подается из высоко расположенного резервуара под напором 10—12 *м* или от специального промывного насоса. Скорость движения воды в напорной промывной линии 1,5—2 *м/сек*.

Под действием промывной воды песчаная загрузка фильтра увеличивается в объеме, плотность ее уменьшается, вследствие чего уровень песка поднимается выше обычного своего положения (рис. 120). Это явление носит название „расширения" песка, которое выражается в процентах к нормальному объему песчаной загрузки.

Процент расширения песка колеблется летом от 25 до 50, зимой от 45 до 90, обратно пропорционально крупности песка и температуре воды и прямо пропорционально интенсивности промывки.

Площадь фильтрующей поверхности одного фильтра принимается в зависимости от общей производительности станции. На небольших установках она составляет 15—30 $м^2$. Средние

и крупные очистные станции имеют фильтры площадью 40, 50, 65, 100 и 130 $м^2$.

Для отвода загрязненной воды, получающейся при промывке скорых фильтров, служат бетонные жолоба (рис. 121), размещаемые параллельно друг другу на расстоянии 1,8—2,6 $м$. Кромка жолоба располагается на $m = 0{,}6 \div 0{,}7$ $м$ выше поверхности песка. Такая высота обеспечивает вынос мути с водой, но предотвращает вовлечение в жолоб фильтрующего слоя песка[1].

Продолжительность обратной промывки фильтра не превышает 4—6 мин.

Площадь поперечного сечения водоотводящего жолоба принимается не более 0,20 $м^2$ (глубина 0,35—0,50 $м$, ширина 0,30—0,40 $м$). Длина жолоба не более 5—5,3 $м$. Скорость воды в жолобе при промывке фильтра принимается 0,6 $м/сек$; таким образом наибольшее количество стекающей по жолобу

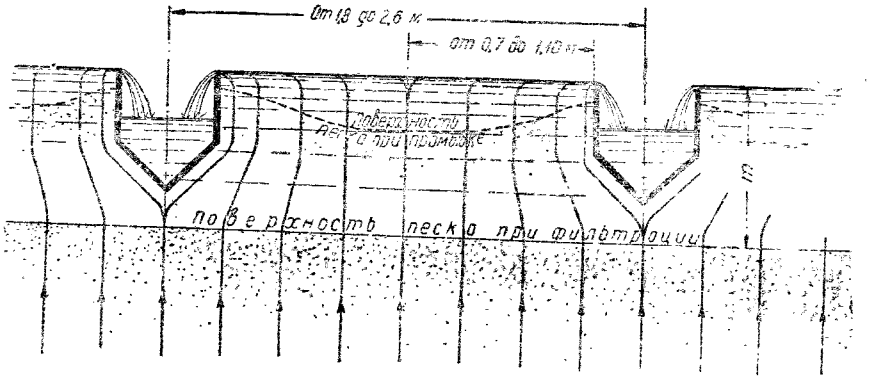


Рис. 121. Обратная промывка скорого фильтра

воды составит $0{,}2 \cdot 0{,}6 = 0{,}120$ $м^3/сек = 120$ $л/сек$, и, следовательно, один жолоб при интенсивности промывки 12,5 $л/сек$, на 1 $м^2$ может обслужить фильтр площадью $\frac{120}{12{,}5} \approx 10$ $м^2$ (рис. 122, *а*).

Для фильтров большей площадью — до 30 $м^2$ необходимо устройство нескольких жолобов и бокового канала (рис. 122, б). В фильтре площадью более 30 $м^2$ должен быть устроен центральный канал (рис. 122, *в*), к которому с обеих сторон примыкают жолоба.

Однако при большой величине фильтрующей поверхности слишком возрастает требуемая мощность промывных насо-

[1] Более точно высота расположения кромки жолоба определяется в зависимости от процента расширения песка и других факторов. См. проф. В. Т. Турчинович, Улучшение качества воды, Стройиздат Наркомстроя, 1940.

сов: при площади фильтра 65 $м^2$ нужен промывной насос производительностью $65 \cdot 12{,}5 = 812{,}5$ $л/сек$.

С другой стороны, устройство фильтров с малыми площадями на больших станциях привело бы к очень большому числу фильтров, что внесло бы затруднения в их обслуживание. Поэтому на больших станциях устраивают фильтры большой площади. Так, на Сталинской станции в Москве приняты фильтры площадью каждый 120 $м^2$; даже при столь значительных размерах фильтров число их на станции составляет 46. Скорость течения воды в каналах и трубопроводах, отводящих чистую воду, — 1,5—2 $м/сек$.

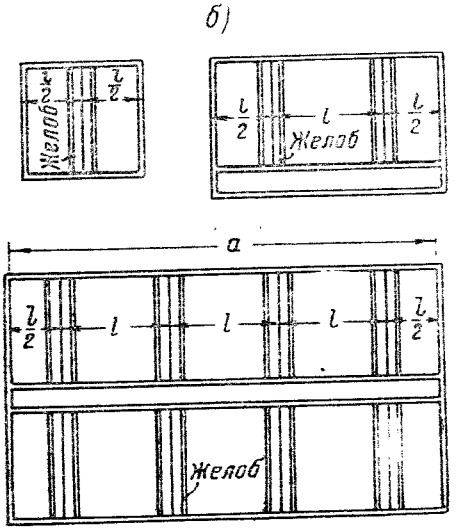


Рис. 122. Размещение жолобов на скорых фильтрах

Д. Поверхностная промывка скорых фильтров

Обратная промывка фильтра не исключает накопления в нем остаточных загрязнений в виде грязевых комьев, неотделимых от зерен песка. Для устранения их Бейлис (США) предложил часть промывочной воды подавать сверху. Интенсивность поверхностной промывки рекомендуется от 2 до 4 $л/сек$ на 1 $м^2$ с одновременным снижением интенсивности обратной промывки до 6—8 $л/сек$ на 1 $м^2$. Опыты с поверхностной промывкой на Черепковской фильтровальной станции в Москве установили следующий порядок промывки: первые 2 мин. осуществляется только поверхностная промывка, следующие 3 мин. она производится одновременно с обычной обратной промывкой и, наконец, последние 2 мин. идет только обычная обратная промывка. Такой режим дает наибольшую экономию промывной воды, достигающую 15%.

За последнее время получила более широкое распространение поверхностная промывка осуществляемая при помощи вращающейся на поверхности песка горизонтальной трубки с десятью и более насадками и действующей по принципу Сегнерова колеса. Эксплоатация показала, что поверхностная промывка, разрыхляя верхний слой загрузки фильтра, устраняет образование комьев грязи, удлиняет межпромывочный период, препятствует органическим образованиям в песке, а также появлению привкусов и запаха и сокращает расход промывочной воды.

В этой установке центральная ось горизонтальной вращающейся трубки *Т* диаметром от 50 до 75 *мм* расположена на высоте 50 *мм* от рабочей поверхности загрузки фильтра (рис. 123, *а*). Боковые насадки диаметром от 6 до 10 *мм* приварены к вращающейся трубке только по одной стороне каждого ее плеча на взаимных расстояниях 15—30 *см* друг от друга (рис. 123, *б*).

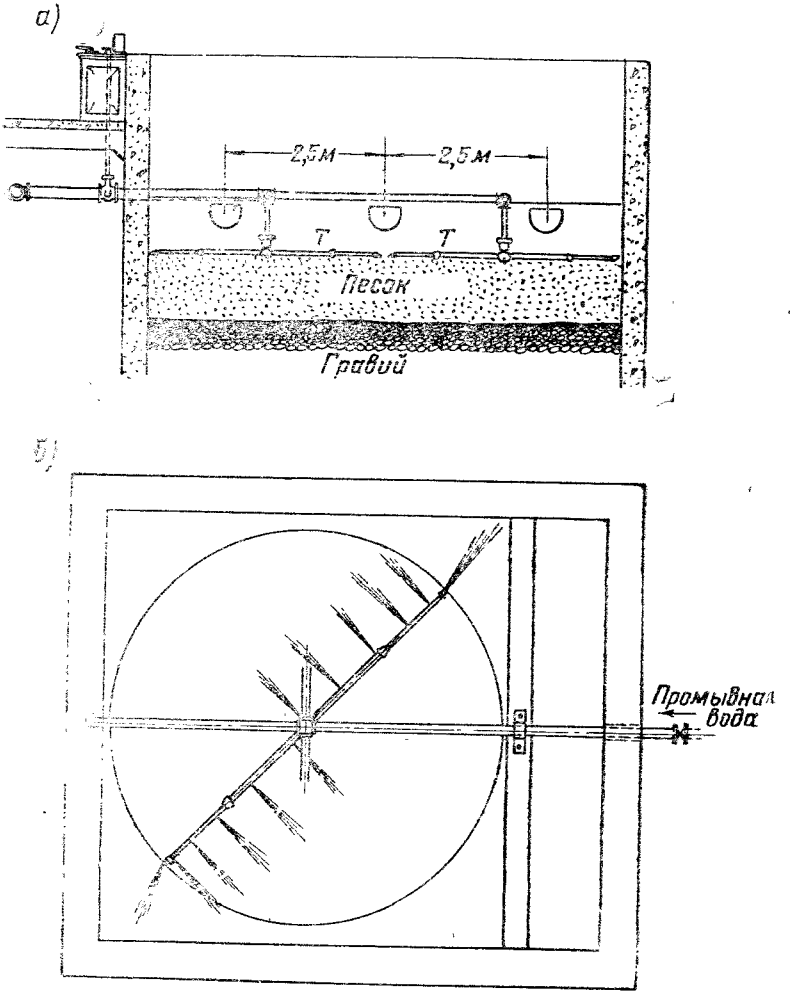


Рис. 123. Поверхностная промывка скорого фильтра: *а* — разрез по фильтру, оборудованному двумя аппаратами для промывки; *б* — план фильтра, оборудованного одним аппаратом.

Наклон насадок к поверхности фильтра принимается несколько меньше угла естественного откоса насыщенно-влажного песка, т. е. $<25°$. Это способствует лучшему перемещению песчинок, и следовательно, и лучшей промывке, так как зерна песка очищаются не только благодаря смывающему действию струй, но и вследствие трения друг о друга движущихся песчинок. Чтобы обеспечить проникание струй на 10—15 *см* в песчаную загрузку

фильтра надо создать скорость при выходе из насадок до 30 *м/сек*. Такая скорость достигается при напоре в горизонтальной трубке около 4,5—5 *м*. Этот напор, необходимый и для вращения трубок, создается небольшим специальным насосом.

Число оборотов вращающейся трубки во время промывки фильтра должно быть в пределах от 4 до 7 об/мин.

Для поверхностной промывки песка в угловых частях фильтра на концах вращающихся трубок, кроме боковых насадок, имеются также и торцевые насадки.

Порядок промывки принимается следующий: первые 5 мин. производится только поверхностная промывка с интенсивностью от 0,5 до 1,25 *л/сек* на 1 *м*²; последние 2 мин. одновременно действует и поверхностная и обратная промывка с общей интенсивностью около 15 *л/сек* на 1 *м*².

В случае применения поверхностной промывки по этой системе фильтры площадью до 25 *м*² должны быть квадратные, а фильтры площадью >25 *м*² следует устраивать прямоугольные с соотношением ширины и длины каждого фильтра (или отделения фильтра, если они двухсекционные) 1 : 2. Это необходимо для размещения над каждым отделением фильтра двух вращающихся в горизонтальной плоскости аппаратов для поверхностной промывки. При площади фильтра более 80 *м*² отношение ширины к длине следует принимать 1 : 3.

Число желобов над каждым прямоугольным фильтром (или над отделением фильтра) удобнее принимать обязательно четным.

Эффективная величина песка для загрузки фильтра при наличии поверхностной промывки должна быть около 0,6—0,7 *мм* (вместо 0,35—0,45 *мм*).

Опытная установка с поверхностной промывкой по этому типу осуществлена на Сталинской станции в Москве.

Е. Дренаж скорых фильтров

Очень важной деталью скорого фильтра является дренаж, от которого зависит равномерность распределения промывной воды. Различают два основных типа дренажей: б о л ь ш о г о с о п р о т и в л е н и я и м а л о г о с о п р о т и в л е н и я. Более широко распространен дренаж большого сопротивления, в частности одна из его конструкций — так называемый т р у б ч а т ы й д р е н а ж. Он представляет собой систему труб с боковыми ответвлениями. Диаметр магистрали дренажа определяется расчетом по скорости $v = 1{,}5$ *м/сек* и обычно бывает не менее 350 *мм*. Ответвления делаются через 0,20—0,30 *м* и рассчитываются по максимальной скорости $v_o = 2{,}5$ *м/сек*; они должны иметь отверстия, направленные вниз под углом 45° к вертикали (рис. 124). При таком размещении отверстий вода отражается от дна фильтра, что способствует равномерному ее распределению в поддерживающем слое гравия и гальки.

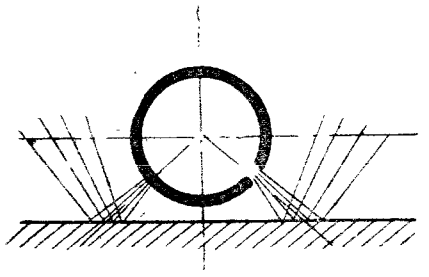


Рис. 124. Трубчатый дренаж

Напор в начальной точке магистрали должен быть:

$$h = \frac{9v^2 + 10v_1^2}{2g}. \qquad (44)$$

Отношение площади отверстий в ответвлениях к площади фильтра должно быть:

$$\kappa = \frac{w}{10\mu\sqrt{2gh}}, \qquad (45)$$

где w — интенсивность промывки в л/сек на 1 м^2,

μ — коэфициент расхода, равный 0,62[1].

Обычно κ бывает от 0,2 до 0,3%.

Другим типом дренажа большого сопротивления является шаровой дренаж, или так называемый дренаж Уилера. Он

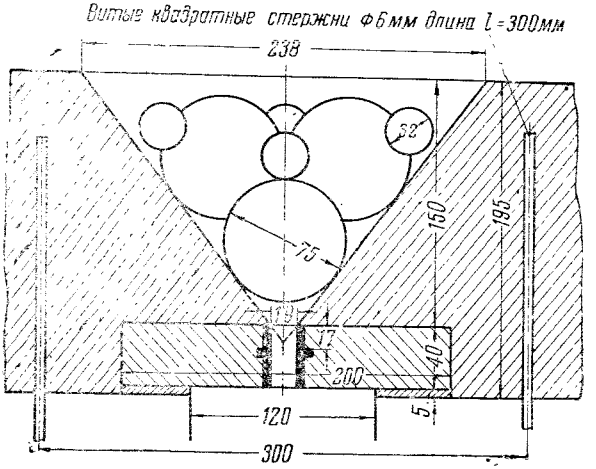


Рис. 125. Шаровой дренаж

требует устройства дна фильтра специальной формы с пирамидальными углублениями, которые заполняются бетонными или керамическими шарами диаметром 32 и 75 *мм* (рис. 125). Вода проходит снизу вверх через отверстия в нижней части каждого пирамидального углубления, обтекая шары, вследствие чего создается равномерность распределения воды. Наличие шаров меньшего диаметра обеспечивает постепенный переход к поддерживающим слоям гравия и гальки. Поэтому дренаж Уилера позволяет уменьшить толщину гравийной загрузки фильтра. Главное же его достоинство заключается

[1] Вывод приведенных формул для h и κ см. проф. В. Т. Турчинович, Улучшение качества воды, Стройиздат Наркомстроя, 1940.

в большой экономии металла по сравнению со всеми другими системами дренажа.

К дренажам малого сопротивления относится дренаж из досок толщиной 25 *мм* и шириной 200 *мм*, поставленных на ребро с 25-*мм* промежутками между ними (рис. 126). Применение дощатого дренажа в ряде случаев может дать значи-

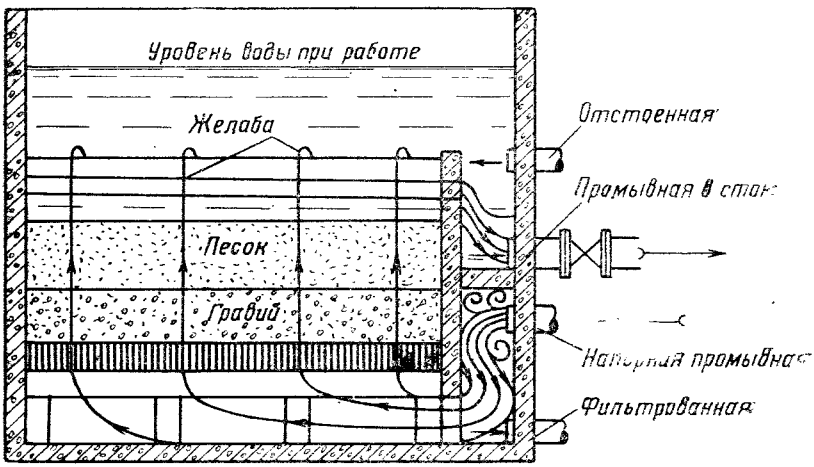


Рис. 126. Дощатый дренаж малого сопротивления

тельную экономию в первоначальных затратах, однако он менее надежен в эксплоатации (могут коробиться доски и т. п.).

Ж. Регулирование скорости фильтрации

Для поддержания постоянной скорости прохода воды через фильтр при нем устанавливается регулятор скорости фильтрации. Действие этого прибора основано на изменениях давления над специальной мембраной и под ней при увеличении или уменьшении скорости в трубопроводе, отводящем очищенную воду с фильтра. Имеется много разнообразных конструкций регуляторов скорости фильтрации[1].

3. Автоматизация управления фильтрами

На современных очистных станциях применяется механизация и автоматизация управления фильтрами. Наблюдение за действием фильтров и управление задвижками централизованы. Все операции по открытию и закрытию задвижек, пуск промывного насоса и т. д. могут производиться со столов управления. На рис. 127 показан блок из трех скорых фильтров,

[1] О регуляторах скорости фильтрации см. в специальных пособиях по очистке воды.

оборудованных столами управления. На столе размещены рукоятки для управления гидравлическими или электрифицированными задвижками, кнопки для включения промывных насосов и приборы, показывающие величину скорости фильтрации, величину потери напора на фильтре и т. д. Регулиро-

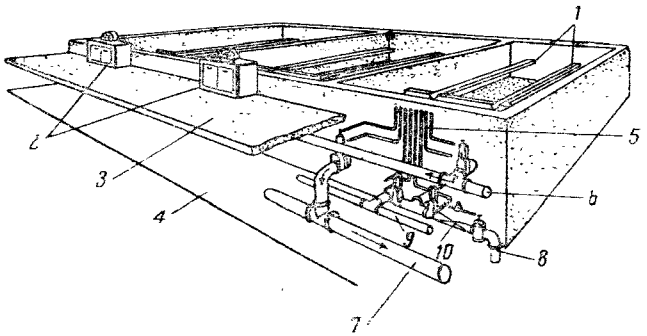


Рис. 127. Блок из трех скорых фильтров, оборудованный столом управления: 1 — промывные жолоба; 2 — столы управления; 3 — операционная площадка; 4 — галлерея трубопроводов; 5 — напорные трубопроводы от гидравлических задвижек к столам управления; 6 — на фильтры; 7 — отвод промывной воды; 8 — фильтрованная вода. 9 — промывная вода; 10 — регулятор скорости фильтрации

вание скорости фильтрации можно также производить со стола управления.

И. Антрацитовые фильтры

Кроме песка в качестве загрузки фильтра может служить антрацит, впервые примененный около 30 лет назад. Удельный вес антрацита 1,5, тогда как удельный вес песка—2,65. Поэтому антрацит должен укладываться в качестве верхнего слоя, толщина которого принимается равной $^1/_3$ всего фильтрующего слоя загрузки. Эффективная величина антрацита 0,70—0,73 *мм* (эффективная величина песка 0,40—0,50 *мм*). Наличие антрацита увеличивает длительность работы фильтра между двумя чистками, позволяет повысить обычную скорость фильтрации на 70%, уменьшает потери напора на фильтре. При обратной промывке фильтра подъем антрацитовой загрузки происходит при меньшей интенсивности промывки, что обеспечивает экономию промывной воды

К. Напорные фильтры

Напорные фильтры устраиваются в виде закрытых стальных резервуаров, что позволяет пропускать через них филь-

труемую воду под определенным напором, причем после фильтрации остается еще достаточный напор для подачи воды в напорный бак или в разводящую сеть. Напорные фильтры применяются, главным образом, в промышленном водоснабжении в тех случаях, когда качественные требования к воде позволяют отказаться от отстойников.

Напорные фильтры имеют такую же загрузку, как и открытые (самотечные) фильтры, и такое же оборудование — дренаж, трубопроводы для подачи фильтруемой и промывной воды, а также для отвода чистой и сбрасываемой после промывки загрязненной воды.

Напорные фильтры бывают вертикальные и горизонтальные. Диаметр напорных фильтров по конструктивным соображениям принимается не более 3 *м*. При таком диаметре фильтрующая поверхность в вертикальных фильтрах составляет только 7 *м*². Поэтому в крупных установках для уменьшения числа фильтров устраиваются горизонтальные напорные фильтры, позволяющие довести фильтрующую площадь каждого из них до 20—30 *м*² путем увеличения длины цилиндра при одном и том же диаметре 3 *м*.

Л. Пример расчета скорых фильтров

Определение площади и числа фильтров. Полная расчетная производительность фильтровальной станции 50 000 *м*³/*сутки*, или 2 083 *м*³/*час*.

Принимая скорость фильтрации 5 *м*/*час*, определим суммарную площадь фильтров:

$$\Sigma F = \frac{2\,083}{5} = 416{,}7 \ м^2.$$

При 16 фильтрах площадь каждого:

$$F = \frac{\Sigma F}{16} = \frac{416{,}7}{16} = 26 \ м^2.$$

Размеры фильтра в плане $5 \times 5{,}2$ *м*.

Расчет трубчатого дренажа. Количество промывной воды на один фильтр при интенсивности промывки $w = 12{,}5$ *л*/*сек* на 1 *м*² составляет:

$$q = Fw = 26 \cdot 12{,}5 = 325 \ л/сек.$$

При входной скорости в магистрали дренажа $v = 1{,}50$ *м*/*сек* диаметр магистрали должен быть:

$$d = \sqrt{\frac{4q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}325}{3{,}14 \cdot 1{,}5}} = \sqrt{0{,}276} = 0{,}525 \ м;$$

берем ближайший диаметр $d = 500$ *мм*.

Тогда входная скорость:

$$v = \frac{4q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0{,}325}{3{,}14 \cdot 0{,}52} = \frac{1{,}3}{0{,}785} = 1{,}64 \ м/сек.$$

Площадь дна фильтра, приходящаяся на одно ответвление (рис. 128) при расстоянии между ними $m = 0{,}25$ *м*.

$$F = \frac{5,2}{2} \cdot 0,25 = 0,650 \ м^2,$$

а расход промывной воды:

$$F_{пр} = fw = 0,650 \cdot 12,5 = 8,1 \ л/сек.$$

Допуская скорость входа в ответвлениях $v_0 = 2,5$ *м/сек*, находим необходимую площадь их сечения:

$$f_0 = \frac{0,0081}{2,5} = 0,00324 \ м^2,$$

откуда $d_0 = \sqrt{\frac{4f}{\pi v_0}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0081}{3,14 \cdot 2,5}} = \sqrt{0,00413} = 0,00642 \ м.$

Принимаем ближайший диаметр: $d_0 = 63$ *мм* ($2\frac{1}{2}''$). Площадь сечения такой трубы 0,00317 $м^2$, и, следовательно, фактическая скорость при входе будет:

$$v_0' = \frac{0,0081}{0,00317} = 2,56 \ м/сек.$$

Напор в начальной точке магистрали [формула (44)]:

$$h = \frac{9 \cdot 1,64^2 + 10 \cdot 2,56^2}{2 \cdot 9,81} = 4,57 \ м.$$

Отношение площади отверстий в ответвлениях к площади фильтра [формула (45)]:

$$k = \frac{12,5}{10 \cdot 0,62 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4,57}} = \frac{12,5}{10 \cdot 0,62 \sqrt{89,66}} = \frac{12,5}{6,2 \cdot 9,47} = \frac{12,5}{58,7} = 0,213\%.$$

Суммарная площадь отверстий, приходящаяся на один фильтр при $k = 0,213\%$:

$$\Sigma f = \frac{0,213 \cdot 26}{100} = 0,0554 \ м^2 = 55\,400 \ мм^2.$$

Площадь одного отверстия при диаметре его $\delta = 10$ *мм*:

$$f = \frac{\pi \delta^2}{4} = 78,54 \ мм^2.$$

Отсюда число отверстий на один фильтр:

$$n = \frac{55\,400}{78,54} \approx 704.$$

При 40 ответвлениях на один фильтр на одном ответвлении должно быть:

$$\frac{704}{40} = 17,6 \approx 18 \text{ отверстий.}$$

Длина одного ответвления при наружном диаметре магистрали $d = 520$ *мм* составляет: $\frac{5,2 - 0,52}{2} = 2,34 \ м;$

отсюда расстояние между отверстиями: $m = \frac{2\,340}{18} = 130 \ мм.$

Расчет жолобов для отвода промывной воды. Суммарная площадь поперечных сечений жолобов для одного фильтра при скорости отвода воды $v_{ж} = 0{,}6$ *м/сек*:

$$\Sigma f_{ж} = \frac{q}{v_{ж}} = \frac{0{,}325}{0{,}6} = 0{,}542 м^2.$$

Размеры жолоба (рис. 129) определяются из условия, чтобы общая высота его была не более 0,65 *м*; следовательно, полезная высота жолоба при

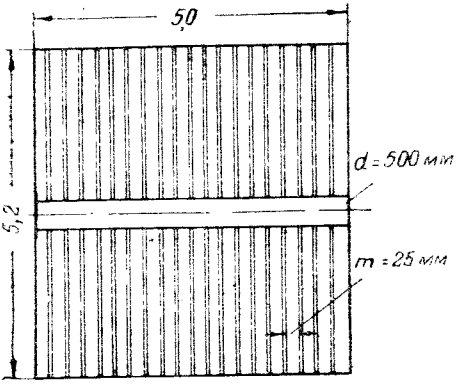


Рис. 128. Схематический план трубчатого дренажа

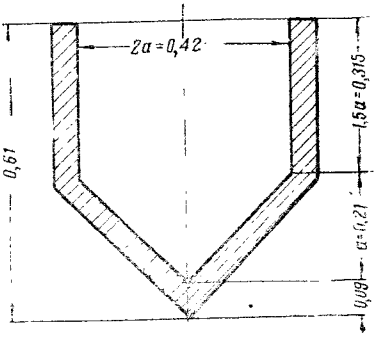


Рис. 129. Схема жолоба для отвода промывной воды

толщине днища 0,09 *м* должна быть не более 0,56 *м*. Ширина жолоба должна быть $2a$, а высота прямоугольной части $1{,}5a$ (a — высота треугольной части).

Полная полезная высота:

$$1{,}5a + a = 2{,}5a.$$

Величина a должна быть не более: $a = \frac{0{,}56}{2{,}50} = 0{,}224$ *м*.

Отсюда наибольшая площадь поперечного сечения жолоба должна быть

$$f_{ж\max} = 2a \cdot 1{,}5\,a + \frac{2a^2}{2} = 4a^2 = 4 \cdot 0{,}224^2 = 0{,}2\ м^2$$

и минимально необходимое число жолобов: $\frac{0{,}542}{0{,}2} = 2{,}71$.

Принимаем три жолоба с поперечными сечениями по

$$f_{ж} = \frac{0{,}542}{3} = 0{,}181\ м^2,$$

откуда

$$a = \sqrt{\frac{f_{ж}}{4}} = \frac{0{,}181}{4} = 0{,}21\ м.$$

Таким образом ширина $b = 2a = 0{,}42$ *м*; высота $h_1 = 1$, $a = 0{,}315$ *м* и общая высота (полезная) $h = 2{,}5a = 0{,}525$ *м*.

Расстояние между осями жолобов: $l = \frac{5{,}2}{3} = 1{,}73$ *м*, что допустимо для фильтров с площадью менее 10 $м^2$ (для которых минимально $l = 1{,}60$ *м*).

§ 44. Обеззараживание (дезинфекция) воды

Дезинфекция воды имеет целью уничтожить имеющиеся в ней бактерии. Для дезинфекции воды обычно применяется хлорирование. Обеззараживание воды может быть также достигнуто озонированием или действием ультрафиолетовых лучей.

А. Хлорирование. Остаточный хлор

Хлор, введенный в воду, соединяется с ней и образует соляную и хлорноватистую кислоты по уравнению:

$$Cl_2 + H_2O = HCl + HOCl.$$

В дальнейшем ходе реакции HOCl образует соляную кислоту и выделяет кислород, который действует как энергичный окислитель на органические вещества, содержащиеся в воде. Он окисляет также и вещество бактерий, прекращая их жизнедеятельность.

После того как под действием хлора произойдет окисление всех органических веществ и бактерий, содержавшихся в воде, в наиболее удаленных точках сети должно быть не менее 0,1 *мг/л* так называемого „остаточного" хлора. Наличие его после 30-минутного контакта воды с хлором служит показателем достаточности принятой дозы хлора. Таким образом хлор вводится в воду с некоторым избытком. Слишком большая величина остаточного хлора—больше 0,3 *мг/л* — может влиять отрицательно на вкус воды. Хлор добавляется в профильтрованную воду в дозах от 0,3 до 1 *мг/л* или в нефильтрованную воду в дозах от 1,5 до 2 *мг/л*.

Обезвреживающее действие хлора сказывается уже через 20 мин. после его добавки в воду. Однако подачу хлорированной воды потребителям лучше производить после 2-часового периода, так как это уменьшает хлорный запах.

Б. Напорные хлораторы

Хлор для обеззараживания воды применяется обычно в виде газа. Для дозировки хлора служат хлораторы, которые могут быть различных конструкций. Наибольшим распространением у нас в СССР пользуется хлоратор системы Ремесницкого (рис. 130). Хлор поступает в прибор из баллона, где он находится в сжиженном состоянии при давлении в 40 *ат*. Баллон стандартного образца Е-25 вмещает 25 *кг* хлора. Внутрь баллона, почти до дна его, опущена трубка, по которой и выходит хлор. Поэтому, при установке баллона в рабочее положение его надо перевертывать вентилем вниз.

В больших установках между хлорным баллоном и хлоратором устанавливается так называемый промежуточный баллон, имеющий назначением отделять жидкий хлор и загрязнения перед поступлением хлорного газа в хлоратор.

Хлорный газ, поступающий в хлоратор из промежуточного баллона *1* (рис. 130) через вентили *2* и *3* и через фильтр *4* со стеклянной ватой, проходит прежде всего через редукцион-

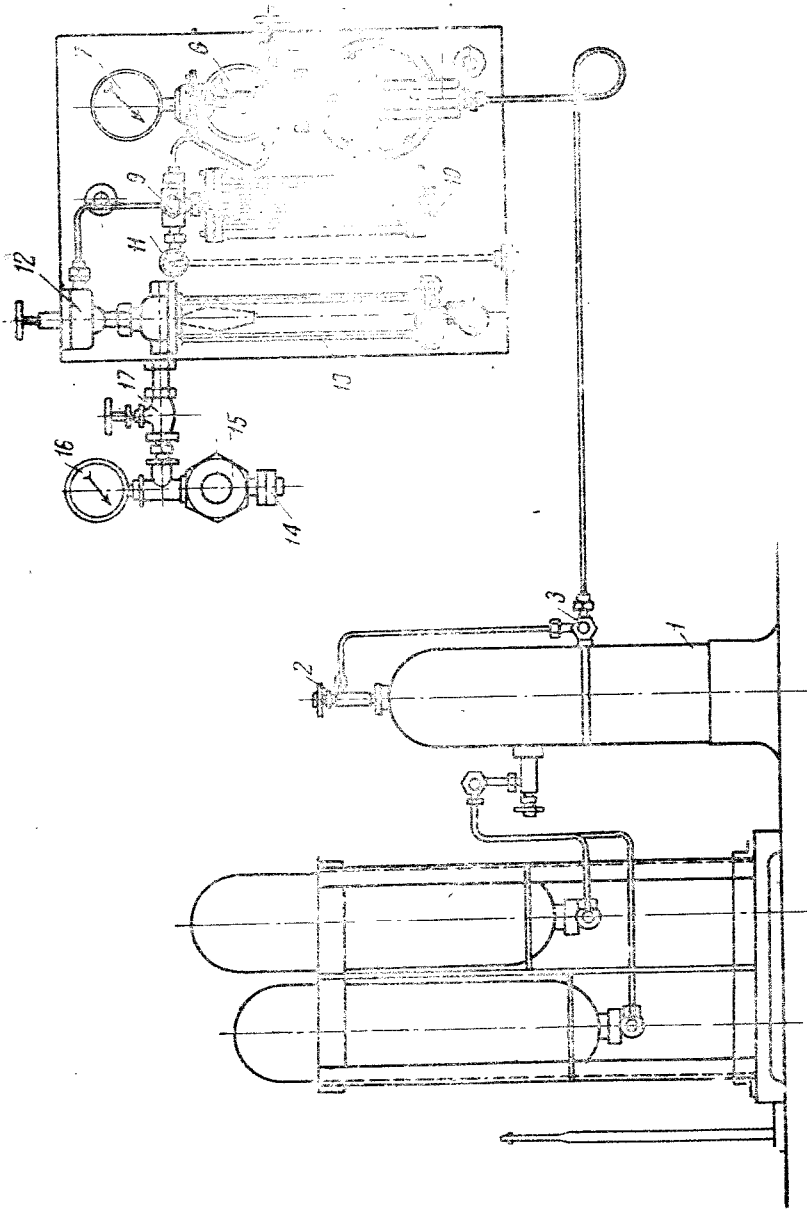


Рис. 130. Схема установки хлоратора системы Ремесницкого

ный клапан *5*, который снижает давление газа до 1,5—2 *ат*. Для измерения давления хлора до редукционного клапана

служит манометр *6*, а после редукционного клапана — манометр *7*. Затем хлор проходит через вентиль *8*, регулирующий его поступление, причем для измерения количества поступающего хлора служит манометрический измеритель *9* со шкалой и предохранителем *10*. Спускной вентиль *11* позволяет опорожнить от газа хлоратор в случае перерыва в работе последнего.

После измерителя хлор проходит через обратный клапан *12* для выравнивания давления, колебания которого могли бы отозваться на действии регулирующего вентиля *8*. Пройдя обратный клапан, газ входит в цилиндр-смеситель *13*. К последнему примыкает трубка для одновременной подачи в смеситель воды, проходящий через фильтр *14*, редукционный клапан *15* с манометром *16* и вентиль *17*. В цилиндре-смесителе *13* образуется хлорная вода, которая направляется по резиновой трубке вниз к дезинфицируемой воде. Местом ввода хлора служит либо трубопровод, либо сборный резервуар.

В. Помещение для хлораторов

Хлоратор системы Ремесницкого смонтирован на мраморной доске и помещен в кабинке размером $2{,}5 \times 1{,}5$ *м* или в шкафу размером $0{,}6 \times 1{,}8$ *м*. Дверь шкафа герметически закрывается. Хлораторы устанавливают в обособленном помещении (хлораторной), отделенном стеной от других помещений фильтровальной или насосной станции. Сообщение между последними и хлораторной должно происходить через герметически закрывающуюся дверь. Хлораторная должна иметь второй запасный выход в тамбур или во двор.

Помещение хлораторной устраивается в первом этаже, так как хлор, будучи в 2,5 раза тяжелее воздуха, при утечке устремляется вниз. В хлораторной устанавливают самостоятельную печь для поддержания температуры не ниже 20°. Для проветривания и освещения необходимо окно, а для вентиляции — механический вентилятор с 12-кратным обменом воздуха за 1 час и с отсосом воздуха на уровне пола.

Площадь хлораторной принимают из расчета 2 $м^2$ на каждые два аппарата и 4 $м^2$ на десятичные весы, на которых располагают промежуточный и рабочий баллоны.

Персонал снабжается противогазами, хранимыми вне помещения хлораторной. На рис. 131 представлена хлораторная при насосной станции, рассчитанная на установку двух напорных хлораторов системы Ремесницкого (одного рабочего и другого — резервного).

Г. Меры для повышения съема хлора с баллонов. Большеемкая тара.

Применение больших количеств хлора представляет значительные трудности ввиду необходимости иметь большое число баллонов, каждый из которых в нормальных условиях может дать только 0,75 *кг* хлора в 1 час.

