

А. С. Субботин

ОСНОВЫ ГИДРОТЕХНИКИ

Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для студентов вузов, обучающихся
по специальности «Гидрология суши»



Ленинград
Гидрометеиздат
1983

УДК 626/627(075.8)

Рецензенты: Кафедра водных исследований и гидравлики Одесского гидрометеорологического института (канд. техн. наук А. И. Молдованов)
д-р геогр. наук, проф. К. Е. Иванов (Ленинградский государственный университет им. А. А. Жданова)

Учебное пособие носит энциклопедический характер. Содержит наиболее важные сведения по устройству и применению главнейших общих, а также специальных гидротехнических сооружений, используемых в гидроэнергетике, мелиорации, на водном транспорте, в водоснабжении, при организации рыбного хозяйства и в борьбе с водной эрозией почв, т. е. в основных отраслях народного хозяйства, непосредственно взаимосвязанных с гидрологической наукой и практикой.

Рассчитано на студентов-гидрологов гидрометеорологических институтов и государственных университетов.

"Principles of Hydrotechnics" by A. S. Subbotin is a textbook of an encyclopaedic nature. It contains most important information on the arrangement and use of the most general and specific hydraulic structures applied to hydroenergetics, melioration, water transport, water supply, fishery, protection of soil against erosion, i. e. to the main branches of the national economy directly interrelated with hydrological science and practices.

It is intended for students—hydrologists of hydrometeorological institutes and state universities.

Александр Сергеевич Субботин

ОСНОВЫ ГИДРОТЕХНИКИ

Редактор Г. Г. Доброумова. Художник В. В. Бабанов. Художественный редактор Б. А. Денисовский. Технический редактор Т. В. Павлова. Корректор Т. В. Алексеева.

ИБ № 1525. Сдано в набор 16.04.83. Подписано в печать 08.08.83. М-38548. Формат 60×90^{1/16}. Бумага тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Печ. л. 20,0. Кр.-отт. 20,0. Уч.-изд. л. 21,27. Тираж 3720 экз. Индекс ГЛ-6. Заказ № 142. Цена 1 р. 10 к.

Ленинградская типография № 8 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 190000, г. Ленинград, Прачечный переулок, 6.

С 1903030200-102 5-83
069(02)-83

Ленинградский
Гидрометеорологический ин-т
Б. ИОТЕКА © Гидрометеониздат, 1983 г.
Л-д 193196, Малоохтенский пр., 98

ПРЕДИСЛОВИЕ

Впервые в нашей стране учебное пособие по гидротехнике для студентов гидрометеорологических вузов было написано в 1963 г.¹ С тех пор книг аналогичного назначения не издавалось, хотя за прошедшие два десятилетия произошли определенные изменения как в масштабах и технике использования водных ресурсов, так и в учебных программах многих курсов, изучаемых студентами гидрологических специальностей, что безусловно должно было найти соответствующее отражение в учебной литературе.

Содержание настоящей книги отвечает современной программе первого раздела курса «Основы гидротехники и гидрометрические сооружения» для специальности Гидрология суши, изучаемой в гидрометеорологических институтах и государственных университетах. В основу предлагаемого учебного пособия положены лекции, читаемые автором студентам Ленинградского гидрометеорологического института (ЛГМИ).

Как при чтении лекций, так и при работе над этой книгой автор постоянно помнил и учитывал, что усваивать представляемый материал, в большинстве своем посвященный различным сооружениям, должны студенты-гидрологи, не получающие в вузе достаточной подготовки по техническим дисциплинам и не знающие технического черчения. Поэтому изложение многих инженерных проблем, затрагиваемых в учебном пособии, неизбежно носит описательный характер, а приводимый иллюстративный материал сознательно предельно схематизирован. Такие особенности позволяют сделать пособие доступным для его самостоятельного усвоения студентами-гидрологами и в то же время оно дает общее представление о задачах и средствах современной гидротехники, на что как раз и нацелена программа учебной дисциплины, в соответствии с которой написана настоящая книга.

Автор приносит благодарность за полезные указания и рекомендации по рукописи проф. К. Е. Иванову и доц. А. И. Молдованову, а также Г. Н. Абаньшиной за подготовку рукописи к печати.

¹ Берг В. А. Основы гидротехники.— Л.: Гидрометеиздат, 1963.

ВВЕДЕНИЕ

Гидротехника и ее задачи. Вода относится к незаменимым природным ресурсам, ее значение в жизни общества постоянно возрастает. Во многих странах, а также в отдельных районах нашей страны дальнейшее развитие промышленности и сельского хозяйства лимитируются водным фактором, т. е. наличием пригодной к использованию воды. Под этим понимается не только потребность в каком-то объеме воды как таковой, но и воды определенного качества. Последнему требованию многие водные источники в настоящее время не удовлетворяют в связи с их загрязнением, вызванным хозяйственной деятельностью. Поэтому в индустриально развитых странах, и прежде всего в странах социализма, где вопросы охраны окружающей среды подняты на уровень государственной политики, использование воды естественно смыкается с проблемой ее охраны.

Все живое не может жить без воды. Люди использовали и будут использовать воду всегда, однако характер этого использования не остается неизменным. На ранних этапах развития человеческого общества вода предназначалась только для удовлетворения бытовых потребностей людей (питья, приготовления пищи и др.). Затем некоторые водные источники стали служить и средством сообщения. В те времена люди использовали воду исключительно там, где она была в естественных условиях, т. е. человек шел к воде, а не вода шла к человеку.

Постоянное увеличение населения земного шара и связанное с этим освоение менее удобных для жизни территорий, а также необходимость увеличения производства и прежде всего продуктов питания потребовали осуществления территориального перераспределения водных ресурсов и изъятия большого количества воды из водных источников на нужды сельского хозяйства (для орошения), а затем и на промышленные нужды. Реализация этих потребностей оказалась возможной благодаря накопленным знаниям об окружающем нас мире и развитию технической мысли, позволившей спроектировать и претворить в жизнь конструкции сооружений, без которых удовлетворение запросов человечества в воде было бы невозможным.

Отрасль науки и техники, охватывающая вопросы использования, охраны водных ресурсов и борьбы с вредным действием вод при помощи инженерных сооружений называется *гидротехникой*.

Инженерные сооружения, с помощью которых непосредственно осуществляются те или иные водохозяйственные мероприятия, называются *гидротехническими*.

Гидротехника как наука тесно связана с другими науками и во многом опирается на них. Так, для возведения гидротехнических сооружений крайне важно знать законы, управляющие движением и покоем воды. А эти законы изучаются *гидрмеханикой и гидравликой*.

Чтобы намечаемое водохозяйственное мероприятие, а также тип и размеры необходимого для его осуществления гидротехнического сооружения увязать с природными возможностями водного объекта и с уже существующим использованием этого объекта, необходимо произвести так называемые *водохозяйственные расчеты*, которые, в свою очередь, в значительной степени базируются на материалах *гидрометрии* и результатах наблюдений специализированных, в частности, воднобалансовых станций.

Поскольку гидротехнические сооружения являются инженерными сооружениями, т. е. требующими для своего строительства определенных расчетов, то при их выполнении необходимо прибегать к таким наукам, как *строительная механика, сопротивление материалов, механика грунтов, инженерная геология, строительные материалы и конструкции*.

Для размещения сооружений на местности или, как говорят, привязки их к местным условиям не обойтись без *геодезии, топографии, геологии, гидрогеологии*.

К осуществлению отдельных гидротехнических проектов могут привлекаться такие науки, как электротехника, гидробиология, гидрохимия, климатология и др.

Отрасли водного хозяйства. При широкой дифференциации потребностей современного общества в воде использование водных ресурсов идет по ряду довольно четко определившихся направлений, среди которых обычно выделяют гидроэнергетику, водный транспорт, водные мелиорации, водоснабжение и канализацию, использование водных недр и прочие направления (благоустройство городов, организация водного спорта, создание ондатровых и бобровых хозяйств и пр.).

Все вместе перечисленные выше направления использования водных ресурсов образуют в нашей стране важную отрасль народного хозяйства, получившую название *водное хозяйство*.

Таким образом, гидротехническое строительство представляет техническую основу современного водного хозяйства.

Использование водных ресурсов и гидротехническое строительство в нашей стране осуществляется в плановом порядке в интересах максимального удовлетворения постоянно растущих потребностей всего общества. Порядок использования и охраны рек, морей, озер, водохранилищ, других поверхностных и подземных водных объектов установлен «*Основами водного законодательства Союза ССР и союзных республик*», действующими с 1 сентября 1971 года. Необходимо подчеркнуть, что указанные «*Основы*» явились первым в мировой практике документом, объединившим в себе все вопросы водного законодательства одного государства, и не случайно этот документ появился именно в нашей стране, где буквально с первых лет существования Советской власти вопросы водного хозяйства находились в центре внимания государства.

На базе «*Основ*» во всех союзных республиках разработаны и действуют «*Водные кодексы*», детализирующие различные сто-

роны использования и охраны вод применительно к местным природным и хозяйственным условиям.

Важной особенностью водопользования в нашей стране является законодательно закрепленное в водных кодексах требование рационального и комплексного использования вод. Что конкретно кроется за этими часто встречающимися выражениями?

Рациональное использование — это всестороннее научно обоснованное использование вод, обеспечивающее оптимально полезный эффект для общества в текущий период и в течение принятого периода расчетной перспективы при обязательном соблюдении всех требований водного законодательства.

Рациональное использование вод должно обеспечиваться при размещении, проектировании, строительстве и вводе в эксплуатацию новых и реконструированных предприятий, сооружений и других объектов, а также при внедрении новых технологических процессов, влияющих на состояние вод.

Комплексное использование — такое использование, при котором находят экономически оправданное применение все полезные свойства того или иного водного объекта для удовлетворения разнообразных потребностей всех заинтересованных водопользователей — населения и народного хозяйства.

Комплексное использование вод имеет место при пользовании одним водным объектом несколькими водопользователями или одним водопользователем, но для нескольких целей. Например, строительство Днепрогэса им. В. И. Ленина преследовало цель не только получения электроэнергии, но и улучшение судоходства, которому для создания плотины и водохранилища препятствовали известные Днепровские пороги.

Комплексное использование вод не означает равного удовлетворения всех потребителей в воде. В большинстве случаев при комплексном использовании вод некоторым видам водопользования отдается предпочтение согласно с местными хозяйственными и природными условиями, при этом потребности населения в питьевой воде обеспечиваются в первоочередном порядке.

Задачи гидрологов в области гидротехники. Общеизвестно, что в нашей стране ведется планомерная подготовка специалистов для всех направлений использования водных ресурсов. Среди выпускников соответствующих вузов и техникумов есть, конечно, и специалисты-гидротехники. Какова же при этом роль гидрологии и конкретно инженера-гидролога по отношению к гидротехнике?

Решающее значение гидрологии как науки в обслуживании водного хозяйства и гидротехники не вызывает сомнения. Нет ни одного направления использования вод, которое не являлось бы потребителем той или иной текущей гидрометеорологической информации, гидрологических прогнозов, различных гидрологических характеристик и не предъявляло бы к гидрологии своих требований. Для удовлетворения этих требований гидрологи должны достаточно хорошо и полно представлять особенности основных отраслей водного хозяйства и применяемых гидротехнических со-

оружий. Например, трудно представить себе, что инженер-гидролог сможет квалифицированно провести исследования руслового процесса на участке реки, где планируется строительство водозаборного сооружения, если он хотя бы в общих чертах не знает устройство водозабора и гидрологических условий, при которых обеспечивается нормальная работа сооружения.

Следовательно, во-первых, гидрологи обеспечивают проектирование гидротехнических сооружений исходной информацией, состав и объем этой информации тесно связаны с видом сооружения.

Во-вторых, гидрологи являются участниками эксплуатации различных водохозяйственных систем и расположенных на них гидротехнических сооружений. Здесь прежде всего имеется в виду оросительная и осушительная системы, количество которых все время увеличивается; одновременно растет и число работающих на них инженеров-гидрологов.