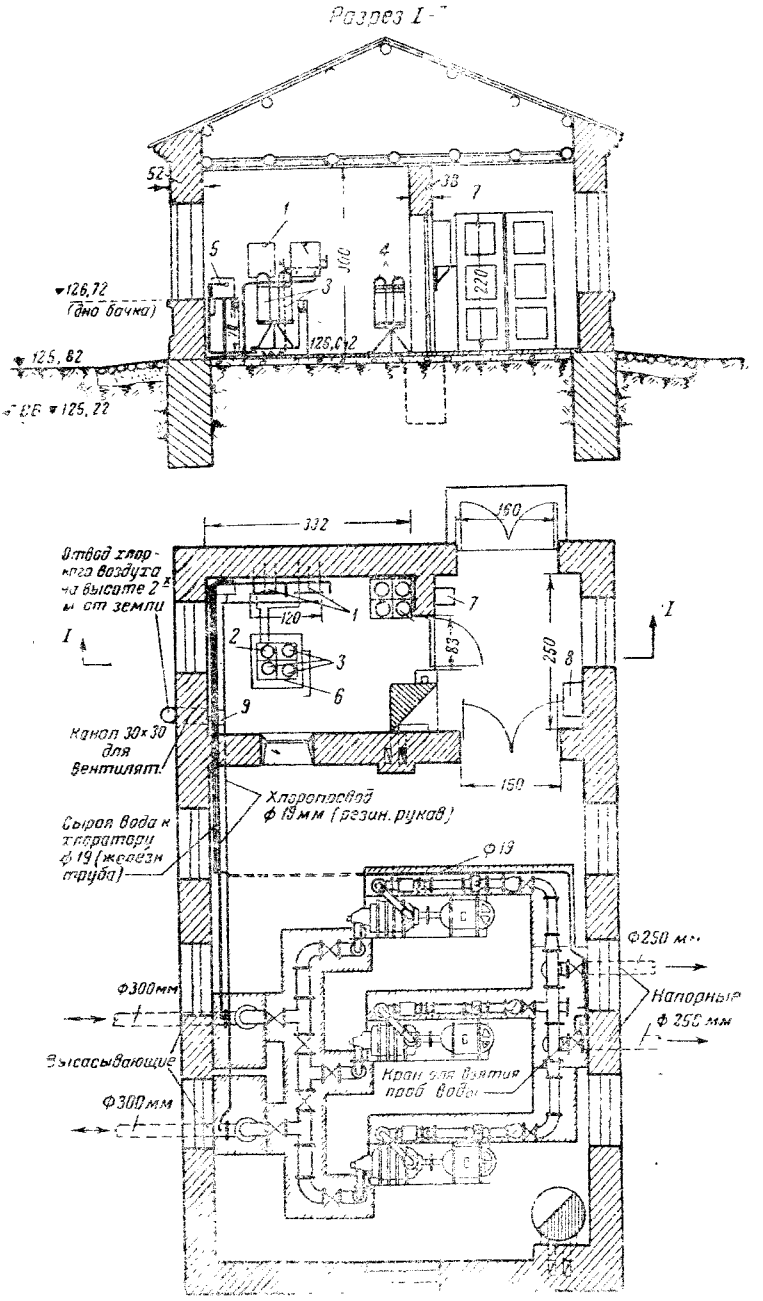


Рис. 131. Хлораторное помещение при насосной станции: *1* — хлораторы; *2* — промежуточный баллон; *3* — рабочие баллоны с хлором; *4* — подготовленные к работе баллоны с хлором; *5* — регулирующий бачок; *6* — сотенные весы; *7* — ящик с противогазами; 8 — доска с инструментами и ящик с запасными частями хлоратора; *9* — вентилятор

Поэтому с целью уменьшения числа действующих баллонов их подогревают нагретым воздухом либо нагретой водой или же создают в них вакуум, позволяющий хлору испаряться при омывании баллонов водой комнатной температуры. Эти меры могут увеличить съем хлора до 5 *кг* в 1 час с баллона и, следовательно, сократить потребность в числе одновременно действующих баллонов в несколько раз.

Тем не менее, если учесть, что на очистных станциях необходимо еще иметь достаточный запас баллонов с хлором (на 12—24 часа в хлораторной и на 24—48 час. в особом помещении, где обогревается тара с хлором зимой), то большие установки и при повышенном съеме хлора получаются громоздкими и неудобными в эксплоатации. Поэтому на крупных установках целесообразно применение большеемкой тары в виде стальных хлорных бочек емкостью до 550 *л*, вмещающих до 780 *кг* хлора (это принято, например, на московском водопроводе).

Д. Вакуумные хлораторы

Поскольку хлораторы напорного типа работают над давлением, малейшие неплотности в соединениях арматуры вызывают утечку газа, создающую осложнения в работе персонала, а иногда и прямую угрозу отравления.

Этого недостатка лишены хлораторы вакуумного типа, значительная часть такого аппарата работает под вакуумом, и поэтому исключена возможность утечки хлора из-за неплотностей в соединениях арматуры. Вакуумный хлоратор отечественной конструкции типа, применяемого на московском водопроводе, показан на рис. 132.

В состав его входит редукционный клапан *1*, снижающий давление хлора, манометр *2*, указывающий давление хлора перед клапаном, вентиль *3*, регулирующий расход газа, измеритель *4* со шкалой, эжектор *5* и обратный клапан *6*.

Е. Дезинфекция воды хлорной известью

На временных и небольших установках производительностью до 500 *м*^{3}*/сутки* допускается дезинфекция воды хлорной известью; дозы принимаются те же, что и при дезинфекции хлорным газом, но при расчете установки учитывается содержание активного хлора в хлорной извести, составляющее всего лишь 20—25%. Хлорная известь добавляется к воде в виде $^1/_2$—1%-ного раствора, который приготовляется в деревянных или бетонных баках (двух рабочих и одном запасном). Все это оборудование должно быть сосредоточено в обособленном помещении с соблюдением мер предосторожности против вредной пыли от хлорной извести.

Для очистных станций производительностью от 600 до 25 000 *м*^{3}*/год* установка для дезинфекции воды хлорной известью обычно устраивается в качестве резервной к оборудованию для дозирования хлорного газа.

Пример расчета

Количество воды $Q = 10\,000$ *м³/сутки* $= 416{,}7$ *м³/час*. Вода подвергается фильтрации; следовательно, доза активного хлора $a = 0{,}5$ *мг/л*. Крепость

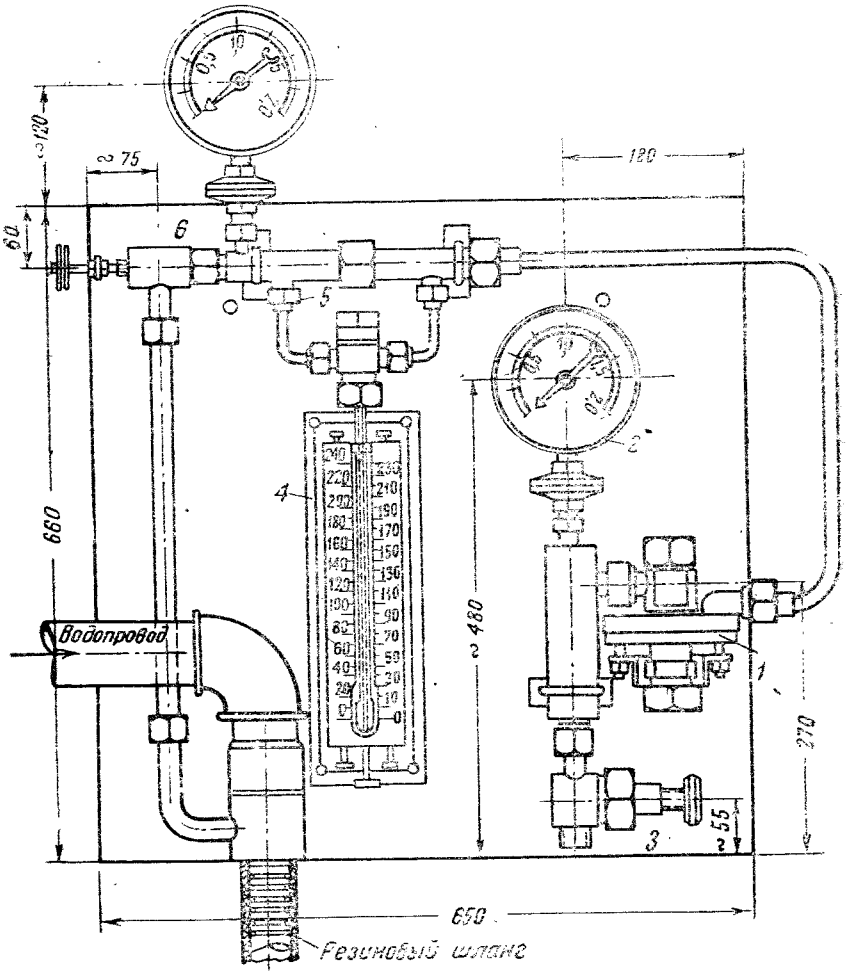


Рис. 132. Вакуумный хлоратор типа московского водопровода

раствора $c = 1\%$. Содержание активного хлора в хлорной извести $p = 25\%$. Число заготовок в сутки $n = 2$.

Емкость растворного бака определяется по формуле:

$$W = \frac{Qa}{4{,}17\ p \cdot c \cdot n}.$$

Следовательно, в данном случае $W = \frac{416{,}7 \cdot 0{,}5}{4{,}17 \cdot 25 \cdot 1 \cdot 2} = 0{,}99$ *м³* ≈ 1 *м³*; при глубине растворного бака $h = 0{,}9$ *м* площадь его:

$$f = \frac{1{,}0}{0{,}9} = 1{,}11 \text{ м}^2,$$

откуда диаметр: $d = \sqrt{\frac{4f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}11}{3{,}14}} = 1{,}19$ м.

Таких баков устанавливается два.

Ж. Новейшие способы хлорирования

При дезинфекции воды хлором в последнее время применяют следующие способы: 1) прехлорирование, 2) сверххлорирование с последующим дехлорированием и 3) хлорирование дозами, согласующимися с кривой остаточного хлора и с так называемой точкой перелома этой кривой.

1. Прехлорирование представляет собой процесс подачи хлора до коагуляции, т. е. в нефильтрованную воду, что требует несколько повышенных доз — около 1,5—2 *мг/л*.

2. Сверххлорирование (перехлорирование), т. е. хлорирование большими дозами с последующим дехлорированием применяется: 1) после промывки резервуаров чистой воды (дозы 15—20 *мг/л*); 2) после загрузки и перегрузки фильтров (доза до 30—40 *мг/л*); 3) после окончания строительства или ликвидации аварий на водоводах и магистралях (доза от 10 до 50 *мг/л*) и 4) при заражении или отравлении воды в очистных сооружениях или водоемах (расход хлора до 100 *мг/л*).

Таким образом диапазон дозирования при сверххлорировании колеблется от 10 до 100 *мг/л*.

Кроме перечисленных случаев, сверххлорирование с последующим дехлорированием применяется для устранения привкусов и запахов воды, а также для борьбы с железобактериями (кренотрикс), иногда развивающимися в трубопроводах. Для этих целей достаточны более умеренные дозы хлора — обычно в пределах от 2 до 4,5 *мг/л*.

Поскольку ГОСТ 2874-45 устанавливает для питьевой воды содержание остаточного хлора в наиболее удаленных точках водоразбора 0,1 *мг/л*, дехлорирование воды является обязательным после всех случаев сверххлорирования.

Дехлорирование воды осуществляется в СССР, главным образом, при помощи гипосульфита, т. е. серноватистокислого натрия $Na_2S_2O_3$.

Реакция протекает по уравнению:

$$Na_2S_2O_3 + 4Cl_2 + 5H_2O = 2NaHSO_4 + 8HCl.$$

Доза $Na_2S_2O_3$ должна быть 0,85 *мг* на 1 *мг* снимаемого хлора. Количество активного $Na_2S_2O_3$ в продажном продукте от 30 до 50%. Устройство дехлорирующей установки является несложным. В бак для приготовления крепкого раствора наливается подогретая вода, в которой размешивается гипосульфит. Затем приготовляется 1—2%-ный раствор, который и добавляется в воду. Раствор гипосульфита вводится в резервуар

чистой воды или в трубопровод, отводящий из него воду. Избыточная доза гипосульфита придает неприятный привкус воде.

Для дехлорирования может применяться также сернистый ангидрид SO_2 в количестве 0,905 *мг* на 1 *мг* снимаемого хлора. По данным московского водопровода для практических исчислений расхода SO_2 можно принимать соотношение 1:1.

3. Хлорирование дозами, согласующимися с кривой остаточного хлора. В настоящее время в практику очистки воды входит способ хлорирования с предварительным выявлением дозы хлора, необходимой для полу-

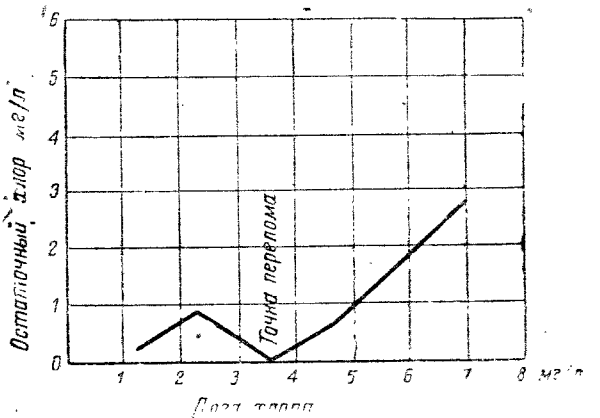


Рис. 133. Кривая зависимости дозы хлора от величины остаточного хлора

чения удовлетворительной величины остаточного хлора. С этой целью нужно построить кривую остаточного хлора для данной воды на основе опытного хлорирования разными дозами. Величина остаточного хлора (откладываемая по оси ординат — рис. 133) возрастает в определенной пропорции к количеству подаваемого хлора (откладываемому по оси абсцисс). Когда это количество становится достаточным для окисления органических веществ, вызывающих привкусы, величина остаточного хлора падает до минимума, а привкусы и запах исчезают. Это соответствует точке перелома кривой.

За этой точкой дальнейшее увеличение дозы подаваемого хлора будет уже прогрессивно увеличивать остаточный хлор.

Новые исследования показали, что точка перелома кривой остаточного хлора не всегда отчетливо обнаруживается и характер ее зависит от наличия различных солей в воде. В 1941 г. выявлен различный характер кривых остаточного хлора, в основном сводящийся к следующему: 1) кривая не имеет отчетливо выраженной точки перелома, но последняя может быть обнаружена при введении малых количеств аммиака перед хлорированием, 2) кривая с отчетливой точкой перелома

имеет место при содержании в воде свободного аммиака или аммиака с азотом, т. е. в условиях, обычных для загрязненной воды, и 3) кривая имеет неясно выраженный перелом, что обычно бывает при воде с высоким содержанием альбуминового (белкового) аммиака.

3. Другие способы обеззараживания воды

Для обеззараживания воды можно применять стерилизацию ультрафиолетовыми лучами, а также озонирование.

Стерилизация воды ультрафиолетовыми лучами была предложена еще в 1911 г., но не нашла применения ввиду малой производительности аппаратуры и высокой эксплоатационной стоимости. Даже для новейших систем фотодезинфекторных аппаратов потребность в электроэнергии составляет около 25 *квт* на 1000 $м^3$ воды при пропускной способности установки от 200 до 800 $м^3/час$. В малых установках потребляемая мощность значительно выше и колеблется от 90 *квт* при пропуске 20 $м^3/час$ воды до 200 *квт* при пропуске 5 $м^3/час$. Это ограничивает возможность применения таких установок. Они целесообразны лишь при наличии особо дешевой электроэнергии.

Для получения ультрафиолетовых лучей применяются электролампы с ртутными электродами. Оболочка лампы — из кварца, а не из стекла, так как оно задерживает ультрафиолетовые лучи. Баллон лампы заполнен парами ртути которые при пропуске тока через лампу дают свечение и значительное количество ультрафиолетовых лучей.

При просвечивании освобожденной от взвеси воды в слое 0,15—0,30 *м* ультрафиолетовыми лучами с длиной волны 0,1—0,3 μ (средняя часть спектра) происходит уничтожение бактерий. Бактерицидное действие ультрафиолетовых лучей объясняется разрушительным действием их на органическую клетчатку. Привкус и запах воды при этом не ухудшается, но и не устраняется.

Озонирование воды в целях дезинфекции основано на смешении воды с содержащимся в воздухе озоном O_3, который легко переходит снова в кислород O_2. Лишний атом кислорода расходуется на окисление органических веществ, в частности, микроорганизмов. Озон образуется при так называемом тихом разряде, когда воздух пропускается между электродами, находящимися под высоким напряжением. Пропускаемый между электродами поток воздуха озонируется и направляется на смешение с дезинфицируемой водой.

Озонирование как метод обеззараживания воды известно с 1893 г. В б. Петербурге с 1911 г. действовала специальная фильтроозонная станция ликвидированная после ввода в эксплоатацию новых скорых фильтров с хлорированием воды.

За последние годы благодаря усовершенствованию аппаратуры снова возник интерес к озонированию воды. На рис. 134 представлена схема современной озонирующей установки нового типа, построенной в 1940 г. Сырая вода в количестве 5700 $м^3/сутки$ поступает в два открытых резервуара так называемые озонизеры, через которые она проходит сверху

вниз. Озон подается снизу через пористые алокситовые трубки. Озонизер смонтирован из листового железа толщиною $^3/_8''$ и изолирован внутри мастикой из каменноугольной смолы. Озонизер с коническим днищем имеет высоту 6,3 *м*, диаметр 2,4 *м*. Озон подается по трубкам диаметром 73 *мм*. Пройдя озонизер и получив требуемую дозу сернокислого алюминия, вода направляется во флокуляторы, затем прехлорнруется, подвергается отстаиванию и фильтрации и сливается в резервуар чистой воды.

Подача озона в озонизеры производится компрессорами. Для получения озона служит пять озонаторов, размещенных на втором этаже. Здесь же находится панель управления озонаторами и столы управления фильтрами.

Расход электроэнергии составляет от 32 до 35 *квт-ч* на 1 *кг* озона. Количество озона, требуемое для дезинфекции воды, — от 1,2 до 1,8 *мг/л*. Таким образом, затрата электроэнергии на обеззараживание озоном 1000 $м^3$ воды колеблется от 38 до 60 *квт-ч*. Применение озона или устраняет необхо-

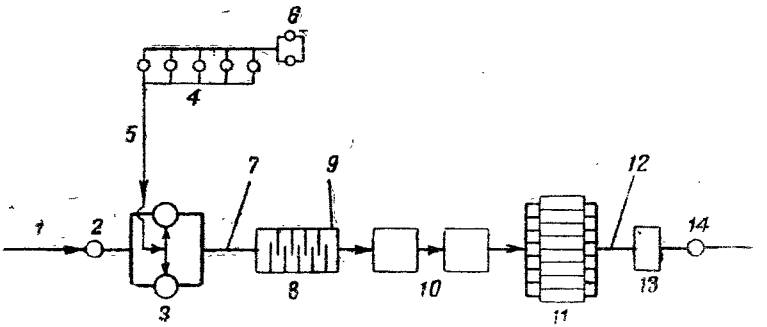


Рис. 134. Схема озонирующей установки: *1* — сырая вода; *2* — насосы первого подъема; *3* — озонизеры; *4* — озонаторы; *5* — озон; *6* — компрессоры; *7* — подача коагулянта; *8* — камера реакции; *9* — прехлорнрование; *10* — отстойники: *11* — фильтры; *12* — вторичное хлорирование; *13* — резервуар чистой воды; *14* — насос второго подъема

димость хлорирования или значительно сокращает количество хлора, а также сернокислого алюминия и аммиака. Одновременно с дезинфицирующим действием озонирование способствует улучшению вкуса и запаха воды.

§ 45. Устранение привкусов и запахов воды

Хлорирование ведет к увичтожению бактерий, но не только не сообщает воде хорошего привкуса и запаха, но зачастую даже понижает вкусовые качества воды. Особенно неприятный привкус хлорированная вода приобретает при наличии в ней фенолов даже в ничтожной пропорции 1 : 100 000.

Для устранения привкуса служит обработка воды активированным углем или аммиаком. Активированный уголь — это древесный уголь, из капилляров которого удалевы смолистые вещества. Активированный уголь уничтожает привкусы и запахи, вызываемые гидробиологическими причинами (водо-

росли, микрофауна и т. д.), аммиак же успешно устраняет хлорфенольный запах и запах остаточного хлора. Действие активированного угля основано только на физическом явлении адсорбции молекул посторонних веществ и потому не мешает другим химическим способам обработки воды.

Порошкообразный активированный уголь смешивается с водой и в дальнейшем процессе обработки воды увлекается вместе с хлопьями коагулянта на дно отстойника и частично оседает в верхних слоях песчаного фильтра.

Для подачи в воду порошкообразного активированного угля применяются сухие дозаторы. При расчете их производительности доза активированного угля принимается 5—10 *мг/л*.

Из этого количества 40% должно добавляться в смеситель, а 60% перед фильтрацией. Опыты последнего времени доказали, что порошкообразный активированный уголь должен вводиться непосредственно перед фильтрами, так как добавка его в сырую воду требует увеличения дозы активированного угля в 9 раз.

Другой способ обработки активированным углем — фильтрование воды через напорные фильтры с загрузкой из гранулированного активированного угля крупностью 1,5—2,5 *мм* слоем 2,5 *м*. Скорость фильтрации — 20—30 *м/час*. Промывка — 1 раз в месяц щелочным раствором продолжительностью $^1/_2$—$^3/_4$ часа.

Объем загрузки фильтра из активированного угля для устранения привкусов и запаха должен составлять 0,06—0,12 $м^3$ на 1 $м^3$ фильтруемой воды в 1 час.

Если напорный фильтр из активированного угля предназначается для дехлорирования воды, то объем загрузки надо принимать 0,20—0,25 $м^3$ на 1 $м^3/час$ дехлорируемой воды.

Устранение привкуса и запаха путем непосредственной добавки в воду порошкообразного активированного угля является более экономичным по сравнению с фильтрацией через угольные фильтры.

Для устранения хлорофенольных запахов более целесообразна обработка воды хлораминами. С этой целью к воде перед хлорированием добавляется аммиак NH_3. Такая обработка воды носит название „преаммонизации". Последующее затем хлорирование ведет к образованию хлораминов NH_2Cl. Хлорамины ослабляют активность хлора и уменьшают возможность соединения его с фенолами, одновременно способствуя и более продолжительному бактерицидному действию хлора.

Хлораминовая обработка воды является также наиболее эффективным методом борьбы с железной бактерией (кренотрикс) и, кроме того, ведет к снижению гидравлических потерь в трубопроводах за счет замедления органических отложений на стенках последних.

Соотношение между дозой аммиака и дозой хлора колеблется от 1:3 до 1:5.

Для дозирования газообразного аммиака применяют аммонизаторы (рис. 135), напоминающие по устройству хлораторы. Аммиак, выйдя из баллона по резиновой трубке и пройдя фильтр, поступает в редуктор *А*. Здесь давление газа снижается до 0,3—0,5 *ат*. Далее через регулирующий вентиль *Б* аммиак поступает в газоизмеритель *В*. Затем, встречая на своем пути обратный клапан *Г* (для предупреждения прохода воды в баллон), газ по трубке *Д* идет к инжектору *Е*. Вода пропускается через сопло инжектора, захватывает газ и направляется с ним к месту ввода по резиновому шлангу.

Аммонизаторы и хлораторы устанавливают в разных помещениях, так как соединение аммиака и хлора вызывает сильное дымление. Появление дыма исключено при использовании хлораторов и аммонизаторов вакуумного типа.

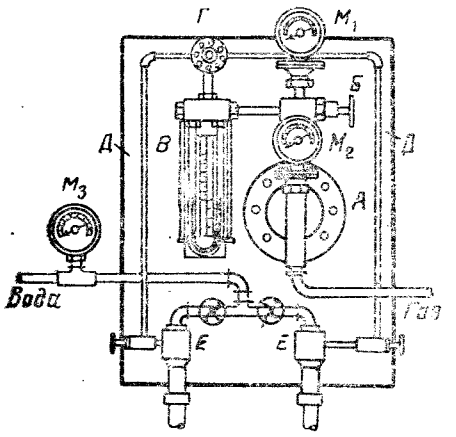


Рис. 135. Аммонизатор

Для преаммонизации, кроме аммиака NH_3 или его растворов (обычно 29%-ный водный раствор), можно применять сернокислый аммоний $(NH_4)_2SO_4$; доза последнего, если его пересчитать на аммиак, достигает 1:2 по отношению к дозе хлора. Использование сернокислого аммония целесообразно при производительности очистной станции не более 10 тыс. *м³/сутки*.

Новым средством для дезинфекции воды, одновременно устраняющим привкус и запах, является двуокись хлора ClO_2. Применение его стало возможным после того, как стал поступать в продажу $NaClO_2$ (хлорит натрия), имеющий вид белого порошка. Двуокись хлора должна получаться из $NaClO_2$ на месте в результате ввода 2%-ного раствора $NaClO_2$ в напорную линию для реакции с хлором.

Ход реакции при комнатной температуре:

$$2NaClO_2 + Cl_2 = 2NaCl + 2ClO_2.$$

Обычное соотношение: 0,25 *мг/л* $NaClO_2$ на 0,25 *мг/л* хлора. Так как окисляющая способность двуокиси хлора в $2^1/_2$ раза больше, чем у хлора, ClO_2 более эффективна в бактерицидном отношении, чем хлор. В загрязненной воде двуокись хлора разрушает фенолы, микроводоросли, бактерии, а также устраняет привкусы и запахи.

Процесс дезинфекции двуокисью хлора проводится в две фазы: 1) прехлорирование сырой воды дозой хлора 0,6—1 *мг/л*

и 2) последующая обработка чистой воды двуокисью хлора, получаемой описанным выше способом.

На одной из станций переход на этот метод обработки воды позволил отказаться от сверххлорирования дозой хлора 6 *мг/л* с дехлорированием порошкообразным активированным углем в количестве 10 *мг/л* и ограничиться общим расходом хлора 1 *мг/л* (в том числе 0,75 *мг/л* для прехлорирования) и расходом $NaClO_2$ 0,25 *мг/л*.

При получении воды из водохранилищ привкусы и запахи в ней могут возникнуть вследствие развития в водохранилищах мельчайших водорослей. Для устранения водорослей, а следовательно, запахов и привкусов применяется обработка водохранилищ медным купоросом $CuSO_4$ при дозе 0,25—0,30 *мг/л*. Чаще всего практикуется рассеивание кристаллов $CuSO_4$ в водохранилище с катеров, оборудованных специальными аппаратами, или с самолетов, как это успешно осуществлялось в Донбассе еще в 1939 г.

§ 46 Умягчение воды

А. Известково-содовый способ умягчения

При этом способе известь служит для устранения солей карбонатной жесткости, сода же вызывает выпадение солей постоянной жесткости. Известь добавляется к умягчаемой воде в виде насыщенного раствора гашеной извести или (что чаще) в виде 3—5%-ного известкового молока, т. е. во взвешенном состоянии.

Часть извести нейтрализует свободную углекислоту, растворенную в воде, образуя мел. Другая часть извести действует на двууглекислые соли кальция, отнимая от них полусвязанную углекислоту и образуя тоже мел, выпадающий в осадок. Ход реакций может быть выражен уравнением:

$$Ca\ (HCO_3)_2 + Ca\ (OH)_2 = 2\,CaCO_3 + 2\,H_2O.$$

Если вода содержит двууглекислый магний, реакция носит тот же характер:

$$Mg\ (HCO_3)_2 + Ca\ (OH)_2 = MgCO_3 + CaCO_3 + 2H_2O.$$

Однако для осаждения углекислого магния, оставшегося по освобождении его от углекислоты, нужно добавочное количество извести, так как углекислый магний более растворим в воде, чем мел. Ход реакции следующий:

$$Mg\ CO_3 + Ca\ (OH)_2 = Mg\ (OH)_2 + CaCO_3.$$

Коллоидальный гидрат окиси магния $Mg\ (OH)_2$ переходит постепенно в водную окись магния $MgO.\ H_2O$ и выпадает в осадок.

Количество чистой негашеной извести, необходимое для выделения солей карбонатной жесткости, вычисляется по формуле:

$$CaO = 10\,Ж_к + 1{,}4\,MgO + 1{,}27\,CO_2\ г/м^3,$$

где $Ж_к$ — карбонатная жесткость умягчаемой воды в немецких градусах. При расчете требуемого количества извести надо учитывать, что содержание CaO в продажном продукте составляет только 50%.

Если нет данных о содержании в воде свободной углекислоты, количество ее вычисляется по формуле:

$$CO_2 = 0{,}0122\ (Ж_к)^3\ мг/л.$$

Для выделения солей постоянной жесткости служит кальцинированая сода Na_2CO_3. В результате обменной реакции с солями постоянной жесткости (сернокислым, хлористым или азотнокислым кальцием и магнием) кальций и магний переходят в углекислые соединения и выпадают в виде осадка. В воде же остаются соли натрия: Na_2SO_4 — глауберова соль; NaCl — поваренная соль или $NaNO_3$ — азотнокислый натрий. Следовательно, происходит замена солей постоянной жесткости солями натрия, что не уменьшает содержания солей в воде. Мало того, такая вода может оказаться негодной для питья (например при наличии глауберовой соли).

Ход реакций:

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 = CaCO_3 + Na_2SO_4$$
$$CaCl_2 + Na_2CO_3 = CaCO_3 + 2\,NaCl$$
$$Ca(NO_3)_2 + Na_2CO_3 = CaCO_3 + 2\,NaNO_3$$
$$MgSO_4 + Na_2CO_3 = MgCO_3 + Na_2SO_4$$
$$MgCl_2 + Na_2CO_3 = MgCO_3 + 2\,NaCl.$$

Количество требующейся кальцинированной соды определяется по формуле:

$$Na_2CO_3 = 18{,}9\,Ж_н\ г/м^3,$$

где $Ж_н$ — некарбонатная (постоянная) жесткость в немецких градусах.

При расчете требуемого количества соды надо учитывать, что содержание Na_2CO_3 в продажном продукте составляет 96%.

Станции для умягчения воды известково-содовым способом по своему устройству близки к станциям осветления и обеззараживания воды. Здесь, однако, необходим специальный резервуар, так называемый сатуратор („насытитель"), для приготовления 2—5%-ного раствора извести, если умягчение производится насыщенным раствором, а не известковым молоком.

Сатуратор устраивается в виде двух цилиндрических баков с конической нижней частью, которые размещаются либо рядом (рис. 136, *а*), либо один над другим (рис. 136, *б*). Подача известкового молока, заготовляемого в баке *А*, производится периодически по трубам *а* в конические части обоих отделений (рис. 136, *а*) или посредством перепуска из верхнего отделения в нижнее (рис. 136, *б*). В первом случае (рис. 136, *а*) умягчаемая вода направляется по трубе *б* в нижнюю часть

первого сатуратора, где смешивается с известковым молоком, взмучивая его, и поднимается вверх. Скорость подъема воды

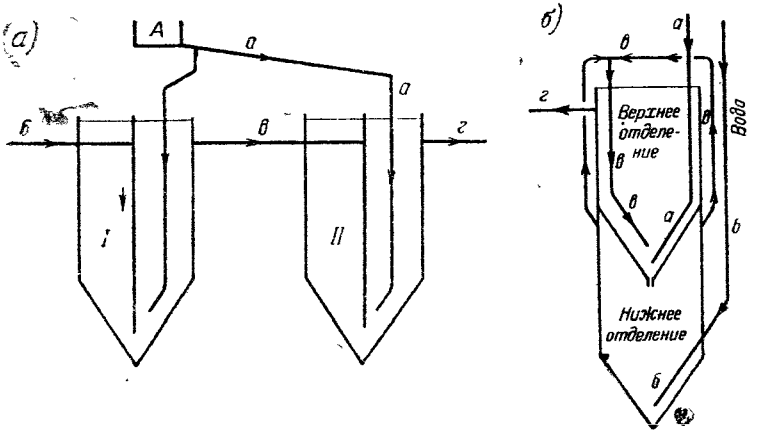


Рис. 136. Схемы сатураторов: *а* — с параллельным размещением; *б* — с размещением по вертикали

постепенно замедляется вследствие расширения сечения сатуратора. Таким образом, вода насыщается известью, и раствор поступает по трубе *в* во второй сатуратор, откуда известковая вода отводится по трубе *г*.

При размещении сатураторов одного над другим (рис. 136, *б*) известковое молоко подается по трубе *а* в нижнюю часть верхнего отделения, откуда молоко периодически перепускается в нижнее отделение. Умягчаемая вода по трубе *б* направляется в нижнее отделение и, насыщаясь известью и поднимаясь вверх, переходит по трубам *в* в верхнее отделение сатуратора. Здесь происходит полное насыщение воды известью; полученная известковая вода отводится по трубе *г*. Накапливающийся в нижней части нижнего отделения шлам (осадок) выпускается в сток.

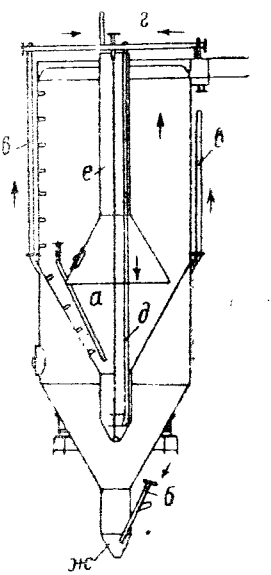


Рис. 137. Сатураторы для приготовления раствора извести

На рис. 137 показан типовой сатуратор Главэнерго, представляющий собой цилиндрический резервуар диаметром от 1,0 до 4,5 *м* и высотой 2,5—4,5 *м* с коническим днищем высотой 1,35—2,5 *м*.

Известковое молоко поступает по трубе *а* в верхнее отделение, умягчаемая же вода — по трубе *б* в нижнее, где ча-

стично насыщается известью, поднимается вверх со скоростью 2—6 *мм/сек* и перепускается по двум наружным трубам *в* в трубчатый коллектор *г* над сатуратором. Отсюда по трубе *д* вода направляется в нижнюю часть верхнего отделения, где насыщается известью до предела растворимости, поднимается вверх по кольцевому пространству со скоростью, уменьшающейся до 0,2—0,3 *мм/сек*, и переливается через края сборного жолоба. Взвешенные частицы выпадающего раствора оседают на верхнем коническом днище.

В верхнем отделении находится центральная труба *е* с обратным коническим зонтом для захвата и удаления пузырьков воздуха, выделяющегося из воды, которые могут замедлить процесс осаждения взвешенных частиц.

Выпуск шлама производится из нижнего отделения по трубе *ж*. Сатуратор рассчитывается на время пребывания воды 5—6 час.

Известковая вода и раствор соды, приготовляемый в отдельном баке, добавляются к умягчаемой воде в смесителе любой ранее рассмотренной конструкции. Затем вода проходит в камеру реакции, в обычный отстойник и далее на фильтры, которые при умягчении воды для технических нужд могут быть упрощенного типа (скорость 7—8 *м/час*, более крупный загрузочный материал и т. д.). Если вода умягчается для коммунальных потребностей, то реагентное хозяйство для умягчения помещается в общем реагентном здании, предназначенном для коагулирования и известкования воды. Отстойники и фильтры используются для устранения как естественной взвеси, так и осадков, получающихся в процессе известково-содового умягчения воды.

Б. Умягчение воды избытком извести с последующей рекарбонизацией

При обычном известково-содовом способе умягчения не удается выделить полностью из воды $CaCO_3$; последний, выпадая в трубах разводящей сети водопровода, понижает их пропускную способность. Кроме того, добавляемая известь остается в воде в виде раствора, избыточное же количество извести в воде, предназначенной для питья, нежелательно и с санитарной точки зрения.

Для устранения этих недостатков вводят избыток извести (20—30 *мг/л* CaO) с последующей рекарбонизацией, т. е. продувкой воды углекислым газом. Этот метод стал применяться с 1932 г.

Рекарбонизация воды обеспечивает перевод невыпавшей части $CaCO_3$ и остаточной извести в бикарбонаты. Вместе с тем рекарбонизация позволяет регулировать величину pH (за счет понижения карбонатной жесткости воды) и предотвращать явления коррозии труб путем устранения избытка свободной углекислоты.

Камера рекарбонизации представляет собой продолговатый прямоугольный бассейн шириной 1,5—2,5 *м* (с отношением ширины к длине от 1:7 до 1:10) и глубиной от 3,0 до 5,5 *м*. Продолжительность пребывания воды принимается от 15 до 30 мин.

Количество углекислоты, необходимое для превращения избытка извести *И* (20—30 *мг/л*), добавляемого при умягчении воды, в растворимый бикарбонат, определяется по формуле:

$$Y = \frac{2 \cdot 44 \cdot И}{56} \; мг/л,$$

где 56 — молекулярный вес CaO и 44 — молекулярный вес CO_2.

Углекислота подводится в камеру рекарбонизации по латунной трубке диаметром 38 *мм* с ответвлениями по 19 *мм* каждое и выпускается в воду через отверстия диаметром 2—3 *мм*, расположенные на расстоянии 0,12 *м* одно от другого.

В. Цеолитовый способ умягчения

Цеолиты или глюмонатросиликаты обладают свойством обмена своего основания (натрий) на другие металлы (кальций, магний). Если умягчаемую воду пропускать через фильтр с цеолитовым песком со скоростью около 10 *м/час*, то соли жесткости переходят в соли натрия.

Обменную способность цеолита принято выражать в кубоградусах по объему и по весу. Кубоградус обменной способности по объему соответствует числу кубометров воды, которое 1 $м^3$ цеолита может умягчить на 1 нем. градус жесткости.

Обменная способность по объему искусственного (синтетического) цеолита (иначе называемого пермутитом) достигает 1 150 кубоградусов, искусственных цеолитов среднего качества — 640 кубоградусов, а естественных зеленых глауконитовых песков — 385 кубоградусов.

Обменную способность цеолита в кубоградусах можно выражать и по весу. Для этого надо величину обменной способности по объему разделить на величину насыпного веса 1 $м^3$ цеолита. Так, для пористого искусственного цеолита с насыпным весом 650 $кг/м^3$ получим обменную способность по весу $\frac{1\,150}{650} = 1{,}75$ кубоградуса; обменная способность по весу непористого естественного глауконита, имеющего гораздо больший насыпной вес — 1 400 $кг/м^3$, — составляет 0,3 кубоградуса.

Эти цифры показывают, что 1 *кг* искусственного цеолита может снизить жесткость 1,75 $м^3$ воды на 1°, а 1 *кг* глауконита — соответственно 0,3 $м^3$ воды на 1°.

Если обозначить через *Ц* составные части цеолита, то ход реакций представится в следующем виде:

для углекислых солей

$$Ц\,Na_2 + Ca(HCO_3)_2 = Ц\,Ca + 2\,NaHCO_3;$$
$$Ц\,Na_2 + Mg(HCO_3) = Ц\,Mg + 2\,NaHCO_3$$

или для сернокислых солей

$$Ц\,Na_2 + CaSO_4 = Ц\,Ca + Na_2SO_4;$$
$$Ц\,Na_2 + MgSO_4 = Ц\,Mg + Na_2SO_4.$$

При этих процессах происходит увеличение веса растворимых в воде солей (за счет разницы весов натрия и кальция); щелочность воды увеличивается (ввиду перехода солей карбонатной жесткости в бикарбонат натрия).

Когда обменная способность цеолита исчерпана, должна быть произведена регенерация цеолита путем заполнения загрузки раствором поваренной соли. Ход реакций при этом:

$$Ц\,Ca + 2\,NaCl = Ц\,Na_2 + CaCl_2;$$
$$Ц\,Mg + 2\,NaCl = Ц\,Na_2 + MgCl_2.$$

Хлористый кальций ($CaCl_2$) или хлористый магний ($MgCl_2$), получаемые после регенерации, удаляются при отмывке цеолитового умягчителя.

На рис. 138 показан цеолитовый водоумягчитель, так называемый пермутитовый фильтр, по проекту Главэнэргопрома. Он представляет собой напорный фильтр, т. е. рассчитан на работу под напором.

Основными элементами установки являются: цилиндрический стальной корпус диаметром от 1 до 3 *м* со сферическими днищами, имеющий вверху лаз и внизу люк; трубы *А*, *Б*, *В*, *Г* *Д*, и *Е*, дренажный коллектор *Ж* с системой дренажных трубок *З*; шесть задвижек (1—6) для управления всеми операциями процесса умягчения; трубка *И* для контроля уровня воды в умягчителе; воздушная трубка *К* и другие детали.

Весь процесс обработки воды в цеолитовых умягчителях включает четыре последовательные операции.

1. Собственно умягчение путем фильтрации воды через цеолитовый песок; эта операция продолжается до тех пор, пока цеолит еще не исчерпал своей обменной способности (обычно не менее 6—8 час.).

Сырая вода поступает в верхнюю часть фильтра по трубе *А* при открытой задвижке *1* и закрытых задвижках 2 и *5*.

Прошедшая фильтр умягченная вода отводится из дренажа коллектора *Ж* по трубе *Б* при открытой задвижке *4* и закрытых задвижках *3* и *6*.

2. Обратная промывка (взрыхление) загрузки для устранения слеживания песка и для смыва всех загрязнений (продолжительность 10—12 мин., с интенсивностью 5—6 *л/сек* на 1 $м^2$).

Для промывки используется отработанная вода от предыдущей регенерации. Эта вода подается из бака по трубе *В*

в дренаж и далее вверх через фильтр и отводится по трубам *А* и *Г* в сток. Задвижки *2* и *3* должны быть открыты, задвижки *1*, *5*, *4* и *6* — закрыты.

После промывки необходим спуск водяной подушки, т. е. удаление воды из верхней части фильтра (на что затрачивается 3—5 мин).

3. Регенерация цеолита осуществляется путем подачи заранее заготовленного количества соляного раствора в верх-

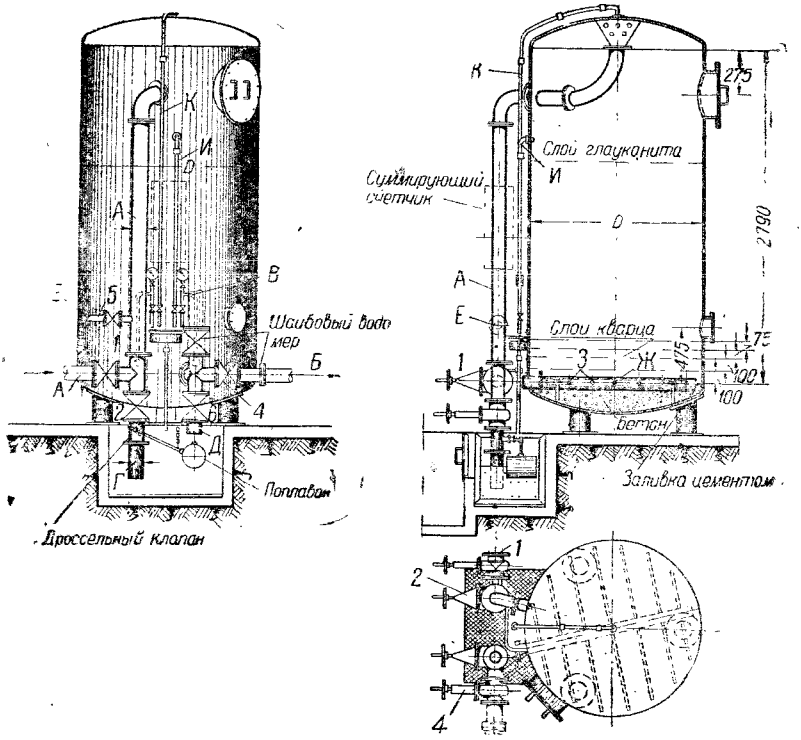


Рис. 108. Цеолитовый водоумягчитель Главэнергопрома

нюю часть цеолитового умягчителя (5—8 мин.) по трубам *Е* и *А* при открытой задвижке *5* (остальные закрыты), затем раствор пропускается в глубь фильтрующей загрузки (что требует еще 3—5 мин.).

4. Отмывка цеолитового фильтра производится осветленной водой, подаваемой по трубе *А* до тех пор, пока не будут отмыты продукты регенерации — до исчезновения хлоридов в сбрасываемой отмывной воде. Продолжительность отмывки 40—60 мин. с интенсивностью 2—3 *л/сек* на 1 *м*^{2}.

После отмывки отработанные воды направляются по трубе *В* в бак для повторного использования на промывку при оче-

редном взрыхлении фильтра. Задвижки *1* и *3* должны быть открыты, *5*, *4* и *6* — закрыты.

После заполнения бака остальная часть отработанной отмывной воды по трубе *Д* сбрасывается в сток, для чего открывается задвижка *6* и закрывается задвижка *3*.

Общая продолжительность всех операций, связанных с регенерацией цеолита, составляет минимально 1 час, а практически $1^1/_4$—$1^1/_2$ часа.

Пример расчета цеолитового умягчителя. Производительность установки $Q = 2\,400$ *м/сутки*, жесткость воды 19°; содержание MgO — 35 *мг/л*. Приведенная жесткость воды[1]:

$$Ж = 19 + 0{,}014 \cdot 35 = 19{,}49 \approx 19{,}5°..$$

Обменная способность загрузки из глауконитовых песков:

$e = 0{,}3$ кубоградуса; вес 1 $м^3$ глауконита $\gamma_0 = 1\,400$ *кг*,

следовательно, обменная способность на 1 $м^3$ составляет:

$$e_0 = e \cdot \gamma_0 = 0{,}3 \cdot 1\,400 = 420 \text{ кубоградусов.}$$

Всего надо устранить за сутки:

$$Y = Q \cdot Ж = 2\,400 \cdot 19{,}5 = 46\,800 \text{ кубоградусов.}$$

Полезная обменная способность глауконита с учетом необходимости расхода $q_0 = 3{,}5$ $м^3$ воды на отмывку 1 $м^3$ глауконита будет:

$$e_{пол} = (e_0 - q_0 \cdot Ж) = (420 - 3{,}5 \cdot 19{,}5) = 351{,}7 \text{ кубоградусов.}$$

Площадь умягчителя при $D = 3$ *м*:

$$f = \frac{\pi D^2}{4} = 7{,}07 \ м^2.$$

Высота загрузки глауконитом $h = 1{,}5$ *м*. Объем загрузки $W = f \cdot h = 7{,}07 \cdot 1{,}5 = 10{,}6$ $м^3$. Полезная обменная способность умягчителя (так называемая емкость поглощения):

$$E = W \cdot e_{пол} = 10{,}6 \cdot 351{,}7 = 3\,728 \text{ кубоградусов.}$$

Необходимое число фильтроциклов:

$$Ф = \frac{Y}{E} = \frac{46\,800}{3\,728} = 12{,}55.$$

При $Ф > 20$ необходимое число фильтров:

$$n = \frac{Ф}{4};$$

так как $Ф < 20$, необходимое число фильтров n определяется по другой формуле:

$$n = \frac{Ф}{5} + 1 = \frac{12{,}55}{5} + 1 = 3{,}51; \text{ примем } n = 4.$$

---

[1] То-есть пересчитанная с учетом меньшей обменной способности цеолитов по отношению к магнию; при переводе MgO в эквивалентное количество CaO надо увеличивать жесткость воды, полученную по анализу, на величину $0{,}014\ M$ для естественных и на $0{,}14\ M$ для искусственных цеолитов, где M — содержание в воде MgO в *мг/л*.

Тогда число циклов на один фильтр:

$$z = \frac{\Phi}{n} = \frac{12{,}55}{4} = 3{,}14;$$

Продолжительность одного цикла

$$T = \frac{24}{z} = \frac{24}{3{,}14} = 7{,}64 \text{ часа}.$$

Так как продолжительчость регенерации $t = 1{,}5$ часа, время полезной работы $T_{пол} = T - t = 7{,}64 - 1{,}5 = 6{,}14$ часа. Скорость фильтрации:

$$v = \frac{e_{пол} \cdot h}{Ж \cdot T_{пол}} = \frac{351{,}7 \cdot 1{,}5}{19{,}5 \cdot 6{,}14} = 4{,}4 \text{ м/час}.$$

Расход добавочной воды:

1) на промывку

$$q_1 = \frac{f \cdot I \cdot 60 \cdot t_1}{1\,000} = \frac{7{,}07 \cdot 5 \cdot 60 \cdot 10}{1\,000} = 21{,}2 \text{ м}^3,$$

где $I = 5$ *л/сек* на 1 $м^2$ — интенсивность промывки;
$t_1 = 10$ мин. — продолжительность промывки;

2) на спуск водяной подушки высотой $H = 0{,}8$ *м*

$$q_2 = f \cdot H = 7{,}07 \cdot 0{,}8 = 5{,}7 \text{ м}^3;$$

3) на растворение соли при средней крепости солевого раствора 10% нужно воды (в $м^3$):

$$q_3 = \frac{S \cdot 100}{1\,000 \cdot 10},$$

где S — общее количество солн, требующееся для регенерации, в *кг*;

$$S = \frac{a \cdot k \cdot E}{1\,000 \cdot \delta} = \frac{20 \cdot 3{,}5 \cdot 3\,728}{1\,000 \cdot 0{,}95} = 275 \text{ кг},$$

где $a = 20$ *г* — теоретическое количество соли, необходимое для регенерации, на 1 кубоградус;
$k = 3{,}5$ — коэфициент избытка по отношению к теоретической дозе соли;
$\delta = 0{,}95$ — коэфициент перевода на техническую соль;
E — полезная обменная способность умягчителя в кубоградусах;
следовательно:

$$q_3 = \frac{275 \cdot 100}{1 \cdot 1\,000} = 2{,}75 \text{ м}^3;$$

4) на промывку солерастворителя диаметром $d = 1$ *м*

$$q_4 = \frac{f_c \cdot I_1 \cdot 60 \cdot t_4}{1\,000} = \frac{0{,}785 \cdot 5 \cdot 60 \cdot 5}{1\,000} = 1{,}18 \text{ м}^3,$$

где $f_c = \frac{\pi d^2}{4} = 0{,}785$ $м^2$ — площадь солерастнорителя,
$I_1 = 5$ *л/сек* на 1 $м^2$ — интенсивность его промывки;
$t_4 = 5$ мин. — продолжительность промывки;

5) на отмывку умягчителя

$$q_5 = q_0 \cdot f \cdot h = 3{,}5 \cdot 7{,}07 \cdot 1{,}5 = 36{,}1 \text{ м}^3,$$

где $q_0 = 3{,}5$ $м^3$ — удельный расход воды на 1 $м^3$ цеолитовой загрузки умягчителя.

Суммарный расход воды на одну регенерацию (расход на промывку q_3 не учитывается, если для этой цели используются отмывные воды):

$$\Sigma q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = 5{,}7 + 2{,}75 + 1{,}18 + 36{,}1 = 45{,}73 \ м^3.$$

Общий добавочный расход за сутки:

$$q_{доб} = \Sigma q \cdot Ф = 45{,}73 \cdot 12{,}55 = 595 \ м^3.$$

Процент добавочной воды: $\frac{q_{доб}}{Q} \cdot 100 = \frac{595}{2\,400} 100 = 24{,}5\%$.

Из рассмотренного примера видно, что расход добавочной воды весьма значителен и прямо пропорционален жесткости умягчаемой воды. Это, как сказано, и делает нерациональным применение цеолитовых умягчителей для вод с высокой жесткостью (начиная с 25°).

Солерастворитель. Для приготовления раствора соли требуемой концентрации служит солерастворитель (рис. 139).

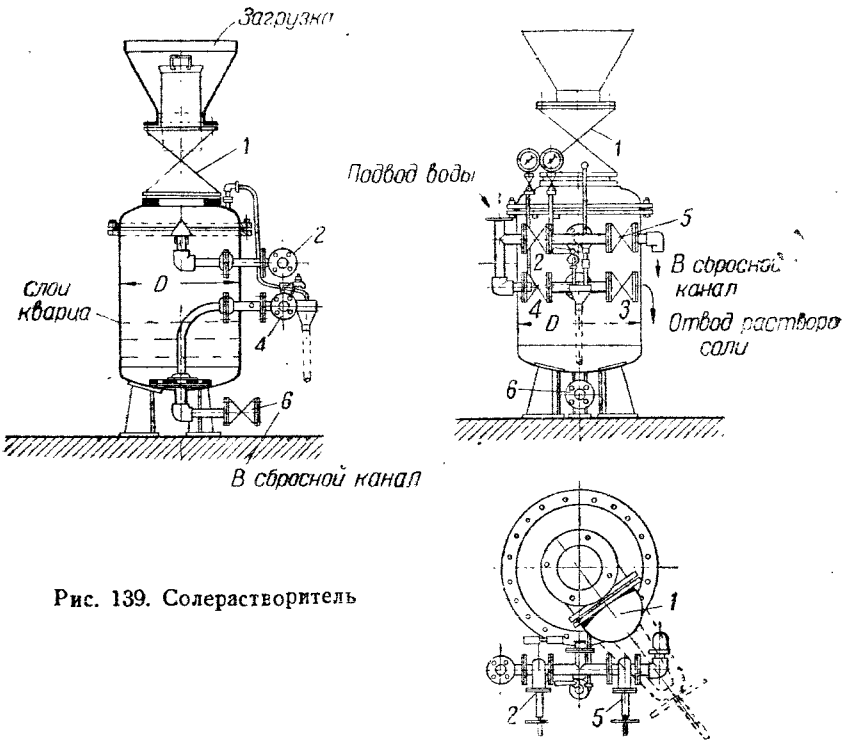


Рис. 139. Солерастворитель

В его цилиндрическом корпусе со сферическими днищами размещены слои кварцевого песка общей высотой 0,4—0,5 *м* и дренаж в виде стальных листов с отверстиями. Сверху устроена воронка для загрузки соли и под ней установлена задвижка *1*. Солерастворитель оборудован также задвижками: *2* — на трубе, подающей воду для растворения соли; *3* — на трубе, отводя-

щей солевой раствор на фильтр; 4 — на трубе, подающей промывную воду под дренаж; 5 — на трубе, отводящей воду от промывки кварцевого песка, и 6 — на трубе, по которой производится спуск воды из солерастворителя.

Пример расчета солерастворителя. Общая потребность соли для регенерации цеолита $S = 275$ *кг* (см. предыдущий пример). Объем загружаемой поваренной соли для регенерации при объемном весе 1 070 *кг/м*³ составляет:

$$S_0 = \frac{S}{1\,070} = \frac{275}{1\,070} = 0{,}257 \ м^3.$$

Площадь поперечного сечения солерастворителя:

$$f_c = \frac{S \cdot 60}{1\,070 \cdot t_c \cdot v_c} = \frac{275 \cdot 60}{1\,070 \cdot 10 \cdot 20} = 0{,}77 \ м,$$

где $t_c = 10$ мин. — время растворения соли;
$v_c = 20$ *м/час* — скорость движения воды в солерастворителе.
Отсюда диаметр солерастворителя:

$$d_c = \sqrt{\frac{4f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}77}{3{,}14}} = \sqrt{\frac{3{,}08}{3{,}14}} = 0{,}99 \ м \approx 1 \ м.$$

Полезный объем солерастворителя принимается на 35—40% больше расчетного количества соли, т. е.:

$$v_c = 1{,}40 \cdot S_0 = 1{,}40 \cdot 0{,}257 = 0{,}36 \ м^3.$$

Высота полезного объема солерастворителя:

$$h_c = \frac{v_c}{f_c} = \frac{0{,}36}{0{,}77} = 0{,}47 \ м.$$

В условиях близости моря могут устраиваться цеолитовые установки, в которых регенерация загрузки производится морской водой, что по данным американской практики снижает стоимость умягчения. Низкое содержание NaCl, составляющее в морской воде только 3%, компенсируется большей продолжительностью регенерации.

В отдельных домах возможна установка маленьких привозных цеолитовых фильтров, которые после исчерпания обменной способности цеолита заменяются другими и отправляются на центральную станцию для регенерации загрузки и дезинфекции. Размеры таких цеолитовых фильтров: $d = 0{,}25$ *м*, $h = 1{,}07$ *м*, вес с загрузкой 68 *кг*, объем цеолитовой загрузки 0,04—0,05 *м*³.

Г. Комбинированный способ умягчения

Известково-содовый способ позволяет умягчать воду любой жесткости (почти 100°), но лишь до 5—6 нем. градусов. Умягчение цеолитами экономически целесообразно только при

жесткости воды не более 25°[1], но зато позволяет снизить общую жесткость воды до 0,05—0,1 нем. градусов.

Если воду с высокой карбонатной жесткостью пропускать через цеолит, в ней сильно увеличивается общее количество растворенных солей. Одновременно повышается и щелочность воды вследствие перехода солей карбонатной жесткости в бикарбонат натрия (двууглекислую соду). Это может сделать воду непригодной как для питания паровых котлов, так и для питья.

Распадаясь в котле, двууглекислая сода выделяет углекислоту и едкий натр, которые могут вызывать вспенивание воды и каустическую хрупкость котельного железа.

Если умягчение воды цеолитовым способом производится для питьевых целей, то, после того как жесткость сырой воды снизится до нуля, приходится производить смешивание умягченной воды с соответствующим количеством неумягченной, доводя жесткость питьевой воды до 4,5—5°. Так, например, при жесткости сырой воды 22° надо смешать 80% умягченной до 0° воды с 20% фильтрованной, но неумягченной воды, чтобы получить результативную жесткость 4,4°. Поэтому в тех случаях, когда умягчаемая вода имеет высокую карбонатную жесткость, целесообразно применить комбинированный способ умягчения воды — известью и цеолитом. При этом сначала посредством извести (с подогревом или с добавкой избытка извести) снижают карбонатную жесткость воды до 2—3° (т. е. насколько возможно). Затем, пропуская воду через цеолитовый умягчитель, окончательно снимают как карбонатную, так и постоянную жесткость.

§ 47. Обезжелезивание (деферризация) воды

Обезжелезивание производится с целью устранения из воды растворенных солей железа. Наиболее часто встречается в воде двууглекислое железо $Fe(HCO_3)_2$. Соединение это нестойко и легко теряет углекислоту. Последняя особенно интенсивно выделяется при так называемой аэрации воды, т. е. при разбрызгивании ее в воздухе на небольших градирнях. Такая градирня представляет собой башенную конструкцию высотой до 3 *м*, состоящую из перекрестных рядов брусков. Вода подается наверх градирни в желоба с отверстиями в дне, откуда она падает на бруски в виде дождевых капель. Градирня другого типа представляет собой конструкцию из нескольких слоев кокса или шлака (с размером фракций в среднем около 100 *мм*), поддерживаемых колосниками. Между пластами загрузки должны быть воздушные прослойки.

---

[1] При жесткости 25° количество добавочной воды на промывку и отмывку цеолитового фильтра, на растворение соли и промывку солерастворителя достигает 30% от расхода умягчаемой воды.

Можно аэрировать воду также и в брызгальных бассейнах, оборудованных спринклерными насадками.

При аэрации воды двууглекислое железо теряет углекислоту и переходит в гидрат закиси железа $Fe(OH)_2$, который, соединяясь с кислородом, превращается в коллоидальную гидроокись железа $Fe(OH)_3$. Коагулируясь, она дает хлопьевидную окись железа $Fe_2O_3.3H_2O$, выпадающую в виде бурых хлопьев. Для осаждения их воду после аэрации пропускают через отстойник и фильтр, загруженный песком слоем в 70 *см* с зернами крупностью 0,5—1 *мм*; скорость фильтрации при этом должна быть 3—6 *м/час*.

Если в воде содержится сернокислое железо, удаление его производится путем известкования; реакция протекает по формуле:

$$FeSO_4 + Ca(OH)_2 = Fe(OH)_2 + CaSO_4.$$

После известкования воду подвергают отстаиванию и фильтруют.

§ 48. Обессоливание воды

Обессоливание применяется с целью устранения из воды по возможности всех содержащихся в ней растворимых солей. Практически основной задачей обессоливания является выделение из воды легко растворимых в ней солей (сульфатов и хлоридов кальция, магния, натрия). Полное обессоливание, в частности, совершенно необходимо при подготовке воды для питания прямоточных котлов, для которых недопустима вода, содержащая плотный остаток в количестве более 5—8 *мг/л*.

Если обессоливание проводится с целью сделать пригодной для питья воду, содержащую такое количество солей (более 1 000 *мг/л*), которое придает ей соленый вкус (например морскую воду или воду из соленых озер), т. е. чтобы получить пресную воду, то оно называется опреснением.

До настоящего времени практическое применение имел термический способ обессоливания воды путем ее выпаривания. В настоящее время, наряду с термическим применяют химический способ обессоливания — путем фильтрации воды через специальные хемо-сорбенты (сульфоуголь и аминосмолы). Однако этот способ неприменим для морской воды.

1. Термический способ обессоливания иллюстрируется рис. 140, на котором приведена схема установки простейшего типа (рис. 140 *а*). Вода нагревается в котле до 100°, и пар направляется в конденсатор, охлаждаемый при помощи змеевика, по которому пропускается холодная вода. Образующийся конденсат и используется для водоснабжения.

Более экономичным является многоступенчатый опреснитель (рис. 140, *б*). Получаемый в котле пар, поступая в змеевик

второго котла, испаряет содержащуюся в котле воду. Образовавшийся пар более низкого давления поступает в третий котел и т. д. Заключительным этапом опреснения является охлаждение пара в конденсаторе, куда поступает пар из последнего котла.

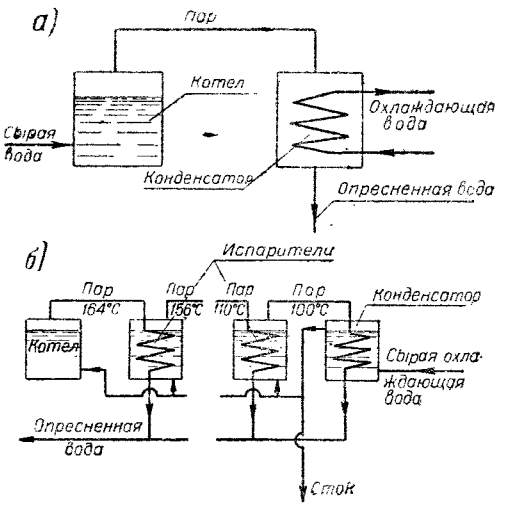


Рис. 140. Схема обессоливания воды термическим способом: *а* — установка простейшего типа; *б* — многоступенчатый опреснитель

2. При химическом способе обессоливания (рис. 141) сырая минерализованная вода насосами подается на так называемые Н-цеолитовые фильтры *1* и проходит через них сверху вниз. Загрузкой для фильтров служат сульфированные бурые угли (т. е. обработанные серной кислотой, подогретой до 140°). Затем под напором, создаваемым теми же насосами, вода поступает на ОН-цеолитовые фильтры *2*, загрузка которых состоит из аминосмол (т. е. смол, полученных путем конденсации ароматических аминов с альде-

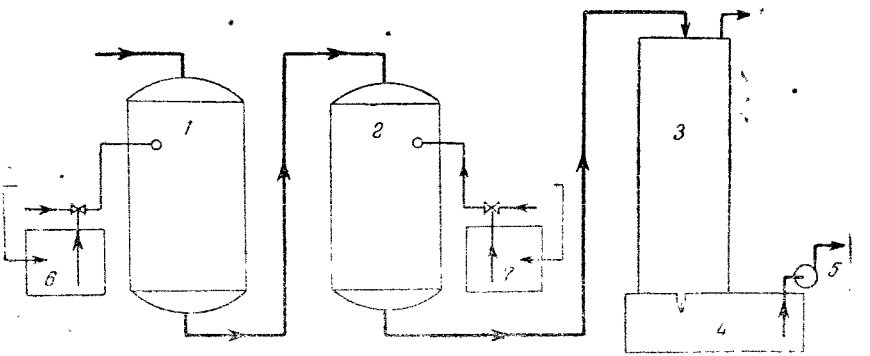


Рис. 141. Схема обессоливания воды химическим способом

гидами и кислотами). Из этих фильтров вода направляется в дегазатор *3*, а после него — в сборный резервуар *4* и далее насосом *5* подается к месту потребления.

В результате последовательной фильтрации воды сперва через Н-цеолит с образованием кислот (угольной кислоты HCO_3 и др.), а затем через аминосмолы, сорбирующие минераль-

ные кислоты, достигается глубокое обессоливание воды. Остаточная жесткость снижается до 0,03—0,10°, щелочность до 0,005—0,3°, общее солесодержание (сухой остаток) до 8—20 *мг/л*. Дегазатор служит для удаления углекислоты CO_2, образующейся при диссоциации угольной кислоты на CO_2 и воду. Регенерация Н-цеолитов производится 1%-ным раствором серной кислоты, поступающей из бака *6*, а аминосмол 3%-ным раствором бикорбоната натрия $NaHCO_3$ или другими щелочами ($NaOH$; Na_2CO_3), поступающими из бака *7*.

Невозможность применения этого способа для обессоливания морской воды обусловливается тем, что при пропуске воды через Н-цеолит получается очень много кислот, а это вызывает регенерацию Н-цеолита, т. е. реакция происходит в обратном порядке. Что же касается ОН-цеолитов, то они реагируют только с кислотами, а по отношению к солям нейтральны.

ГЛАВА VII

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ ВОДЫ

§ 49. Водонапорные башни

А. Определение емкости бака водонапорной башни

Полезная емкость резервуара зависит от размеров водопотребления обслуживаемого объекта и от степени равномерности водопотребления и работы насосных станций. В крупных городах, где вода расходуется более равномерно и где насосные станции работают, приспосабливаясь к колебанию водопотребления (ступенчатая работа), емкость резервуаров колеблется от 3 до 7% от суточного водопотребления; в средних и мелких населенных пунктах, где вода расходуется менее равномерно, а насосные станции работают обычно равномерно, емкость резервуаров составляет от 12 до 20% суточного расхода.

Необходимая емкость бака водонапорной башни или регулирующего резервуара определяется при помощи ступенчатого графика или интегральной кривой. Для построения ступенчатого графика (рис. 142) по горизонтальной оси откладывают часы суток (от 0 до 24 час.), а по вертикальной — потребление воды в те же часы в процентах от суточного расхода, и подачу воды насосами.

Если насосы работают равномерно в течение суток, подавая в час

$$\frac{100}{24} = 4{,}16\%\ Q_{сут},$$

то количество поданной ими в сутки воды можно графически изобразить в виде прямоугольника $aa'b'b$.

Заштрихованные площади ниже линии $a'b'$ выразят излишек воды, поданной насосами, по сравнению с количеством ее, израсходованным из сети; заштрихованные площади выше линии $a'b'$ выразят излишек воды, израсходованной из сети, против количества, поданного насосами. Сумма заштрихованных площадей ниже линии $a'b'$, равная сумме площадей выше линии $a'b'$ ($13{,}49 + 4{,}18 = 17{,}67\%$), и даст необходимую регулирующую емкость резервуара.

В часы водопотребления, превышающего подачу насоса (от 6 до 20 час.), питание сети будет происходить из резервуара.

Для построения интегральной кривой (рис. 143) по горизонтальной оси также откладывают часы суток, а по

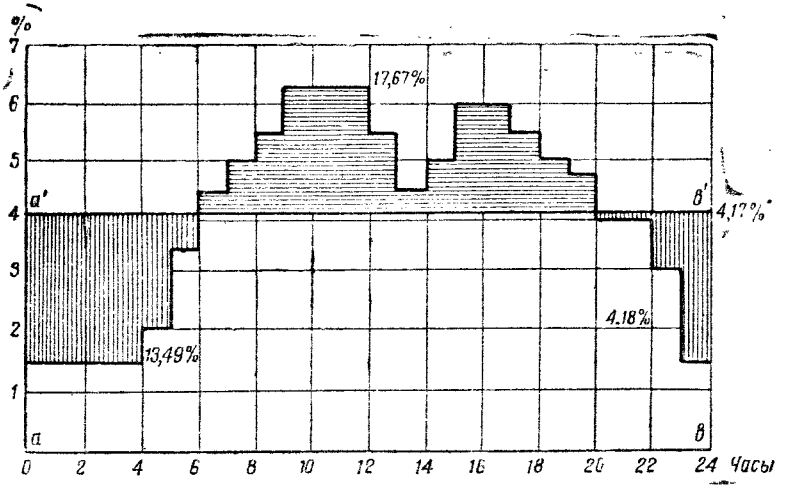


Рис. 142. Ступенчатый график водопотребления и работы насосов

вертикальной — суммарное потребление воды от начала суток до каждого данного часа.

Подача воды насосами изображается на том же графике: при равномерной работе насосов в течение суток — наклонной прямой *3*, при работе насосов неравномерной (ступенчатой),— ломаной линией *2*.

Наибольшая разность ординат линий водопотребления и работы насосов и определяет величину регулирующей емкости резервуара. В данном примере она как при равномерной, так и при ступенчатой работе насосов составляет 13%.

Регулирующую емкость резервуара можно определить также, составив таблицу (табл. 26) и занеся в нее для каждого часа в процентах от максимального суточного расхода: подачу воды насосами, расход воды из сети, поступление воды в резервуар (в часы, когда подача воды насосами больше расхода

Таблица 26

Таблица для определения регулирующей емкости резервуара

Часы суток	Подача воды насосами	Расход воды из водопровода	Поступление в резервуар	Расход из резервуара	Остаток в резервуаре
0— 1	4,16	1,50	2,66	—	2,66
1— 2	4,17	1,50	2,67	—	5,33
2— 3	4,16	1,50	2,66	—	17,99
3— 4	4,17	1,50	2,67	—	10,66
4— 5	4,16	2,00	2,16	—	12,82
5— 6	4,17	3,50	0,67	—	13,49
6— 7	4,16	4,50	—	0,34	13,15
7— 8	4,17	5,00	—	0,83	12,32
8— 9	4,16	5,50	—	1,34	0,98
9—10	4,17	6,25	—	2,08	8,90
10—11	4,16	6,25	—	2,09	6,81
11—12	4,17	6,25	—	2,08	4,73
12—13	4,16	5,50	—	1,34	3,39
13—14	4,17	4,50	—	0,33	3,06
14—15	4,16	5,00	—	0,84	2,22
15—16	4,17	6,00	—	1,83	0,39
16—17	4,17	6,00	—	1,83	—1,44
17—18	4,17	5,50	—	1,33	—2,77
18—19	4,17	5,00	—	0,83	—3,60
19—20	4,17	4,75	—	0,58	—4,18
20—21	4,17	4,00	0,17	—	—4,01
21—22	4,17	4,00	0,17	—	—3,84
22—23	4,17	3,00	1,17	—	—2,67
23—24	4,17	1,50	2,67	—	0

воды из сети), расход воды из резервуара (в часы, когда расход воды из сети больше подачи ее насосами), остаток в резервуаре на каждый час. Алгебраическая сумма наибольшего остатка с положительным знаком и наибольшего остатка с отрицательным знаком и определяет требуемую емкость регулирующего резервуара.

Чтобы избежать отрицательных значений остатка в резервуаре, следует к остатку в резервуаре на каждый час прибавить наибольший отрицательный остаток (в данном случае— 4,18); тогда наибольший остаток (13,49 + 4,18 = 17,67%), получающийся к концу 6-го часа, даст возможность непосредственно определить требуемый регулирующий объем. Нулевой остаток воды при этом будет к концу 20-го часа.

При всех описанных способах определения регулирующей емкости можно (а в некоторых случаях это даже удобнее) выражать часовой расход воды, подаваемой насосами и расходуемой из водопровода, не в процентах, а в кубических метрах.

Б. Железобетонные башни

Железобетонные башни могут быть на вертикальных опорных колоннах или с основанием в виде сплошной железобетонной цилиндрической стенки.

Опорный корпус железобетонной башни на колоннах в зависимости от емкости бака может состоять из 6, 8 и более колонн, соединенных для жесткости обвязками или ригелями через 6—10 *м* по высоте. На рис. 144 изображена та-

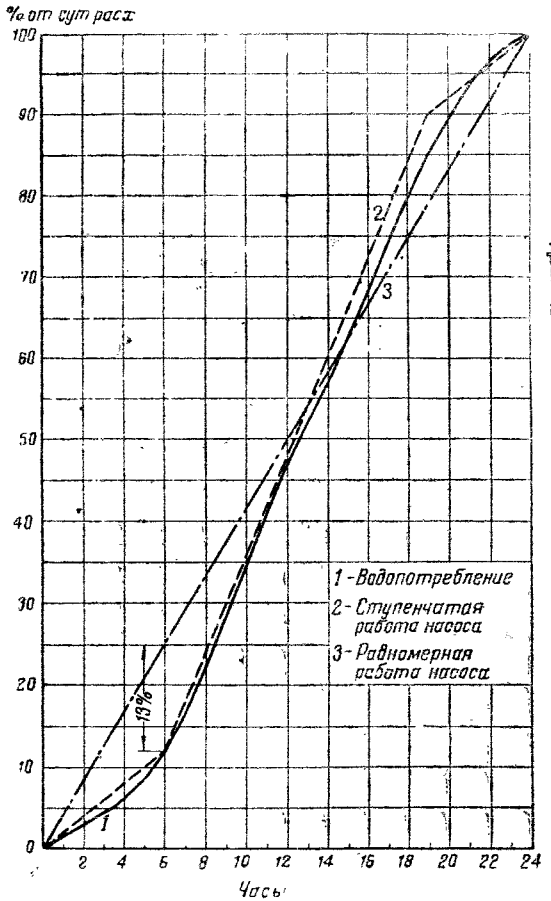


Рис. 143. Интегральный график водопотребления и работы насосов

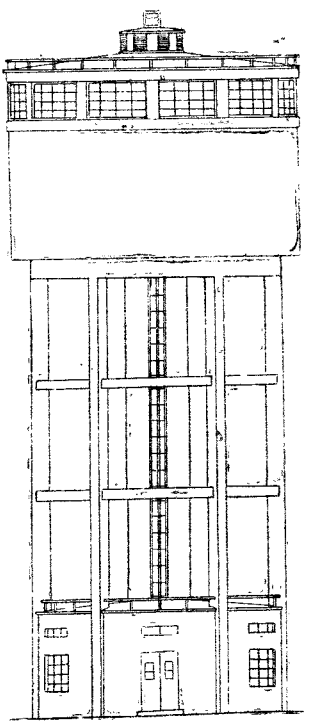


Рис. 144. Железобетонная башня с опорным корпусом из колонн

кая башня высотой 19 *м* (от уровня земли до днища бака), построенная для одного из заводов, с баком емкостью 330 $м^3$. В суровом климате или при необходимости использования внутреннего помещения башни требуется междуколонное заполнение из малотеплопроводных материалов. Кладка заполнения придает башне вид полигональной призмы или цилиндра в зависимости от

того, будут ли пролеты между колоннами заполняться по хордам или по дуге круга.

Резервуар башни бывает обычно цилиндрический железобетонный со сферическим вогнутым днищем (см. далее); на небольших башнях возможны резервуары с плоским днищем, опирающимся на верхнее перекрытие опорного корпуса башни.

Вокруг резервуара устраивают шатер, который нужен не столько для предупреждения замерзания воды в резервуаре, сколько в целях предохранения от деформаций самих баков при резких температурных колебаниях, так как появление капиллярных трещин в стенках резервуара с последующим замерзанием в них воды создает опасность разрушения резервуара.

Шатер башни состоит из железобетонных стоек по числу колонн башни, с промежуточным заполнением, поддерживаемых таким же числом консолей. Чаще шатер представляет собой сплошную цилиндрическую стенку на конической железобетонной плите.

Шатер излишен при благоприятных климатических условиях, при грунтовом водоснабжении с минимальной температурой воды в зимнее время + 5° и при наличии непосредственного утепления стенок, днища и перекрытия бака.

Конструкция основания башни зависит от веса её, условий грунта и величины ветровой нагрузки. Колонны погружаются в землю на расчетную глубину и опираются на железобетонные башмаки или на ленточный фундамент в виде кольцевой железобетонной балки таврового сечения. В сложных случаях (слабые грунты, большие нагрузки) устраивают сплошную железобетонную плиту.