В-третьих, необходимо помнить, что с каждым годом на земле остается все меньше водных объектов с не нарушенным хозяйственной деятельностью гидрологическим режимом. Поэтому специалисты гидрологи должны иметь представление о том, как различные гидротехнические сооружения влияют на естественный режим водоисточников с тем, чтобы правильно учитывать указанное влияние при изучении таких водных объектов.

Наконец, в-четвертых, некоторые гидротехнические сооружения обладают водомерными свойствами. Такие сооружения (ГЭС, водозаборы и др.) могут и должны использоваться гидрологами для учета стока, что во многих случаях ведет к повышению точности получаемых результатов по сравнению с результатами, которые дают традиционные гидрологические способы измерения расходов воды.

Краткая история развития гидротехники. Районы водных потоков и естественных водоемов являлись местами поселения человека еще в первобытное время, что и понятно, поскольку реки, озера и моря удовлетворяли потребности человека в воде и пище и служили естественными путями сообщения.

С развитием земледелия в рабовладельческих государствах Юго-Востока и Востока появлялась необходимость в орошении засушливых земель, удовлетворение которой потребовало сооружения каналов. Известно орошение в долине р. Нил в Египте за 4400 лет до н. э. и в Китае за 2280 лет. За 4000—3000 лет до н. э. существовал водопровод в городах Вавилона, а обвалование территорий на землях современной Голландии — за 2000 лет до н. э. На современной территории СССР в древних государствах Хорезм и Урарту оросительные каналы строились в VIII—VI вв. до н. э.

В феодальный период развитие торговли и ремесла потребовало улучшения путей сообщения и использования энергии воды. В XIII и XIV вв. в Западной Европе появляются более совершенные водяные мельницы, строятся шлюзы на водных путях и в портах. В Киевской Руси водяные мельницы были известны в IX—XIII вв. В XI, XII вв. в Новгороде существовал водопровод из

деревянных труб. В 1633 г. в Московском Кремле действовал уже настоящий водопровод.

В XVII и XVIII вв. в период мануфактур почти все отрасли промышленности базировались, как правило, на гидравлических установках. Получили большое развитие водные пути. Было построено много судоходных каналов во Франции, Германии, в Англии. В России этот период — до начала XIX в. — был периодом расцвета гидротехники. Эпоха Петра I ознаменовалась мощным подъемом русской промышленности. Гидросиловые установки строились на Урале, Алтае, в Карелии, Забайкалье, в центральных частях России. Наряду с промышленностью велось крупное строительство водных путей. При Петре I было осуществлено соединение р. Оки с верховьями р. Дона Иванковским каналом, соединение Волги с Балтийским морем Вышневолоцкой системой через реки Тверцу, Цну, Мсту, оз. Ильмень и р. Волхов (1703—1722 гг.), построены Приладожские каналы (1732 г.), каналы в Петербурге и др.

Изобретение паровой машины и железных дорог в начале XIX в. привело к ослаблению интереса к громоздким гидросиловым установкам и водным путям. Новый и резкий подъем гидротехнического строительства относится уже ко второй половине и концу XIX в., когда были изобретены современные гидравлические машины с высоким КПД (турбины Френсиса в 70-х годах, Пельтона в 1880 г.). Электричество начало широко внедряться во все отрасли жизни. Рост крупных городов требовал снабжения их огромным количеством воды и удаления сточных вод.

В России развитие капитализма запаздывало по сравнению с западными странами. Лишь в последней трети XIX в. начался бурный рост производительных сил. Однако сколько-нибудь крупных гидротехнических проектов в это время в царской России реализовано не было.

Богатейшие водные ресурсы нашей страны были поставлены на службу народу только после Великой Октябрьской социалистической революции. Уже в 1918 г. В. И. Ленин подписал декреты о строительстве Волховской и Свирской гидроэлектростанций. В 1920 г. была создана Государственная комиссия по электрификации России (ГОЭЛРО). В 1932 г. пущен ДнепрогЭС, а всего за две первые пятилетки введены в эксплуатацию 32 крупных ГЭС. За 1 год 9 месяцев (1931—1933 гг.) был построен Беломорско-Балтийский канал длиной 227 км. В 1932—1937 гг. построен канал им. Москвы длиной 128 км, соединивший реки Волгу и Москву. Значительно увеличилась площадь орошаемых и осушаемых земель.

Особенно грандиозные гидротехнические проекты стали осуществляться вскоре после Великой Отечественной войны и в настоящее время, примером чему могут служить комплекс сооружений Волго-Донского канала, а также гидроэлектростанции Волжская им. XXII съезда КПСС мощностью 2,5 млн. кВт, Братская 4,5 млн. кВт, Красноярская им. 50-летия СССР 6 млн. кВт, Саяно-Шушенская 6,4 млн. кВт и другие сооружения.

XXVI съезд КПСС, утвердив «Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 г. и на период до 1990 г.», наметил значительный подъем всех отраслей народного хозяйства, в том числе и водного. В частности, в пределах указанных сроков планируется осуществить такое грандиозное мероприятие, как подготовка к переброске части стока северных рек в бассейн Волги. Будут строиться новые крупные гидроэлектростанции на реках Сибири, Дальнего Востока и Средней Азии, а на европейской части СССР гидроаккумулирующие электростанции. Продолжатся исследовательские и проектно-изыскательские работы по приливным электростанциям. Увеличится площадь мелируемых угодий и в 1985 г. достигнет 36,3 млн. га, из них орошаемых 20,8 млн. га, осушенных 15,5 млн. га. Возрастет мощность систем оборотного и повторного использования вод, а также очистных сооружений, подготавливающих бытовые и промышленные стоки для сброса их в водоемы.

Осуществление этих и других водохозяйственных мероприятий безусловно будет способствовать дальнейшему техническому совершенствованию и объемному росту гидротехнического строительства в нашей стране.

Глава 1. Общие сведения о гидротехнических сооружениях

1.1. Классификация. Гидроузлы

Разные отрасли водного хозяйства предъявляют к конструкции гидротехнических сооружений свои специфические требования. Несхожесть природных и хозяйственных условий, в которых приходится работать даже одинаковым по назначению сооружениям, вынуждает проектировщиков еще больше разнообразить конструктивные решения плотин, каналов, шлюзов и т. п. Поэтому в настоящее время известно много весьма различных гидротехнических сооружений. Для систематизации и тем самым облегчения изучения сооружений их принято группировать (классифицировать) по ряду признаков.

По роду водоема, источника воды сооружения подразделяются на *речные, озерные и морские*. Поскольку настоящее учебное пособие адресовано гидрологам суши, то в нем главным образом рассматриваются речные гидротехнические сооружения.

По водохозяйственному назначению все гидросооружения делятся на *общие*, применяемые в двух или нескольких различных отраслях водного хозяйства, и *специальные*, используемые только в одной отрасли водного хозяйства.

В свою очередь общие гидросооружения по своему целевому назначению делятся на следующие виды: *водоподпорные*, создающие подпор воды, например в реке (плотины и некоторые дамбы, работающие как плотины); *водопроводящие*, т. е. искусственные русла (каналы, туннели, лотки, трубопроводы); *регуляционные*, устраиваемые с целью регулирования режима водного потока, защиты его дна и берегов от размыва.

Наиболее важным типом общего гидросооружения является плотина.

Специальные гидросооружения делятся по отраслям водного хозяйства следующим образом: *гидроэнергетические* (здания ГЭС, уравнильные резервуары, строящиеся при некоторых ГЭС, и т. п.); *воднотранспортные* (судоходные шлюзы, судоподъемники, пристани, лесосплавные лотки и т. п.); гидросооружения *водоснабжения и канализации* (насосные станции, очистные сооружения, каптажи и т. п.); *гидромелиоративные*, предназначенные для целей инженерных мелиораций (шлюзы-регуляторы, дренажные устройства и т. п.); гидросооружения *рыбного хозяйства* (рыбоходы, рыбоводные пруды и т. п.); гидротехнические сооружения, выполняющие *защитные функции* (от наводнений, селей, эрозии, оползней и т. д.); особую группу специальных гидротехнических сооружений составляют *гидрологические расходомеры*, т. е. устройства для измерения расходов воды на малых и средних водотоках (эти сооружения относят к гидрометрическим; их изучают во втором разделе курса «Основы гидротехники и гидрометрические сооружения»).

По основному строительному материалу, используемому при создании гидросооружений, они подразделяются на сооружения: а) из местных строительных материалов (земляные, деревянные, каменные); б) из дальнепривозных материалов (бетонные, железобетонные, металлические).

Гидроузлы. Широко практикуемое в нашей стране комплексное использование водных ресурсов приводит к тому, что перечисленные выше различные по водохозяйственному назначению

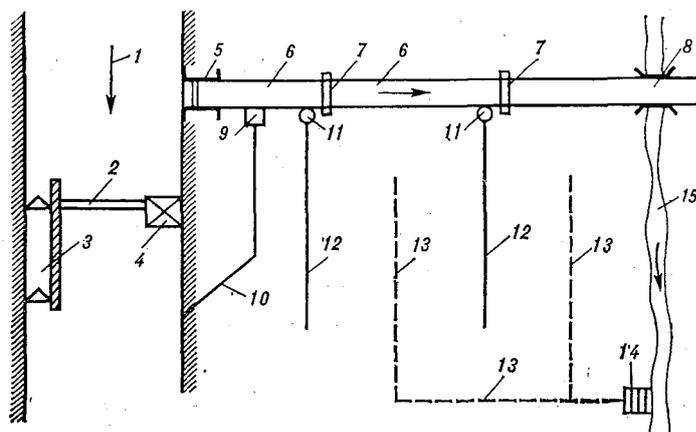


Рис. 1.1. Простейшая схема речного гидроузла и оросительной системы.

1 — река; 2 — плотина; 3 — судоходный шлюз; 4 — ГЭС; 5 — водоприемник оросительной системы; 6 — магистральный оросительный канал; 7 — подпорный шлюз; 8 — акведук; 9 — сбросной шлюз; 10 — сбросной канал; 11 — шлюз-регулятор; 12 — распределительный межхозяйственный канал; 13 — осушительная сеть; 14 — многоступенчатый перепад; 15 — овраг.

гидротехнические сооружения обычно группируются в те или иные комплексы по несколько сооружений для совместного выполнения ряда водохозяйственных функций. Такие комплексы называются гидроузлами. Упрощенная безмасштабная схема одного из гидроузлов приведена на рис. 1.1.

Если несколько гидроузлов совместно и взаимосвязанно решают комплекс водохозяйственных проблем на значительной территории, т. е. являются объединенными (географически, экономически, организационно) в общую систему, то эта система носит название водохозяйственной системы или гидросистемы. Ярким примером гидросистемы может служить р. Волга с расположенными в ее бассейне крупными гидротехническими комплексами.

1.2. Нормативные документы по строительству.

Капитальность сооружений

В стремлении повысить качество и снизить стоимость строительства гидротехнических сооружений путем внедрения рациональных условий проектирования и прогрессивных сметных норм,

а также правил производства и приемки работ и эксплуатации сооружений у нас в стране созданы различные руководящие документы.

Прежде всего следует отметить *ведомственные нормативные документы*, так называемые «Технические условия и Нормы» (ТУ и Н) или «Указания», которые создаются различными министерствами и ведомствами и являются обязательными только внутри этих ведомств, а иногда даже вовсе не обязательными и носящими только характер рекомендаций. В указанных документах устанавливаются соответствующие методы расчета, комбинации действующих на сооружения сил, с учетом которых следует вести расчеты, значения различных коэффициентов запаса и т. п.

Помимо отмеченных ведомственных норм существуют еще общегосударственные нормы проектирования, издаваемые (или утверждаемые) Государственным Комитетом Совета Министров СССР по делам строительства (Госстрой СССР). Эти нормы в части строительного проектирования расчленяются на две группы.

1. Строительные нормы и правила (СНиП). Каждый отдельный СНиП имеет свой шифр. Например, СНиП II—50—74. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования, изд. 1975 г.

2. Инструкция, указания и технические условия по строительному проектированию, например, СН 435—72. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик.

В отличие от СН в СНиПах, как правило, фиксируются наиболее важные (принципиальные) положения. СНиП и СН являются обязательными нормами для всех министерств и ведомств. Разумеется, перечисленные выше нормативные документы охватывают далеко не все вопросы, с которыми приходится встречаться на практике. Однако вопросы проектирования, которые освещены в соответствующих нормах, необходимо решать именно так, как указано в этих нормах.