Колонны иногда делают наклонными; однако это усложняет работы по устройству башни и удорожает ее.

Недостатком железобетонных башен на колоннах является большая затрата лесоматериалов при их возведении ввиду необходимости устройства для всех элементов башни сплошной опалубки, а также лесов и подмостей по всей высоте башни.

Железобетонная водонапорная башня с опорным корпусом в виде сплошной цилиндрической стенки постоянного сечения (рис. 145) наиболее распространена в строительной практике СССР. Стенки резервуара башни составляют прямое продолжение цилиндрических стенок ее корпуса. Для таких башен удобны также цилиндрические резервуары с вогнутым сферическим днищем. Конструкция шатра такая же, как и конструкция опорного корпуса. Основания выполняются в виде кольцевой фундаментной железобетонной плиты, заглубленной в землю на расчетную глубину.

При таком типе башен обеспечивается возможность их скоростного строительства, а также снижаются расходы на опалубку и подмости при производстве работ за счет приме-

нения подвижной опалубки. Такая опалубка позволяет вести непрерывное бетонирование цилиндрических стенок башни на всю высоту, включая и стенки резервуара. Она представляет собой кольцевой пояс высотой 1,5 *м* (рис. 146), поднимаемый по мере бетонирования башни посредством особых домкратов, так называемых „джеков". Сами джеки размещаются на вертикальных джековых прутьях диаметром 25 *мм* (1"),

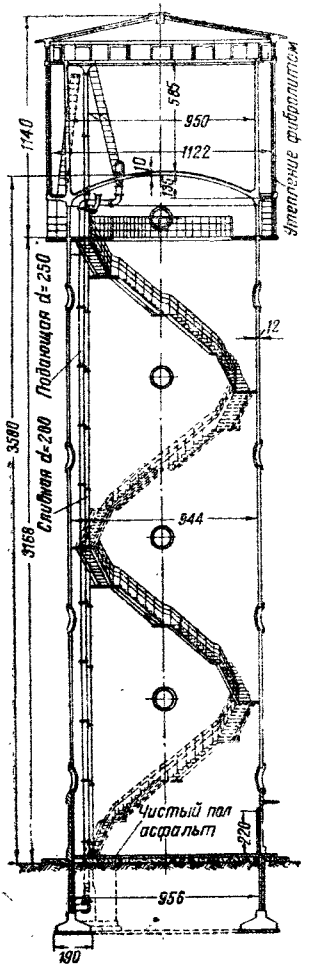


Рис. 145. Железобетонная башня с цилиндрическим опорным корпусом

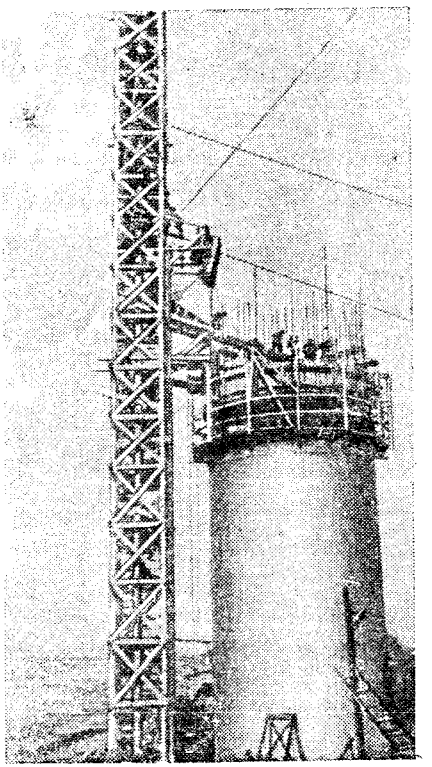


Рис. 146. Возведение башни в подвижной опалубке

закладываемых в тело железобетонной кладки цилиндрического корпуса башни. Джековые прутья используются как стержни вертикальной арматуры в кольцевых стенках корпуса башни. По окончании бетонирования подвижная опалубка снимается и может быть использована для бетонирования других башен.

При возведении башни в подвижной опалубке устраивается

подъемник для подачи материалов сбоку башни, как показано на рис. 146, или внутри корпуса башни.

Стоимость подвижной опалубки составляет около 10% строительной стоимости башни, тогда как стоимость сплошной опалубки, лесов и подмостей достигает иногда 40%.

В. Резервуары железобетонных башен

Железобетонный резервуар со сферическим вогнутым днищем. Этот тип резервуара (рис. 147, *а*) наи-

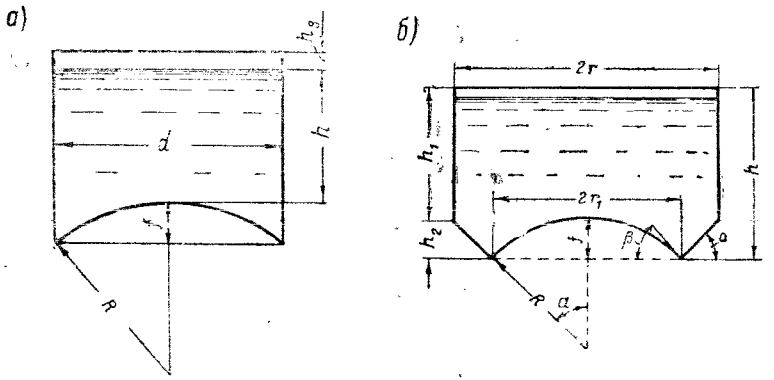


Рис. 147 Резервуары железобетонных башен: *а* — со сферическим вогнутым днищем; *б* — системы Интце

более распространен при устройстве железобетонных водонапорных башен. Полезная емкость резервуара со сферическим вогнутым днищем составляет:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} H - \pi f^2 \left(R - \frac{1}{3} f\right). \qquad (46)$$

Здесь d — внутренний диаметр резервуара.

Полная высота резервуара.

$$H = h + h_з + f,$$

где h — полезная высота стенки резервуара (от верха днища до нормального уровня воды);

$h_з = 0{,}15 \div 0{,}20$ *м* — запас, предусматриваемый на случай переполнения резервуара;

f — стрела днища;

R — радиус кривизны днища.

$$R = \frac{4f^2 + d^2}{8f}, \qquad (47)$$

причем обычно $f = 0{,}125 \div 0{,}20d$.

Важно найти правильное соотношение между полезной высотой h и внутренним диаметром резервуара $d = 2r$, так как это оказывает значительное влияние на стоимость башни.

Технико-экономическими исследованиями установлено, что для резервуаров на башнях со сплошным железобетонным цилиндрическим корпусом отношение $\frac{r}{h}$ следует принимать от 0,50 до 0,75. Меньшая из этих величин относится к малоемким башням, большая — к крупным. Без ощутимого удорожания стоимости сооружения (до 5%) указанное соотношение можно повысить от 0,70 до 0,95, всякое же дальнейшее увеличение $\frac{r}{h}$ резко увеличивает стоимость башни[1].

На основании этих выводов б. Водоканалпроект (в настоящее время Центроспецстройпроект) составил в 1934 г. типовые проекты железобетонных водонапорных башен с резервуарами со сферическим вогнутым днищем и с опорным корпусом в виде сплошной цилиндрической стенки. Главнейшие размеры башен указанного типа приведены в табл. 27.

Таблица 27

Полезная емкость резервуара башни в $м^3$	Внутренний диаметр резервуара в $м$	Полная высота стенки резервуара в $м$	Стрела подъема сферического днища в $м$	Толщина стенки резервуара в $м$		Толщина сферического днища в $м$		Толщина стенки корпуса башни в $м$	Вес железа в башне в $т$	Кубатура бетона в $м^3$	
				внизу	вверху	в пятах	в ключе			М-130	М-110
200	7,80	5,81	1,05	0,18	0,08	0,16	0,10	0,12	12,6	31,7	152,0
250	8,40	6,15	1,15	0,20	0,08	0,18	0,10	0,12	13,2	36,2	154,0
300	9,12	6,35	1,25	0,22	0,08	0,18	0,10	0,12	15,0	43,4	184,0
400	9,80	7,20	1,35	0,24	0,08	0,18	0,10	0,12	17,96	53,9	198,0
500	10,20	8,20	1,40	0,30	0,10	0,24	0,10	0,13	23,1	75,4	227,0
600	10,55	9,10	1,45	0,35	0,10	0,26	0,12	0,15	24,7	97,1	272,0
750	10,95	10,30	1,50	0,35	0,10	0,30	0,12	0,16	30,4	116,0	301,0

Железобетонный резервуар системы Интце. У резервуаров системы Интце (рис. 147,б) стенки цилиндрические радиусом r и высотой h_1, днище же состоит из конической части высотой h_2 и вогнутого купола с радиусом сферы R и со стрелой подъема f.

В месте соединения конической части днища со сферической его частью находится опорное кольцо диаметром $2r_1$. Полная высота резервуара $h = h_1 + h_2$.

[1] Кожинов В. Ф. инж., Наивыгоднейшие соотношения между основными элементами железобетонных водонапорных башен. „Санитарная техника" № 3, 1932.

Достоинство резервуаров системы Интце заключается в том, что при некотором соотношении их геометрических размеров можно достигнуть устранения или значительного уменьшения горизонтального распора, передающегося от сферической части днища. В обычных железобетонных цилиндрических резервуарах со сферическим днищем горизонтальный распор воспринимается опорным кольцом, вследствие чего при большой емкости бака значительно увеличивается сечение кольца).

Для устранения горизонтального распора в резервуарах системы Интце должны быть определенные величины углов α и β и соотношения $\frac{r}{h}$.

Чаще всего принимают:

$\alpha = \beta = 45°$; $h = r$, что дает $\frac{r}{h} = 1{,}0$.

Иногда делают $\alpha = \beta = 45°$, но $h = 1{,}5\,r$ или $\frac{r}{h} = 0{,}667$ (что более целесообразно для резервуаров меньшей емкости).

При этих условиях радиус кривизны сферического днища:

$$R = r = r_1\sqrt{2} = 1{,}414\,r_1.$$

Стрела подъема днища:

$$f = R - r_1 = r_1\sqrt{2} - r_1 = r_1(\sqrt{2} - 1) = 0{,}414 r_1.$$

Объем резервуара:

$$V = \frac{2}{3}\pi\,[3\,r_1^2 h - f^2(3R - f)] = 0{,}524\,r^2\,(6\,h - 0{,}929\,r). \qquad (48)$$

Таким образом при $h = r$:

$$r = \sqrt[3]{\frac{V}{2{,}655}} = 0{,}719\sqrt[3]{V};$$

при $h = 1{,}5\,r$;

$$r = \sqrt[3]{\frac{V}{4{,}226}} = 0{,}617\sqrt[3]{V},$$

где V — полный объем воды в резервуаре.

Иногда принимают $\alpha = 60°$; $\beta = 30°$ при $\frac{r}{h} = 0{,}667$, а для резервуаров малой емкости при $\frac{r}{h} = 0{,}50$.

Железобетонные резервуары системы Интце экономичны для башен с опорным корпусом в виде сплошной цилиндрической стенки при емкостях от 100 до 400 $м^3$, а при наличии плотных грунтов с допускаемым давлением не менее $3 кг/см^2$ — при любой емкости.

В железобетонных резервуарах важно обеспечить водонепроницаемость стенок и днища. Это достигается применением

плотного бетона высоких марок (не ниже М-140) с инертными добавками, одновременно повышающими сопротивляемость бетона растягивающим усилиям. На внутреннюю поверхность резервуара наносится слой цементной штукатурки (10 — 20 *мм*) с затиркой ее стальными терками (так называемым „железнением").

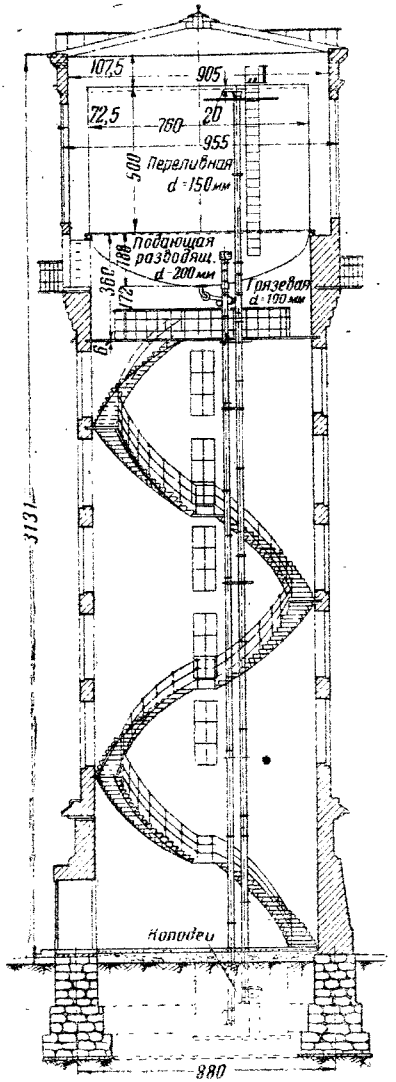


Рис. 148. Кирпичная водонапорная башня со стальным резервуаром

Рекомендуется также торкретирование или же покрытие бетона цементным раствором с добавкой церезита, гидрозита и т. п.

Стоимость железобетонной башни с основанием в виде сплошной цилиндрической стенки может быть определена по формуле автора, составленной в ценах 1936 г.

$$S=175\ (W+10H)-2\,WH, \quad (49)$$

S — стоимость башни в руб.;
W — полезная емкость бака в $м^3$;
H — высота до дна бака.

Г. Кирпичные башни

Кирпичные водонапорные башни устраиваются в виде высокого здания цилиндрической или призматической формы (рис. 148).

Шатер вокруг бака делается легкой конструкции, например из пустотелых бетонных камней, из дерева с утеплением стенок соломитом и пр.

Резервуары кирпичных башен могут быть: 1) стальные с выпуклым сферическим днищем (рис. 149); 2) системы Интце стальные или железобетонные; 3) железобетонные — цилиндрические с вогнутым сферическим днищем.

Чаще всего применяют стальные резервуары. Железобетонные резервуары на кирпичных башнях целесообразно устраивать только при большей их емкости, так как при небольшой кубатуре железобетонной кладки относительная стоимость железобетонных работ значительно повышается.

Фундамент кирпичной башни делается преимущественно бутовым.

Устройство кирпичных башен может быть целесообразным

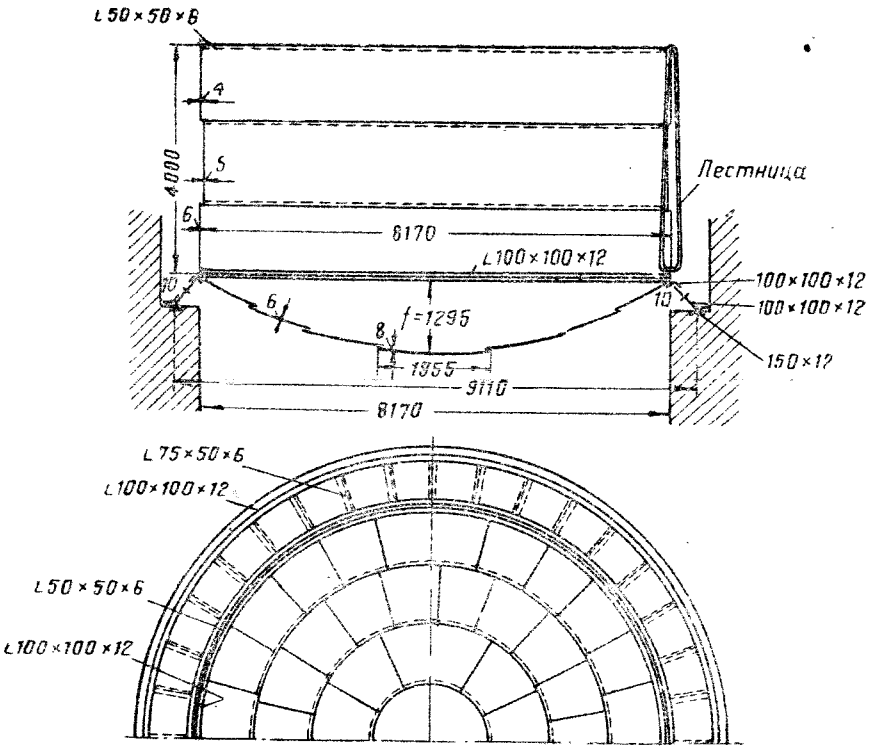


Рис. 149. Стальной резервуар со сферическим днищем емкостью 250 *м*³

при наличии вблизи кирпичных заводов, при недостатке на месте арматурного железа, цемента и лесного материала для опалубки, а также на строительствах малого масштаба, например в небольших городах, на небольших промпредприятиях, железнодорожных станциях, в совхозах и т. д. Кирпичные водонапорные башни особенно распространены в железнодорожном водоснабжении.

Д. Стальные башни

Стальные башни в нашем строительстве мало распространены; лишь иногда устраиваются стальные башни системы В. Г. Шухова. На рис. 150 показана такая башня высотой 22 *м* с баком емкостью 300 *м*³. Остов этой башни состоит из большого числа прямых стоек уголкового сечения, устанавливаемых по образующим гиперболоида и скрепляемых несколькими горизонтальными кольцами по высоте башни. Таким образом

остов представляет собой гиперболоид вращения и работает как жесткая пространственная система.

На башнях системы Шухова применяются обычно стальные цилиндрические резервуары с плоским днищем.

Вокруг бака устраивается утепляющий деревянный шатер. Если бак открытый (т. е. без шатра), крыша над ним делается из железа толщиной 2—3 *мм* конической формы на металлических деревянных стропилах, опертых на стенки резервуара.

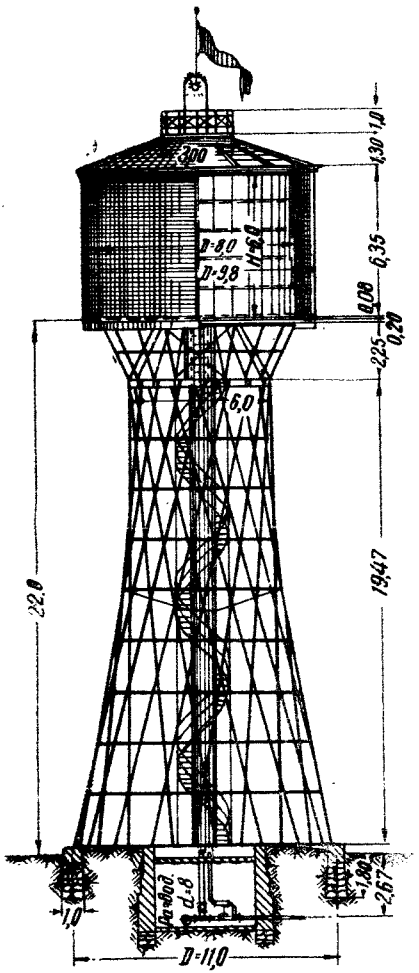


Рис. 150. Стальная башня системы Шухова

Нижнее опорное кольцо башни состоит из двух уголков, прикрепленных посредством косынок (фасонных листов) к стойкам остова башни. Для связи кольца с фундаментом служат болты диаметром 20—25 *мм*, длиной 1 500 *мм*.

Отверстия для заклепок и болтов размечают и высверливают на заводах, что упрощает сборку башни на месте. Сборку остова башни производят вначале на болтах с устройством простых лесов и подмостей, а затем болтовые соединения заменяют заклепками. Стойки остова наращивают постепенно; при этом стальные уголки поднимают наверх посредством лебедки с блоками, устанавливаемой на временном деревянном настиле, который устраивается на возводимой башне. Сборка шуховских башен осуществима и в зимнее время, если заранее подготовлен фундамент.

По сравнению с другими типами стальные башни наиболее пригодны для районов, подверженных землетрясениям. При этом необходимо усиление их конструкции в соответствии с расчетом на сейсмостойкость.

К недостаткам башен системы Шухова надо отнести бо́льший по сравнению с железобетонными башнями расход металла (на 30—40%), необходимость в дополнительном утеплении трубопроводов (так как остов башни сквозной, решетчатый)

и в периодической окраске остова башни для предупреждения ржавления металлических элементов сооружения.

Стальные башни, состоящие из цилиндрического бака, опертого на вертикальные или наклонные металлические стойки, соединенные легкими горизонтальными связями и диагональными раскосами, весьма распространены в США (рис. 151).

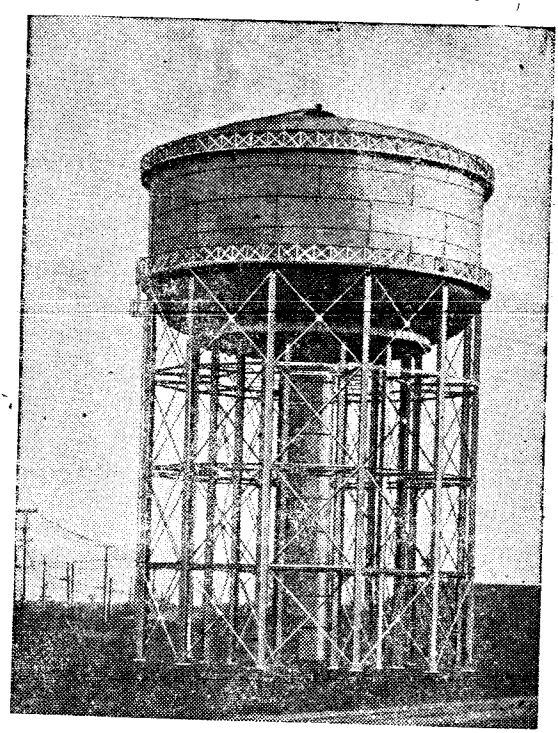


Рис. 151. Стальная башня американского типа

Такие башни не имеют утепляющих шатров. Большие объемы резервуаров и частая смена воды гарантируют их от замерзания. В последнее время башни устраиваются со стояком, т. е. с центральной трубой большого диаметра, не имеющей утепления. Даже при значительном обмерзании стенок такой трубы остается достаточный проход для пропуска воды.

Все элементы башни выполняются заводами по заводским стандартным чертежам и доставляются на место постройки, где могут быть быстро собраны. Конструкции стальных башен весьма разнообразны. Удельный расход стали составляет от 80 до 120 *кг* на 1 $м^3$ емкости бака в зависимости от высоты башни и размеров бака.

Для защиты воды от нагревания солнцем стальные баки и

остов башни принято окрашивать алюминиевой краской, что придает всему сооружению некоторую изящность.

В целях предотвращения коррозии стальных резервуаров и башен можно применять катодную защиту. Расход электроэнергии для катодной защиты стального резервуара емкостью 200 $м^3$ составляет 1—1,5 *квт* в сутки, при емкости 1 300 $м^3$— около 14 *квт* в сутки.

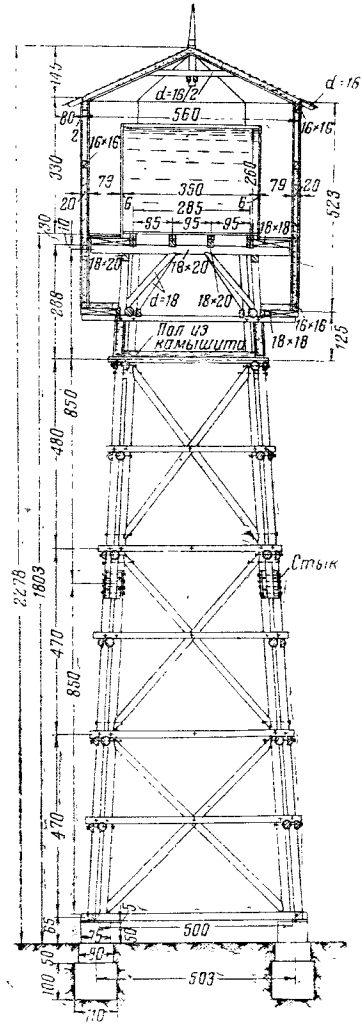


Рис. 152. Типовая деревянная башня

Е. Деревянные башни

Деревянные башни применяются только для небольших и временных водопроводов.

Наиболее распространены у нас башни на деревянных наклонных стойках с горизонтальными схватками и наклонными раскосами (рис. 152).

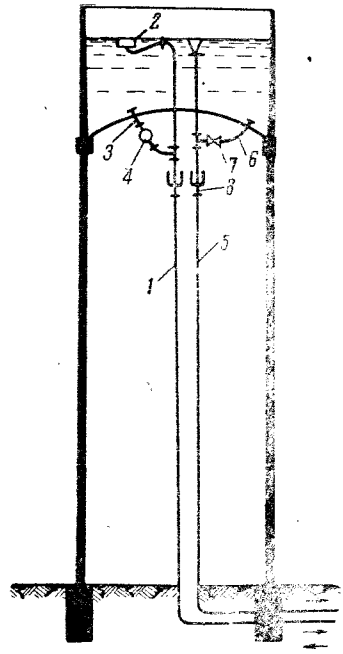


Рис. 153. Схема оборудования водонапорной башни трубопроводами

При возведении таких башен не требуется капитальных лесов. Затрата лесоматериалов на постройку башни состав-

ляет около 1 $м^3$ на 1 $м^3$ емкости бака; фундамент башни выполняется из бутовой кладки.

Ж. Оборудование водонапорных башен

Водонапорные башни оборудуются трубопроводами: подающим, переливным и спускным. Подающий — он же по большей части и разводящий трубопровод *1* (рис. 153), по которому вода поступает в резервуар (при избыточной подаче насосов) или уходит в сеть (при недостаточной подаче насосов). В редких случаях устраиваются отдельные подающий и разводящий трубопроводы; в таких случаях разводящий трубопровод начинается от низа бака, а подающий доводится до верха бака. Подающий трубопровод желательно доводить до верхнего уровня воды в резервуаре; в этом случае на конце его устанавливают поплавковый клапан *2*, автоматически закрывающийся, когда вода достигнет верхнего уровня в резервуаре. Из резервуара вода поступает по ответвлению *3*, на котором установлен обратный клапан *4*, пропускающий воду только в одном направлении — из резервуара. Иногда подающе-разводящий трубопровод начинают только со дна резервуара, и тогда никаких ответвлений от него не устраивают и поплавкового клапана не устанавливают. Переливной (или так называемый холостой) трубопровод *5* служит для предупреждения переполнения резервуара. Спускной (грязевой) трубопровод *6* в виде короткого ответвления присоединяется к переливному трубопроводу и предназначается для полного опорожнения резервуара. На этом ответвлении ставится задвижка *7*, открываемая только в случае необходимости удаления из резервуара осадка.

В верхних частях обоих вертикальных трубопроводов ставятся сальники *8* для компенсации температурных изменений длины трубопроводов.

В башне должен быть установлен указатель уровня воды в резервуаре. По большей части он представляет собой поплавок, от которого идет цепочка к указателю на рейке с делениями, устанавливаемой в первом этаже башни. Возможно также устройство электрической сигнализации в насосную станцию. Приборы для электрической сигнализации высоты уровня воды могут быть подразделены на две группы: 1) дающие показатели только крайних уровней — наибольшего и наименьшего и 2) указывающие не только крайние, но и промежуточные уровни воды в резервуаре.

В тех случаях, когда водонапорная башня связана с автоматической системой водоснабжения, в резервуаре устанавливается поплавковый выключатель, управляющий работой насосов в зависимости от уровня воды в резервуаре.

В целях обеспечения бесперебойной эксплоатации башни в суровом климате иногда в ее помещении (в нижнем этаже)

устанавливается печь для подогрева воды в резервуаре. Дымовая труба в предохранительном кожухе пропускается через резервуар. Иногда устанавливают паровой котел в подвале башни; бак обогревается огибающей его паровой трубкой диаметром 38 *мм*, возвращающейся к нижней части котла с конденсатом.

3. Водонапорные колонны

Водонапорная колонна представляет собой цилиндрический резервуар высотой от 15 до 45 *м* со сплошным фундаментом под днищем. Это отличает ее от водонапорной башни, резервуар которой поднят над уровнем земли на высоту, обеспечивающую требуемый напор в водопроводной сети. Следовательно, емкость водонапорной колонны больше, чем у башенного резервуара, но объем воды нижней части нельзя подать в сеть под надлежащим напором. Однако последний все же достаточен для подачи воды в нижние этажи зданий и цехов или к водоразборным уличным кранам.

Водонапорные колонны применяются в тех случаях, когда допустимо значительное колебание напора. На промышленных предприятиях устройство водонапорной колонны полезно, если технологические условия допускают значительное кратковременное снижение напора в случае аварии на водопроводе, как это бывает, например, на металлургических заводах. Если колонну можно расположить на каком-либо естественном возвышении (холме), то она получается небольшой высоты; такая конструкция колонны весьма целесообразна. Колонны лучше всего устраивать стальные, но возможно устройство и железобетонных колонн. Последние должны быть оштукатурены и иметь надежную гидроизоляцию.

В СССР водонапорные колонны устраиваются весьма редко. Стальная колонна емкостью 3 040 $м^3$, внутренним диаметром 9,15 *м* и высотой 45,75 *м* была запроектирована для Магнитогорского металлургического завода, но не построена ввиду наличия достаточных резервов в насосном оборудовании. В 1933 г. выстроена стальная колонна для металлургического завода Азовсталь (Мариуполь) общей емкостью 3 000 $м^3$ при диаметре 11 *м* и высоте 30 *м*.

В нашей практике имеются отдельные случаи применения железобетонных водонапорных колонн, например, в Ростове-на-Дону в 1929 г. построена колонна диаметром 6 *м*, высотой 32 *м* и общей емкостью 900 $м^3$.

За последнее время стали применять железобетонные водонапорные колонны с предварительно напряженной кольцевой арматурой, устраняющей растягивающие напряжения в бетонных стенках.

Стальные водонапорные колонны имеют ряд преимуществ по сравнению с железобетонными колоннами, так как они

1) более легки по конструкции, 2) легко монтируются в любое время года, 3) допускают постепенное наращивание, 4) обеспечивают полную водонепроницаемость стенок и 5) облегчают ремонт, демонтаж и т. п. С другой стороны, железобетонные колонны могут быть хорошо архитектурно обработаны и не требуют периодической окраски.

§ 50. Подземные и наземные резервуары

А. Назначение и типы резервуаров

Подземные резервуары служат для хранения запаса воды для хозяйственно-питьевых, производственных или противопожарных нужд. Вода из резервуара в сеть подается насосами, а если резервуар расположен на высокой отметке, обеспечивающей необходимый напор в сети, то самотеком. В этом случае может оказаться необходимым, не заглубляя резервуара в грунт (чтобы не уменьшать высоту его расположения), ограничиваться обсыпкой его утепляющим слоем земли. Такой резервуар называется наземным.

Если подземный резервуар является напорным, то требуемая емкость его определяется так же, как и емкость баков водонапорных башен, но ввиду меньшей стоимости 1 $м^3$ емкости резервуара последняя принимается обычно с запасом.

Подземные и (наземные) резервуары можно устраивать: 1) железобетонные, 2) из кирпичной или бутовой кладки, 3) стальные (только наземные) и 4) деревянные.

Если резервуар не является напорным (например, резервуар чистой воды при очистной станции), то емкость его определяют в соответствии с назначением резервуара. При хранении в резервуаре пожарного запаса последний принимают в соответствии с расчетной продолжительностью пожара.

Б. Железобетонные резервуары

Железобетонные резервуары устраиваются либо круглые в плане с купольным или безбалочным железобетонным покрытием, либо прямоугольные. Круглые резервуары (рис. 154) применяются обычно при емкостях от 50 до 1 500 $м^3$.

При емкости свыше 900 $м^3$ безбалочное покрытие более выгодно, чем купольное, а при емкости более 3 500 $м^3$ целесообразно устройство резервуаров прямоугольной формы. Это видно из графика расхода железобетона на 1 $м^3$ полезной емкости резервуаров различных типов, представленного на рис. 155. Плоские ребристые покрытия вообще не рекомендуются для резервуаров, так как они затрудняют вентиляцию вследствие

застаивания воздуха между балками. Вентиляция же необходима во всяком резервуаре для предупреждения появления затхлого запаха воды.

Прямоугольные железобетонные резервуары с безбалочным

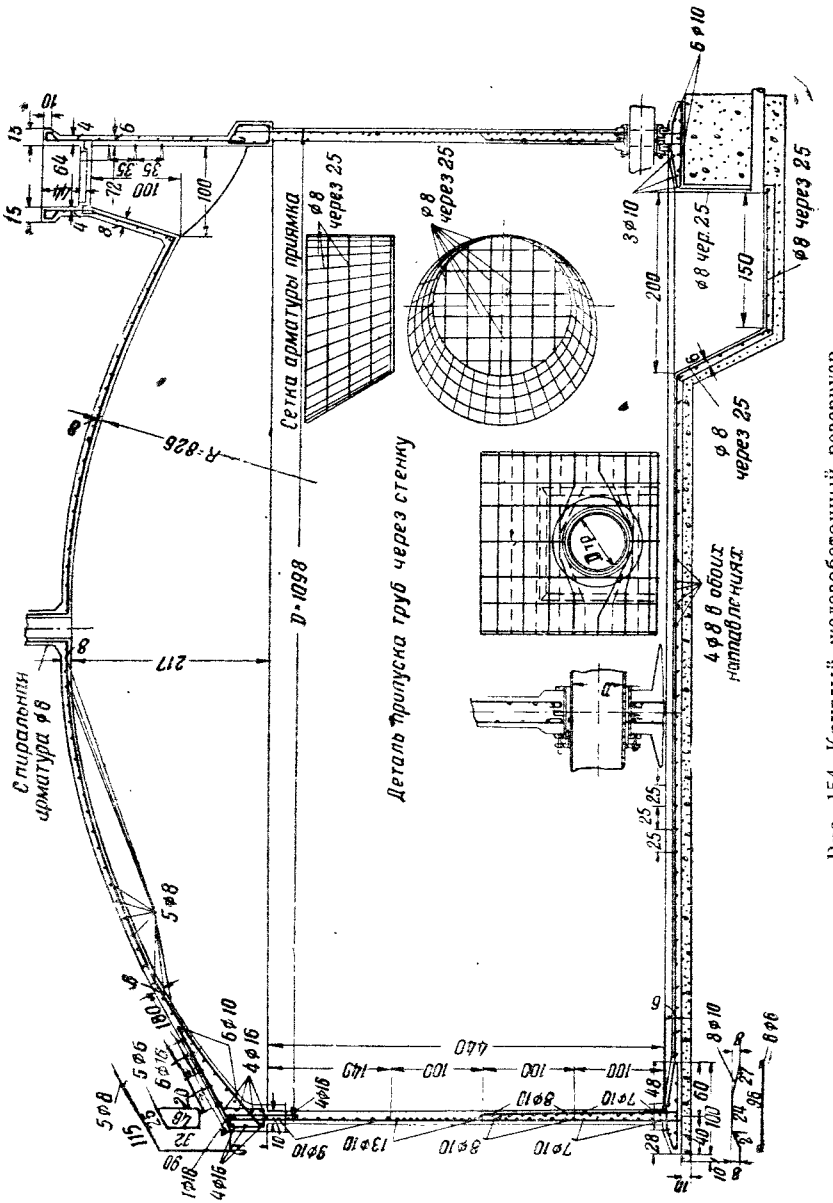


Рис. 154. Круглый железобетонный резервуар

покрытием (рис. 156) устраиваются емкостью от 2 000 до 5 000 $м^3$. Глубина железобетонных резервуаров как круглых, так и

прямоугольных наиболее удобна от 3,5 до 5,5 *м*. Применять более глубокие железобетонные подземные резервуары нежелательно как по конструктивным (увеличение давления на стенки), так и по гидравлическим (увеличение высоты всасывания) условиям.

Увеличение емкости резервуаров сверх 5000 $м^3$ не рекомендуется. В тех случаях, когда необходимы большие запасы воды, следует устраивать несколько резервуаров.

Устройство двух одинаковых по емкости резервуаров или одного, разделенного на две равные половины, является вообще непременным условием для нормальной эксплоатации (чтобы можно было выключить один из резервуаров для ремонта, осмотра, очистки и т. д.).

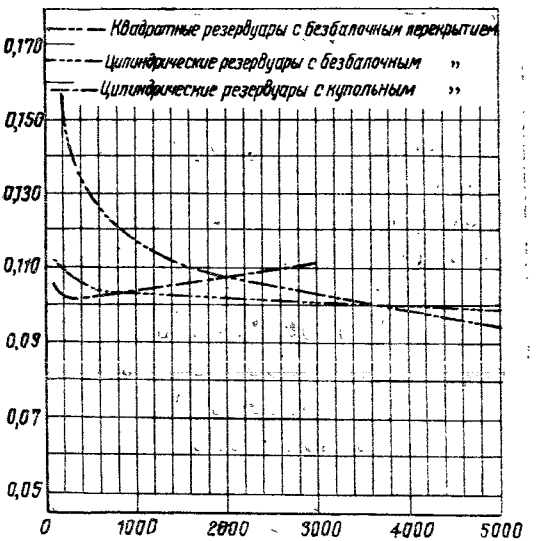


Рис. 155. График расхода железобетона на 1 $м^3$ емкости

Резервуар целесообразно заглублять в землю настолько, чтобы вынутый грунт полностью использовался для утепляющей обсыпки надземных частей резервуара. Если надежный грунт, который может служить основанием для резервуара, находится на большой глубине, то приходится увеличивать и глубину заложения резервуара.

В 1937—1938 гг. Центроспецстройпроектом выпущены проекты типовых круглых железобетонных резервуаров с безбалочным покрытием для емкостей 100, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1 000 $м^3$ и с купольным покрытием для емкостей 300, 400, 500, 600 $м^3$.