При этом следует учитывать, что с течением времени нормативные документы, естественно (в связи с развитием науки и совершенствованием техники), изменяются; перечень действующих общесоюзных нормативных документов по строительству ежегодно публикуется Госстроем СССР.

В связи со сложностью условий, в которых приходится работать большинству гидротехнических сооружений, при расчете отдельных их частей и сооружений в целом оказывается практически невозможным учесть все факторы, определяющие эту работу. Ввиду указанного, в расчеты приходится вводить соответствующие коэффициенты запаса, учитывающие также недостаточность исходных данных, несовершенство методов расчета и т. п.

Очевидно, для более ответственных сооружений надо рекомендовать большие коэффициенты запаса, использовать более точные, а следовательно, более сложные методы расчета, прово-

дить более подробные изыскания и т. п. Для менее ответственных сооружений работа значительно упрощается.

Таким образом, в зависимости от ответственности сооружения подход к его проектированию получается различным, поэтому возникает вопрос об определении ответственности гидротехнических сооружений. Ответ на этот вопрос содержится в СНиПах, где имеются специальные классификации, в частности для речных гидросооружений в СНиПе II—50—74.

В соответствии с указанными нормативными документами гидротехнические сооружения различного водохозяйственного назначения делятся на *постоянные* и *временные*, используемые только в период строительства или ремонта постоянных сооружений.

Постоянные сооружения (основные и второстепенные) в зависимости от их народнохозяйственного значения (т. е. в зависимости от мощности ГЭС, навигационного грузооборота, площади мелиорируемых земель и т. п.) расчленяют согласно особым таблицам, приводимым в упомянутых СНиПах, на *четыре класса капитальности*, причем к первому классу относятся наиболее ответственные сооружения. Временные сооружения являются сооружениями четвертого класса капитальности.

Приступая к проектированию того или другого сооружения, прежде всего в соответствии со СНиПом необходимо установить класс капитальности данного сооружения, от которого зависят, в частности, значения различных параметров, принимаемых для этого сооружения, например, значение обеспеченности максимального расчетного расхода воды и др.

1.3. Специфика гидротехнических сооружений

Воздействие воды на сооружения. От других инженерных сооружений гидросооружения отличаются тем, что они несут свою службу, находясь в воде, которая оказывает на них механическое, физико-химическое и биологическое воздействие.

Механическое действие воды на сооружение сказывается в виде давления — гидростатического и гидродинамического. Давление воды является основной нагрузкой большинства гидросооружений, определяющей их размеры и формы.

Но вода оказывает механическое давление на гидротехнические сооружения не только как жидкость. В холодный период ледяной покров, образующийся в водоемах, может производить статическое давление при повышении температуры льда и динамическое — в виде ударов плывущих льдин.

Наносы, влекаемые потоком, осаждаясь перед гидросооружениями, также создают на них статическое давление, действующее в ту же сторону, что и напор воды.

Физико-химическое действие воды сказывается на материале сооружения и на водопроницаемом грунте основания. Так, движущаяся с большими скоростями вода, особенно если она

влечет с собой наносы, истирает поверхности сооружения, разрушает речное ложе; металлические части подвергаются коррозии, вследствие чего полезная толщина их постепенно уменьшается. Бетонные части сооружений, находясь под действием фильтрующей через них воды, могут разрушаться в результате выщелачивания из них несвязной (свободной) извести, если вода обладает агрессивными (по отношению к бетону) свойствами.

Биологическое действие сказывается в разрушительной деятельности живущих в воде различных микроорганизмов. Последняя выражается в гниении дерева и истачивании его морской шашелью, в разрушении камня в морской воде камнеточцем.

Строительные условия. Условия постройки гидротехнических сооружений в реке очень сложны. В период строительства, например плотины, возникает необходимость пропускать через створ гидроузла расходы воды, которые во время паводков могут быть очень большими. Иногда приходится работать под водой. Сами объемы работ по гидросооружениям обычно очень велики; для сооружения гидроузла средних размеров они исчисляются по земле и камню миллионами кубометров, по бетону и дереву — сотнями тысяч кубов, по металлу — тысячами тонн. Поэтому строительные работы требуют широкой механизации и притом сравнительно длительных сроков для их выполнения (обычно нескольких лет).

Индивидуальность гидросооружений. Гидротехнические сооружения по своим размерам, форме и условиям работы теснейшим образом связаны с топографическими, геологическими и гидрологическими условиями места постройки. Можно сказать, что именно такого рода местные условия очень часто определяют тип и конструкцию проектируемого гидросооружения. А так как отмеченные условия всюду различны, то относительно крупные гидросооружения всегда индивидуальны. В гидротехническом проектировании поэтому не может быть, как правило, шаблона и в каждом отдельном случае гидротехническая задача решается своеобразно на основе глубокого изучения местных условий путем специальных изысканий и исследований. Только сравнительно мелкие гидросооружения, а также некоторые отдельные части крупных гидросооружений иногда удается стандартизировать.

Стоимость гидротехнических сооружений. Единовременные затраты на строительство гидротехнического сооружения (в связи с условиями, отмеченными выше), как правило, относительно большие. Вместе с тем прямые расходы по эксплуатации этого сооружения (эксплуатационные расходы) низкие. Благодаря этому большие капитальные затраты, связанные с созданием того или иного гидросооружения (ГЭС, мелиоративной системы и т. п.), относительно быстро окупаются.

Влияние гидросооружений на прилегающий район. Ни один вид инженерного строительства так не преобразует природу, не меняет лица земли, как гидротехническое: на карте появляются новые рукотворные озера и «моря» (водохранилища), реки соединяются судоходными каналами, безводные степи и пустыни благо-

даря орошению превращаются в цветущие края, на месте осушенных болот появляются культурные хозяйства, прекращаются бурные ежегодные наводнения в речных долинах, благоприятно изменяется даже климат районов.

Строя обычное промышленное или гражданское сооружение, мы в большинстве случаев интересуемся только той точкой местности, в которой располагается данное сооружение. Что касается достаточно крупного гидротехнического сооружения, то при его строительстве приходится интересоваться часто большим окружением его районом, обращая при этом внимание на экономику района, транспорт, энергетику, сельское хозяйство, промышленность и т. п.

Ответственность гидротехнических сооружений. Последствия аварии гидросооружения (например, прорыв большой плотины на реке) могут быть исключительно велики. В отличие от промышленных, транспортных и других сооружений ущерб от аварий которых во многих случаях оценивается стоимостью восстановления разрушенных частей самого сооружения, ущерб от аварии подпорного гидросооружения обычно во много раз превосходит его стоимость, так как при этом разрушаются и другие сооружения на реке и ее берегах, парализуется деятельность хозяйственных предприятий целых районов, базировавшихся на данном гидросооружении, восстановление же последнего требует обычно ряда лет.

Это обстоятельство заставляет считать гидросооружения весьма ответственными сооружениями, проектирование, строительство и эксплуатация которых требует исключительного внимания.

Как часто все же происходят аварии с гидротехническими сооружениями? Французские специалисты дают такой ответ на этот вопрос. Начиная с VIII в. каждые пять лет разрушалась одна плотина. За сорокалетний срок, предшествовавший 1975 г., количество аварий значительно увеличилось и составляло примерно одну катастрофу в среднем с 50 человеческими жертвами каждые 15 месяцев. Причиной этого является строительство все более высоких плотин с большими водохранилищами в сложных природных условиях.

Гидротехнические объекты могут быть источником колоссальных бедствий и не по причине непосредственного разрушения сооружений. Вот пример. Спустя несколько лет после окончания строительства высотной плотины и заполнения водой водохранилища «Вайонт» в Италии, 9/X 1963 г. 240 млн. м³ скальных и рыхлых пород соскользнуло в водохранилище с прилегающего склона. Только 15 с понадобилось для полного заполнения грунтом чаши водохранилища, выплескивания воды на противоположный склон на высоту 260 и 100 м над плотинной. Плотина осталась стоять, но... только мертвым памятником трем тысячам жертв, погибших в этой катастрофе.



Раздел первый ПЛОТИНЫ

Глава 2. Классификация плотин

Как отмечалось в предыдущей главе, плотины являются общими гидросооружениями, по целевому назначению относятся к водоподпорным сооружениям и являются среди них наиболее важными.

Водоподпорным называется сооружение, удерживающее с одной стороны воду на более высоком уровне, чем с другой. Часть водного объекта по ту сторону водоподпорного сооружения, где имеется более высокий уровень воды, называется верхним (подпертым) бьефом, а по другую сторону — нижним бьефом. Разность уровней верхнего и нижнего бьефов называется напором на сооружении.

Плотиной называется водоподпорное сооружение, перегораживающее русло или долину реки.

Водоподпорные сооружения, устраиваемые по берегам рек для защиты земель от затопления, носят название дамб или валов.

К водоподпорным сооружениям относится также ряд специальных сооружений, например, судоходные шлюзы и шлюзы-регуляторы на оросительных и осушительных системах, плотоходы и некоторые другие.

Плотины принято классифицировать по нескольким признакам.

По цели устройства. Различают две основные цели устройства плотины:

а) поднятие уровня воды в реке на некоторую высоту и регулирование этого уровня, что достигается строительством *водоподпорной* плотины. Устройство такой плотины бывает необходимо для создания напора на ГЭС, улучшения условий отбора воды из реки в различные водоприемники (например, для подачи на орошение), удовлетворения требований судоходства (путем увеличения глубин и уменьшения скоростей течения), обеспечения необходимого санитарного режима и т. п.;

б) создание хранилища воды, что достигается строительством *водохранилищной* плотины. Устройство таких плотин преследует цель получить водоем, необходимый, например, для рыбного хозяйства, устройства речного порта и т. п.

Во многих случаях одну и ту же плотину устраивают и для поднятия уровня воды в реке, и для образования водохранилища. Такая плотина будет и водоподъемной, и водохранилищной.

По возможности пропуска воды. В зависимости от пропуска воды через створ плотины различают:

а) *глухие* плотины, непосредственно через которые вода не пропускается; в этом случае при необходимости подачи воды в нижний бьеф ее пропуск осуществляется через так называемые береговые водопропускные сооружения или водопропускные сооружения, хотя и устроенные в теле плотины (или ее основании), но имеющие весьма малую ширину (сравнительно с длиной плотины);

б) *водосбросные* плотины, через которые относительно широким фронтом осуществляется сброс воды в нижний бьеф.

Очень часто в состав речного гидроузла входит водосбросная плотина, сопрягающаяся с берегами посредством одной или двух глухих плотин.

По основному материалу. По этому признаку плотины могут быть подразделены на следующие типы:

а) из грунтовых строительных материалов строят: *земляные* плотины, основным материалом которых является земля, т. е. песчано-глинистый, песчаный и тому подобные грунты; плотины из *каменной наброски* и из *сухой каменной кладки*, в основном выполняемые из камня без применения вяжущих средств; *каменно-земляные* плотины, в которых применены земля и каменная наброска; *каменные* плотины, выполняемые из каменной (бутовой) кладки на растворе, широко распространенные в прошлом; в настоящее время не строятся из-за невозможности комплексной механизации процесса кладки;

б) *бетонные* плотины;

в) *железобетонные* плотины, в которых в основном применен железобетон, хотя имеются и бетонные элементы;

г) *деревянные* плотины, имеющие обычно каменную или земляную загрузку;

д) плотины из прочих материалов (стали, синтетической пленки и т. д.) и комбинированные из различных материалов.

По высоте создаваемого напора. Принято выделять *низконапорные плотины* с напором менее 25 м, *средненапорные* — с напором от 25 до 75 м и *высоконапорные* — с напором более 75 м.

Следует отметить, что указанные границы выбраны несколько условно, однако сведения о высоте плотины несут много полезной информации. В частности, можно сделать вывод о назначении гидроузла, в который входит плотина, и о составе других сооружений, образующих этот гидроузел. Так, низконапорные гидроузлы строятся обычно в целях водозабора или для судоходства, но на равнинных реках бывают и энергетическими. Средненапорные гидроузлы чаще всего бывают энергетическими и транспортно-энергетическими (рис. 2.1). Высоконапорные узлы в основном строятся для нужд энергетики и регулирования стока в разных водохозяйственных целях.

По характеру основания. Различают плотины, построенные на *мягких грунтах* (проницаемых, не скальных) и на *скальных грунтах*.

От вида грунта основания зависит характер фильтрации воды

под плотиной, способ расчета параметров фильтрационного потока и выбор средств борьбы с фильтрацией, а в конечном счете свойства грунта влияют на устойчивость плотины и возможность создания максимального напора.

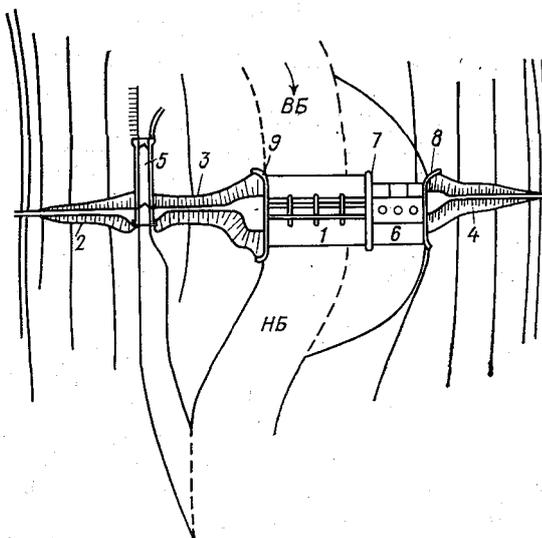


Рис. 2.1. Транспортно-энергетический гидроузел среднего напора на равнинной реке.

1 — водосброс; 2, 3, 4 — глухие плотины; 5 — судоходный шлюз; 6 — здание ГЭС; 7 — раздельный бык; 8, 9 — сопрягающие устои.

Наконец, плотины могут различаться по конструктивным признакам, о чем более подробно будет сказано в следующих главах книги.

Глава 3. Взаимодействие плотины с рекой и речным руслом

3.1. Характерные уровни воды в верхнем бьефе плотины

В общем случае различают три характерных уровня воды в верхнем (подпертом) бьефе плотины (рис. 3.1.): уровень мертвого объема (УМО), нормальный подпорный уровень (НПУ), форсированный подпорный уровень (ФПУ), который, как правило, превышает над нормальным подпорным уровнем на высоту a , называемую высотой форсировки уровня воды в верхнем бьефе.

Эти три уровня выделяют три призмы водохранилища, образованного плотиной: призму *I* называют мертвым объемом, призму *II* — полезным объемом, призму *III* — резервным объемом.

Мертвый объем является запасной емкостью, рассчитанной на постепенное заполнение наносами вследствие заиления водохра-

нилища, а также на прочие надобности: зимовку рыбы, обеспечение нормальных санитарных условий, пожаротушение и др. В зависимости от мертвого объема устанавливается отметка УМО.

Полезный объем — это объем водохранилища, который используется для различных хозяйственных (т. е. полезных) целей: подачи воды на орошение, увеличения в маловодный период расходов и уровней воды в нижнем бьефе, аккумуляции паводков для борьбы с наводнениями и т. п.

Необходимый полезный объем и отметка НПУ, которая определяет этот объем, устанавливаются с учетом различных экономических и хозяйственных соображений. Более подробно указанные вопросы изучаются в курсе «Водное хозяйство и водохозяйственные

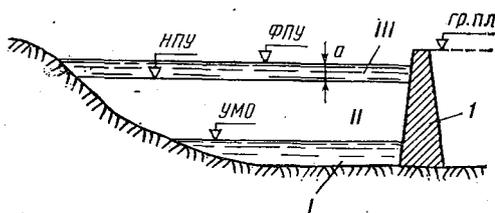


Рис. 3.1. Характерные уровни воды в верхнем бьефе плотины 1.

I — мертвый объем; II — полезный объем; III — резервный объем.

расчеты». При проектировании плотины отметка НПУ считается заданной.

Резервный объем, располагающийся между НПУ и ФПУ, целиком определяется (при заданной отметке НПУ) отметкой ФПУ. Форсированный подпорный уровень есть такой уровень, при котором через полностью открытые водосбросные отверстия плотины (и имеющиеся береговые водосбросы) проходит максимальный расчетный расход воды.

Значение ФПУ устанавливается технико-экономическим расчетом, учитывающим ущерб от временного затопления земель в верхнем бьефе за период, когда уровень находится выше НПУ, и стоимость той или иной конструкции водопропускных сооружений плотины, обеспечивающих прохождение максимального расчетного расхода воды.

3.2. Действие речного потока на плотину

Кроме тех видов воздействия, которые вода оказывает на любое гидросооружение (см. п. 1.3), плотины испытывают со стороны водного потока ряд дополнительных действий, последствия которых учитываются в конструкциях рассматриваемых сооружений.

В верхнем бьефе у плотины поток имеет обычно скорости течения меньше, чем они были до создания подпора. Однако на подходе к водосбросным отверстиям местные скорости возрастают и при известном их значении возможны размывы русла, способные привести к нарушению устойчивости плотины (рис. 3.2). Для защиты русла от размыва перед плотиной устанавливается специальное покрытие, носящее название *понура*. Другое назначение понура — борьба с фильтрацией воды под сооружением (см. п. 4.1).

В пределах плотины вода движется с очень большими скоростями (иногда более 20 м/с), оказывая на сооружение динамическое воздействие ввиду возникающих пульсаций потока, его изгиба соответственно форме слива, местных сопротивлений, вакуумов и пр. Сведение этих воздействий до возможного минимума достигается путем подбора плавных форм тех поверхностей сооружения, по которым движется поток.

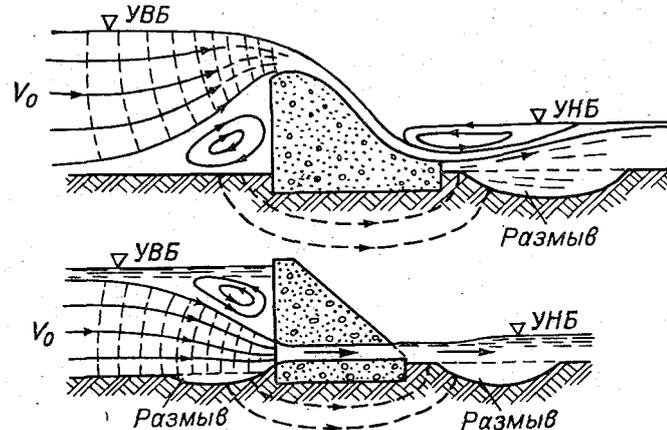


Рис. 3.2. Воздействие потока на подпорное сооружение и русло.

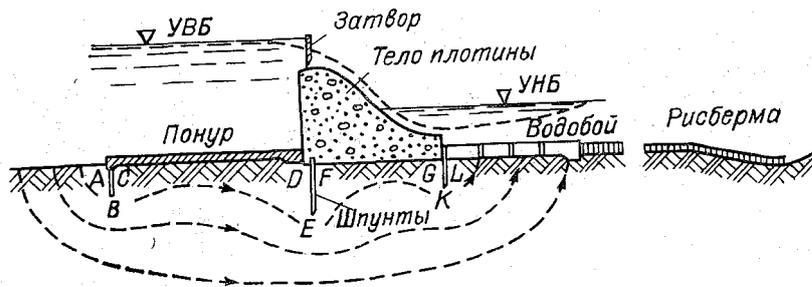


Рис. 3.3. Схема защиты плотины от воздействия на нее водного потока.

В нижнем бьефе за плотиной значительная кинетическая энергия потока, пропорциональная расходу воды и квадрату скорости, неизбежно разрушает русло, вызывает глубокие размывы даже скального грунта дна реки, что будет угрожать целостности плотины. Поэтому принимаются меры гашения избыточной кинетической энергии и защиты русла от разрушения специальными покрытиями.

Для этого непосредственно за водосливом плотины укладывают массивную плиту, называемую *водобоем*. На нем теряется основная часть кинетической энергии путем образования вальцов при сопряжении потока с водой нижнего бьефа, а также благо-

даря расщеплению потока на отдельные струи и взаимному перемешиванию струй, для чего на водобое часто устраивают специальные выступы, пороги, стенки. За водобоем следует обычно гибкое, проницаемое для воды покрытие, называемое *рисбермой*, на которой скорости потока доводятся до величин, не опасных для грунта русла (рис. 3.3).

3.3. Действие плотины на речной поток

Плотины, образующие водохранилища, особенно крупные, приводят к коренным преобразованиям водного режима, увлажненности и микроклимата прилегающих к ним территорий, вызывая



Рис. 3.4. Схема подъема уровня грунтовых вод и подтопления земель.

изменение их флоры и фауны. Остановимся на основных изменениях, происходящих выше и ниже плотины в реке и речном русле.

Подпор, созданный плотиной, распространяется на значительные расстояния, вызывая увеличение глубин в реке и уменьшение скорости течения, что приводит к разнообразным последствиям. Так, повышаются уровни грунтовых вод в речных поймах, долинах и в прибрежной зоне водохранилищ. Это явление в большинстве случаев отрицательно сказывается на окружающей среде, так как сопровождается заболачиванием территории, выпадением лесов по берегам водохранилищ в северных районах, засолением почв в южных районах, всплыванием торфяников и др. (рис. 3.4).

В связи с уменьшением по мере приближения к плотине скорости течения потока в водохранилище происходит выпадение из воды наносов, которые сортируются по крупности сообразно со скоростями течения, т. е. с постепенным уменьшением крупности по направлению к плотине.

Помимо наносов, приносимых рекой, твердый материал поступает в водохранилище за счет обрушений берегов вследствие размывающего действия волн, вследствие оползней, осыпей и обвалов крутых берегов. Все эти процессы приводят к так называемому переформированию берегов водохранилищ и образованию пологих «пляжей» в прибрежной зоне.

В связи с отложением наносов емкость водохранилища уменьшается, причем темпы такого уменьшения зависят от количества

наносов, от емкости водохранилища, условий работы последнего и других факторов. Отмечаются случаи, когда построенное водохранилище заиляется за относительно короткий срок — за несколько лет; например, подпорный бьеф Земо-Авчальской ГЭС на р. Куре в течение 5 лет был заилен на 60 %, Штеровское водохранилище на р. Миус (Донбасс) за такой же период на 85 %, Гиндукушское водохранилище в Средней Азии почти полностью занесено за 13 лет.

Вместе с тем в литературе приводятся также примеры водохранилищ, которые почти не заиляются; к ним относится водохранилище одной из высочайших в мире плотин Боулдер (на р. Колорадо), которое в соответствии с проведенными расчетами должно заполниться илом только через 445 лет.

Заиление наших крупных водохранилищ на Волге, Дону и других равнинных реках будет идти очень медленно и практически, за исключением явлений в хвостовых участках, не имеет значения.

Откладывающиеся наносы не только уменьшают полезную емкость водохранилища и создают в хвостовой его части затруднения для судоходства, но и приводят к постепенному подъему уровня воды в верхнем бьефе, а также более дальнему от плотины распространению кривой подпора, что вызывает увеличение затоплений земель. В частности, в зоне переменного подпора может оказаться гидрологический (водомерный) пост, который до строительства плотины и наполнения водой водохранилища находился на свободном участке реки.

Поэтому при проектировании и эксплуатации водохранилищ на реках с повышенным содержанием наносов приходится интересоваться вопросами заиления водохранилищ, а в ряде случаев намечать соответствующие меры по борьбе с этим явлением.

Если ситуация такова, что насыщенность водного потока наносами значительно уменьшается за счет осаждения их в зоне водохранилища, то тогда в нижний бьеф водоподпорного сооружения поступает осветленная вода. В результате устойчивость русла в нижнем бьефе, установившаяся в предшествующий строительству плотины период, нарушается, так как поток начинает интенсивно размывать русло и насыщаться наносами в соответствии со своей «транспортирующей способностью». При этом дно русла нижнего бьефа будет несколько понижаться, иногда на значительное расстояние от плотины (десятки и даже сотни километров). Снижение дна русла в нижнем бьефе может вызвать: а) нарушение устойчивости мостовых опор; б) понижение уровня грунтовых вод в берегах, что сопровождается, в частности, обсыханием колодцев; в) ухудшение работы ранее построенных водозаборов.