Расход бетона на 1 $м^3$ полезной емкости резервуара составляет от 0,193 до 0,098 $м^3$ в зависимости от размеров резервуара. Расход железа на 1 $м^3$ полезной емкости остается почти постоянным — 11—13 *кг* на 1 $м^3$ емкости, и только для резервуаров емкостью 100 и 200 $м^3$ повышается до 23—25 *кг* на 1 $м^3$ емкости.

Бетонирование стенок резервуара ведется в инвентарной, или стационарной опалубке, которая должна быть устроена весьма тщательно для обеспечения хорошего качества бетонной кладки. Особое внимание надо уделять качеству опалубки купольного покрытия, воспринимающей вес бетонной кладки

куполов. Постройка подземных резервуаров усложняется в условиях высокого стояния грунтовых вод, требующих водоотлива; при этих условиях усложняется и конструкция днища, которое должно быть рассчитано на давление воды извне. Водонепроницаемость резервуара достигается оштукатуриванием его наружной поверхности цементным раствором состава

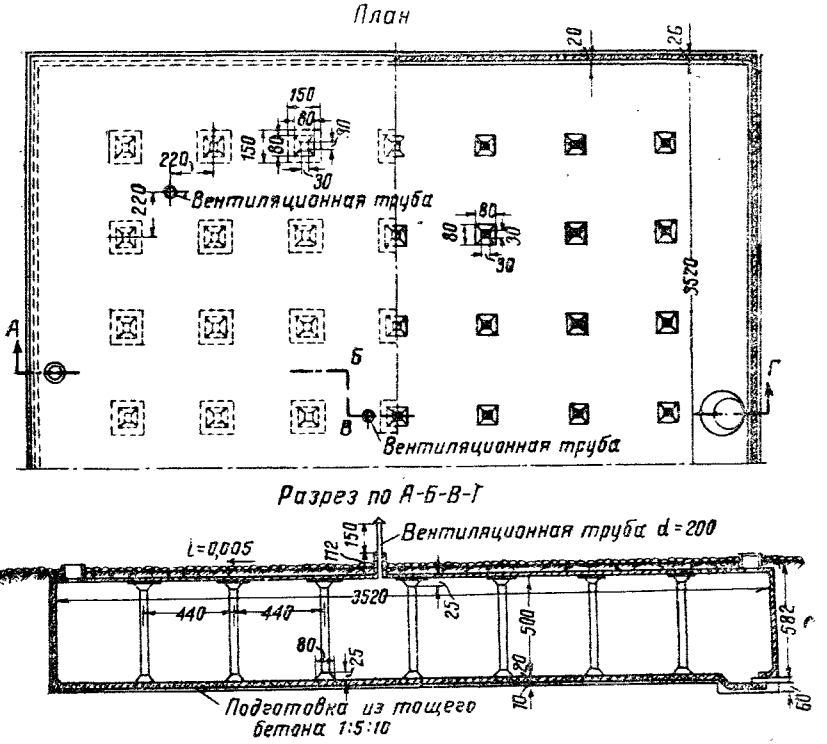


Рис. 156 Железобетонный прямоугольный резервуар

1:2 (слоем 5—8 *мм*) и торкретированием с последующим железнением внутренней поверхности.

Необходимо принимать меры против застаивания воды в резервуаре. С этой целью в больших резервуарах устраиваются направляющие перегородки небольшой толщины, образующие коридоры и обеспечивающие циркуляцию воды; в нижней части перегородок делаются проемы для сползания осадка к одной стороне резервуара.

В. Кирпичные и бутовые резервуары

Такие резервуары были очень распространены 35—40 лет назад, теперь же с распространением железобетона они применяются весьма редко. Стенки таких резервуаров имеют значительно большую толщину и объем по сравнению со стенками железобетонных резервуаров.

Тем не менее в некоторых районах СССР, где имеется дешевый местный камень, устройство бутовых резервуаров может оказаться экономически целесообразным. Так, резервуары из бута находят довольно частое применение в Кривом Роге, в Донбассе, в Баку. Водонепроницаемость подобных сооружений достигается торкретированием их стенок с внутренней стороны.

Одним из весьма крупных сооружений этого рода является старый кирпичный резервуар Рублевского водопровода в Москве на Ленинских горах. Резервуар разделен на две камеры и имеет суммарную емкость 57 500 $м^3$ при глубине воды 4 $м$.

Г. Стальные наземные резервуары

Стальные резервуары в нашей практике могут иметь применение лишь в виде редкого исключения, например при наличии неиспользуемых нефтяных баков, не бывших еще в эксплоатации.

Наземные стальные резервуары делаются сварные или клепаные. Емкость их достигает 20 000 $м^3$.

Резервуары, как правило, собирают на месте постройки из деталей, заготовленных и размеченных на заводах.

Д. Деревянные резервуары

Деревянные резервуары подземного типа имеют довольно узкое применение, главным образом для временных водопроводов.

Эти резервуары выполняются емкостью от 50 до 400 $м^3$ обычно из обрезного пиломатериала. Доски соединяются впритык без шпунта. Днище устраивается из досок, а сопряжение его со стенками осуществляется посредством врезки досок днища в доски стенки; внутренние углы при этом должны быть осмолены. Растягивающие усилия от давления воды воспринимаются бандажами из круглого железа, надетыми на внешнюю поверхность цилиндрической стенки. Пиломатериалы должны иметь влажность не более 15—18%.

Е. Оборудование подземных резервуаров

Подача воды в подземный резервуар производится по напорному трубопроводу, в верхней части которого помещается поплавковый клапан, автоматически закрывающийся при повышении уровня воды сверх установленного максимума. В разводящую сеть вода поступает из резервуара по тому же трубопроводу через горизонтальный отросток с сеткой и обратным клапаном. Если резервуар является приемным резервуаром при насосной станции (рис. 157), то приемная сетка всасывающего трубопровода размещается обычно в приямке резервуара, благодаря чему устраняется возможность проникания в трубопровод воздуха при опорожнении резервуара. Резер-

вуар оборудуется также переливной (сливной) трубой, к которой снизу присоединен грязевой тарельчатый клапан специ-

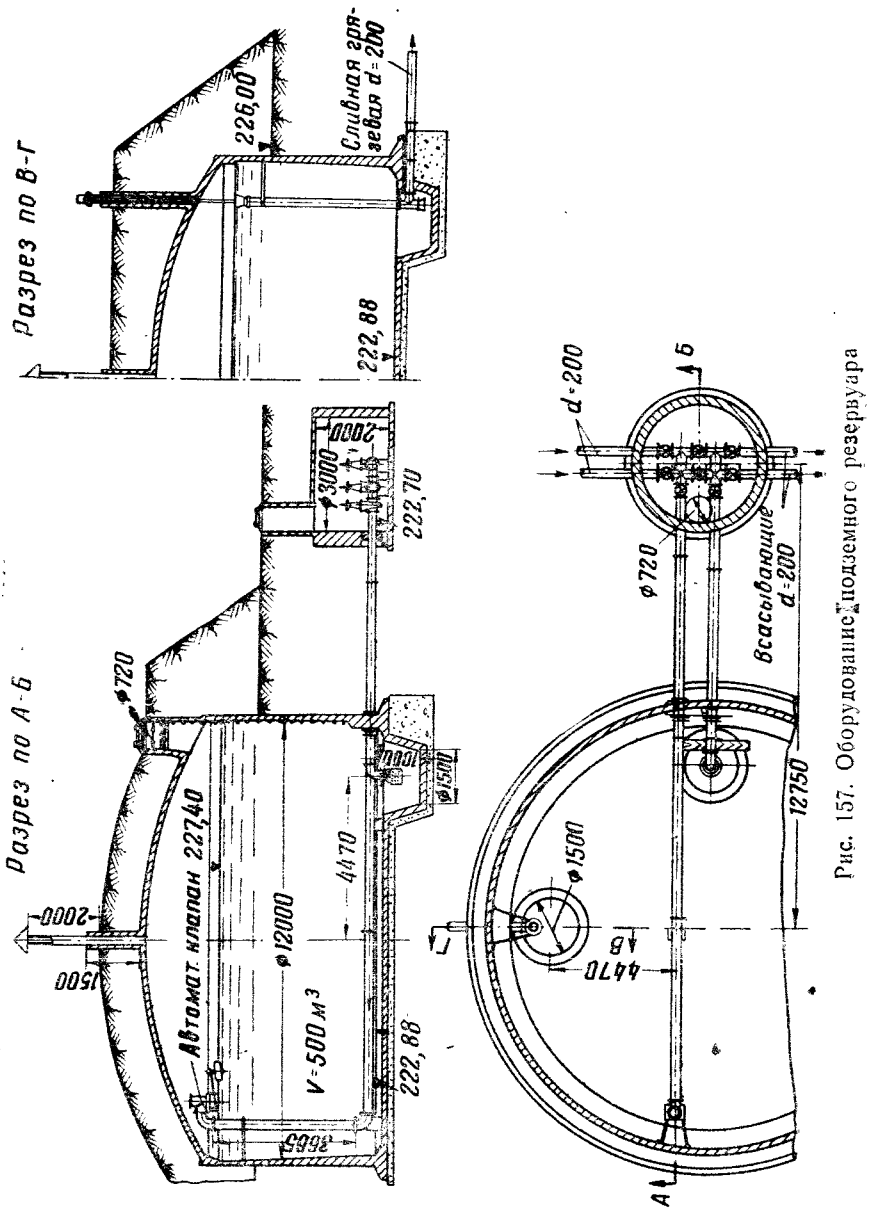


Рис. 157. Оборудование подземного резервуара

альной конструкции, открывающийся посредством стержня сверху резервуара.

Резервуар должен быть снабжен вентиляционными трубами

и лазом для возможности периодического осмотра. Возле резервуара или (что чаще) между двумя смежными резервуарами устраивается камера для управления задвижками на трубах, служащих для подачи воды и отвода ее из резервуара. По конструктивным соображениям стенки камеры не должны быть связаны со стенками резервуаров.

§ 51. Пневматическое водоснабжение

В системе пневматического водоснабжения давление водяного столба, создаваемое башней при башенном водоснабжении, заменяется давлением сжатого воздуха, которое поддерживается в герметически закрытых стальных резервуарах.

Пневматическое водоснабжение экономически целесообразно при небольших суточных расходах воды (2 000—3 000 *м*³/*сутки*) и при спокойном рельефе территории обслуживаемого объекта. Пневматические установки часто бывают уместны в тех случаях, когда воду получают из скважины при помощи эрлифта, что позволяет устроить общее компрессорное хозяйство.

Пневматическое водоснабжение осуществлено в некоторых городах СССР; за последнее время оно применяется только на промышленных предприятиях.

Пневматическое водоснабжение может быть с переменным давлением и с постоянным давлением.

А. Пневматическое водоснабжение с переменным давлением с отдельными водяным и воздушным резервуарами

В системе пневматического водоснабжения с переменным давлением заряженный сжатым воздухом резервуар-аккумулятор (или иначе воздушный резервуар) сохраняет рабочее давление воздуха в продолжение довольно долгого времени (около 1—1½ месяцев). Благодаря этому не требуется регулярной работы компрессора для подкачки воздуха. Компрессор нужен лишь для пополнения утечки воздуха через неплотности в местах соединений резервуара с трубопроводами. Сжатый воздух переходит из воздушного резервуара в водяной резервуар и обратно, периодически понижая или повышая свое давление вследствие изменения объема воды в водяном резервуаре, который то опорожняется (по мере израсходования воды потребителями), то пополняется насосом.

Таким образом, при пневматическом водоснабжении с переменным давлением после наполнения воздушного резервуара сжатым воздухом до получения требуемого давления вся дальнейшая работа производится насосом. Этот насос должен преодолевать рабочее давление сжатого воздуха, подавая воду в нужном количестве.

Резервуары могут быть расположены как вертикально, так и горизонтально.

Пневматическая установка с вертикально располо-

женными резервуарами (рис. 158) состоит из ряда воздушных резервуаров *А* (аккумуляторов), в которые по трубам *а* при помощи компрессора нагнетается сжатый воздух. Во второй параллельный первому ряд водяных резервуаров *Б* накачивается насосом вода. Воздушные и водяные резервуары соединены между собой трубопроводом *в*. На нем установлен вентиль *В* для отключения резервуаров друг от друга. Вентиль *В* открывают после зарядки воздушных резервуаров и наполнения водой водяных резервуаров. Тогда сжатый воздух из резервуара *А* переходит в водяной резервуар *Б* и вытесняет воду по трубам *г* в разводящую сеть водопровода.

В водяных резервуарах на разводящей трубе *г* ставят поплавковый клапан *Г*. Он предотвращает полное опорожне-

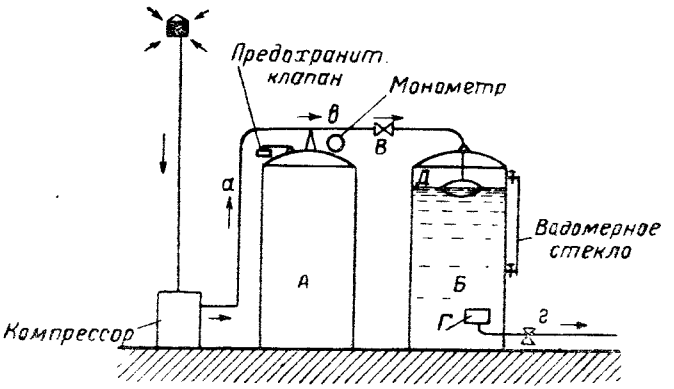


Рис. 158. Схема пневматической установки переменного давления

ние резервуара. При отсутствии клапана из резервуара ушла бы в разводящую сеть не только вся вода, но и воздух. В верхней части резервуара *Б* на трубе, подающей воздух из резервуара *А*, установлен специальный поплавковый клапан *Д*, который не допускает перехода воды из водяного резервуара *Б* в воздушный резервуар *А*.

При вытеснении воды из водяного резервуара *Б* в разводящую сеть насос пополняет убыль воды, причем воздух вытесняется обратно в резервуар *А*. После заполнения водяного резервуара водой давление воздуха в резервуаре *А* достигает первоначальной величины.

На рис. 159 показана одна из станций пневматического водоснабжения. В здании имеются машинное помещение с тремя насосными агрегатами, двумя компрессорами и распределительным щитом, отдельное помещение для пневматических резервуаров, трансформаторное помещение, дежурная комната, уборная и вестибюль.

На станции установлены три водяных и три воздушных

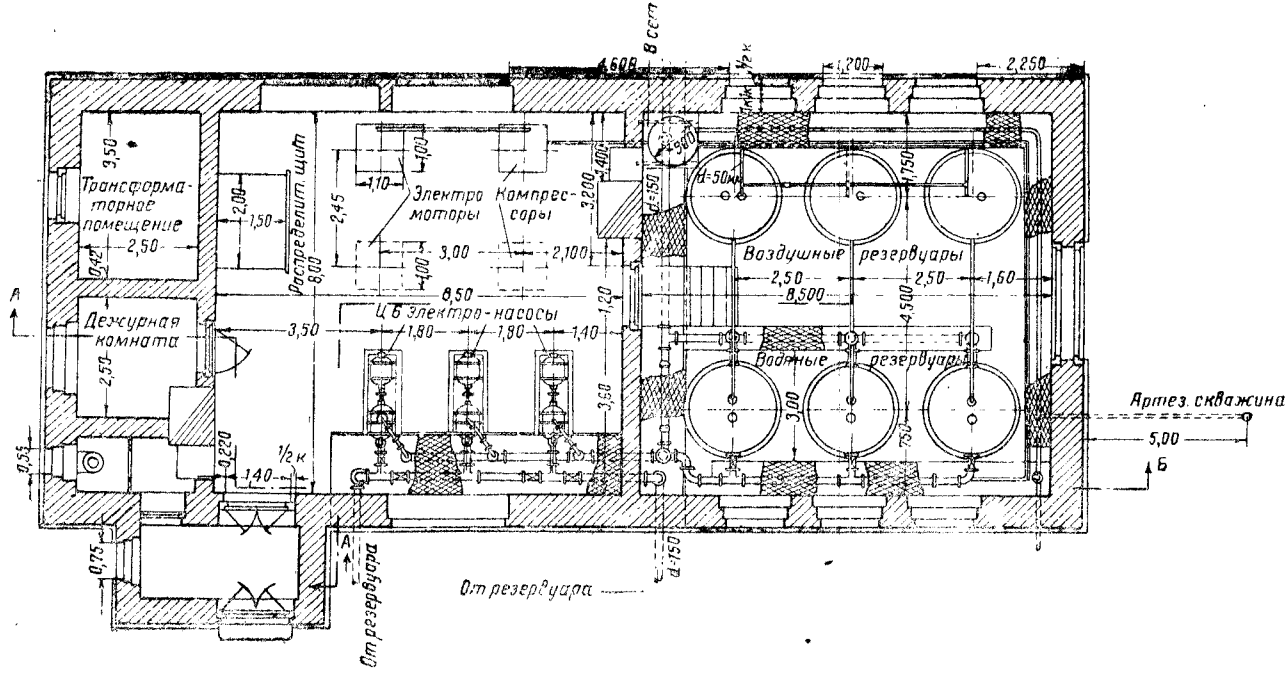


Рис. 159а. Пневматическая установка (план)

резервуара диаметром 1,80 *м* и общей высотой 4,2 *м* при высоте цилиндрической части 3,93 *м*.

Максимальное рабочее давление в резервуарах составляет $P_{max}=4$ *ат*. Минимальное давление после опорожнения резервуаров $P_{min}=2{,}1$ *ат*.

Воздушные резервуары могут быть установлены и вне здания, что позволяет значительно сократить размеры здания станции и удешевить установку.

Пневматическая установка с горизонтально расположенными резервуарами по характеру работы и по обо-

Разрез по А-Б

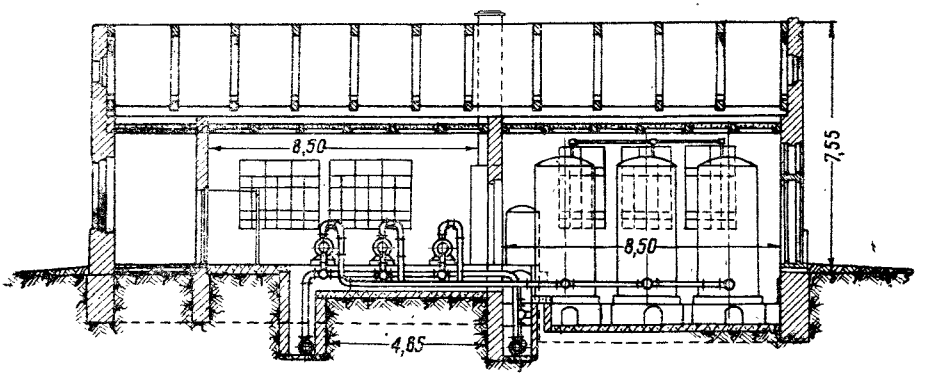


Рис. 159 б. Пневматическая установка (разрез)

рудованию не отличается от установки с вертикальными резервуарами. При горизонтальном расположении резервуаров здание пневматической станции получается более низким. Это представляет известные преимущества в оборонном отношении, хотя и не дает экономических преимуществ.

Воздушные резервуары и при таком расположении можно вынести за пределы здания, разместив в последнем только их торцевую часть с приборами и оборудованием.

Б. Пневматическая установка переменного давления с общим водо-воздушным резервуаром

Наиболее простая пневматическая установка имеет только один резервуар, в котором находится и вода и сжатый воздух. Такие установки применяются при небольших расходах воды.

Нагнетание в резервуар воздуха производится ручным компрессором. В последнее время применяются установки, действующие автоматически (при достижении определенных давлений в водопроводной сети автоматически включается или выключается электронасос). Для периодического пополнения в резервуаре сжатого воздуха устанавливается небольшой

компрессор с электроприводом. Некоторым недостатком установок с одним резервуаром является возможность загрязнения воды подаваемым сжатым воздухом.

Б. Пневматическое водоснабжение с постоянным давлением

В этой системе пневматического водоснабжения (рис. 160) давление сжатого воздуха не изменяется с изменением уровня воды в резервуаре. Постоянство давления достигается либо непрерывной работой компрессора, либо применением воздушного аккумулятора, т. е. резервуара, наполненного сжатым

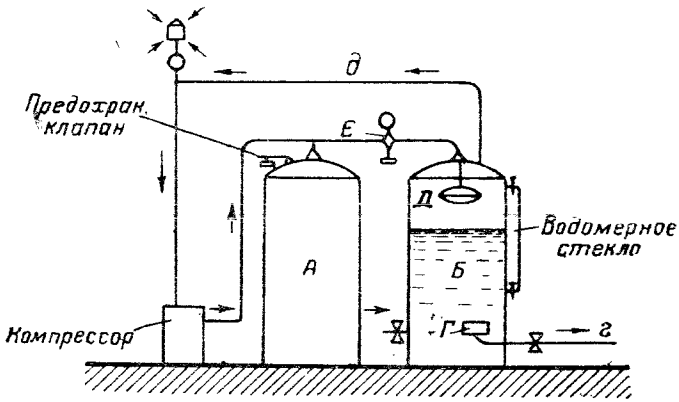


Рис. 160. Схема пневматической установки постоянного давления

воздухом, имеющим более высокое давление, чем то, которое требуется в водяном резервуаре. Для поддержания постоянного давления в водяном резервуаре на подающем воздухопроводе устанавливается редукционный клапан *Е*.

Когда уровень воды в водяном резервуаре падает, редукционный клапан автоматически пропускает необходимое количество сжатого воздуха, и давление остается стабильным.

При обратном заполнении резервуара водой избыточный воздух либо приходится выпускать через предохранительный клапан, либо по особому трубопроводу *д* возвращать в компрессор. Последний одновременно пускается в ход для зарядки воздушного резервуара.

Ввиду неизбежности частого возобновления работы компрессора общий расход электроэнергии довольно значителен. Таким образом пневматические установки с постоянным давлением уступают в экономическом отношении установкам с переменным давлением, и поэтому последние имеют преимущественное распространение.

Г. Определение емкости резервуаров

При определении емкости резервуаров нужно прежде всего установить величину соотношения между объемами воздушных

и водяных резервуаров. Эту величину определяют, исходя из соотношения между наибольшим и наименьшим давлением в пневматической установке, а именно:

$$\alpha = \frac{P_{min}}{P_{max}} = \frac{p_{min} + 10}{p_{max} + 10}.$$

Здесь P — давление, выраженное в абсолютных *ат*;

p — давление по манометру, выраженное в *м*.

Требуемую величину наименьшего давления P_{min} сжатого воздуха в пневматической установке выявляют при расчете сети. Изменением объема воздуха вследствие выделения и поглощения теплоты при сжатии и расширении воздуха пренебрегают ввиду его незначительной величины.

Тогда на основании закона Бойля-Мариотта зависимость давления от объема можно выразить следующим образом:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_{min}}{P_{max} - P_{min}}; \qquad \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_{min}}{P_{max}\left(1 - \frac{P_{min}}{P_{max}}\right)};$$

$$\frac{P_{min}}{P_{max}} = \alpha;$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\alpha}{1 - \alpha},$$

где V_1 — объем водяных резервуаров, заполняемый попеременно водой и воздухом;

V_2 — объем резервуаров, постоянно заполненный воздухом.

Из приведенных формул следует, что с увеличением коэфициента α, т. е. соотношения между наименьшим и наибольшим давлениями, возрастает величина соотношения между объемами воздушных и водяных резервуаров. Это вызывает увеличение общей емкости резервуаров, а значит, и удорожание пневматической установки в целом.

Величина коэфициента α влияет и на условия работы насосов. Если напор, создаваемый насосом, должен подвергаться большим колебаниям, то к. п. д. насоса также сильно колеблется. Средняя величина к. п. д. в таких случаях меньше, чем при работе насосов с постоянным давлением.

Величина, характеризующая ухудшение к. п. д. насоса в условиях работы с переменным давлением, может быть выражена в процентах:

$$\varphi_1 = \frac{\eta_2}{\eta_1} \cdot 100,$$

где η_1 — наибольший к. п. д. насоса, получаемый при работе с постоянным давлением;

η_2 — средний к. п. д. при переменном давлении.

Получаемый таким образом коэфициент ухудшения работы

насоса φ_1 увеличивается для любого насоса с уменьшением численного значения α.

При пневматическом водоснабжении приходится всю воду подавать под бо́льшим средним давлением, чем при башенной системе водоснабжения. Количество излишне затрачиваемой электроэнергии также зависит от коэфициента α и может быть выражено через φ_2 — коэфициент затраты энергии на повышение напора насоса.

По исследованиям инж. Б. С. Тикунова коэфициент φ_2 начинает оказывать влияние при значениях $\alpha \leqslant 0{,}90$.

Значит, с эксплоатационной точки зрения желательны возможно большие величины коэфициента α, поскольку в этих случаях излишний расход электроэнергии, определяемый по формуле $N_n = \frac{N}{\varphi_1 \cdot \varphi_2}$ сводится к минимуму.

Однако увеличение коэфициента α повышает строительную стоимость пневматической установки ввиду возрастания объема резервуаров.

По прежним практическим данным величина α принималась в пределах $\alpha = 0{,}50 \div 0{,}55$, т. е. объемы воздушных и водяных резервуаров назначались равными. В настоящее время технико-экономическими подсчетами установлено, что оптимальным значением коэфициента является $\alpha = 0{,}65 \div 0{,}75$.

Этой величиной и следует руководствоваться при расчете систем пневматического водоснабжения с переменным давлением.

Емкость водяных резервуаров $V_{вод}$ пнематической установки принимают обычно в 5% от суточного расхода Q. К этому, если нужно, добавляется запас воды для пожаротушения $V_{пож.}$ Наконец, учитывается мертвый объем для отложения осадков $V_{осад}$, принимаемый от 5 до 10% к общему объему резервуаров. При этом больший процент берется для системы с одним резервуаром.

Следовательно, общая емкость водяных резервуаров:

$$V_{вод} = 0{,}05\, Q_{сут} + V_{пож} + V_{осад.} \qquad (50)$$

Число воздушных резервуаров принимается равным числу водяных резервуаров.

Обычно более выгодно применять меньшее число резервуаров, так как это уменьшает кубатуру здания при почти одной и той же затрате металла.

На рис. 161 представлен воздушный резервуар диаметром 2500 *мм*, рассчитанный на давление 8 *ат*, на рис. 62 — водяной резервуар, рассчитанный на давление 8,7 *ат*.

Д. Подбор насосов для пневматической установки

Допустим, что наименьший напор у пневматической установки, определенный при расчете сети, должен быть p_{min}.

Тогда наибольшее давление в пневматической установке будет:

$$P_{max} = \frac{p_{min} + 10}{\alpha} = \frac{P_{min}}{\alpha},$$

что соответствует давлению по манометру (в *м* вод. ст.):

$$P_{max} = P_{max} - 10.$$

После израсходования из резервуара воды давление упадет на:

$$p_{max} - p_{min}.$$

Удельное понижение давления, отнесенное к 1 $м^3$ суммарного регулировочного и пожарного объёма воды в каждом резервуаре, составит:

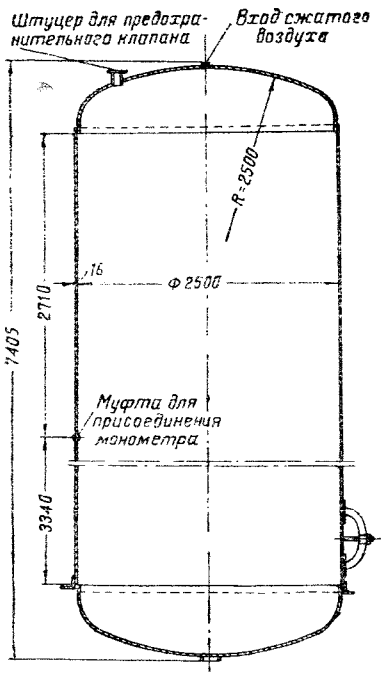


Рис. 161. Воздушный резервуар

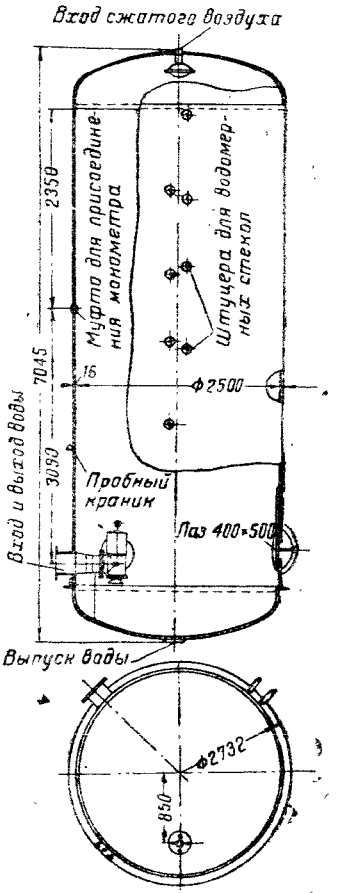


Рис. 162. Водяной резервуар

$$\Delta p = \frac{p_{max} - p_{min}}{V},$$

где V — емкость одного водяного резервуара;

p_{max} и p_{min} выражено в *м* вод. ст.

После израсходования из резервуара регулировочного объема воды, т. е. при наличии в нем только пожарного запаса $V_{пож}$ $м^3$, давление будет равно (в $м$ вод. ст.):

$$p_0 = P_{min} + V_{пож} \cdot \Delta p.$$

Насосы должны быть подобраны таким образом, чтобы их производительность была равна максимальному хозяйственно-питьевому расходу при напоре p_0. При p_{max} производительность насоса, подобранного для давления p_0, несколько снижается. Наоборот, при давлении p_{min} производительность насоса повышается. Насос должен иметь такую характеристику, чтобы она соответствовала этим изменениям производительности и напора.

Производительность и напор пожарных насосов, обслуживающих наружные пожарные гидранты, определяются обычным порядком, поскольку при включении пожарных насосов работа пневматической системы прекращается. Это достигается автоматическим действием обратного клапана на трубопроводе, примыкающем к напорной пожарной линии.

ГЛАВА VIII

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

§ 52. Схема производственного водоснабжения

Вода, поступающая для производственных нужд промышленных предприятий, может либо полностью расходоваться в цехах либо сбрасываться снова в водоем по канализационной сети. Такая система производственного водоснабжения называется прямоточной (рис. 163, *а*). Если возможно повторно использовать воду в другом цехе, то ее не сбрасывают в водоем, а направляют в этот цех, иначе говоря, осуществляют прямоточную систему с повторным использованием воды (рис 163, *б*).

На рис. 163, *в* представлена схема прямоточного водоснабжения с повторным использованием воды, охлаждаемой после выхода ее из ТЭЦ, где она нагрелась при охлаждении конденсаторов паровых турбин. Так как эта вода не загрязнена и нагрета сравнительно мало, она может быть повторно использована даже вновь для охлаждения, например, почти во всех основных цехах металлургических заводов.

Целесообразность повторного использования воды должна быть подтверждена технико-экономическими подсчетами и основана на отчетливом знании технологических условий потребления воды.

В целом ряде производств (тепловые электростанции, пред-

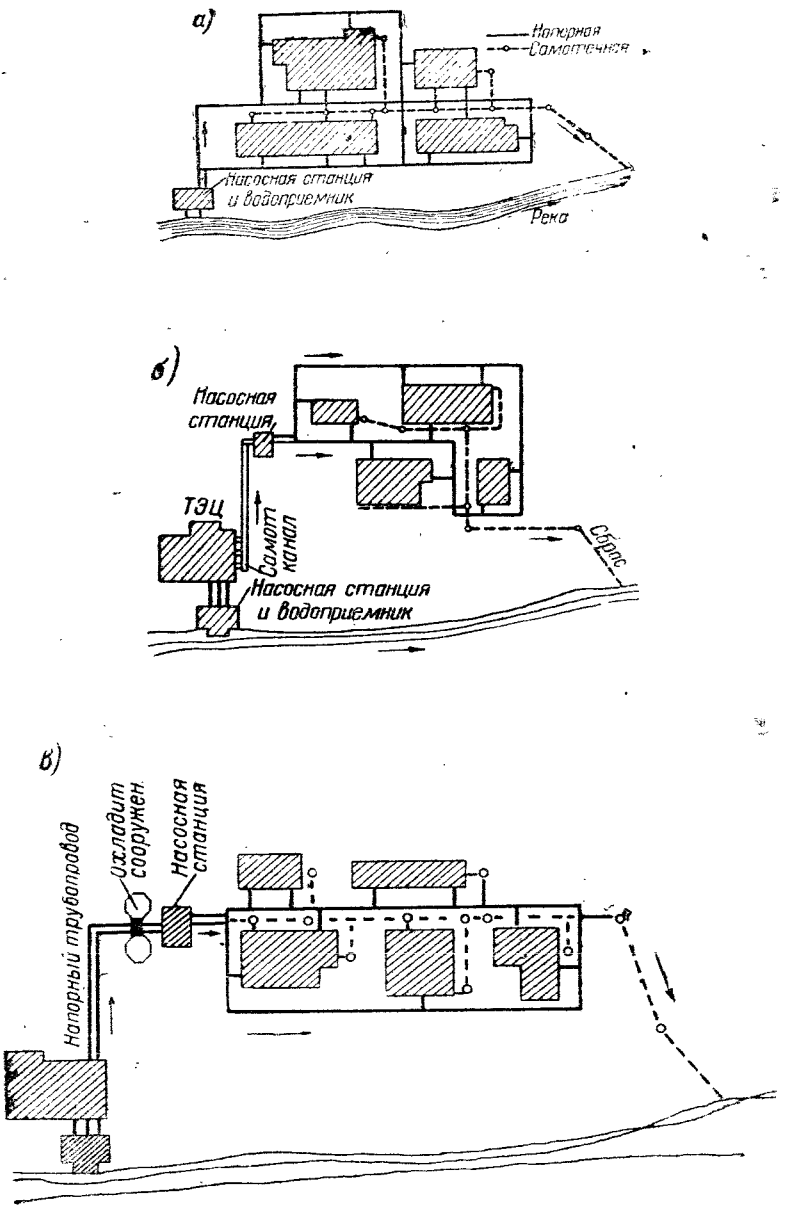


Рис. 163. Схемы прямоточного водоснабжения: *а* — прямоточное водоснабжение; *б* — прямоточное водоснабжение с повторным использованием воды; *в* — прямоточное водоснабжение с охлаждением и повторным использованием воды

приятия черной и цветной металлургии, заводы по переработке нефти, некоторые химические заводы) оказывается возможным не сбрасывать отработанную воду, а снова использовать ее после очистки и охлаждения для тех же цехов.

Такая система носит название оборотной системы водоснабжения. На рис. 164, *а* показана схема такого водоснабжения в условиях, когда отработавшая вода нагрета и следовательно, должна быть охлаждена перед пуском в оборот. На рис. 164, *б* изображена оборотная система цеха, в которой отработавшую воду перед пуском в оборот надо подвергать отстаиванию ввиду получаемых ею загрязнений. Наконец, на рис. 164, *в* приведена схема оборотного водоснабжения, по которой использованная вода должна быть очищена и охлаждена.

Оборотная система водоснабжения позволяет ограничиваться подачей из источника свежей воды в количестве только 3—10% от общего расхода. Эта добавка свежей воды идет на пополнение неизбежных потерь на охладительных сооружениях, а также на так называемую „продувку“ [1] системы, которая необходима, чтобы содержание солей жесткости (временной) в системе не превосходило допустимых пределов.

Оборотное водоснабжение применяется в случаях: 1) когда источник не обеспечивает всей потребности в воде, а может удовлетворить только потребность в свежей воде и 2) когда источник очень удален от площадки завода или последняя находится на большой высоте над уровнем воды в источнике.

Для охлаждения отработавшей воды при оборотной системе водоснабжения могут служить: 1) градирни, 2) бассейны с брызгалами, 3) пруды охладители.

§ 53. Градирни

Основное назначение градирни заключается в том, чтобы создать возможно бо́льшую поверхность охлаждаемой воды. Это достигается либо разбрызгиванием воды на мелкие капли, либо образованием тонкой водяной пленки (0,2—0,4 *мм*), стекающей по щитам.

Применяются следующие три основных типа градирен:

1) открытая градирня, в которой используется ветер,

2) башенная градирня с естественной тягой, создаваемой вытяжной башней,

3) градирня с искусственной тягой, создаваемой вентилятором.

Открытая градирня имеет форму прямоугольника

[1] Продувкой называется постоянный или периодический выпуск из системы некоторого количества воды, необходимый для того, чтобы содержание солей жесткости (временной) в циркулирующей воде не превышало допустимых пределов. Взамен выпускаемой из системы в таком же количестве должна быть подана свежая вода.