После строительства плотины существенно меняется и ледотермический режим на участке реки, оказавшейся в зоне распространения подпора. В верхнем бьефе вследствие резкого замедления скоростей течения быстрее наступает ледостав, ледяной покров достигает большей толщины, чем имел место до строитель-

ства сооружения, затягиваются сроки вскрытия, что отрицательно сказывается на условиях судоходства и даже может оказать влияние на микроклимат прилегающей территории.

Накопление больших объемов воды способствует аккумуляции в водохранилищах дополнительного тепла (впрочем, мало влияющего на ледовый режим верхнего бьефа). Это тепло, поступая с водой в нижний бьеф, вместе с высокими скоростями потока зимой замедляет формирование за плотинной ледяного покрова, приводя к образованию полыней. Последние, как известно, при определенных метеорологических условиях являются «фабриками шуги». Шуга же, перемещаясь водным потоком в больших количествах на нижележащие участки реки, где установился ледяной покров, способствует образованию зажоров, приводящих к зимним наводнениям и образованию обширных наледей, иногда приносящих значительный ущерб народному хозяйству (выход из строя дорог, мостов, линий электропередач и связи и т. п.).

Глава 4. Фильтрация воды под плотинами

4.1. Причины фильтрации и ее последствия

Основания плотин — различные горные породы — обычно в той или иной мере проницаемы для воды (в том числе и скальные). Естественно поэтому, что после поднятия плотинной уровня воды в реке основание сооружения насыщается водой, которая движется по порам и трещинам из зоны большего давления в зону меньшего давления, т. е. из верхнего бьефа в нижний. Это движение называется фильтрационным или фильтрацией воды.

Область фильтрации под напорным гидротехническим сооружением ограничивается сверху поверхностями сооружения, которыми оно соприкасается с грунтом основания и берегов, а снизу — кровлей водоупора (иногда водоупор отсутствует на практически достижимой глубине). Входной поверхностью фильтрационного потока является дно верхнего бьефа, выходной — дно нижнего бьефа и проницаемые для воды части сооружения (рисберма, дренажные устройства и пр.).

Фильтрация воды под сооружением является напорной, так как свободная поверхность фильтрационного потока отсутствует. Линия контакта сооружения с грунтом основания по направлению продольной оси потока называется *подземным* или *фильтрационным* контуром, который обычно представляет собой ломаную линию (на рис. 3.3 линия *ABCDEFGL*).

Фильтрация воды под напорными гидротехническими сооружениями имеет следующие последствия:

1) происходит потеря (утечка) воды из водохранилища в нижний бьеф;

2) фильтрующаяся вода оказывает гидростатическое давление на подошву сооружения, направленное снизу вверх и называе-

мое обычно противодействием ввиду направленности его противоположно силе тяжести. Противодействие как бы облегчает сооружение, уменьшает его вес и сопротивление сдвигающим сооружение горизонтальным силам;

3) фильтрующаяся вода может механически и химически действовать на грунт, слагающий основание сооружения, увлекая за собой мелкие частицы, а соли растворяя и унося их в нижний бьеф. В первом случае процесс называется *механической суффозией* грунта, а во втором — химической суффозией. Начавшаяся суффозия делает грунт основания более проницаемым для воды, скорости фильтрации возрастают, фильтрующийся поток оказывается способным выносить частицы большего размера и при дальнейшем развитии явления может закончиться разрушением основания и аварией сооружения.

Таким образом, борьба с последствиями фильтрации конкретно направлена на сокращение потерь воды из верхнего бьефа, на уменьшение противодействия, на снижение скоростей фильтрационного потока.

Априори можно утверждать, что при одном и том же напоре на плотине фильтрация под сооружением и ее последствия будут тем меньше, чем больше путь фильтрации, т. е. длина фильтрационного контура.

Удлинение путей фильтрации создается устройством перед плотинной водонепроницаемого покрытия, называемого *понуром*, а под понуром и сооружением — вертикальных преград в виде *шпунтовых стенок* в мягких грунтах, либо в виде цементных, битумных и других *завес* в скальных основаниях.

Аналогичный процесс фильтрации совершается и в берегах русла или долинах, к которым примыкает подпорное сооружение. Борьба с этим явлением также ведется в основном удлинением путей фильтрации.

Для обоснованного определения размеров противофильтрационных элементов плотины и полного учета стока в створе гидрозвула необходимо уметь рассчитывать значения основных параметров фильтрационного потока: его скорости, расходы и противодействия.

4.2. Расчет фильтрационного противодействия и длины подземного контура в мягких основаниях методом линейной контурной фильтрации

4.2.1. Расчет противодействия

Идея метода линейной контурной фильтрации, предложенная Бляем, состоит в следующем.

Для определения полного противодействия на подошву сооружения (рис. 4.1) необходимо иметь значение этого противодействия во всех точках подошвы, т. е. должна быть построена эпюра противодействия, площадь которой и даст искомую величину. Как же построить указанную эпюру?

Не вызывает никаких сложностей определение противодействия в начале и в конце пути фильтрации, т. е. в точках 1 и 2. Согласно законам гидростатики, давление в жидкости на глубине H_1 м будет $\gamma_0 H_1$ т/м² (где γ_0 — объемная масса жидкости в т/м³). Это давление в рассматриваемой точке действует по всем направлениям без изменения, в том числе и на подошву сооружения снизу вверх. Аналогично в точке 2 противодействие будет равно $\gamma_0 H_2$ т/м². Выбрав некоторый масштаб для построения эпюры, можно из точек 1 и 2 отложить вниз значения найденных давлений

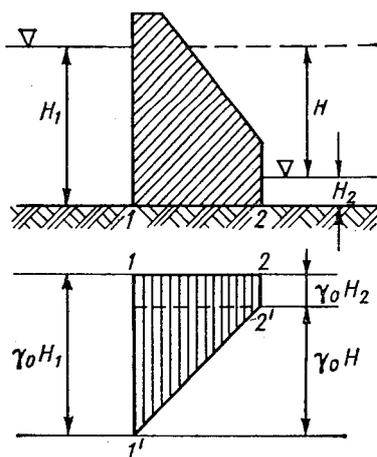


Рис. 4.1. Схема к определению взвешивающего и фильтрационного противодействия на водоподпорное сооружение (пояснения в тексте).

ний и тогда на эпюре получим точки $1'$ и $2'$. Для завершения построения эпюры Бляй предположил, что ближайшая к основанию сооружения струя фильтрующейся воды строго обтекает («лизет») подземный контур и на этом пути теряет свой напор по линейному закону. Значит, точки $1'$ и $2'$ надо соединить прямой линией, и построение эпюры будет закончено.

Трапецидальную эпюру противодействия принято разбивать горизонтальной прямой на прямоугольную и треугольную части, соответствующие *взвешивающему* и *фильтрационному* противодействиям.

Взвешивающее противодействие по своей природе — это гидростатическое противодействие (известно еще под названием Архимедова); оно в любой точке основания сооружения соответствует весу столба воды высотой равной глубине погружения точки под уровень нижнего бьефа. Для схемы сооружения, приведенного на рис. 4.1, взвешивающее противодействие $U_{вз}$ во всех точках основания одинаково и равно $\gamma_0 H_2$ т/м².

Фильтрационное противодействие $U_{ф}$ — это гидродинамическое противодействие, обязанное своим происхождением напору H на сооружении. В начале пути фильтрации оно всегда численно равно напору, т. е. $\gamma_0 H$ т/м², а в конце пути фильтрации должно

быть равно нулю. В точках основания между началом и концом подземного контура фильтрационное противодействие принимает некоторое промежуточное значение, которое, например, согласно теории Бляя, следует вычислять по формуле

$$U_{\phi_i} = \gamma_0 H l_i / L, \quad (4.1)$$

где U_{ϕ_i} — фильтрационное противодействие в i -й точке, т/м²; H — напор, м; L — длина подземного контура, м; l_i — расстояние от конца пути фильтрации до i -й точки, м.

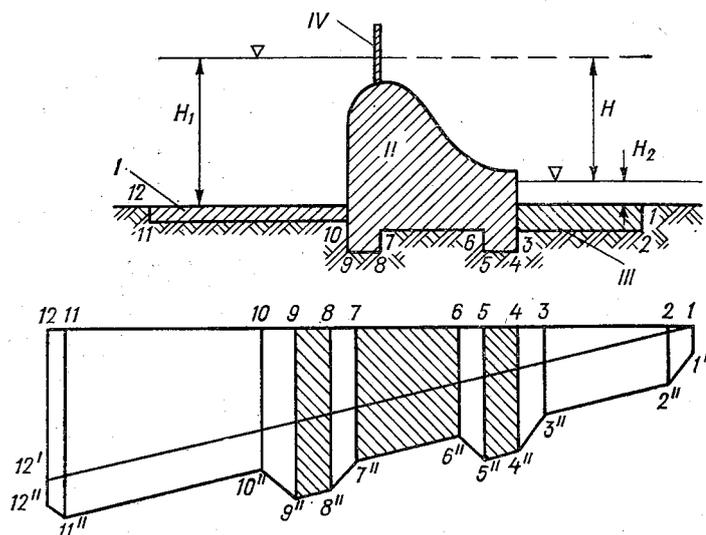


Рис. 4.2. Плотина и эпюра противодействия на ее подземный контур.

I — понур; II — плотина; III — водобой; IV — затвор.

Следовательно, в общем случае противодействие в любой точке подземного контура водоподпорного сооружения складывается из взвешивающего и фильтрационного противодействий и потому называется еще суммарным противодействием.

При более сложном контуре (подземном) чем тот, который изображен на рис. 4.1, например, при контуре, представленном на рис. 4.2, построение эпюры противодействий производится следующим образом.

Разворачивают в прямую линию подземный контур сооружения, откладывая последовательно в некотором масштабе участки $1-2$, $2-3$, и т. д. до $11-12$. Затем в начале пути фильтрации, т. е. в точке 12 откладывают вниз максимальное значение фильтрационного противодействия, равное $\gamma_0 H$, получая на эпюре точку $12'$. Соединив точки $12'$ и 1 прямой линией, будем иметь эпюру фильтрационного противодействия. Далее пристраиваем

к полученной эпюре значение взвешивающего противодействия во всех пронумерованных точках подземного контура, для чего против каждой из указанных точек откладываем вниз от линии $12'$ — 1 соответствующие значения противодействия, равные $\gamma_0 y_i$, где y_i — заглубление точки контура под уровень нижнего бьефа. Таким образом, на эпюре появляется новая группа точек $1''$, $2''$, $3''$, ..., $12''$, которые соединяем ломаной линией; на этом построение эпюры заканчивается. Площадь полученной эпюры на участках между точками 4—5, 6—7 и 8—9 (на рис. 4.2 заштрихована) представляет силу, действующую на основание плотины снизу вверх, т. е. суммарное противодействие (W т/м) на единицу длины плотины (из плоскости чертежа).

Противодавление в любой точке подземного контура U_i можно найти не только графически (по построенной эпюре), но и аналитически, воспользовавшись выражением

$$U_i = U_{\phi_i} + U_{вз_i} = \gamma_0 H \sum l_i/L + \gamma_0 y_i, \quad (4.2)$$

где дополнительно обозначено: $\sum l_i$ — расстояние от точки 1 до точки, в которой определяется противодействие, м. Общая длина подземного контура L в данном случае находится так:

$$L = \sum l_r + \sum l_b, \quad (4.3)$$

т. е. равна сумме длин горизонтальных и вертикальных участков подземного контура.

Однако опыт показывает, а более совершенная теория подтверждает, что метод Бляя, хотя и очень удобный из-за своей простоты, неправилен по существу, так как во многих случаях фильтрующаяся вода не движется строго вдоль подземного контура сооружения, вертикальные и горизонтальные участки контура оказывают различное сопротивление фильтрационному потоку и в результате падение напора происходит не по прямой линии. Поэтому в настоящее время метод Бляя может применяться только для предварительных (прикидочных) расчетов.

Учтя недостаток изложенного метода, Е. Лен предложил его незначительное усовершенствование, заключающееся в учете того фактора, что потеря напора на вертикальных участках подземного контура примерно в 1,5—3 раза больше, чем на горизонтальных. По методу Лена при вычислении фильтрационного противодействия по формуле (4.1) используются не фактические длины подземного контура L и $\sum l_i$, а так называемые приведенные длины, в ходе расчета которых реальные размеры горизонтальных участков контура уменьшают в m раз, т. е.

$$L_{пр} = 1/m \sum l_r + \sum l_b; \quad (4.4)$$

$$\sum l_{пр} = 1/m \sum l_r + \sum l_b. \quad (4.5)$$

Если определение фильтрационного противодействия в заданных точках основания сооружения производится не аналитически,

а графически, то разворачивая в линию подземный контур для построения эпюры противодействия, длины горизонтальных участков также уменьшают в m раз.

Наклонные участки контура, имеющие крутизну по отношению к горизонту менее 45° , относятся к горизонтальным, а имеющие уклон более 45° — к вертикальным.

Расчеты по методу Лена дают удовлетворительные результаты при небольших напорах и относительно простых очертаниях подземного контура сооружений. Таким условиям отвечают некоторые плотины, шлюзы и большинство гидрологических расходомеров (водосливов и лотков).

4.2.2. Расчет длины подземного контура

Во избежание механической суффозии необходимо, чтобы скорости фильтрующегося потока были бы меньше тех, при которых может начаться процесс выноса частичек грунта основания в нижний бьеф сооружения. Из гидрогеологии известно, что скорость фильтрации зависит от пьезометрического уклона $i = H : L$. Следовательно, для каждого типа грунта существует тот предельный уклон, превышение которого вызывает суффозию.

На практике оказалось удобнее пользоваться не пьезометрическим уклоном, а величиной, ему обратной, т. е. $1 : i = L : H = C$, откуда

$$L = HC. \quad (4.6)$$

В результате изучения более 200 выстроенных плотин (в том числе и потерпевших аварии) Лен составил таблицу значений коэффициентов C_0 (табл. 4.1) для использования их при определении приведенной длины подземного контура сооружения по формуле

$$L_{\text{пр}} \geq HC_0. \quad (4.7)$$

Переход от приведенной длины подземного контура к реальной и обратно осуществляется на основании выражения (4.4).

Более надежные результаты, чем дает метод Лена, могут быть получены по так называемому методу коэффициентов сопротивления, предложенному Р. Р. Чугаевым и принятому в нашей стране в общегосударственных строительных нормах как обязательный (СНиП II—И. 12—67). Этот метод также позволяет построить эпюру противодействия и рассчитать фильтрационную прочность основания по значению пьезометрического уклона. Но и метод Р. Р. Чугаева не свободен от некоторых недостатков: строгих допущений, не исключает возможности проявления субъективизма в ходе выполнения расчетов и относительно трудоемок. Его подробное изложение дается в специальной литературе по гидротехнике и гидравлике, например в работе [7].

Таблица 4.1

Значения коэффициентов C_0 для различных грунтов основания плотины
(по Лену)

Грунт	C_0	$I_{\text{ср}} = \frac{1}{C_0}$	Сниженный коэффициент C_0
Песок очень мелкий, ил	8,5	0,12	6,0
Песок мелкий	7,0	0,14	4,9
Песок средней крупности	6,0	0,17	4,2
Песок крупный	5,0	0,20	3,5
Гравий мелкий	4,0	0,25	2,8
Гравий средней крупности	3,5	0,29	2,5
Гравий крупный с галькой	3,0	0,33	2,1
Глина мягкая	3,0	0,33	2,1
Валуны с галькой и гравием	2,5	0,40	1,8
Глина средней плотности	2,0	0,50	1,5
Глина плотная	1,8	0,55	1,5
Глина очень плотная	1,6	0,67	1,5

Примечание. Сниженный коэффициент C_0 рекомендуется использовать при наличии под плотиной шпунтов.

4.3. Расчет элементов фильтрационного потока в мягких грунтах по гидродинамической сетке

4.3.1. Описание гидродинамической сетки

Скорость и расход фильтрационного потока, а также уточненные значения фильтрационного противодействия можно получить на основе построения *сетки фильтрации*, или *гидродинамической сетки*. Эта сетка представляет собой семейство двух систем кривых, пересекающихся между собой под прямым углом, — линий равных пьезометрических напоров (*эквипотенциалей*) при $\Delta H = \text{const}$ и *линий токов*, т. е. траекторий движения частиц воды.

На рис. 4.3 представлена гидродинамическая сетка движения грунтового потока для двухшпунтового подземного контура. Здесь напор H разбит на 15 частей и падение напора между двумя соседними эквипотенциалами составляет $H:n=1/15 H$. Площадь между двумя соседними эквипотенциалами называют *полосой напора*, а площадь между двумя соседними линиями тока — *лентой расхода*. Здесь принято $m=6$ лент расхода. На входе фильтрационного потока и выходе его в нижний бьеф построены эпюры скоростей v и расходов q , а против плотины — эпюра фильтрационного противодействия p , показывающая нелинейное падение напора по длине.

Выделим в крупном масштабе элемент сетки движения, как показано на рис. 4.3 б. Разность напора между эквипотенциалами H_i и H_{i+1} будет равна $\Delta H = H:n$, где n — принятое число полос напора. Средняя скорость движения потока по ленте расхода, согласно закону Дарси, составит

$$v = -k(H_{i+1} - H_i)/\Delta s_2 = kH/(n \Delta s_2), \quad (4.8)$$

где Δs_2 — среднее расстояние между эквипотенциалами H_i и H_{i+1} в рассматриваемом криволинейном прямоугольнике. Из этого выражения видно, что скорость обратно пропорциональна величине Δs_2 , а так как последняя увеличивается с расстоянием от основания плотины, то скорости фильтрации будут уменьшаться в этом же направлении.

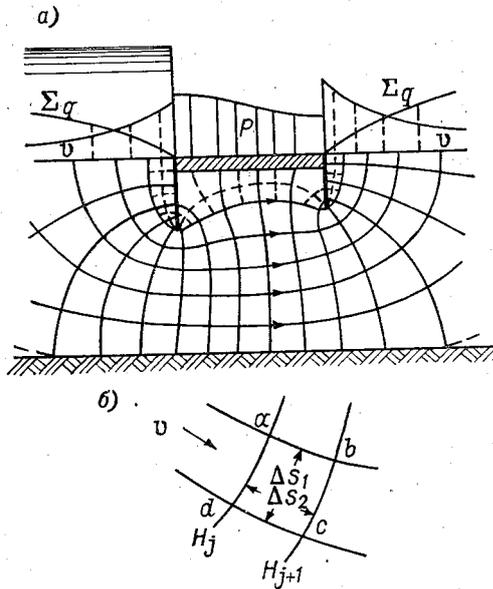


Рис. 4.3. Гидродинамическая сетка для двухпунктового подземного контура (а) и деталь сетки (б).

v — скорость фильтрации; q — расход фильтрации; p — противодействие на плотину.

Расход фильтрационного потока через выделенный прямоугольник сетки (т. е. по ленте расхода) на 1 м погонной длины плотины составит

$$q = v \Delta s_1 \cdot 1, \quad (4.9)$$

где Δs_1 — среднее расстояние между двумя линиями токов, а 1 — ширина потока из плоскости чертежа. Подставляя в q значение v , получим

$$q = k (H/n) (\Delta s_1 / \Delta s_2). \quad (4.10)$$

Из этого выражения видно, что если $\Delta s_1 = \Delta s_2$, т. е. если разбивать поле фильтрационного потока на криволинейные квадраты, то

$$q = kH/n; \quad Q = k(m/n)H. \quad (4.11)$$

Для получения полного фильтрационного расхода под плотинной надо помножить расход Q на длину плотины.

4.3.2. Способы построения гидродинамической сетки

Гидродинамическая сетка строится либо по теоретическим решениям, либо экспериментально.

Современная теория фильтрации под гидротехническими сооружениями разработана акад. Н. Н. Павловским. Однако теоретическое решение задачи движения воды в грунте основания плотин пока еще получено для немногих практических случаев и то с большими ограничительными предпосылками. Основной предпосылкой является предположение о совершенной однородности грунта или породы, в которых происходит движение воды; воду считают несжимаемой, силы инерции пренебрежимо малыми, а само движение установившимся, непрерывным и ламинарным.

Движение плоского грунтового потока через некоторый контур в силу неразрывности жидкости должно удовлетворять уравнению Лапласа и закону Дарси:

$$\partial^2 h / \partial x^2 + \partial^2 h / \partial y^2 = 0; \quad (4.12)$$

$$v_x = -k \partial h / \partial x; \quad v_y = -k \partial h / \partial y, \quad (4.13)$$

где h — пьезометрический напор в точке с координатами x и y ; k — коэффициент фильтрации; v_x и v_y — проекции скорости v на оси x и y .

Совместное решение уравнений (4.12) и (4.13) представляет даже для сравнительно простых фильтрационных контуров весьма сложную математическую задачу. Удалось получить решение для плотин с плоской подошвой без вертикальных преград в основании, с одной вертикальной преградой (шпунтом, зубом), с несколькими вертикальными преградами (с введением в решение ряда дополнительных ограничений).

Теоретическое решение дает возможность построить точную картину движения воды под сооружением, т. е. определить в любой точке давление, скорость течения, а также расход фильтрации через то или иное сечение основания.

Заметим, что, как следует из уравнения (4.12), при однородных грунтах положение линий равного пьезометрического напора не зависит от коэффициента фильтрации грунта k , т. е. при данном подземном контуре сооружения гидродинамическая сетка будет одной и той же как для песка, так и для глины или любого другого грунта (скорости и расходы фильтрационного потока, разумеется, будут зависеть от коэффициента фильтрации).

В связи с отмеченными выше ограниченными возможностями теоретического метода на практике для построения гидродинамической сетки движения чаще всего пользуются лабораторным методом электрогидродинамических аналогий (ЭГДА). Этот метод был разработан Н. Н. Павловским и основан на том, что движение электрического тока по проводнику подчиняется тем же законам, что и движение фильтрационного потока в грунте. В приборе ЭГДА, используемом для реализации метода, грунт заменяют слоем электропроводящей массы — тонким листом из станиоля, электропроводящей бумагой, жидким электролитом и тому подоб-

ным материалом, поток воды — электрическим током, напор воды — электродвижущей силой. Схема прибора представлена на рис. 4.4. Плоский проводник $00'Sa_1$ представляет грунт основания плотины. Подземный контур плотины вырезают из проводника, например, по ломаной $abc...pr$. Линии cde и npr изображают шпунтовые ряды. Верхний бьеф представлен медной шиной a_1a , нижний бьеф — шиной rDS . Шины соединены с источником электроэнергии 2. В электрическую цепь включены амперметр 3, реостат 4, провода $9CD$ и $2BA$ и проводник 1. На шинах поддерживают постоянную разность потенциалов $E_1 - E_2 = E$, соответствующую напору воды $H_2 - H_1 = H$. При этом величина E принимается

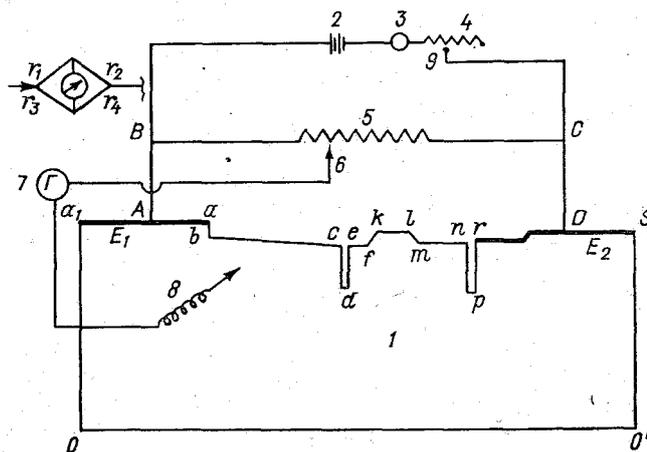


Рис. 4.4. Схема прибора ЭГДА.