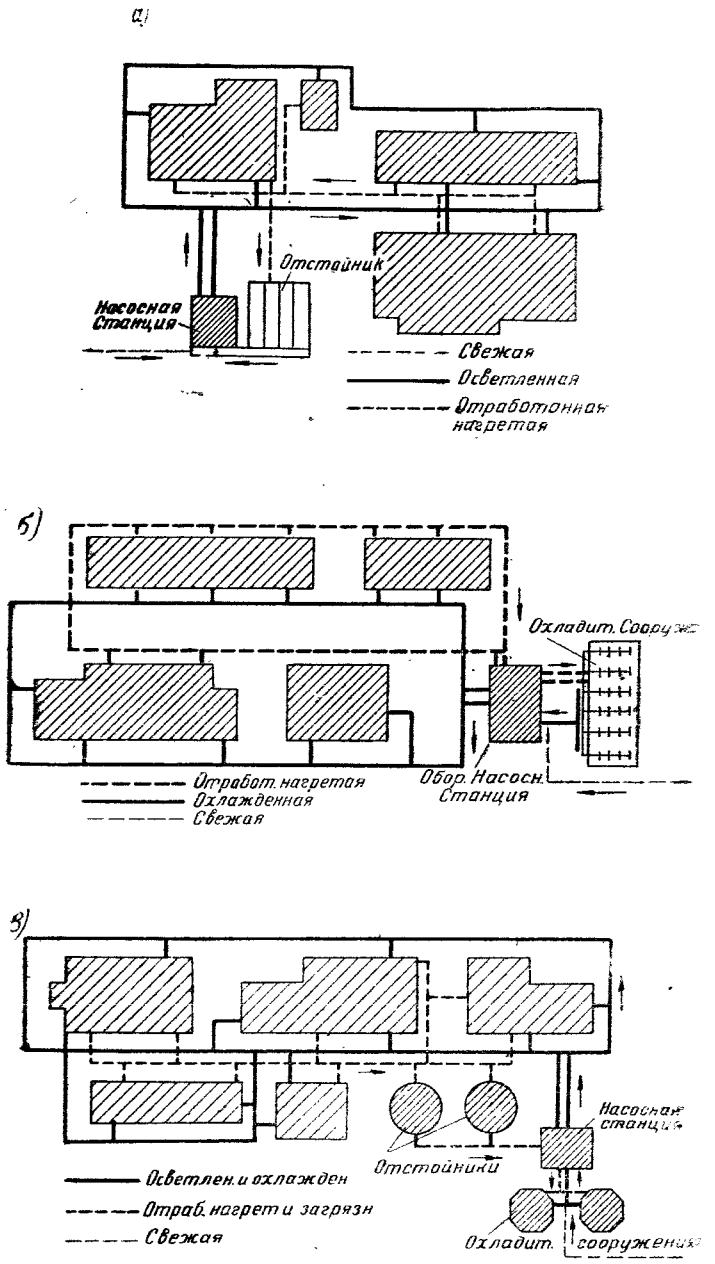


Рис. 164. Схемы оборотного водоснабжения: *а* — оборотное водоснабжение с охлаждением воды; *б* — оборотное водоснабжение с отстаиванием воды; *в* — оборотное водоснабжение с отстаиванием и охлаждением воды

шириной не более 4 *м*; градирню располагают таким образом, чтобы длинная сторона прямоугольника была перпендикулярна направлению летних ветров.

Стенки образуются деревянным или стальным каркасом с жалюзи различных конструкций.

По способу распределения воды открытые градирни могут быть брызгальные (рис. 165) или капельные (рис. 166).

В брызгальной градирне установлены сопла, размещенные

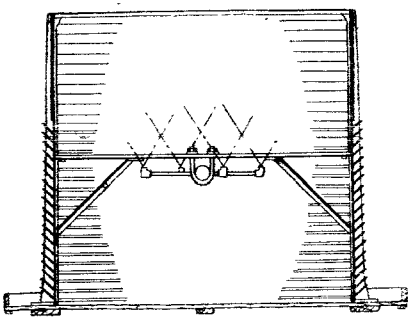


Рис. 165. Брызгальная градирня

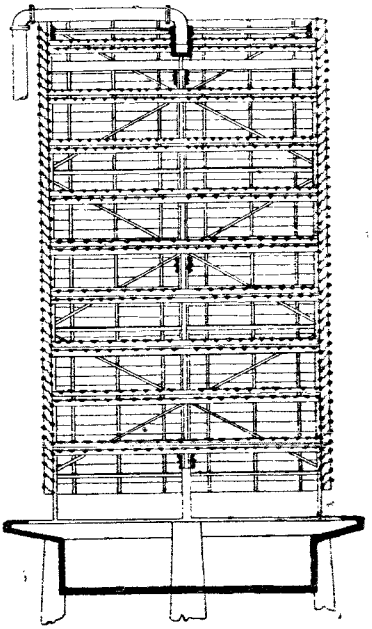


Рис. 166. Открытая капельная градирня

в 4 ряда в шахматном порядке через 0,8—1 *м* на высоте 1,5—2 *м* над уровнем воды под градирней. Напор перед соплами 3—5 *м* вод. ст. Расстояние от крайнего сопла до жалюзи 1 *м*. Если сопла расположены отверстиями вниз, это расстояние может быть сокращено до 0,5 *м*.

Высота такой градирни обычно не более 4 *м*. Производительность — от 2 до 340 $м^3/час$ в зависимости от размеров.

В капельной открытой градирне (рис. 166) оросительное устройство имеет вид решетника из реек прямоугольного или треугольного сечения. Число реечных щитов 10—12, высота щита 0,7—1,0 *м*. Высота градирни 6—14 *м* при ширине не более 4 *м*. Производительность по конструктивным соображениям не должна превышать 500—700 $м^3/час$.

В зимнее время открытые градирни могут значительно обмерзать.

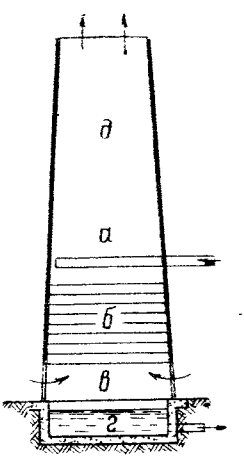


Рис. 167. Схема башенной капельной градирни

Башенные градирни могут быть капельные и пленочные.

На рис. 167 показана схема башенной капельной градирни. Охлаждаемая вода подается на водораспределительное устройство *а*, откуда поступает на ороситель *б*, состоящий из нескольких ярусов решетника; высота каждого яруса 0,3—0,4 *м*. Охлажденная вода с нижних рядов решетника в виде дождя падает через свободное пространство—так называемый воздухораспределитель *в* — в бассейн *г* для охлажденной воды. Глубина бассейна от 1,5 до 3 *м*. Вытяжная башня *д* служит для создания естественной тяги и имеет

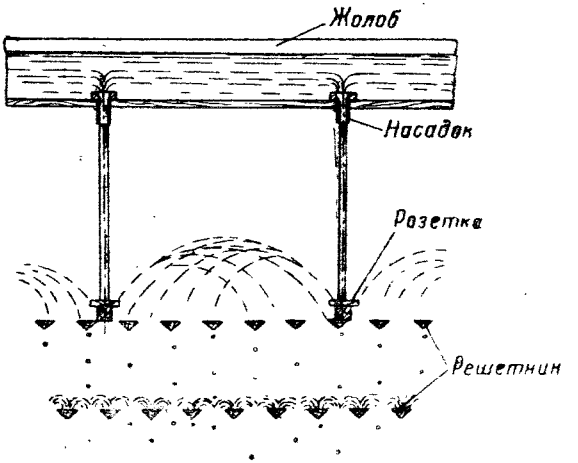


Рис. 168. Водораспределительное устройство башенной градирни

высоту от уровня земли 18—50 *м*. Высота подачи воды 6—8 *м*.

Лучший тип водораспределительного устройства показан на рис. 168. Теплая вода поступает в желоба со сливными отверстиями в днищах. В отверстия вставлены цилиндрические насадки. Вытекающая через насадки с высоты 0,5—0,8 *м* струя ударяется о разбрызгивающую розетку диаметром 10 *см* и вдвиде капель падает на верхний ряд решетника.

Розетки изготовляются из железа, стекла или пластмассы.

Ороситель деревянной башенной капельной градирни устраивается из решетника—деревянных брусков различной формы (рис. 169). Между решетником и внешней обшивкой оросителя оставляется промежуток около 40—80 *см*. Общая высота оросителя не более 6—7 *м*.

На рис. 170 изображена деревянная башенная капельная градирня новейшей конструкции. Для обеспечения притока свежего воздуха в различные части оросителя устроены воздушные каналы и отсасывающие трубы, соединенные с вытяжной башней.

В башенных пленочных градирнях ороситель сконструирован из вертикальных щитов. Щиты делаются обычно из дерева высотой 5—6 *м* и толщиной 0,10—0,12 *м*; они размещаются на расстоянии 3—5 *см* друг от друга.

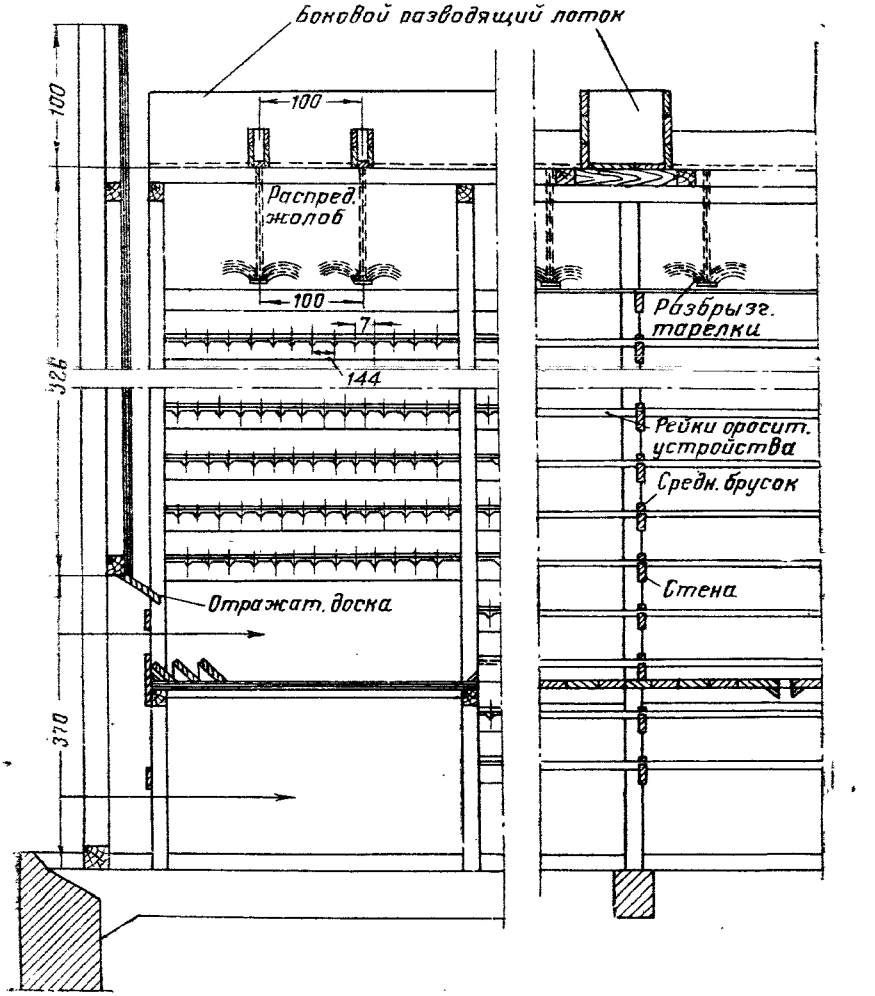
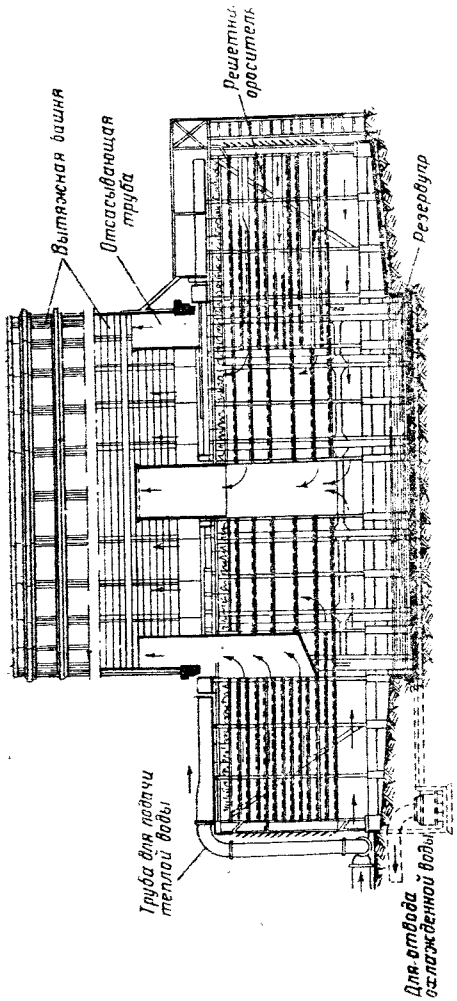


Рис. 169. Ороситель капельной башенной градирни

Охлаждаемая вода стекает по щитам в виде тонкой пленки (0,2—0,4 *мм*).

Из всех конструктивных элементов деревянной градирни загниванию наиболее подвержен деревянный остов вытяжной башни, так как с внутренней стороны он всегда влажный, а с наружной высушивается солнцем и ветром.

В целях удлинения срока службы сооружения иногда применяют железобетон, но это удорожает стоимость градирни. На рис. 171 представлена башенная пленочная градирня из железобетона. В настоящее время существуют деревянные и железобетонные пленочные градирни производительностью



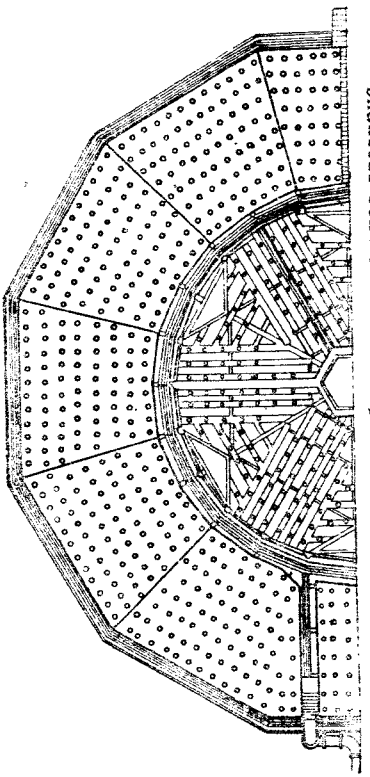


Рис. 170. Деревянная башенная капельная градирня

16 000 *м*³/*час* и общей высотой 50 *м* при высоте подачи воды 8—8,5 *м*.

В градирне с вентилятором можно устанавливать либо отсасывающие, либо нагнетательные вентиляторы.

Первые приходится помещать в потоке влажного воздуха, что вызывает их коррозию. Поэтому предпочтительнее нагнетательные вентиляторы, устанавливаемые внизу, т. е. в усло-

виях, благоприятных для работы и эксплоатационного обслуживания.

Ороситель устраивается примерно тех же конструкций, как и в башенных градирнях.

Благодаря искусственному вентилированию высота градирни

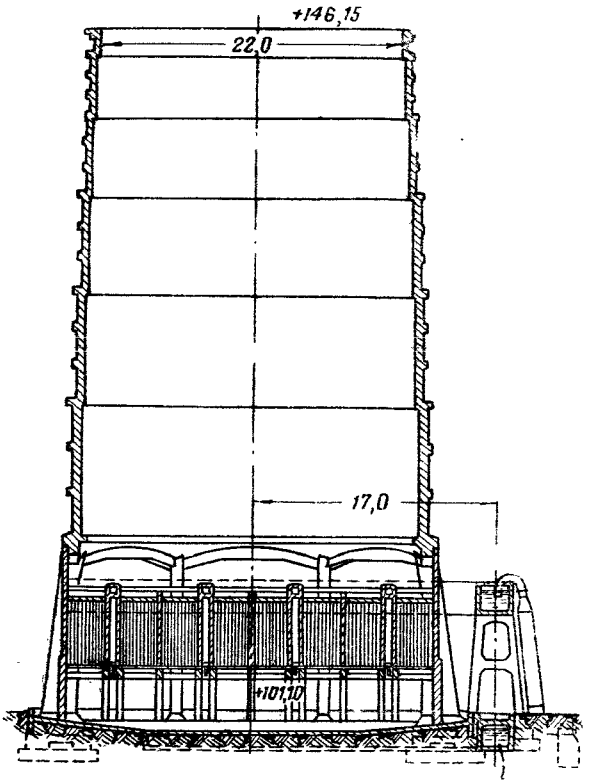


Рис. 171. Пленочная башенная железобетонная градирня

принимается не более 15 *м*; площадь ее тоже умеиьшается по сравнению с другими типами градирен, но эксплоатационные расходы возрастают за счет затраты энергии для вентиляторов.

§ 54 Бассейны с брызгалами

Бассейн с брызгалами имеет в плане форму вытянутого прямоугольника, разделенного на две или несколько секций (рис. 172). Днища и стенки бассейна делаются бетонные или железобетоинные. Материалом для стенок может служить также бут. Глубина воды в бассейне 1,5 *м*.

Над бассейном прокладываются распределительные чугунные или стальные трубы на вертикальных опорах высотой

2,5—3 *м* (рис. 173). Трубы оборудованы брызгалами, т. е. соплами (насадками) специальной формы.

В сеть распределительных труб подается вода под напором 5—7 *м* и выбрасывается через насадки, которые раздробляют ее на мелкие брызги. Охлаждаясь в воздухе, вода падает в бассейн, откуда забирается насосами и подается для повтор-

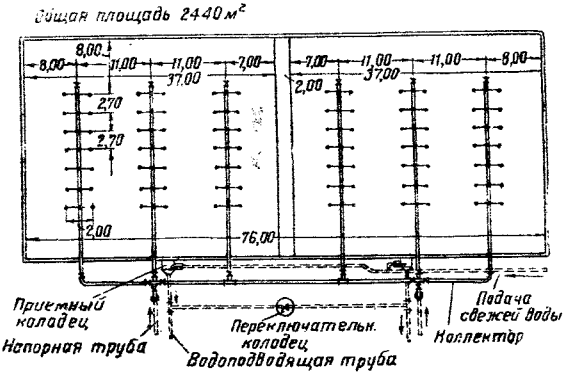


Рис. 172. Брызгальный бассейн из двух секций

ного использования. В этот же бассейн поступает и свежая вода, которая добавляется для возмещения неизбежных потерь (испарение охлаждаемой воды и унос ветром при разбрызгивании) и для продувки.

Сопла устанавливаются группами (пучками) по 3—5 шт. на расстояниях 125—200 *см* одно от другого.

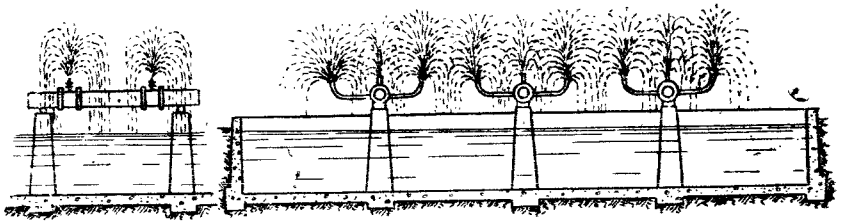


Рис. 173. Распределительная труба с брызгалами

Расстояние между пучками на распределительных трубах от 250 до 350 *см*, интервал между параллельными распределительными трубами 10—12 *м*.

Крайние сопла должны быть удалены от стенок бассейна не менее чем на 8 *м* для уменьшения уноса воды ветром. С этой целью можно также придавать крайним соплам наклон внутрь бассейна.

Сопла бывают: 1) винтообразные или центробежные (рис. 174) и 2) ударные (рис. 175).

Ударные сопла более просты в изготовлении, но производительность их значительно ниже. Поэтому расстояние между такими соплами в пучках не должно превышать 150 *см*, а расстояние между распределительными линиями 7—9 *м*. Ударные сопла целесообразно применять для загрязненной воды.

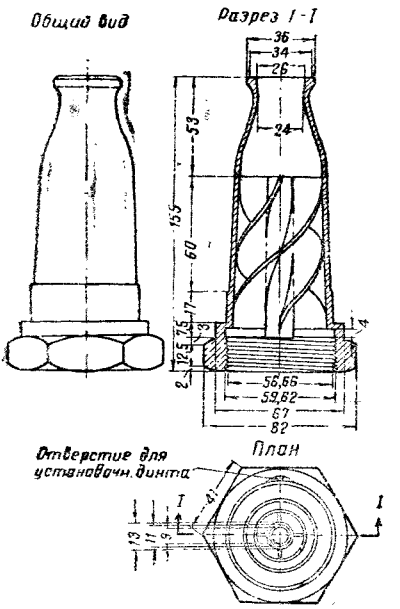


Рис. 174. Сопло винтообразное (центробежное)

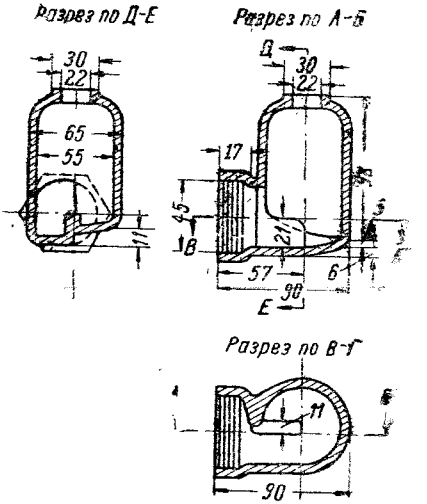


Рис. 175. Сопло ударное

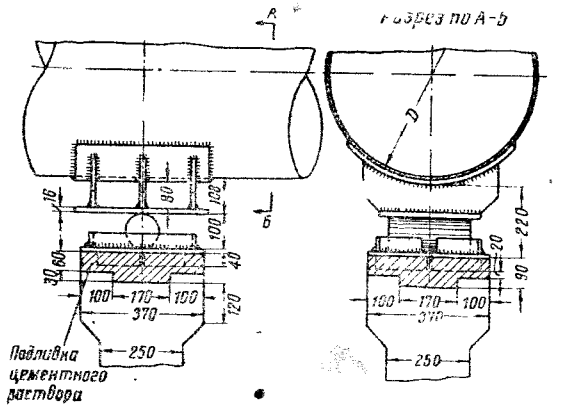


Рис. 176. Подвижная катковая опора со сварными опорными подушками

Распределительные трубы укладываются на катковых опорах, чугунных или стальных, которые позволяют трубам перемещаться при изменениях температуры.

На рис. 176 показан один из типов катковой опоры со сварными опорными подушками.

Распределительные линии прокладываются параллельно направлению летних ветров, что дает наилучшее охлаждение воды.

Бассейны с брызгалами надо располагать не ближе 60—100 *м* от других сооружений и зданий для предотвращения обледенения последних в зимнее время от выносимых ветром с брызгал водяных брызг.

§ 55. Пруды-охладители

Пруды-охладители устраиваются путем возведения водоудержательных плотин на реках с малыми расходами воды. Их устройство целесообразно в тех случаях, когда река не в состоянии обеспечить прямоточное водоснабжение промышленного предприятия. Тогда пруд-охладитель выполняет двойную роль — охлаждает воду и регулирует речной сток, обеспечивая пополнение безвозвратных потерь воды оборотной системы водоснабжения.

Для лучшего эффекта работы пруд-охладитель должен иметь продолговатую форму и одинаковую везде глубину порядка 2,5—4 *м*. Основными недочетами прудов-охладителей являются: 1) необходимость в большой площади, превышающей в 30 раз площадь, требующуюся для брызгальных бассейнов, и в 100—150 раз площадь, требующуюся для градирен 2) высокая температура охлажденной воды летом; 3) необходимость борьбы с зарастанием, цветением и заилением пруда.

§ 56. Преимущества и недостатки охладительных сооружений разных типов

Величина площади, занимаемой охладительными сооружениями на 1 $м^3/час$ охлаждаемой воды, составляет:

для градирен	0,25—0,30 $м^2$	
для бассейнов с брызгалами .	0,8 —1,2 „	
для прудов-охладителей . . .	15 —40 „	(в зависимости от формы и глубины пруда)

Таким образом, градирни занимают наименьшую площадь по сравнению с другими типами охладителей.

Открытые градирни целесообразно устраивать если допустимо периодическое снижение (на время безветрия) эффекта охлаждения.

Башенные капельные градирни следует применять в случае обязательности устойчивого режима охлаждения и при высокой застройке прилегающих участков, а пленочные, кроме того, еще и при ограниченности территории, отведенной под охладительные сооружения.

Бассейнам с брызгалами надо отдавать предпочтение, если имеется обширная открытая территория.

Объем воды в бассейне может быть использован в качестве дополнительного запаса воды на заводской площадке. Этот объем равен примерно $1^1/_2$ часовому расходу оборотной воды или почти суточному расходу свежей воды, добавляемой при обороте. Этот запас в случае аварии насосной станции первого подъема (у источника) или повреждения водовода может обеспечить бесперебойное водоснабжение завода.

Устройство прудов-охладителей целесообразно при совмещении охлаждающих функций с функцией регулирования речного стока и при наличии удобных естественных условий для устройства пруда, обеспечивающих невысокую стоимость плотины.

ГЛАВА IX

ВРЕМЕННОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВ

§ 57. Основные потребители воды на строительной площадке

Период времени от начала развертывания работ на строительной площадке промышленного предприятия до пуска и передачи в эксплоатацию промышленного водопровода составляет обычно от 4 до 18 месяцев. В течение этого периода должна быть обеспечена подача воды для персонала строительства, а также для производственных процессов и тушения возможных пожаров на строительстве. Для водоснабжения построечных площадок обычно устраивают временный водопровод.

Проект временного водопровода необходимо увязать со стройтехпланом площадки. Временный водопровод должен быть построен и запроектирован таким образом, чтобы его сооружения были по возможности использованы в системе постоянного промышленного водопровода.

В проекте временного водопровода следует предусматривать по возможности наиболее простые сооружения и оборудование, чтобы можно было быстро построить и пустить в эксплоатацию водопровод.

§ 58. Нормы водопотребления

Временный водопровод должен быть рассчитан на обеспечение всей потребности в воде строительной площадки — для производственно-строительных, хозяйственно-питьевых и пожарных целей.

Если при строительной площадке устраивается временный рабочий поселок, то учитывается и его потребность в воде (хозяйственно-питьевой и пожарный расходы).

А. Производственно-строительные расходы воды

Вода требуется для следующих видов строительных работ и оборудования:

1) приготовления и укладки в дело бетона;
2) кирпичной и бутовой кладки;
3) строительных механизмов и компрессоров;
4) построечного транспорта;
5) временных силовых станций.

Расход воды на приготовление и укладку в дело бетона. Вода употребляется для промывки гравия, щебня и песка, для приготовления бетона и для поливки бетона, уложенного в дело.

Для промывки гравия или щебня при ручном способе (в желобах) требуется воды от 0,4 до 1,25 $м^3$ на 1 $м^3$ промытого материала; для промывки 1 $м^3$ песка требуется от 1,0 до 1,25 $м^3$ воды.

Количество воды, требующейся для приготовления бетона, зависит от его консистенции (табл. 28).

К указанным в таблице расходам воды практически приходится добавлять еще 15—20%, учитывая неизбежность некоторой бесполезной потери воды при изготовлении бетона.

В тех случаях, когда бетон приготовляется на бетонном заводе и доставляется к месту работ в бадьях, надо учитывать расход воды на обмыв бадей из брандспойтов в промежутках между очередными наполнениями. Величина этого расхода зависит от размеров бадей и может приниматься в среднем 10—15 $м^3$ на 1 $м^2$ внутренней поверхности бадьи, или от 50 до 60 $л$ на 1 $м^3$ бетона.

Расход воды на поливку уложенного бетона сильно колеблется в зависимости от климата, времени года, температуры воздуха и состояния погоды. На поливку 1 $м^2$ поверхности бетона за 1 раз необходимо 3—5 $л$ (в среднем 4 $л$) воды, число же поливок за сутки для центральной части СССР составляет в среднем 6, для южных районов 10—12, а в северной полосе 1—2. Поливка уложенного бетона ведется продолжительное время (в течение двух-трех декад). Если отнести поливочный расход к 1 $м^3$ уложенного бетона, то в условиях центральной полосы СССР поливочный расход на 1 $м^3$ составит:

$$4 \cdot 6\frac{F}{Q} = 24 \cdot \frac{F}{Q} \ л/сутки,$$

где F — поверхность бетонных конструкций в $м^2$;

Q — объем бетонной кладки в $м^3$.

Для сооружений промышленного характера можно принимать отношение $\frac{F}{Q} = 12$, тогда расход воды будет: $24 \cdot 12 = 288$ $л$ на 1 $м^3$ бетона в сутки.

Далее нужно учесть расход воды на поливку опалубки и на поливку готовой цементной штукатурки, составляющей примерно 50 *л* на 1 *м*³ бетона.

Таблица 28

Консистенция бетона	Осадка конуса в *см*	Расход воды на 1 *м*³ бетона в *л*
Жесткий бетон . . .	3—7	От 177 до 224
Пластичный	10—12	„ 192 „ 226
Литой	15—18	„ 214 „ 241

Расход воды на кирпичную и бутовую кладку. Расход воды на кирпичную кладку составляет от 700 до 1 000 *л* на 1 000 шт. кирпича; на бутовую кладку — 185—250 *л* на 1 *м*³ объема. Приготовление цементного раствора (отдельно) требует от 200 до 300 *л* воды на 1 *м*³.

Для приготовления 1 *м*³ известкового раствора, включая гашение извести, нужно 1 200—1 400 *л* воды. Отдельно на гашение 1 *м*³ извести требуется 2 500—3 000 *л* воды.

Расход воды для строительных механизмов. Вода требуется для следующих строительных механизмов: паровых экскаваторов разных систем, паровых кранов, паровых копров, паровых землечерпательных снарядов и т. д.

Расход воды для экскаваторов зависит от характера грунта, а также от емкости ковша экскаватора. Однако на практике обычно пользуются нормами расхода воды (в *м*³/*час*), отнесенного к одному экскаватору, независимо от характера грунта (табл. 29).

Норму расхода воды для паровых строительных механизмов, в частности, для экскаваторов, можно исчислять на 1 *м*² поверхности нагрева парового котла, принимая ее в среднем в 20 *л*/*час*. Можно также определять расход воды по мощности главной (подъемной) машины экскаватора, исходя из потребности в 12,5—15 *л* воды на 1 *л. с.* в 1 час.

Для экскаваторов, приводимых в действие двигателями внутреннего сгорания, вода нужна только для заправки и пополнения радиатора в количестве не свыше 150—250 *л*.

Для паровых грузоподъемных кранов расход воды можно принимать 0,5—0,6 *м*³/*час* на один действующий агрегат либо определять его по поверхности нагрева котла или по мощности машины аналогично экскаваторам.

Вода для охлаждения компрессоров расходуется в количестве 4—5 *л* на 1 *м*³ забираемого компрессором воздуха. Расход этот примерно одинаков для компрессоров любого типа — поршневых и центробежных, стационарных и передвижных.

Таблица 29

Расход воды в *м³/час* на один экскаватор

Тип экскаватора	Емкость ковша в *м³*						
	0,57	1,00	1,34	1,50	2,00	2,48	3,00
Паровая лопата на гусеничном ходу	0,45	0,80	1,00	—	1,25	1,50	1,75
Паровая лопата на рельсовом ходу	—	—	—	—	1,25	1,50	1,75
Скреперный экскаватор	0,75	1,30	1,00	1,40	1,60	—	—

Расход воды, пересчитанный на единицу мощности двигателя компрессора, составляет 30—40 *л* на 1 *л. с.* в 1 час.

Расход воды для построечного транспорта. Внутрипостроечный транспорт обслуживается ширококолейными паровозами, паровозами узкоколейного типа, электровозами, автокарами, автомашинами, тракторами, а нередко еще и гужевой тягой.

Для питания одного паровоза ширококолейного типа (ширина колеи — 1 524 *мм*) требуется 20 *м³/сутки*. Наполнение тендера водой производится раз в смену (2—3 раза в сутки). Для паровоза узкоколейного типа (ширина колеи 750 *мм*) нужно от 4 до 6 *м³/сутки*. Сверх этого в паровозном депо расходуется 4,5—5 *м³/сутки* на одно стойло. Далее необходимо учесть еще расход воды на периодическую промывку паровоза в количестве 20 *м³* через каждые 1—1,5 декады.

Расход воды для электровозов и автокар (на мытье) может быть принят в количестве 12,5 *л* в смену, или 25—50 *л* в сутки на один тяговый агрегат.

Автомобильный парк нуждается в воде для заправки радиаторов и для мытья машин. Для заправки радиатора грузовой машины нужно 30—40 *л* воды.

Суммарный расход воды на заправку и питание одной грузовой машины достигает в сутки 150—250 *л*.

Для легковой машины М-1 расход воды на одну заправку составляет 20—30 *л*, а в сутки — 100—150 *л*. Для мытья грузовых машин расходуется от 0,75 до 1 *м³/сутки*. Для мытья легковых машин типа М-1 требуется 350—400 *л/сутки*, а типа ЗИС-101 — до 500—600 *л/сутки*.

Тракторы на 1 *л. с.* в 1 час потребляют 10—25 *л* воды. На гусеничный трактор „Сталинец" расходуется в среднем 75—100 *л/сутки*. Для гужевого транспорта расход воды на одну лошадь составляет — без чистки стойла — 50 *л/сутки*, а включая чистку стойла — 125 *л/сутки*.

Расход воды для временных силовых станций. Потребность в воде временной силовой станции на

строительстве зависит от типа ее оборудования. Вода нужна для парообразования в котлах и для конденсации пара.

Количество пара, снимаемого с 1 $м^2$ поверхности нагрева котлов, колеблется от 20 до 30 *кг*. Расход пара на 1 *л. с.* мощности паровой машины составляет от 8 до 15 *кг*.

Если на силовой станции устроить оборот воды с охлаждением в градирвях или иным способом, то водопровод может быть рассчитан только на подачу свежей воды для пополнения потерь при обороте в количестве лишь около 3% от полной потребности.

Б. Хозяйственно-питьевые расходы воды

Официальных норм хозяйственно-питьевых расходов воды на территории строительств и временных поселков при них в настоящее время нет.

Расходы эти принимаются обычно применительно к существующим нормам для постоянных поселков при промышленных предприятиях (табл. 30).

Таблица 30

Назначение расхода воды	Нормы расхода воды в л
На одного работающего на постройке в смену	10—25
„ „ пользующегося душем	25—40
„ „ проживающего в бараке в сутки	20—35
Для временной бани на одного посетителя (считая время мытья 1 час)	75—90
Для временной прачечной на 1 *кг* сухого белья (считая по 0,3 *кг* на 1 человека в сутки)	30—45
Для больницы на одну койку (считая число больных 0,9—1,0 % от всего персонала строительства)	200—250
Для амбулатории на одного посетителя (считая число амбулаторных больных 4—5% от всего персонала постройки)	12
Для хлебопекарни (хлебозавода)	
а) на 100 *кг* выпекаемой муки	150
б) „ 100 *кг* выпеченного хлеба	115
Для столовой на одного посетителя	15
Для поливки за 1 раз улиц, проездов и зеленых насаждений на 1 $м^2$ поверхности	1,5

Коэфициент семейности для временных рабочих поселков при строительных площадках принимается 1,50—2,00.

В. Расход воды для тушения пожаров

Для территории строительной площадки нормы пожарных расходов воды могут быть приняты по аналогии с пожарными нормами для промышленных предприятий.

Необходимо однако иметь в виду, что огнеопасность постройки зачастую больше, чем промышленного предприятия, уже вступившего в эксплоатацию. Для некоторых строительств возможно установление индивидуальных пожарных расходов, превышающих, обычные нормы.

Во всех случаях предполагается, что пожар происходит в часы максимального производственного и хозяйственного расхода и имеет трехчасовую продолжительность.

Для особенно ответственных или огнеопасных строительств могут быть заданы условия одновременного действия двух пожаров в разных концах территории площадки.

При наличии временного поселка необходимо учитывать возможность возникновения на его территории пожара одновременно с пожаром на территории строительства площадки.

Норма пожарного расхода воды для временного поселка с населением менее 10 000 человек может быть принята в 10 *л/сек* в часы максимального хозяйственно-питьевого расхода при общей продолжительности пожара в течение 3 час.

§ 59. Качественные требования к воде

В воде, расходуемой для бетонных работ, производящихся на портландцементе, допускается содержание:

серного ангидрида	не более	200	*мг/л*
окиси кальция и магния (вместе)	„	500	„
свободной углекислоты	„	200	„
сухого остатка	„	1 000	„

При большем содержании в воде указанных примесей обязательно применение пуццоланового или шлако-портландцемента. При большом содержании примесей, а также при использовании морской воды приходится учитывать снижение прочности бетона на 10%.

Как правило, для бетонных работ не допускается применение болотных торфяниковых или загрязненных промышленных, а также минерализованных вод.

Для поливки уложенного в дело бетона желательна подача воды того же качества, как и для затворения бетона. На практике был ряд случаев повреждения тонких железобетонных перекрытий из-за поливки их морской водой в жаркое время.

Вода, используемая для промывки инертных, не должна содержать глинистых и илистых частиц, засоряющих промывающие механизмы.

Качество воды для питания паровых котлов строительных машин должно отвечать тем же требованиям, что и для питания паровозных котлов, а именно: жесткость воды не должна быть выше 10 — 15° и содержание взвеси в ней — не более 400 *мг/л*.

Аналогичные требования предъявляются к качеству воды, расходуемой для заправки радиаторов автомашин и тракторов.

Качество воды для питания котлов временных силовых станций должно отвечать следующим требованиям:

1) не содержать взвеси более 200 *мг/л*;

2) не содержать веществ, вызывающих разрушение металлических стенок котлов;

3) иметь жесткость — не более 6—10 нем. градусов (для котлов среднего давления — водотрубных и трубчатых) и не более 20 нем. градусов (для котлов среднего давления, легко доступных для очистки).