за единицу (следовательно, $H=1$). В точках B и C в цепь включен калиброванный реохорд 5. Для определения потенциала в любой точке проводника 1 служит игла 8, включенная в электрическую цепь через подвижной контакт 6 и гальванометр 7. Система проводников прибора образует известный из физики мостик Уитстона, причем одна его ветвь будет $BA1DC$, а другая $B5C$. Средней соединительной перемычкой мостика служит цепь $8-7-6$, т. е. игла—гальванометр—контакт. Работа на приборе ЭГДА заключается в следующем. Шкалу реохорда делят на число n , соответствующее требуемому количеству полос напоров (обычно 15—20). Далее, присоединяя последовательно подвижной контакт к делениям реохорда $1/n$, $2/n$, $3/n$ и т. д., ищут иглой точки на проводнике при нулевом показании гальванометра. Соединяя найденные точки плавными линиями, получим эквипотенциали, проведенные через $1/nE$ или $1/nH$, а линии токов строим от руки, соблюдая ортогональность пересечения их с эквипотенциалими и добиваясь сетки, состоящей из криволинейных квадратов. После построения гидродинамической сетки движения дальнейшие вычисления производят, как указано выше.

В настоящее время метод ЭГДА получил широкое распространение при производстве фильтрационных расчетов, а используемое для его реализации лабораторное оборудование стало значительно совершеннее и позволяет решать более сложные и более приближенные к практическим условиям задачи. Имеются установки, моделирующие фильтрацию в слоистых грунтах (с различными коэффициентами фильтрации), неустановившееся движение грунтовых вод, а также пространственные фильтрационные потоки.

4.4. Расчет фильтрационного противодействия на плотину, построенные на скальных основаниях

Сама скала (ее тело) является практически водонепроницаемой, однако всегда, особенно на поверхности, она бывает трещи-

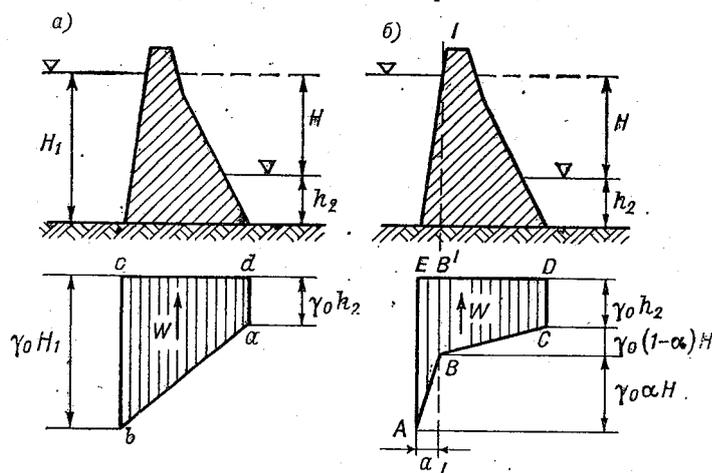


Рис. 4.5. Приближенная (а) и расчетная (б) эпюра противодействия на плотину, построенную на скальном основании.

новатой. Иногда трещиноватость распространяется на глубину 10—20 м и значительно более.

Фильтрация воды в скальных основаниях плотин осуществляется именно по трещинам. При этом поток может носить турбулентный характер и не подчиняться закону Дарси. Если к тому же учесть, что распределение и размер трещин никогда точно не известен, то вывод о невозможности использования в случае скальных оснований рассмотренных выше способов расчета фильтрации будет очевиден.

Все же определять давление на плотину необходимо (для оценки ее устойчивости), поэтому иногда рассуждают так: поскольку закон падения напора в трещиноватых породах нам неизвестен, то в первом приближении можно считать, что такое падение (вдоль подошвы плотины dc) происходит по прямой линии ab (рис. 4.5 а). Легко убедиться, что построенная таким образом

приближенная эпюра $abcd$ обуславливает весьма большую силу W противодействия, причем эта сила в значительной мере должна снижать устойчивость рассматриваемой плотины.

Учитывая это обстоятельство, чтобы удешевить плотину, принимают различные конструктивные меры по снижению противодействия.

Часто под плотинной устраивают инъекционную завесу 5 и вертикальный трубчатый дренаж 4 (см. рис. 5.6). В связи с наличием таких устройств противодействие снижается: вместо эпюры, показанной на рис. 4.5 а, получаем эпюру $ABCDE$ (рис. 4.5 б), где вертикалью $I-I$ показана ось инъекционной завесы или вертикального дренажа.

Размер a (рис. 4.5 б) определяет местоположение вертикали $I-I$. Принимают, что: а) при наличии завесы 5, но при отсутствии дренажа 4 $a = \delta$, где δ — расстояние от точки E (см. рис. 5.6) до оси завесы; б) при наличии как завесы 5, так и дренажа 4 $a = d$, где d — расстояние от точки E (см. рис. 5.6) до оси дренажа.

Потери напора на длине EB' (до вертикали $I-I$ на рис. 4.5 б) и на длине $B'D$ подошвы плотины можно представить соответственно в виде $\gamma_0 \alpha H$ и $\gamma_0 (1 - \alpha) H$, где H — разность уровней верхнего и нижнего бьефов; α — особый коэффициент, учитывающий потерю напора (уменьшение фильтрационного противодействия), вызванную или только завесой, или завесой и дренажем.

Пользуясь поясненными обозначениями, легко можно выразить площадь эпюры противодействия $ABCDE$ (суммарное противодействие, приходящееся на единицу длины плотины) соответствующей геометрической формулой

$$W = h_2 b \gamma_0 + 0,5 H [a + (1 - \alpha) b] \gamma_0, \quad (4.14)$$

где b — ширина плотины понизу.

Как видно, существенным вопросом является вопрос о размере коэффициента α . Эта величина может быть назначена весьма приближенно, сообразуясь с наблюдениями, проведенными в натуре над плотинами, находящимися в эксплуатации. Часто рекомендуют (согласно исследованиям М. Б. Гинзбурга) принимать: при наличии одной завесы (плотины без дренажа основания) $\alpha = 0,5$; при наличии завесы и дренажа $\alpha = 0,8$.

Строго говоря, величина α должна зависеть в значительной мере от качества скального основания (его трещиноватости).

Глава 5. Бетонные и железобетонные плотины

5.1. Конструктивные особенности

Плотины по конструктивным признакам и условиям статической работы различают:

— *гравитационные массивные* (рис. 5.1 а), т. е. плотины, устойчивость которых обеспечивается их собственным весом — горизон-

тальному сдвигающему гидростатическому давлению воды P в данном случае противостоит сила трения T (а иногда и сила сцепления), действующая по подошве плотины, которая зависит от веса плотины: $T=fG$, где f — коэффициент трения тела плотины по основанию;

— *контрфорсные* (рис. 5.1 б), устойчивость которых обеспечивается не только весом самой плотины G , но и весом воды G_B в объеме призмы ABC ; эти плотины имеют большой уклон верховой грани AB ;

— *арочные* (рис. 5.1 в), работающие как свод, «положенный на бок» и упирающийся своими пятами в берега;

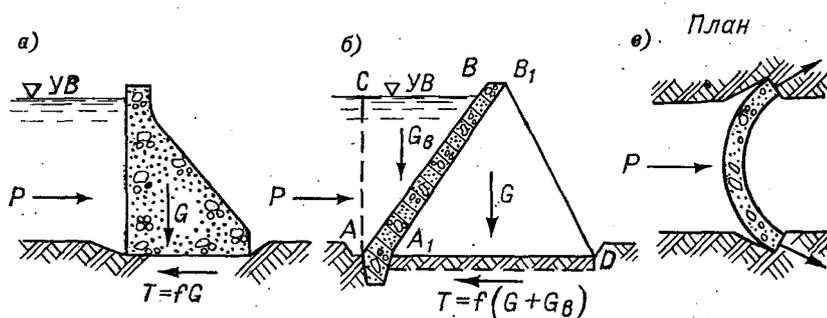


Рис. 5.1. Гравитационная (а), контрфорсная (б) и арочная (в) плотины.

— *гравитационные облегченные*, т. е. такие плотины, в которых предпринят ряд конструктивных мер с целью экономии дорогостоящего бетона, разумеется при сохранении необходимой устойчивости сооружения (см. п. 5.3).

5.2. Массивные гравитационные плотины

5.2.1. Общие сведения

Бетонные гравитационные плотины обладают следующими достоинствами: а) они сравнительно просты по условиям постройки, если иметь в виду прежде всего возможность механизации большинства строительных операций; б) надежны в любых климатических условиях; именно поэтому их строят от заполярья, т. е. от районов вечной мерзлоты, до тропиков; в) просты в эксплуатации.

Их недостатками являются: а) относительно высокая стоимость по сравнению со многими другими типами плотин в тех же условиях; б) недостаточное использование прочности материала — бетона, — из которого плотины выполнены, так как напряжения в них далеко не достигают величин, которые материал мог бы безопасно выдержать, т. е. дорогостоящий бетон здесь в значительной степени играет роль баласта.

Несмотря на отмеченные недостатки, массивные гравитационные бетонные плотины находят в современной гидротехнической практике широкое применение. Они строятся как глухими, так и водопропускными, на мягких основаниях и на скальных, высоконапорными и в виде низких плотин-порогов.

Для примера в табл. 5.1 и 5.2 приведены характеристики нескольких наиболее известных плотин.

Таблица 5.1

Некоторые бетонные гравитационные плотины на скальном основании

Наименование плотины	Год окончания строительства	Наибольшая высота, м	Страна
Гранд-Диксанс на р. Диксанс	1961	281	Швейцария
Гувер (Боулдер) на р. Колорадо	1936	222	США
Шафта на р. Сакраменто	1945	184	"
Фонтана на р. Теннесси	1945	146	"
Братская на р. Ангаре	1967	124	СССР
Элефант Бьют на р. Рио-Гранд	1916	94	США
Бухтарминская на р. Иртыше	1961	80	СССР
Усть-Каменогорская на р. Иртыше	1953	70	"

Таблица 5.2

Некоторые бетонные гравитационные плотины на нескальном основании, построенные в СССР

Наименование плотины	Год окончания строительства	Наибольший напор на плотине, м
Волжская ГЭС им. В. И. Ленина	1957	29,0
Волжская ГЭС им. XII съезда КПСС	1961	27,0
Цимлянская на р. Дону	1952	26,5
Верхне-Свирская на р. Свири	1952	17,0
Днепродзержинская на р. Днепре	1965	15,5
Каховская на р. Днепре	1957	16,5
Нижне-Свирская на р. Свири	1934	13,5

В заключение отметим, что глухие гравитационные плотины, как правило, строят не на мягких основаниях, а на скале. В этих условиях они являются часто даже более экономичными по сравнению с плотинами из грунтовых материалов, особенно при большой их высоте, когда, например, земляная плотина в связи со значительной пологостью ее откосов получается весьма большого объема.

Водопропускные же гравитационные плотины распространены как на скальных, так и на нескальных основаниях.

5.2.2. Силы, действующие на плотины. Расчет устойчивости плотин

При проектировании плотины обычно интересуются напряжениями, возникающими в ее основании и в материале, образующем сооружение, а также устойчивостью на сдвиг плотины в целом или той или другой ее части.

Напряженное состояние тела плотины и величины реактивных сил (опорных реакций), препятствующих нарушению ее устойчивости, в основном обуславливаются внешними силами, действующими на плотину, и, кроме того, объемными деформациями материала сооружения, вызванными изменениями температуры бетона и его усадкой. Рассмотрим внешние силы.

Их можно классифицировать следующим образом:

1) в зависимости от происхождения — собственный вес, давление воды (в том числе волновое и фильтрационное), давление льда, давление грунта и наносов, отложившихся перед плотиной, сейсмические силы и т. п.;

2) в зависимости от характера действия сил на сооружение — статические и динамические силы;

3) в зависимости от продолжительности и повторяемости действия сил на сооружение — «основные силы» (постоянно действующие внешние силы) и катастрофические, временно действующие силы (большой величины, но действующие редко).