Качество воды, подаваемой для хозяйственно-питьевых нужд строительной площадки и временного поселка, должно полностью отвечать обычным требованиям, предъявляемым к качеству воды в постоянных коммунальных водопроводах.

§ 60. Схемы временных водопроводов

При проектировании и устройстве временного водоснабжения встречаются самые разнообразные условия, исходя из которых можно наметить следующие виды временных водопроводов:

1) временный водопровод, получающий воду от существующего городского или промышленного водопровода;

2) временный водопровод с самостоятельным источником питания (одним или несколькими), обслуживающий только территорию строительной площадки;

3) временный водопровод с самостоятельным источником питания, обслуживающий строительную площадку и поселок при ней.

Устройство временного водопровода первого вида возможно только в том случае, если строительная площадка находится близ города, имеющего водопровод, или около какого-либо действующего промышленного предприятия, с собственным водопроводом и имеется разрешение на присоединение к этим водопроводам.

Временный водопровод подобного типа рассчитывается лишь на потребность самой строительной площадки, так как персонал постройки расквартировывается обычно в городе или рабочем поселке и обслуживается городскими социально-бытовыми предприятиями (бани, прачечные, столовые, клубы и т. д.).

В этом случае, водопровод имеет только подводящий водовод, водонапорную башню и разводящую сеть. Сеть обслуживает как хозяйственно-питьевые, так и строительно-производственные нужды строительной площадки.

При отдаленности питающего водопровода или недостаточности его напора для площадки может встретиться необходимость в устройстве повысительной насосной станции и запасных пожарных резервуаров.

Водопровод второго вида приходится устраивать в обжитых районах, не имеющих водоснабжения, или в случаях, когда местные водопроводы не могут быть использованы (маломощность, удаленность от строительной площадки и т. д.). Персонал постройки, расквартированный обычно в ближайших населенных пунктах, обслуживается социально-бытовыми предприятиями по месту временного жительства, ввиду чего временный водопровод снабжает водой только территорию строительной площадки (сюда входит также удовлетворение хозяйственно-питьевых нужд персонала постройки на месте работы).

В данном случае удобно использовать какой-либо незагрязненный водный источник, который может обеспечить всю потребность строительной площадки и не требует предварительной очистки воды. Чаще всего такими источниками являются скважины, колодцы и родники.

Иногда по местным условиям может быть использован только поверхностный водный источник (река, озеро и т. п.). Для снабжения персонала постройки дезинфицированной питьевой водой в этом случае необходимо обеспечить все участки строительства соответствующим числом кипятильников. Часовая производительность каждого из них составляет от 100 до 1 000 *л* кипяченой воды в зависимости от их типа, размера и конструкции.

Однако, несмотря на наличие кипятильников на территории постройки, в жаркие дни возможны случаи потребления сырой воды из строительно-производственного водопровода. Поэтому необходимо подвергать всю воду хлорированию, для чего могут быть применены различные типы простых хлораторов (например, передвижной хлоратор системы Ремесницкого).

Вместе с тем должны быть приняты меры к созданию охранной зоны вокруг источника водоснабжения с целью предупреждения его загрязнения.

Если вода содержит большое количество взвешенных частиц, следует устраивать временные резервуары для предварительного ее отстаивания; резервуары эти будут служить одновременно для создания пожарных запасов воды.

Таким образом вода, подвергнутая предварительной дезинфекции, подается по единой разводящей сети как для строительно-производственных, так и для хозяйственно-питьевых целей.

Согласно сказанному временный водопровод второго вида должен включать следующие сооружения: 1) водозабор; 2) насосную станцию первого подъема, объединенную с насосной станцией второго подъема; 3) резервуары; 4) хлораторное здание; 5) водовод; 6) водонапорную башню; 7) разводящую сеть (общую). При использовании поверхностного источника схема должна быть дополнена отстойником для осветления воды.

В ряде случаев можно обойтись одним подъемом, вводя хлор во всасывающую трубу насосов первого подъема.

Третий вид временного водопровода встречается, главным образом, на строительствах в необжитых районах, где кроме территории самой площадки должен обеспечиваться водой поселок для персонала постройки с большим числом временных жилищ (бараков) со всеми сопутствующими социально-бытовыми предприятиями. Перечисленные условия определяют мощность временного водопровода, протяжение трубопроводов и общую стоимость сооружений.

Наиболее сложны и дороги временные водопроводы третьего вида. При устройстве их могут встретиться различные местные обстоятельства, требующие разного подхода к выбору схемы водопровода.

Рассмотрим наиболее характерные случаи.

Для временного водоснабжения может быть использован местный источник, дебит которого достаточен, и качество

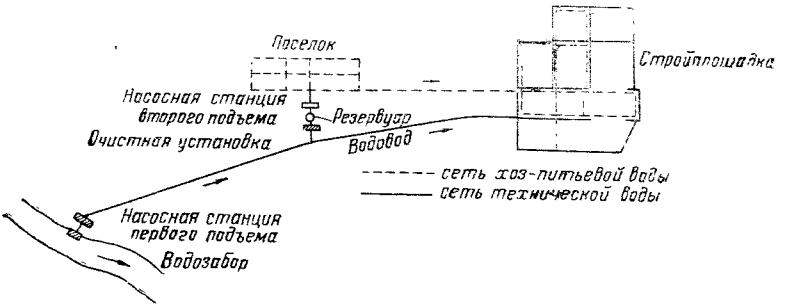


Рис. 177. Схема водоснабжения строительной площадки

воды позволяет использовать ее для любых целей без очистки, но с хлорированием.

При этих условиях водопровод будет состоять из: 1) водозабора; 2) насосной станции; 3) хлораторной; 4) резервуара с пожарным запасом воды; 5) водовода; 6) водонапорной башни; 7) разводящей сети на площадке; 8) разводящей сети в поселке.

Могут встретиться местные особенности, позволяющие упростить схему или, наоборот, требующие некоторого ее усложнения. Например, при благоприятном рельефе местности водонапорная башня может быть заменена возвышенным резервуаром. С другой стороны, чрезмерная удаленность поселка от строительной площадки может вызвать необходимость в устройстве двух самостоятельных водонапорных башен для завода и для поселка.

В других случаях вода из имеющегося источника может быть использована без очистки только для производственно-строительных целей, а для удовлетворения хозяйственно-питьевых потребностей поселка и площадки вода должна

предварительно очищаться. Схема водопровода для этих условий приведена на рис. 177. Если расход воды для производственно-строительных целей невелик, то целесообразно подвергать очистке всю воду, и тогда схема значительно упростится.

Наконец, если имеются два источника водоснабжения, один из которых может быть использован для хозяйственно-питьевых целей, а другой — для производственно-строительных целей, без какой-либо очистки или обработки воды, то схема временного водопровода упрощается ввиду исключения из нее очистных сооружений.

При временных водопроводах первого и второго видов подача воды для тушения пожаров производится по объединенной производственно-хозяйственной и противопожарной сети. При временном водопроводе третьего вида противопожарная сеть объединяется обычно с хозяйственно-питьевой (как в поселке, так и на самой площадке). Однако иногда возможно и объединение всех сетей в одну общую сеть (например при наличии источника с достаточным дебитом и с водой хорошего качества).

Возможно также объединение пожарной сети с производственно-строительной сетью на территории площадки и с хозяйственно-питьевой сетью на территории поселка. Наконец, в отдельных случаях может оказаться целесообразным устройство специального противопожарного временного водопровода.

Тушение пожара всегда производится при помощи передвижных пожарных насосов; иногда предусматривается возможность временного повышения давления в сети до необходимой величины, т. е. устраивается противопожарный водопровод высокого давления.

Так как на большинстве строительных площадок строительство ведется в две или три смены с разным объемом работ, то расчетные расходы воды следует определять по смене с наибольшим объемом работ, т. е. обычно, по первой смене. Вместе с тем расчет должен вестись по наиболее интенсивному периоду строительства (обычно июль — сентябрь).

Коэфициент суточной неравномерности водопотребления в пределах одного-двух основных кварталов стройтехплана может быть принят сравнительно невысоким — от 1,15 до 1,20. Коэфициент часовой неравномерности производственного водопотребления строительной площадки в пределах одной смены следует принимать 1,25—1,35, а коэфициент часовой неравномерности хозяйственно-питьевого расхода на территории строительной площадки (в течение суток) 1,8—2,0.

§ 61. Сооружения временного водопровода

Разводящая сеть временного водопровода устраивается по большей части в виде тупиковых линий. Однако в тех случаях, когда заданы высокие нормы пожарного расхода воды, необ-

ходимо создание одного или нескольких замкнутых колец, охватывающих основные построечные кварталы и в особенности территории, занимаемые складами лесных материалов.

При устройстве временного водоснабжения строительных площадок следует производить укладку труб таких диаметров и по тем направлениям, которые позволяли бы использовать их в дальнейшем при устройстве постоянного промышленного водопровода. Чаще всего удается увязать систему временного водопровода с системой будущей хозяйственно-противопожарной сети благодаря тому, что в обеих системах трубы имеют диаметры одного порядка (125—250 *мм*).

Следует стремиться к тому, чтобы уже в период строительства для временного водопровода были использованы запроектированные для постоянного водопровода сооружения, особенно водопроводная сеть. С этой целью они должны быть построены в первую очередь до осуществления основного строительства.

Лишь при невозможности этого приходится устраивать временные сооружения — водоприемники, насосные станции, резервуары и башни, — которые в этом случае целесообразно строить упрощенных типов, применяя облегченные конструкции и особенно дерево. Так, водоприемники можно устраивать свайные, легкие ряжевые с каменной наброской, в виде выпуска на мостках или в виде огражденных приемных концов самотечных труб. Временные водоприемники приходится устраивать еще и потому, что в целях сокращения длины временного водовода место для них выбирается обычно поблизости, где можно получить воду относительно удовлетворительного качества. Это место может и не совпасть с намеченным местоположением постоянного водозабора.

Если колебание горизонтов воды в реке значительно, то для временного водоснабжения можно устроить либо пловучий водозабор с насосной установкой на барже, либо передвижной, смонтированный на тележке, передвигающейся на рельсах по скату берега.

Пловучий водозабор, показанный на рис. 178, оборудован двумя электронасосами по 35 *л/сек*. Каждый насос имеет собственную всасывающую трубу, выпущенную через борт баржи в деревянном ящике. Напорный трубопровод устраивается из 9—10-*м* секций стальных труб, укладываемых на понтонах (или плотах) и соединяемых гибкими рукавами длиной по 2—2,5 *м*. Для предотвращения разрыва напорных линий понтоны соединяют цепями. Пловучий водозабор может работать все время, за исключением периода ледохода; зимой помещение с насосом отапливается.

Передвижной водозабор, смонтированный на тележке и объединенный с насосной установкой из двух насосов производительностью по 50—150 *л/сек*, представлен на рис. 179. Тележка может перемещаться на рельсах при помощи лебедки

и с наступлением паводка поднимается вверх. Трубы в зависимости от перемещений надо либо наращивать, либо разбирать.

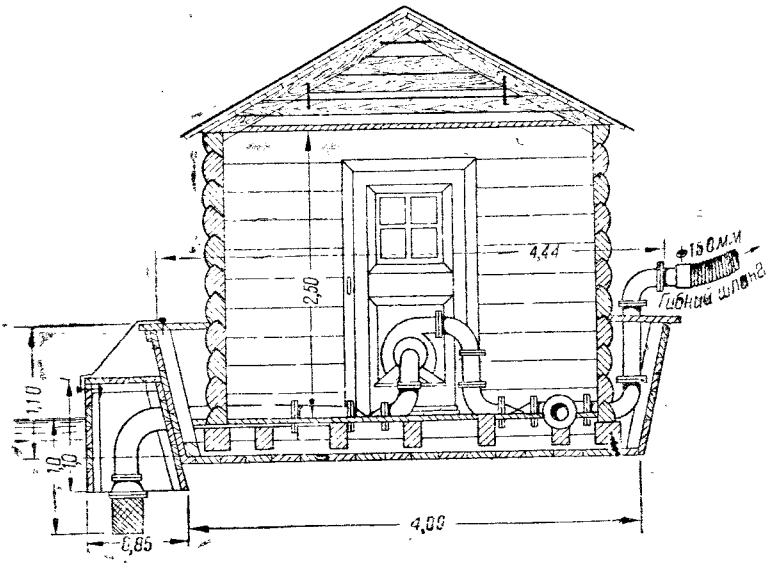


Рис. 178. Плавучий водозабор

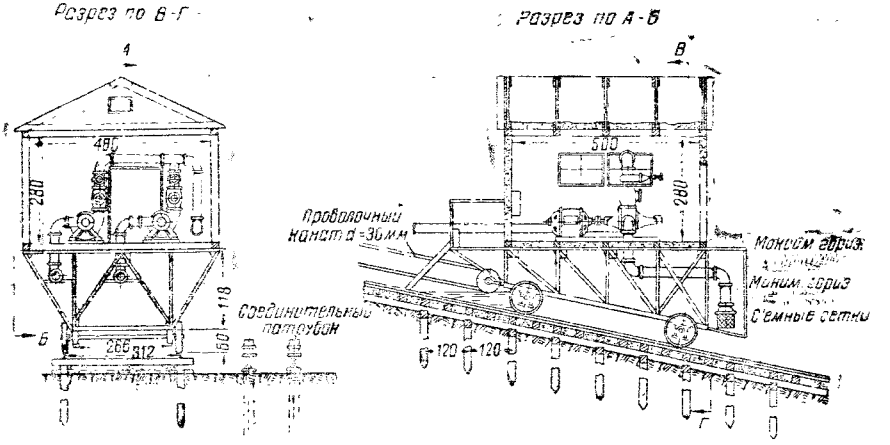


Рис. 179. Передвижной водозабор

Для очистки питьевой воды могут быть применены установки временного типа по стандарту ГОСТ 1712-42. Эти установки рассчитаны на производительность 1, 3, 5, 10 и 20 $м^3/час$.

Насосные станции могут быть устроены по согласованию

с пожарной охраной во временных деревянных зданиях, а на юге — в зданиях из местного строительного материала, например из самана. При этом должны быть предусмотрены необходимые противопожарные мероприятия.

Равным образом допустимо устройство деревянных запасных резервуаров (см. § 50 *Д*).

Водонапорные башни временного назначения могут быть устроены также деревянные простейших систем (см. § 49, *Е*).

ГЛАВА X

ВОДОПРОВОДНЫЕ СООРУЖЕНИЯ В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ

§ 62. Водопроводные сооружения в сейсмических районах

Сейсмическими называются районы, в которых время от времени происходят землетрясения различной интенсивности. Оценка интенсивности производится в баллах по стандартной шкале Меркалли-Канкани (ОСТ ВКС 4537). При интенсивности землетрясений в VI баллов и ниже сейсмичность не учитывается. Землетрясение в VII баллов является очень сильным, а в VIII и IX баллов — разрушительным.

В СССР имеется ряд городов и населенных пунктов с очень высокой сейсмичностью (IX баллов), а именно Шемаха (Азербайджан), Красноводск (Туркмения), Андижан (Узбекистан), Алма-Ата и Чилик (Казахстан), Кара-Балты и Рыбачье (Киргизия).

Бесперебойная работа водопровода в городах, поселках и на промышленных предприятиях имеет особенно важное значение в сейсмических районах для борьбы с пожарами, которые обычно возникают при землетрясениях и наносят иногда даже больший ущерб, чем само землетрясение. В этих районах необходимо обеспечивать сейсмостойкость не только отдельных водопроводных сооружений, но и всей системы водоснабжения в целом.

Антисейсмические мероприятия по водопроводным сооружениям для районов землетрясений силой от VII по IX баллов сгруппированы в табл. 31.

§ 63. Водопроводные сооружения в районах вечной мерзлоты

Северные области Европы, Азии и Америки охвачены вечной мерзлотой. В этих областях грунт на большой глубине остается мерзлым в течение тысячелетий. Глубина оттаивания летом не превышает 3—3,5 *м* в песчаном грунте и 0,2—0,8 *м* в торфе. Толщина пластов вечномерзлого грунта в среднем

Таблица 31

Род сооружений	Районы первой категории	Районы второй категории
	IX баллов по шкале Меркалли-Канкани	VIII-VII баллов по шкале Меркалли-Канкани
1. Водозаборы из открытых источников	Должны иметь железобетонную конструкцию и устраиваться по возможности в скалистых или плотных грунтах. Следует избегать размещения их на крутых береговых косогорах, подверженных оползням. Береговые колодцы должны быть железобетонные, круглые в плане. Трубопроводы только стальные. При сварных стыках нужны компенсаторы в точках перегиба профиля дна	Допускаются деревянные свайные или ряжевые. Трубопроводы укладываются в плотных грунтах. Всасывающие линии при VIII баллах устраиваются из стальных труб
2. Артезианские скважины и грунтовые водозаборы	Водоподъемное оборудование скважин должно допускать забор воды с пониженных горизонтов на случай вызваиного землетрясением опускания уровня воды в скважинах. Трубопроводы от скважин или от шахтных колодцев до сборного резервуара должны быть стальные, павильоны над скважинами или над колодцами — железобетонные или деревянные. При пересечении скважинами наносных и рыхлых грунтов надо оставлять двойные концентрические колонны обсадных труб для предотвращения деформации обсадных труб сейсмическими силами	Павильоны над скважинами допускается устраивать из дерева или из кирпичной кладки, а также применять чугунные трубопроводы от скважин к сборному резервуару (с упругой заделкой стыков при сейсмичности в VIII баллов)
3. Очистные станции	Здание станции должно быть каркасное (из железобетона, дерева) с заполнением, прочно связанным со скелетом. Очертание здания в плане должно быть простым (круг, овал, прямоугольник) с соотношением сторон не более 1:3,5. Здание со сложным очертанием в плане разделяется антисейсмическими швами на отсеки. Высота зданий в пределах одного отсека должна быть постоянной и не более	Здания станций допускаются с деревянными стенками, рубленными с остатком, скрепленными стальными ершами. Высота здания не более 8 *м*. Разрешается применение кирпичной кладки для зданий высотой не более 16 *м* и при толщине стен не менее 0,55 *м*. Стены кирпичной коробки связываются стальными антисейсмическими

Продолжение

Род сооружений	Районы первой категории	Районы второй категории
	IX баллов по шкале Меркалли-Канкани	VIII-VII баллов по шкале Меркалли-Канкани
	4 *м* для деревянных зданий и 8—12 *м* при кирпичном заполнении каркаса. В местах изменения высоты здания (например, у реагентного помещения) необходимы антисейсмические швы шириной 2 *см*, разделяющие смежные отсеки зданий по всей высоте, включая фундамент. Фундамент — ленточный. Число оконных и дверных проемов — уменьшенное. Крыша облегченного типа весом около 60 *кг* на 1 $м^2$ горизонтальной проекции Тяжелые резервуары в верхних помещениях станции недопустимы. Трубопроводы — стальные, размещаются доступно для осмотра и ремонта. Отстойники и фильтры — железобетонные	поясами на уровне верхнего этажа и над подвалом
4. Насосные станции	Общестроительные требования те же, что в п. 3. Фундаменты под агрегаты заглубляются до плотного грунта или связываются с железобетонным основанием здания станции. Трубопроводы — стальные. В местах перехода в землю нужны компенсаторы. Обязателен энергетический резерв во избежание перерывов в подаче тока и прокладка электрокабелей с устройством компенсирующих приспособлений, допускающих удлинение кабеля при сейсмических ударах	Допустимы также и кирпичные здания насосных станций на условиях, изложенных в п. 3. Чугунные трубопроводы в помещении насосной станции допускаются только при VII баллах
5. Водоводы	Трасса должна выбираться, сообразуясь с характером грунтов. Предпочтительны плотные, сухие, однородные грунты. Заглубление труб не менее 2 *м* до оси трубы. На границах пород разной плотности нужны компенсаторы.	Условия выбора трассы те же, что и при IX баллах. Глубина заложения труб не менее 1,50 *м* до оси трубы. Допускаются кроме стальных и железобетонных труб также асбестоцементные и де-

Продолжение

Род сооружений	Районы первой категории	Районы второй категории
	IX баллов по шкале Меркалли-Канкани	VIII-VII баллов по шкале Меркалли-Канкани
	Короткие водоводы, если выход их из строя грозит аварией на производстве, размещаются в железобетонных туннелях и дублируются. Трубы для водоводов допускаются только стальные и железобетонные. Для самотечных водоводов могут быть применены чугунные трубы с упругой заделкой стыков	ревянные непрерывные трубы
6. Разводящая сеть труб	Обеспечивается полная сейсмостойкость только магистральных линий — их надлежит укладывать из стальных труб. Для остальных частей сети в плотных, сухих и однородных грунтах допускаются чугунные трубы с упругой заделкой каждого стыка свинцом. Всегда необходимо устройство кольцевой сети или хотя бы обходных труб, параллельных магистральным. Минимальная глубина укладки труб 1,75—2,0 *м* до низа трубы. Размещение пожарных гидрантов должно обеспечивать свободный доступ к ним в случае обвала зданий	То же, что и при IX баллах, но допускается всюду применение чугунных и асбестоцементных труб с глубиной заложения не менее 1,50 *м* до низа трубы. Стыки чугунных труб должны иметь заполнение асбестоцементом или алюминием. Цементные заделки стыков не допускаются
7. Домовые водопроводы	При прохождении труб через стены зданий не допускается жесткое закрепление труб в кладке. В местах перехода труб в землю нужны компенсаторы. Резервуары и баки в верхних этажах здания должны иметь прочную конструктивную связь со зданием	То же, что и при IX баллах
8. Запасные резервуары	Емкость всех запасных резервуаров должна быть не менее суммарного суточного водопотребления. Запасные резервуары размещаются в нескольких пунктах, рассредоточенных на территории водоснабжаемого объекта. Резервуары устраиваются	То же, что и при IX баллах, но допускаются и чугунные трубы, с заделкой стыков асбестоцементом или алюминием, а для VII баллов также асбестоцементные трубы со стыками Симплекс или Жибо

Окончание

Род сооружений	Районы первой категории	Районы второй категории
	IX баллов по шкале Меркалли-Канкани	VIII-VII баллов по шкале Меркалли-Канкани
	железобетонные емкостью не более 2 000 $м^3$ с купольным или безбалочным покрытием и с оборудованием из стальных трубопроводов. Особое внимание следует обращать на обеспечение водонепроницаемости резервуаров путем устройства внутренней гидроизоляции	
9. Водонапорные башни	Допускаются стальные водонапорные башни системы Шухова, с усилением их конструкции, рассчитанной на сейсмостойкость. Разрешается постройка железобетонных башен с опорным корпусом в виде стакана при условии расчета на сейсмостойкость и поверки на резонанс или на динамическую жесткость. Оборудование башни должно быть из стальных труб.	То же, что и при IX баллах, но для сейсмичности в VII баллов поверка на резонанс или на динамическую жесткость не требуется. При VIII баллах такая поверка нужна лишь для высоких (более 35 *м*) и тяжелых (с емкостью бака 1 000 $м^3$ и более) башен. Для оборудования башен допускаются также чугунные и асбестоцементные трубы

колеблется от 20 до 70 *м*, а в некоторых районах достигает 150—200 *м*.

В СССР область распространения вечной мерзлоты составляет около 10 млн. $км^2$ или до 47% всей территории страны. Индустриализация СССР вызвала большой рост строительства промышленных предприятий и увеличение населения городов и в районах вечной мерзлоты. В этих районах постройка сооружений, в том числе и водопроводных, значительно усложняется.

Выбор источников водоснабжения в районах вечной мерзлоты весьма ограничен. Грунтовые воды из верхних надмерзлотных слоев (верховодка) имеют непостоянный дебит, а нередко и вовсе иссякают в конце зимы. Поэтому их можно использовать лишь в малоответственных водоснабжениях. Для получения такой воды устраиваются деревянные галлереи из пластин или рытые каменные колодцы. Более постоянен дебит ключей, выходящих из подмерзлотных пластов. В местах выходов этих ключей в зимнее время наблюдается образование так называемых гидролакколитов. Они представляют собой

скопление воды под коркой мерзлого грунта со вздутием этой корки в виде заметных бугров[1].

По этому признаку в конце зимы (февраль — март) в районах мерзлоты и производят поиски ключей.

Возможно получение подмерзлотных вод и посредством артезианских скважин. Для этого надо пройти бурением слой вечной мерзлоты с температурой от 0 до —2°. Вода же имеет обычно более высокую температуру от + 3° до + 5°. Тем не менее в начале действия скважины необходимо прогревать ее паром, подаваемым по трубкам от парового котла.

Забор воды из рек в районах вечной мерзлоты затруднителен ввиду промерзания многих рек зимой до дна. Такие затруднения возникали, например, при развитии водоснабжения г. Читы; протекающие здесь реки Ингода и Никишиха промерзают до дна. Толщина льда достигает 1—1,50 *м*. Промерзают также берега рек, пойменные подрусловые воды отсутствуют. Образующиеся осенью донный лед и шуга забивают иногда все живое сечение потока.

Прокладка водопроводных труб в районах вечной мерзлоты осложняется тем, что грунт оттаивает только летом и то лишь на незначительную глубину.

Если прокладку труб производят на обычной глубине, то вода в трубах замерзает. Это имело место в первые годы эксплоатации Забайкальской и Уссурийской железных дорог. Раньше для предупреждения замерзания трубы прокладывались в отапливаемых галлереях, но теперь от этого отказались. Укладка труб производится непосредственно в грунт на глубине 3 *м*, где температура имеет незначительные колебания и не падает ниже — 3°. Постель под трубы устраивается из песка или гравия. Вокруг трубы на радиус, равный двойному диаметру трубопровода, производится обсыпка дренирующим грунтом. Сверху последний засыпают слоем сухого торфа высотой 0,20 *м*. Остальная засыпка делается из грунта, вынутого из траншеи.

Торфяной слой служит для ускорения прогрева грунта вокруг труб, что важно в начале действия водопровода. Поэтому, если летом был произведен предварительный прогрев грунта, то торфяная засыпка не обязательна.

Если укладка водопровода производится по лесной просеке, то линию водопровода нужно расположить не по середине просеки, а по краю ее, освещаемому солнцем.

Ширина просеки принимается равной полуторной высоте деревьев.

При постройке зданий насосных станций, водонапорных башен и пр. надо определить глубину летнего оттаивания грунта с поверхности, так как она влияет на характер основания. При этом возможны два случая: 1) если вечномерзлый

[1] В Сибири их называют „булгуняхи".

грунт лежит ниже максимальной глубины промерзания и подошва основания здания отделена от вечной мерзлоты слоем целика толщиной 4 *м*, то фундамент устраивается обычным способом, 2) если вечномерзлый грунт залегает на глубине наибольшего летнего оттаивания, то нужны меры для предохранения фундамента и самого здания от разрушения.

Разрушение может произойти вследствие того, что через фундамент (бутовый или бетонный), расположенный непосредственно на вечномерзлом грунте, проникает внутреннее тепло здания, а также тепло, получаемое от нагревания стен солнечными лучами. Вследствие этого вокруг фундамента происходит оттаивание части вечномерзлого грунта. Это ведет к уменьшению плотности грунта и неравномерной осадке стен или колонн водонапорной башни, обращенных, главным образом, на юг. Зимой те же стены становятся проводником холода. Оттаявший грунт снова замерзает, увеличиваясь в объеме (получается так называемое пучение), и выпирает стены вверх.

Такие ежегодные перемещения стен здания или колонн башни вызывают появление в них трещин, устойчивость сооружения нарушается. В водонапорных башнях могут образоваться трещины в днище и стенках резервуара, вследствие чего нарушится его водонепроницаемость.

Во избежание неравномерной осадки зданий в районах вечной мерзлоты необходимо принимать меры против оттаивания мерзлого грунта под фундаментом, под полом насосной станции или первого этажа башни против выпучивания фундамента при замерзании оттаявшего грунта.

Если вечномерзлый грунт залегает глубоко, то можно предупредить его оттаивание путем устройства более мелких фундаментов. При этом между фундаментом и мерзлотой оставляется целик толщиной 3—4 *м*. При близком залегании мерзлоты котлован роется до вечномерзлого грунта. Вынутый грунт заменяется сухим песком, гравием или щебнем. Так как котлованы для насосных зданий и башен обычно невелики, то эти меры не вызывают больших затрат. В фундаменте рекомендуется делать теплоизолирующие прокладки (асфальт, просмоленный войлок и т. д.).

Такие же меры нужны против прогревания и оттаивания грунта под полом насосного здания и первого этажа башни. Необходимо также учесть возможность оттаивания вечномерзлого грунта вокруг водопроводных труб, проходящих под этими зданиями. Особенно нежелательно оттаивание в местах пересечений трубами фундаментов. Поэтому трубопроводы должны иметь термоизоляцию.

Для противодействия выпиранию фундамента боковым давлением пучинистого грунта стенки фундамента следует гладко оштукатуривать. Это уменьшает их сцепление с мерзлым грунтом, который стремится поднять фундамент. Желательно придавать фундаменту трапецоидальный профиль. Окружаю-

щий котлован рекомендуется засыпать крупным песком или гравием с отведением грунтовых вод дренажем. Для отвода поверхностных вод нужны откосы из глины или асфальта.

В целях противодействия выпиранию полезно также увеличивать нагрузку на фундамент: целесообразны башни с нетеплопроводным заполнением между колоннами. Фундаменты должны быть устроены из отдельных опор (стульев), а не ленточные. Все эти мероприятия вполне возможны, так как допускаемое давление на сжатие для вечномерзлого грунта колеблется от 3 до 5 *кг/см*^{2} в зависимости от рода грунта, влажности и температуры.

Особенностью водоснабжения в районах вечной мерзлоты является подогрев воды. Он производится обычно в начале напорного трубопровода по выходе воды из насоса. Способ подогрева воды выбирается в зависимости от рода двигателя, применяемого на насосной станции. При паровых двигателях должен использоваться отработанный пар паровой машины и отходящие газы парового котла. При электромоторах подогрев воды можно производить электрическим током или вспомогательным подогревательным котлом. В настоящее время применяются почти исключительно паровые подогреватели, использующие отработавший пар.

Для обеспечения постоянного движения воды в трубах иногда устанавливают циркуляционные насосы возле башни или резервуара.

§ 64. Особенности устройства водопроводных сооружений в лёссовидных грунтах

Лёссовидные или так называемые макропористые грунты имеют довольно значительное распространение на территории СССР. В сухом состоянии они выдерживают нагрузку 2,5 *кг/см*^{2}, при замачивании же водой несущая способность их падает до нуля. Поэтому при прокладке водопроводных труб и устройстве резервуаров, башен и тому подобных сооружений надо предупредить возможность замачивания грунта в случае утечки.

Магистральные напорные трубопроводы нельзя укладывать в непосредственной близости к ответственным зданиям и сооружениям (главные цехи, электростанции, газгольдеры и т. п.). Не допускается применение бетонных и деревянных труб, а также асбестоцементных, если давление в последних более 3 *ат*.

Чугунные напорные магистральные трубы должны прокладываться в специальных галлереях (туннелях) или водонепроницаемых кожухах с устройством выпусков и отводов для удаления воды в случае аварий.

Распределительные линии и ответвления допускается укладывать из чугунных труб без кожухов, но на расстоянии не менее 10 *м* от фундаментов сооружений.

Пожарные гидранты и водоразборные колонки должны устанавливаться не ближе чем в 10 *м* от зданий, причем окружающие их площадки надо спланировать с уклоном для отвода воды в ливневую канализацию или в открытые водостоки.

При устройстве резервуаров в макропористых грунтах относительно надежной конструкцией является цилиндрический железобетонный резервуар с безбалочными покрытием и днищем. При этом должны быть приняты меры против проникания поверхностных вод под резервуар, как при производстве работ, так и при эксплоатации, т. е. должен быть обеспечен сток поверхностных вод от резервуара.

ГЛАВА XI

ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

§ 65. Материалы для составления проекта водоснабжения

Для составления проекта водоснабжения необходимо располагать данными экономических и технических обследований и изысканий. Некоторая часть этих данных предоставляется проектировщикам организациями, поручающими выполнение проектов. Это генеральный план промышленного предприятия и рабочего поселка (в масштабе 1 : 1000—1 : 2000 с горизонталями), а также данные о расходах производственной воды и коэфициентах неравномерности расхода, о необходимом качестве воды, о напорах, о числе занятых по сменам рабочих с указанием пользующихся душем.

При проектировании водоснабжения городов или рабочих поселков при промышленных предприятиях нужен план города или поселка в масштабе 1 : 2000—1 : 5000 с горизонталями через 1—2 *м*, с характеристикой застройки (плотность, этажность, материал) и т. д.

Кроме того, необходим проект планировки города с данными об ожидаемом расширении города, росте населения за расчетный период, плотности заселения кварталов и т. п.

Для получения остальных данных проектирующая организация производит изыскания на месте предстоящего строительства, а также собирает изыскательские материалы, имеющиеся у других учреждений.

Для выполнения технического проекта водоснабжения и рабочих чертежей необходимы также материалы по топографии, гидрологии, геологии, гидрогеологии, а также по санитарным и некоторым другим вопросам.

§ 66. Состав изыскательских работ

А. Топографические изыскания

Изыскательские работы по топографии должны предусматривать съемку общей карты района в масштабе 1 : 25 000—1 : 50 000 с горизонталями или уточнение имеющихся карт. Должна быть

также сделана нивелировка и составлены профили по трассам водоводов и главных магистралей в масштабе горизонтальном 1:2000 и вертикальном 1:200. По оси водоводов производится топографическая съемка полосы шириной от 50 до 300 *м* в масштабе 1:2000.

Кроме того, выполняются съемки отдельных площадок, предназначенных под водопроводные сооружения (водозаборы, плотины, насосные и очистные станции) в масштабах 1:1000 или 1:2000, а иногда 1:500 с горизонталями через 0,5 *м*. Если устраивается водохранилище, то делается съемка его площади в масштабе 1:2000 или 1:5000.

Производится нивелировка или ватерпасовка речного берега в месте водозабора с составлением нескольких поперечных профилей для сравнения вариантов водоприемника.

При наличии расположенных вблизи промышленных предприятий и поселков выявляется возможность устройства общих с ними водопроводных сооружений.

Б. Гидрогеологические, геологические и гидрологические изыскания

Инженеры и техники гидрогеологи на основе материалов обследования района строительства составляют общую гидрогеологическую характеристику строительной площадки с указанием источников водоснабжения, которые можно использовать, или же собирают и проверяют данные о существующих поблизости от места строительства скважинах, а именно: 1) отметки статического и динамического горизонтов воды в скважинах, увязанные с отметками площадок, 2) дебит скважин, определенный на основе длительных откачек, 3) взаимовлияние скважин друг на друга, 4) анализ воды из скважин.

Для этой цели производится бурение (ручное или механическое) разведочных скважин диаметром от 150 до 250 *мм*, глубиной от 25 до 100 *м*. Посредством откачек воды делается разведочное опробование подземных источников водоснабжения. Организуются стационарные наблюдения за режимом подземных вод, для чего производятся необходимые замеры уровня и расхода воды.

Гидрологи собирают данные многолетних наблюдений о горизонтах воды в реке: 1) минимальном, 2) меженнем, 3) максимальном, 4) наименьшем и наивысшем горизонтах ледохода и ледостава.

Подбирают и уточняют данные многолетних наблюдений за расходами воды в реке; гидрометры организуют стационарные наблюдения за режимом поверхностных источников (реки, ручьи и т. п.) путем постоянных замеров горизонтов воды и определения расходов воды. Одновременно изучается режим потока в месте забора воды (горизонты, расходы, распределение скоростей и наносов), изучается ледовый режим потоков, т. е. время ледохода и ледостава, толщина льда (наименьшая и наибольшая), условия шугохода и образования донного льда.

Если источником водоснабжения является большая судоходная река, необходимо получить в соответствующих организациях лоцманскую карту или подробный план реки в районе водозабора.

Если источником водоснабжения намечается водохранилище, производятся съемочные работы для составления геологической, литологической и гидрогеологической карты в масштабе от 1:1000 до 1:50000 по чаше водохранилища. Эти работы выполняются комплексной бригадой из геодезистов, геологов и гидрогеологов. Такого же рода карты составляются и по площадям залегания подземных вод, когда намечается их широкое использование.

Разведочные работы под различные сооружения (плотины, водозаборы, насосные и очистные станции, большие водоводы и т. п.) ведутся путем заложения буровых скважин диаметром от 90 до 250 *мм* на глубину от 5 до 30 *м*, а в более простых случаях путем шурфования на 5—10 *м*. Работы выполняются буровыми мастерами под руководством инженеров и техников гидрогеологов при участии геологов или коллекторов (т. е. специалистов по отбору и описанию образцов грунта). Чаще всего на таких работах используются ручные буровые комплекты или буровые станки „Крелиус" диаметром от 63 до 103 *мм*.

Буровые скважины мелкого заложения или шурфы делаются по трассам водоводов и главных магистралей через 200—250 *м* во всех характерных местах и в месте устройства резервуаров, башен, камер переключений и т. д.

Иногда приходится выполнять опытные работы по определению несущей и фильтрационной способности грунтов основания (путем опытных нагрузок, откачек, нагнетания и т. п.), а также определять физико-механические свойства грунтов (в лабораторных условиях).

На обязанности геологов лежит сбор данных о геологической структуре берегов водоема, сведений об оползневых явлениях и данных о глубине промерзания грунта.

В. Санитарные и другие исследования

При устройстве хозяйственно-питьевого водоснабжения необходимо иметь санитарный очерк с указанием и оценкой современного состояния возможных источников водоснабжения. Кроме того, собираются данные о соседних водозаборах и местах спуска в водоемы сточных вод с указанием их количества и характера. Делается анализ воды из реки или других источников водоснабжения. Изучаются и учитываются соображения местного санитарного надзора о зонах санитарной охраны водоисточников.

К числу других материалов, необходимых для составления проекта водоснабжения относятся: 1) задание на проектирование противопожарного водопровода, в котором указываются:

а) система пожаротушения (высокого или низкого давления), б) категория промышленного предприятия по пожарной опасности, в) кубатура и степень огнестойкости производственных зданий, г) тип пожарных гидрантов (подземные, надземные) и др; 2) данные об энергоснабжении; 3) данные для составления технических смет (единичные расценки, цены на строительные материалы и оборудование, отпускаемые заказчиком, и на все виды услуг им предоставляемых); 4) данные, необходимые для составления проекта организации работ (сведения о механизмах, местном транспорте, местных материалах и т. д.).

ГЛАВА XII

ЭКСПЛОАТАЦИЯ ВОДОПРОВОДА

§ 67. Организация эксплоатационной службы на водопроводе

Эксплоатацией городских водопроводов в СССР руководят городские советы депутатов трудящихся. В крупных городах советы создают управления, отделы или тресты по эксплоатации городского водопровода, которые в большинстве случаев одновременно ведают и канализацией. В средних и малых городах создаются коммунальные отделы, объединяющие все виды городского благоустройства.

Водопроводы промышленных предприятий находятся в ведении отделов главного энергетика или главного механика завода, причем на больших заводах организуется специальный цех водоснабжения и канализации.

Водопроводами железнодорожного транспорта ведают отделения паровозной службы.

Для обслуживания водопроводного хозяйства устанавливается специальный штат, состоящий из руководящих административно-технических работников и производственно-технического персонала (инженеры, механики, техники, электромонтеры, машинисты, слесари, подсобные рабочие, мастера-десятники, подсобный персонал и т. д.).

Для улучшения связи между отдельными элементами водопроводного хозяйства на больших водопроводах организуют диспетчерские пункты: центральный (в управлении) и районные (на участках сети, на головных сооружениях, на очистной станции). Это позволяет своевременно узнавать о происшедших авариях, принимать немедленные меры для ликвидации их и тем самым обеспечивать бесперебойную работу водопровода. Диспетчерские пункты оборудуются надежной телефонной связью.

Возможна систематическая передача в центральные диспетчерские пункты на большие расстояния определенных сигналов при помощи автоматических радиоустановок. Одна из таких построенных установок передает сигналы об уровне воды в водохранилище с целью принятия противопаводковых мер. Радиосигналы автоматически передаются либо раз в сутки, либо ежечасно, а в опасные периоды через каждые 15 мин.

§ 68. Техническая эксплоатация водопроводных сооружений

Основной задачей технической эксплоатации водопровода является обеспечение бесперебойной подачи воды надлежащего качества, в необходимом количестве и под требуемым напором.

Сущность технической эксплоатации водопровода заключается в том, чтобы постоянно проводились следующие мероприятия:

1) строгий надзор за соблюдением установленного режима во всех трех поясах зоны санитарной охраны источника водоснабжения;

2) ежедневное наблюдение за качеством воды, поступающей на очистные сооружения и проходящей отдельные этапы обработки с определением ее физических и бактериальных свойств (титр-коли), а также щелочности; для специальных нужд (котельных и т. п.) определяются еще некоторые химические свойства воды, как-то: жесткость, плотный остаток и др.;

3) назначение и изменение доз реагентов, добавляемых в очищаемую воду (коагулянт, известь, хлор);

4) своевременная промывка скорых фильтров и выполнение связанных с нею операций;

5) поддержание в исправном состоянии всех сооружений и их оборудования (водоприемников, насосных и очистных станций, резервуаров, сети и т. д.);

6) периодическая проверка контрольно-измерительной аппаратуры;

7) быстрое обнаружение и ликвидация аварий;

8) выявление и устранение утечки и других непроизводительных потерь воды;

9) контроль за водомерным хозяйством (проверка исправности, ремонт и испытание водомеров);

10) периодическая очистка, промывка и хлорирование сооружений и водопроводной сети;

11) подготовка водопровода к зимнему режиму работы;

12) проведение планово-предупредительного ремонта и других профилактических работ.

Профилактические меры особенно нужны в военное время для создания гарантийных условий бесперебойного действия водопровода. Эти меры заключаются в том, что основное внимание сосредоточивается на наиболее важных объектах водопровода, как-то: а) главных магистралях, б) особенно важных потребителях воды, в) слабых местах водопроводной сети, например, неполноценно работающих задвижках, временных упорах, постоянно текущих стыках труб и т. п.

Такое выделение первоочередных объектов позволяет сконцентрировать имеющийся эксплоатационный персонал на решающих узлах водопровода.

§ 69. Борьба с утечкой и водомерное хозяйство

Утечка из водопроводных труб может вызываться 1) расстройством или повреждением стыковых соединений и 2) образованием трещин на трубах. При расстройстве стыка, имеющего

свинцовую заделку, возможна его подчеканка без прекращения действия водопровода. Если стык цементный, необходима полная перечеканка стыка, требующая опорожнения трубопровода. При образовании небольшой трещины на трубе можно временно устранить утечку посредством резиновой прокладки, которая прижимается к трубе седелкой, или посредством установки свертной муфты. Последняя состоит из двух половин на резиновых прокладках, соединяемых болтами.

Обнаружить место утечки иногда довольно трудно, так как даже при просачивании воды на поверхность место выхода может находиться на сравнительно большом расстоянии от поврежденной трубы.

Для определения мест утечки из труб применяют специальные аппараты. Наиболее простой из них — аквафон. Это металлический стержень, длиной 1—1,5 *м*. Его погружают одним концом в грунт над линией водопровода, а к другому концу со слуховой трубкой прикладывают ухо. Передвигая стержень влево и вправо, определяют место течи по более сильной вибрации и шуму в трубке. При пользовании аквафоном надо пробивать отверстие в толще мостовых, что крайне неудобно. Более чувствителен ликафон, состоящий из двух дисков, устанавливаемых над обследуемой линией, к которым при помощи двух стальных трубок присоединена пара наушников. Наиболее же усовершенствованным прибором является электроприбор, монтируемый в дубовом ящике, где находится микрофон и батареи. Микрофон прикреплен к плите на подставке, заостренные концы которой вгоняются в грунт. На асфальте подставку снимают и ставят прибор прямо на мостовую. Для определения звука течи служат телефонные наушники. Прибор обнаруживает течь в радиусе до 6 *м*. Действие его основано на улавливании и усилении вибрации, вызываемой силой движения воды, выходящей из поврежденной трубы.

Обнаружить утечку в сети и из резервуаров можно по показаниям водомеров.

Учет воды водомерами нужен, кроме того, для контроля за правильным расходованием воды, для расчетов за отпускаемую воду, для контроля за работой насосных установок. В этих целях водомеры устанавливаются при насосных станциях (см. § 27 и 28), на очистных станциях, на домовых вводах.

Для наблюдения за состоянием водомеров и для проверки их показаний организуется испытательная водомерная станция, а для исправления водомеров — ремонтная мастерская.

§ 70. Ликвидация аварий на водопроводной сети

Для ликвидации аварий большое значение имеет правильная организация аварийно-ремонтной службы. Аварийные работы выполняются эксплоатационными участками. Ремонтные

работы при небольших повреждениях производятся ими же, а при значительных авариях строительными конторами.

Аварийная бригада несет круглосуточные дежурства в три смены и разбивается на несколько звеньев. Состав звена 3 человека (слесарь и двое рабочих). Максимальная численность бригады — 15 человек (пять звеньев).

Ремонтные бригады составляются из строительных рабочих

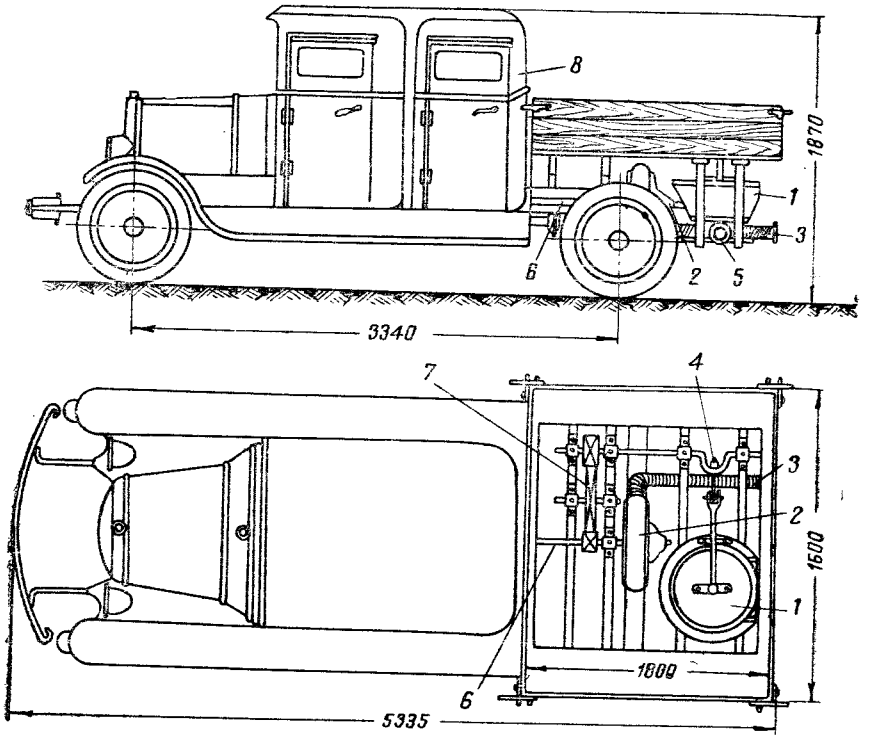


Рис. 180. Аварийная автомашина „автообходчик": *1* — диафрагмовый 3″ насос; *2* — вентилятор Сирокко; *3* — рукав для воздуха; *4* — шатунно-кривошипный механизм; *5* — всасывающий патрубок насоса; *6* — приводной вал; *7* — зубчатая передача насоса; *8* — кабина для рабочих

разных специальностей — землекопов, каменщиков, трубоукладчиков, слесарей. Возглавляет бригаду мастер (десятник).

Аварийная бригада выезжает на место аварии по распоряжению диспетчера или по сообщению милиции, районных советов и домоуправлений. Для аварийных выездов на Московском водопроводе применяется машина „автообходчик" (рис. 180), смонтированная на шасси ГАЗ-АА. Она оборудована диафрагмовым насосом производительностью 12—15 *м*³/*час* и вентилятором „Сирокко", работающими от двигателя автомашины. Кроме того, на автообходчике находятся средства ограж-

дения, инструменты, набор запасных деталей, осветительные средства и др.

В условиях обычной работы автообходчик используется при профилактическом осмотре колодцев на сети для опробования пожарных гидрантов, задвижек и выполнения мелкого ремонта (смена маховиков задвижек, смена болтов и т. д.).

Кроме автообходчика на московском водопроводе используется „автонасос" (рис. 181) для быстрой откачки воды при авариях. Насос работает от автомобильного мотора, имеет производительность 23 *л/сек*, напор 12 *ат* и высоту всасывания до 8 *м*.

Аварийная бригада снабжается всеми необходимыми инструментами. Наиболее важным из них является ключ для откры-

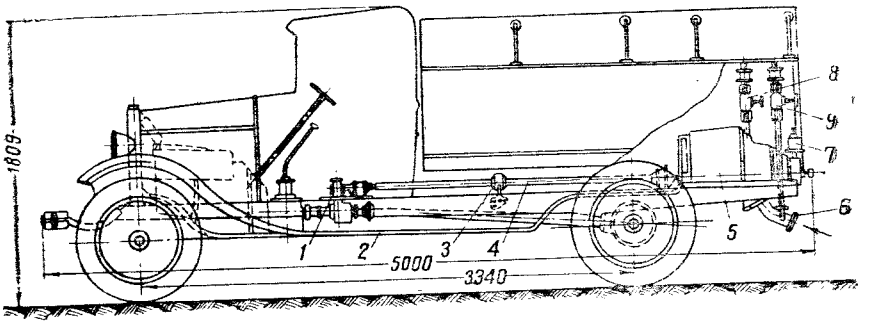


Рис. 181. Автонасос: *1* — коробка отбора мощности; *2* — дополнительное охлаждение; *3* — опорный кронштейн с подшипником; 4 — верхний карданный вал; *5* — центробежный насос; *6* — всасывающий штуцер; *7* — масленка; *8* — вентиль № 1; *9* — вентиль № 2

вания задвижек, позволяющий выполнять манипуляции с задвижкой без спуска в колодец, который может оказаться залитым водой.

ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Водоснабжение промышленных предприятий и населенных мест. Часть I — Водозаборные сооружения поверхностных и подземных вод (Инж. Маньковский Г. М., инж. Ереснов Н. В. и доц. Плотников Н. А. под ред. проф. Гениева Н. Н.), 1938.

Часть II — Водопотребление. Водопроводные сооружения и сеть (доц. Кожинов В. Ф. и др. под ред. проф. Гениева Н. Н.), 1938.

Часть III — Улучшение качества воды (проф. Турчинович В. Т.), 1940.

2. Коллектив авторов под ред. проф. Азерьера С. Х., Водоснабжение на железнодорожном транспорте, 1940.

3. Заслуж. деят. науки и техники, проф. Н. Н. Гениев и проф., д-р тех. наук Н. Н. Абрамов, Водоснабжение, 1944.

4. Берман Л. Д., Градирни, 1941.

5. Биндеман Н. Н., Справочник по использованию подземных вод, 1943

6. Горин Г. С. и Мозжухин П. В., Эксплоатация очистных сооружений водопроводных станций, 1941.

7. Кожинов В. Ф. и Суслов М. П., Автоматизация водопроводных сооружений, 1941.

8. Карпов П. М. и Эйлер С. А., Водопровод и канализация, 1941.

9. Копюшков А. М., Водоснабжение заводов черной металлургии, 1939.

10. Шестаков М. Н. и Жогов М. В., Аварийно-восстановительные работы, 1942.

11. Мозжухин П. В. и Сергеев М. П., Специальные установки по хлорированию и дехлорированию, 1943.

12. Фальковский Н. И. Полевое водоснабжение, 1943.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Аварийная бригада 281
Аварийный автомобиль 281
Автоматизация управления насосными станциями 78
Автоматизация управления фильтрами 182
Адсорбция 197
Ажитатор 162
Аквафои 280
Активированный уголь 196
Алюминий (для заделки стыков) 136
Алюминий сернокислый 155
Аминосмолы 212
Аммиак 147, 197
Аммонизатор 198
Андерсона формула 71
Антикоррозийная защита труб 144
„ изоляция 144
Антрацитовый фильтр 183
Арматура водопроводная 108
Артезианские воды 25, 42
Асбестоцемент (для заделки стыков) 135
Асбестоцементные трубы 102
Аэрация воды 210

Б

Баки для реагента 157
„ дозировочные 158
Бактерии 149
Баллон для хлора 187
Бассейн с брызгалами 251
Башни водонапорные 213
„ деревянные 226
„ железобетонные 216
„ кирпичные 222
„ стальные 223
Бесфильтровые скважины 51
Бетонные трубы 104
Бикарбонаты 202
Блуждающие токи 104
Большеемкая тара для хлора 191
Борьба с водорослями 40, 199
„ с привкусами и запахом 196
„ с утечкой 279
Брейк-пойнт (точка перелома кривой остаточного хлора) 193
Бурение скважин на воду 43
„ механическое 43
„ ударно-вращательное 47
„ ударно-штанговое 46
„ вращательное колонковое 43
„ „ роторное 47
„ ручное вращательное 45
„ „ штанговое 46
Буровые наконечники 43
„ долотья 45
„ желонки 45
„ змеевики 44
„ ложки 43
Буровые станки 46
„ штанги 44

В

Вакуум 65, 101
Вакуум-насос 58
Вакуумные хлораторы 191
Вантуз воздушный 81, 112
Величина pH 148
Вентили 189
Вентиляция резервуара 234
„ хлораторной 188
Вертикальный центробежный насос 66
Вертлюг 48
Взвешенные вещества 146, 155
Взрыхление цеолитовой загрузки 204

Вода оборотная 245
» свежая 245
Водоводы 79
» высоконапорные 80
» железобетонные 80
» самотечные 80
» стальные 87, 137
Водоворотная камера реакции 161
Водоемы запасные 255
Водозаборные сооружения 26
Водозаборы береговые 30
» раздельного типа 31
» совмещенного типа 33
» из озер и морей 38
» ковшевые 37
» крибы 35
» передвижные 265
» плавучие 265
» с самотечными линиями 26
Водомерное хозяйство 280
Водомеры Вентури 76
» Вольтмана 77
Водонапорные башни 213
Водонапорный резервуар 229
Водоподъемные устройства 55
Водоприемник 32
Водопроводная сеть кольцевая 90
» » многозонная 84
» » однозонная 84
» » разветвленная (тупиковая) 83
Водопроводная сеть с контррезервуаром 95
Водопроводная сеть с односторонним питанием 85
Водопроводная сеть с многосторонним питанием 85
Водопроводные сооружения в лёссовидных грунтах 274
Водопроводы в районах вечной мерзлоты 271
Водопроводы в сейсмических районах 267
» временные 261
» городские 11
» железнодорожные 5
» поливочные 6
» промышленные 5
» противопожарные 6
» совхозов и колхозов 6
Водоразборная колонка 112
Водосборы горизонтальные 58
» трубчатые 48
Водоснабжение оборотное 245
» пневматическое 285
» прямоточное 243
» с повторным использованием воды 243
Водоснабжение строительств 255
Водоструйные приборы (эжекторы) 55
Водоумягчитель (цеолитовый) 204
Водохранилище 14
Воды артезианские 25, 42
» грунтовые 25, 42
» напорные подземные 25, 42
Воздушные подъемники (эрлифты) 68
Вращающиеся сетки для процеживания воды 32
Время пребывания воды в отстойнике 163, 165
Входная скорость 32
Входные окна 31
Выключатель с часовым механизмом 78
Выпуски 81
Высота водонапорной башни 96
» всасывания 64
» подъема воды 66
Вышка буровая 47

Г

Галлереи водосборные 58
Гибкий стык 120
Гидравлическая задвижка 75, 183
Гидравлический расчет водозаборов 36
» » труб 86
» угар 81
Гидранты пожарные 110
Гипосульфит (серноватистокислый натрий 193
Глауконит 203
Глинозем (сернокислый алюминий) 155
Глубинный лед 37
Глубоководный центробежный насос 66
Горячее водоснабжение 17
Гравийный фильтр 49
Градирни башенные капельные 248
» пленочные 249
Градирни открытые с естественной тягой брызгательные 247
Градирни открытые капельные 247
Градирни с искусственной вентиляцией 250
График водопотребления 216
» интегральный 214
» работы насосов 214, 216
» ступенчатый 213
Грейфер 127
Грузовой подъемник 158

Д

Давление пьезометрическое 20
Двуокись хлора 198
Дезинфекция воды 187, 191
» резервуаров 193
» трубопроводов 140, 193
Деревянные трубы 105
Деферризация воды 210
Дехлорирование воды 193
Диспетчерское управление 278
Диспетчерский пункт 78
Доза коагулянта 155
Дозатор 157
Дозировка реагентов 156
» мокрая 157
» сухая 158
Дренаж большого сопротивления 180
» дощатый 182
» малого сопротивления 182
» системы Уилера 187
» трубчатый 180
Души 17
Дюкеры 118, 140

Е

Емкость поглощения цеолитового фильтра 206
Емкость резервуара 214
Естественный цеолит (глауконит) 203

Ж

Железный коагулянт 158
Железный купорос 156
Железобактерии 193
Железобетонные водоводы 80
» водонапорные башни 216
» резервуары 219, 229
Желоб на фильтре 177
Жесткость воды временная 149
» » карбонатная 148
» » некарбонатная 149
» » общая 149

З

Задвижка гидравлическая 75, 183
» Лудло 109
» московского типа 108
» электрифицированная 109
Загрузка фильтра 173
Заделка стыков труб 133
Замерзание труб 82
Запасный резервуар 219
Запах воды 146, 196
Засыпка траншей 138
Звуковая сигнализация 79, 278
Здание реагентов 158
Земляные работы 125
Зобные заболевания 152
Зольный коагулянт 158
Зона санитарной охраны 25, 277
Зонирование сети 84

И

Известкование воды 156, 199, 211
Известково-содовое умягчение 199
Известь гашеная 199
» негашеная 199
Избыток извести 202
Измерительные приборы дистанционного действия 79
Изоляция труб 144
Инкрустация труб 154
Интегральные кривые 214
Интенсивность запаха 146
Испытание уложенных труб 139
Источники водоснабжения 24

К

Кавитация 65
Камеры реакции 160
» » водоворотные 161
» » лопастные 162
» » перегородчатые 161
» рекарбонизации 202
Каптаж родников (ключей) 54
Катодная защита стальных резервуаров 226
Катодная защита стальных трубопроводов 145
Катучий кран 75

Кислородно-ацетиленовая сварка 136
Кишечная палочка 152
Клапан всасывающий 36
» обратный 111
» приемный 58
Коагулянт 158
Коагуляция воды 155
Ковш, ковшевые водозаборы 37
Колебания расхода воды 213
Коли-тест 152
Коли-титр 152
Коллектор 277
Колодцы береговые 30
» на водопроводной сети 114
» пожарные 114
» трубчатые 42
Колодцы шахтные 52
Колонки водоразборные 112
Колонна водонапорная 228
Комбинированный способ умягчения воды 209
Контррезервуар 95, 97
Концентрация водородных ионов 148
Коррозия труб 144
Коэфициент неравномерности водопотребления 18
Коэфициент однородности песка 174
» полезного действия насосов 62, 66
Крепление траншей 128
Крестовины 99
Криб 35

Л

Ликафон 280
Ликвидация аварий 280
Лопастная камера реакции 161
» мешалка 162

М

Маннинга формула 88
Манометр 58
Марганец 151
Машина для сухой дозировки реагентов 158
Медленные фильтры 174
Медный купорос 199
Механизация транспортировки реагентов 158
Механическая лопата 126
Мешалка лопастная 162
Мокрое дозирование 157
Монтаж резервуаров 233
» стальных башен 225
Морские водоросли 40
Мутность воды 146

Н

Наземные резервуары 229
Напор в трубах 19
Напорные водоводы 80
» резервуары 229
» фильтры 183
Насос для подъема воды из скважин 66
Насос с погруженным мотором 68
» поршневой 56
» пропеллерный 59
» центробежный 59
» штанговый 58
Насосные станции 72
Насосные станции автоматические 78
» » первого и второго подъема 73
Насосные станции полуавтоматические 78
Насосные станции с дистанционным управлением 79
Насосные станции с телефонным контролем 79
Нормы водопотребления 76
» качества питательной и котловой воды 154

О

Обезжелезивание воды 210
Обеззараживание воды 187, 195
Обессоливание воды 211
Обмерзание решеток водозабора 37
Обнаружение утечки 280
Оборудование башен 227
» резервуаров 233
Оборудование насосных станций 75
Оборудование станций очистки воды 180
Обратная промывка фильтра 177
Обратный клапан 111
Обсадные трубы 45
Озонирование воды 195
Окисляемость воды 147
Опреснение воды 211
Опрессовка трубопроводов 139

Опускание труб 132
Осадочные бассейны 162
Осаждение взвеси 164
Осветление воды 168, 155
Остаточный хлор 187
Отмывка цеолитового фильтра 205
Отстойники вертикальные 162
» горизонтальные 164
» Дорра 167
Охлаждение воды 245
Очистка воды 145
Очистные станции 175

П

Параллельная работа насоса 63
Патогенные бактерии 149
Перегородчатый смеситель 159
Передвижные водоприемники 266
Перемещение и подъем реагентов 158
Переходы под железной дорогой 118
Пермутит 203
Плотный остаток 147
Пневматическое водоснабжение с переменным давлением 235
Пневматическое водоснабжение с постоянным давлением 239
Поверхностная промывка фильтра 178
Подача реагентов 158
Подземные воды 25, 42
» резервуары 229
Подъем воды 55
Подъемные краны 75
Подщелачивание воды 156
Пожарные гидранты 110
Полуавтоматические насосные станции 78
Поплавковые выключатели 227
» краны 157
Потеря напора 88
Преаммонизация 198
Предварительно-напряженная арматура 105, 228
Прехлорирование 193
Привкус воды 146
Приготовление коагулянта 157
Производство работ 121
» » по бурению скважин 45
Производство работ по укладке труб 132
Производство работ по устройству дюкера 140
Прозрачность воды
Прокладка трубопроводов 121
Промывка фильтра обратная 177
» » по методу Палмера 178
Пропеллерные насосы 59
Противопожарные водопроводы 21
Процесс рекарбонизации 202
Прочистка фильтра скважин 51
Пруды-охладители 254
Пьезометрические линии 20, 89

Р

Радиосигнализация об уровне воды в водохранилище 278
Разбивка сети 121
Разводящая сеть 90
Раструбные трубы 98
Расход воды для хозяйственно-питьевых нужд 17
Расход воды на промышленных предприятиях 5, 18
Расход воды на противопожарные нужды 2, 2
Расчет дюкера 142
» отстойников 163
» сети 90
» скоковых фильтров 184
» суспензионных сепараторов 170
Расчет цеолитовых умягчителей 206
» упоров на поворотах 116
Расчетные расходы воды 16
Реагентные методы умягчения 199
Регенерация цеолитов 205
Регулирование скорости фильтрации 182
Редукционный клапан 158
Режим водопотребления 18
Резервуары деревянные 233
» железобетонные 219
» кирпичные 232
» наземные 229
» подземные 229
» стальные 233
Рекарбонизация воды 202
Ремонт сети 230
Решетки водозаборов 31
Ржика-Абрамса формула 69
Родники 54
Ропсокет (канатный замок при ударно-штанговом бурении) 47

С

Самоочищение рек 24
Самотечные водоводы 80
Сатураторы 200
Сварка 136

Сварные трубы 100
Сверххлорирование 193
Свинцовая заделка стыка 133
Свободная углекислота 149
Сернистый ангидрид SO_2 194
Сетки для процеживания воды 33
Сетчатые фильтры 49
Сеть разводящая 90
Синхронные электромоторы 61
Сифон 52
Скважины 48
Скорость фильтрации 175
Скорые фильтры 175
Скребки для удаления осадка из отстойника 167
Скруббер
Смесители дырчатые 160
» ершовые 159
Соединение труб 134
Солерастворитель 208
Стальные башни 223
» водоводы 80
» резервуары 33
» трубы 100
Стандарт на асбестоцементные трубы 102
» на питьевую воду 150
» на стальные трубы 101
» на чугунные трубы 98, 99
Стерилизация воды ультрафиолетовыми лучами 195
Столы управления 183
Стыковые соединения 134
Суспензионная сепарация 168
Сухая дозировка 158
Схемы водоснабжения 13
Съем хлора с баллонов 189

Т

Температура воды 147
Титр-коли 152
Тройники 99
Трубчатые колодцы 42
Трубы асбестоцементные 210
» бетонные 104
Трубы деревянные 105
» железобетонные 104
» стальные 100
» чугунные 98
Туннели 118

У

Уайппл'а таблица 149
Углекислый газ 203
Уголь активированный 197
Угольный фильтр 197
Удаление шлама 169
Удельный расход воды 86
Указатель уровня 227
Укладка труб 125
Умягчение воды 199
Упоры 115
Устранение привкуса и запаха 196
Устройство водопроводной сети 82
Утечка воды 279

Ф

Фасонные части 99
Фенолы 151, 196
Фидер-машины
Фильтры для буровых скважин 50
» медленные 174
» напорные 183
» сетчатые 49
Фильтры скорые 175
» цеолитовые 204
Фильтровальные станции 175
Фланцевые стыки 99
Флокулятор 162
Фотоэлементы
Фтор 151, 152

Х

Характеристика центробежного насоса 61
Химическое обессоливание воды 212
Хлор 137
Хлорамины 197
Хлораторная 189
Хлораторы вакуумные 192
» напорные 187
Хлорирование 187
Хлорирование дозами, согласующимися с кривой остаточного хлора 194
Хлорная известь 191
Хлорные баллоны 187
Хлорфенольный запах 197
Хранение запасов воды 229

Ц

Цветность воды 146
Цветение морской воды 40
Цеолит 203

Ш

Шахтные колодцы 52
Шламоотделитель 169
Шрифт Снеллена 146
Шуга 37

Щ

Щелочи 156, 197, 210

Э

Эжекторы 55
Эксплоатация водопроводов 278
Электроснарка 137
Эрлифты 68
Эффективная величина песка 174

Ю

Ювенильные воды 43

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Глава I. Общие данные о водоснабжении	4
§ 1. Значение водоснабжения в народном хозяйстве и характеристика водопроводов	4
§ 2. Основные исторические ступени развития водоснабжения	6
Глава II. Схемы водоснабжения, нормы водопотребления, расчетные расходы и напоры	13
§ 3. Схемы водоснабжения	13
§ 4. Расчетные расходы воды	16
§ 5. Нормы водопотребления	16
§ 6. Режим потребления воды в городе	18
§ 7. Напор в водопроводных трубах	19
§ 8. Противопожарные водопроводы	21
Глава III. Сооружения для захвата воды	24
§ 9. Природные источники водоснабжения и их характеристика	24
§ 10. Выбор места забора воды из поверхностных источников	25
§ 11. Типы водозаборных сооружений	26
А. Водозаборы с самотечными линиями	26
Б. Береговые водозаборы раздельного типа	31
В. Береговые водозаборы совмещенного типа	33
Г. Крибы	35
§ 12. Гидравлические расчеты водозаборов	36
§ 13. Ковшевые водозаборы. Глубинный лед	37
§ 14. Водозаборные сооружения на озерах и морях	38
§ 15. Способы получения воды из подземных источников	41
§ 16. Бурение скважин на воду	43
А. Буровой инструмент и оборудование	43
Б. Производство работ по бурению скважин	45
§ 17. Трубчатые колодцы и фильтры	49
§ 18. Шахтные колодцы	52
§ 19. Горизонтальные водосборы	53
§ 20. Каптаж родников (ключей)	54
Глава IV. Сооружения для подъема воды	55
§ 21. Водоподъемные устройства	55
§ 22. Характеристика центробежного насоса	61
§ 23. Параллельная работа насосов	63
§ 24. Высота всасывания. Кавитация	64
§ 25. Подъем воды из скважин центробежными насосами	66
§ 26. Эрлифты (воздушные подъемники)	68
§ 27. Насосные станции	72
§ 28. Водомеры	75
§ 29. Автоматизация управления насосными станциями	78

Стр.

Глава V. Сооружения для транспортирования и распределения воды 79

§ 30. Водоводы 79
§ 31. Трассировка и устройство водопроводной сети 82
§ 32. Расчет водопроводной сети 86
А. Расчетные расходы 86
Б. Определение диаметров трубопроводов 87
В. Определение потерь напора 88
Г. Напор в сети и пьезометрические линии 89
Д. Расчет разветвленной сети 90
Е. Расчет кольцевой сети 90
Ж. Проверка сети на пропуск пожарного расхода воды 94
З. Понятие о работе сети с контррезервуаром 95
И. Связь водопроводной сети с насосной станцией и водонапорной башней 96
К. Определение высоты водонапорной башни 96
§ 33. Трубы и фасонные части 97
А. Чугунные трубы и фасонные части 97
Б. Стальные трубы 100
В. Асбестоцементные трубы 102
Г. Железобетонные и бетонные трубы 104
Д. Деревянные трубы 105
§ 34. Оборудование водопроводной сети 108
А. Задвижки 108
Б. Пожарные гидранты 110
В. Обратные клапаны 111
Г. Воздушные вантузы 112
Д. Водоразборные колонки 112
§ 35. Сооружения на водопроводной сети 114
А. Колодцы 114
Б. Упоры 115
В. Переходы под железными дорогами 118
Г. Дюкеры 118
§ 36. Производство работ по устройству водоводов и разводящей сети 121
А. Размещение трубопроводов под проездами 121
Б. Разбивка сети на месте и нивелировочные работы 121
В. Земляные работы по рытью траншей 125
Г. Крепление траншей 128
Д. Опускание труб 132
Е. Заделка стыков чугунных труб 133
Ж. Укладка и соединение стальных труб 136
З. Засыпка траншей 138
И. Испытание (опрессовка) уложенных трубопроводов 139
К. Промывка и дезинфекция трубопроводов 140
§ 37. Производство работ по устройству дюкеров 140
§ 38. Антикоррозийная защита стальных труб 144
А. Нанесение наружной изоляции 144
Б. Катодная защита 145
Глава VI. Сооружения для очистки и обработки воды 145
§ 39. Свойства воды — физические, химические и бактериологические 145
§ 40. Требования различных потребителей к качеству воды 152
А. Требования к питьевой воде 152
Б. Требования к технической воде 152
§ 41. Осветление воды в отстойниках 155
А. Задачи и способы осветления воды 155
Б. Осаждение взвеси с коагулированием 155

Стр.

В. Камеры реакции 160
Г. Отстойники 162
§ 42. Осветлители-суспензионные сепараторы 168
§ 43. Фильтрация воды 173
А. Устройство и загрузка фильтров 173
Б. Медленные фильтры 174
В. Скорые фильтры 175
Г. Обратная промывка скорых фильтров 176
Д. Поверхностная промывка скорых фильтров 178
Е. Дренаж скорых фильтров 180
Ж. Регулирование скорости фильтрации 182
З. Автоматизация управления фильтрами 182
И. Антрацитовые фильтры 183
К. Напорные фильтры 183
Л. Пример расчета скорых фильтров 184
§ 44. Обеззараживание (дезинфекция) воды 187
А. Хлорирование. Остаточный хлор 187
Б. Напорные хлораторы 187
В. Помещение для хлораторов 189
Г. Меры для повышения съема хлора с баллонов. Большеемкая тара 189
Д. Вакуумные хлораторы 191
Е. Дезинфекция воды хлорной известью 191
Ж. Новейшие способы хлорирования 193
З. Другие способы обеззараживания воды 195
§ 45. Устранение привкусов и запахов воды 196
§ 46. Умягчение воды 199
А. Известково-содовый способ умягчения 199
Б. Умягчение воды избытком извести с последующей рекарбонизацией 202
В. Цеолитовый способ умягчения 203
Г. Комбинированный способ умягчения 209
§ 47. Обезжелезивание (деферризация) воды 210
§ 48. Обессоливание воды 211

Глава VII. Сооружения для хранения и регулирования запасов воды 213

§ 49. Водонапорные башни 213
А. Определение емкости бака водонапорной башни 213
Б. Железобетонные башни 216
В. Резервуары железобетонных башен 219
Г. Кирпичные башни 222
Д. Стальные башни 223
Е. Деревянные башни 226
Ж. Оборудование водонапорных башен 227
З. Водонапорные колонны 228
§ 50. Подземные и наземные резервуары 229
А. Назначение и типы резервуаров 229
Б. Железобетонные резервуары 229
В. Кирпичные и бутовые резервуары 232
Г. Стальные наземные резервуары 233
Д. Деревянные резервуары 233
Е. Оборудование подземных резервуаров 233
§ 51. Пневматическое водоснабжение 235
А. Пневматическое водоснабжение с переменным давлением с отдельными водяным и воздушным резервуарами 235
Б. Пневматическая установка переменного давления с общим водо-воздушным резервуаром 238

Стр

В. Пневматическое водоснабжение с постоянным давлением . . 230
Г. Определение емкости резервуаров 239
Д. Подбор насосов для пневматической установки 241
Глава VIII. Сооружения для охлаждения воды на промышленных предприятиях 243

§ 52. Схема производственного водоснабжения 243
§ 53. Градирни 245
§ 54. Бассейны с брызгалами 251
§ 55. Пруды-охладители 254
§ 56. Преимущества и недостатки охладительных сооружений разных типов 254

Глава IX. Временное водоснабжение строительств 255

§ 57. Основные потребители воды на строительной площадке 255
§ 58. Нормы водопотребления 255
А. Производственно-строительные расходы воды 256
Б. Хозяйственно-питьевые расходы воды 259
В. Расход воды для тушения пожаров 259
§ 59. Качественные требования к воде 260
§ 60. Схемы временных водопроводов 261
§ 61. Сооружения временного водопровода 264

Глава X. Водопроводные сооружения в особых условиях . . 267

§ 62. Водопроводные сооружения в сейсмических районах 267
§ 63. Водопроводные сооружения в районах вечной мерзлоты 267
§ 64. Особенности устройства водопроводных сооружений в лёссовидных грунтах 274

Глава XI. Изыскания для проектирования водоснабжения . . . 275

§ 65. Материалы для составления проекта водоснабжения 275
§ 66. Состав изыскательских работ 275
А. Топографические изыскания 275
Б. Гидрогеологические, геологические и гидрологические изыскания 276
В. Санитарные и другие исследования 277

Глава XII. Эксплоатация водопровода 278

§ 67. Организация эксплоатационной службы на водопроводе 278
§ 68. Техническая эксплоатация водопроводных сооружений 279
§ 69. Борьба с утечкой и водомерное хозяйство 279
§ 70. Ликвидация аварий на водопроводной сети 280

Литературные источники 283
Предметный указатель 284

Техн. редактор *В. С. Дахнов*

Подписано к печати 11/XI 1947 г. Печ. л. 18,5. УИЛ 18,9.
Тираж 19.000 экз. Л 88540. Формат 60×92 1/16. Учетн. № 7422.
Зак. 855.

Типография № 8 Управления издательств и полиграфии Исполкома Ленгорсовета