Конкретные числовые значения каждой из сил различного происхождения находятся по соответствующим приемам и методикам, причем некоторые из них элементарно просты, как, например, расчет гидростатического давления на вертикальную стенку, а другие же, например, касающиеся определения давления ветровой волны или сейсмических сил, сложны, и им в гидротехнике посвящены специальные официальные нормы.

Согласно действующим нормативам из множества возможных сочетаний сил, действующих на плотину в разные моменты времени, для расчета выбирают два сочетания (два так называемых расчетных случая): а) основное, получающееся в результате сочетания сил, часто действующих на плотину, и б) особое, получающееся в результате сочетания сил, действующих на плотину относительно редко. При этом для особого сочетания всегда несколько снижают соответствующие коэффициенты запаса.

При расчете на основное сочетание сил, как правило, учитывают: 1) собственный вес плотины; 2) гидростатическое давление, отвечающее НПУ в верхнем бьефе и уровню воды нижнего бьефа, расположенному не выше уровня, который имеет достаточно большую обеспеченность; 3) противодействие, отвечающее уровням воды, отмеченным в п. 2; 4) давление наносов, отложившихся перед плотиной; 5) статическое давление льда при НПУ; 6) волновое давление при НПУ.

При расчете на особое сочетание сил учитывают: 1) собственный вес плотины; 2) гидростатическое давление, отвечающее ФПУ в верхнем бьефе и уровню воды нижнего бьефа, рас-

положенному не выше высокого уровня, который имеет относительно небольшую обеспеченность; 3) противодействие, отвечающее уровням воды, отмеченным в п. 2; 4) давление наносов, отложившихся перед плотиной; 5) волновое давление катастрофической силы (при ФПУ); 6) сейсмические силы, приложенные к телу плотины, воде и наносам.

К особым сочетаниям обычно относят также сочетания сил, имеющих место во время строительства («строительный расчетный случай») и во время ремонта («ремонтный расчетный случай»).

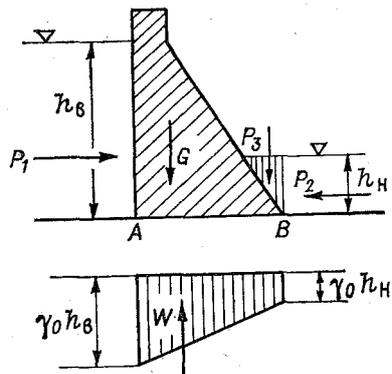


Рис. 5.2. Схема к расчету устойчивости на сдвиг гравитационной плотины на скальном основании.

P_1 и P_2 — давление воды соответственно со стороны верхнего и нижнего бьефов; P_3 — вес воды на плотине; G — вес плотины; W — суммарное противодействие.

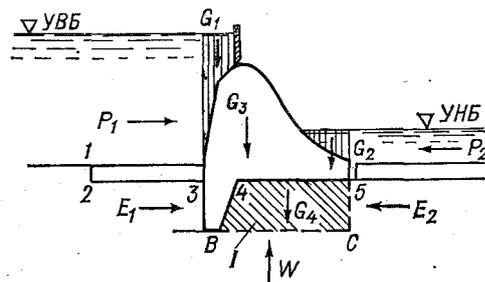


Рис. 5.3. К расчету устойчивости плотины на сдвиг на мягких грунтах по горизонтальной плоскости BC.

I — грунт, сдвигаемый вместе с плотиной; G_1 и G_2 — вес воды на плотине, P_1 и P_2 — горизонтальная составляющая давления воды; G_3 и G_4 — вес плотины и сдвигаемого грунта; E_1 и E_2 — давление грунта; W — суммарное противодействие.

При статическом расчете плотины рассматривают 1 м погонной ее длины (имеют в виду плоскую задачу). Всегда подвергают поверочному расчету профиль наибольшей высоты; иногда дополнительно рассчитывают и другие профили плотины. Выполняя расчет, все силы, действующие на плотину, разлагают на горизонтальные и вертикальные составляющие (с тем, чтобы оперировать силами только двух направлений). Разумеется, небольшими силами, действующими на плотину, не имеющими существенного значения, пренебрегают. Рассматривая те или другие силы, всегда оценивают точность определения их величины.

Расчет устойчивости плотины на сдвиг (например, по линии основания AB на рис. 5.2) выполняется путем вычисления коэффициента запаса K_3 , сравнивая его затем с допустимым коэффициентом запаса $K_{3, \text{доп}}$. Значение K_3 следует определять по формуле

$$K_3 = (fN + cb)/T, \quad (5.1)$$

где N — сумма проекций на вертикаль всех внешних сил, действующих на плотину; T — сумма проекций на горизонталь упомянутых выше сил; b — ширина плотины; f , c — расчетные параметры сопротивляемости сдвигу, которые характеризуют прочность на сдвиг рассматриваемого сечения («коэффициент трения» и «удельная сила сцепления»). Их значения можно брать из следующей таблицы:

Таблица 5.3

Расчетные параметры f и c

Характеристика шва сдвига	f	c т/м ²
Прочная, слабо трещиноватая скальная порода или бетон, сопрягающийся с указанной скальной породой	0,75	40
Скальная трещиноватая порода средней прочности или бетон, сопрягающийся с указанной породой, а также случай шва, намеченного в бетонном массиве	0,70	30
Слабая скальная порода, сильно трещиноватая	0,50—0,65	20

Удельная сила сцепления мягкого грунта c достигает 1—3 т·с/м², однако при насыщении грунта водой она может уменьшаться или даже вовсе исчезать. Поэтому при строительстве плотины на мягких, особенно песчаных грунтах, при ровном подземном контуре сцепление тела плотины с основанием в расчете коэффициента устойчивости часто не учитывается ($c=0$) и второе слагаемое в числителе формулы (5.1) в этом случае обращается в нуль. Однако при сложном подземном контуре с глубокими мощными бетонными зубьями, на мягких основаниях возможен сдвиг плотины вместе с некоторым объемом грунта, захватываемым при сдвиге зубом (рис. 5.3). Поэтому в дополнение к указанным выше силам, действующим на плотину, приходится учитывать вес сдвигаемого грунта и его давление на вертикальные грани подземных частей сооружения, зависящее, в частности, от такой физической характеристики грунта, как угол внутреннего трения φ^1 . В рассматриваемом случае расчет коэффициента K_3 также выполняют по уравнению (5.1), а входящий в это уравнение коэффициент внутреннего трения грунта рекомендуется брать из специальных таблиц.

Вычисленные значения коэффициента запаса устойчивости не должны быть меньше допустимых (табл. 5.4), но и существенное превышение их также нежелательно

$$K_3 \geq K_{3, \text{ доп.}} \quad (5.2)$$

¹ Способы расчета давления грунта на сооружение рассматриваются в научной дисциплине, называемой «Механика грунтов» и в соответствующих учебных курсах.

Напряжение в основании плотины находят по формуле внецентренного сжатия

$$\sigma = N/F \pm M/W \leq [\sigma], \quad (5.3)$$

где N — сумма проекций на вертикаль всех внешних сил, действующих на плотину; M — момент всех действующих сил относительно центра тяжести сечения основания; F — площадь основания (при выполнении расчетов для 1 м погонной длины плотины площадь основания численно равна ширине плотины); W — момент сопротивления площади основания, равный $\frac{1b^2}{6}$ (b — ширина плотины); $[\sigma]$ — допустимое напряжение на грунт основания.

Таблица 5.4

Значения допустимых коэффициентов запаса устойчивости на сдвиг $K_{з, доп}$

Сочетание силы	Класс капитальности плотины		
	I	II	III
Основное	1,30	1,20	1,15
Особое	1,10	1,10	1,05

5.2.3. Устройство плотин

Форма в плане. Форма плотины в плане может быть прямолинейной или криволинейной. Прямолинейная плотина требует минимальной затраты материала и поэтому применение ее наиболее целесообразно. Криволинейная форма, увеличивающая объем плотины, применяется обычно лишь в случае необходимости получения заданной длины водосливного фронта при недостаточной ширине долины реки (например, Днепровская плотина) или по геологическим условиям (слои, искривленные в плане).

Форма в поперечном сечении. Поперечный профиль плотины, не усложненный различными конструктивными деталями, называется теоретическим профилем. Специальные исследования показали, что теоретический профиль плотины имеет вид треугольника ABC (рис. 5.4). В этом случае сооружение удовлетворяет трем необходимым техническим условиям, а именно:

- 1) плотина устойчива на сдвиг, т. е.

$$K_z \geq K_{з, доп}, \quad (5.4)$$

- 2) в теле плотины отсутствуют растягивающие напряжения, которые очень плохо воспринимаются бетоном, т. е.

$$\sigma_{мин} \geq 0, \quad (5.5)$$

3) максимальное нормальное напряжение в бетоне $\sigma_{\text{макс}}$ не превышает допустимого сжимающего напряжения $[\sigma]$, т. е.

$$\sigma_{\text{макс}} \leq [\sigma]. \quad (5.6)$$

Кроме того, треугольный профиль плотины удовлетворяет и четвертому условию — экономическому, заключающемуся в минимизации площади поперечного сечения, т. е.

$$\Omega = \Omega_{\text{мин}}. \quad (5.7)$$

Расчет размеров теоретического профиля конкретной плотины выполняется для заданных условий, которыми являются высота плотины, коэффициент трения по основанию и коэффициент устойчивости плотины на сдвиг. В основе этого расчета лежат уравнения (5.1) и (5.3).

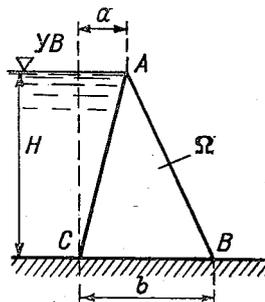


Рис. 5.4. Теоретический треугольный профиль плотины.

Анализ формы теоретических профилей плотин, рассчитанных для различных природных условий, показал, что в случае скальных оснований верховая грань плотины получается вертикальной или во всяком случае весьма близкой к вертикали, а в случае слабого основания профиль плотины получается распластанного вида с сильно наклоненной верховой гранью.

На практике при строительстве плотины от теоретического профиля неизбежно приходится отступать, дополняя его различными конструктивными деталями и получая в результате практический профиль. Дополнения касаются устройства: а) гребня, на котором располагается проезжая дорога и который возвышается над уровнем воды в водохранилище; б) фундаментной части; в) противофильтрационных элементов (шпунтов, завес); г) продольных и поперечных галерей в теле плотины различного назначения; д) водопропускных отверстий и связанного с их работой оборудования (затворов, подъемных механизмов).

Конструктивные изменения теоретического профиля влекут за собой изменение механических условий работы плотины. В связи с этим полученный практический профиль всегда подвергают достаточно детальному поверочному статическому расчету, учитывающему все силы, действующие на плотину и не рассматривавшиеся при выборе теоретического профиля (давление льда и напоров, сейсмические силы и т. п.).

Особенности конструкции плотины на скальном основании. Как правило, вершину треугольного теоретического профиля (точка *A* на рис. 5.4) располагают на отметке НПУ. Гребень плотины в виде надстройки *D* выполняют, как показано на рис. 5.5.

Отметку гребня (∇ Гр. пл) устанавливают с учетом НПУ по формуле

$$\nabla \text{Гр. пл} = \nabla \text{НПУ} + a + (\Delta h)_1 \% + (h_b)_1 \% \quad (5.8)$$

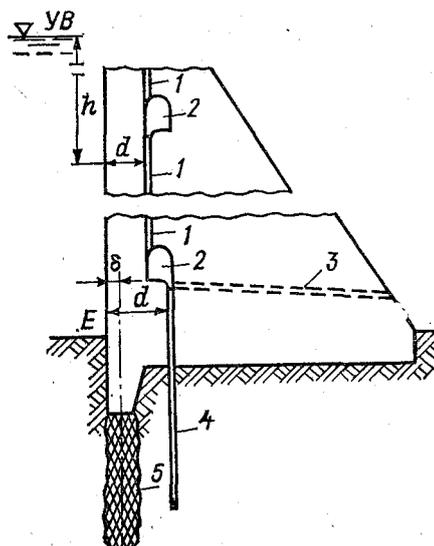
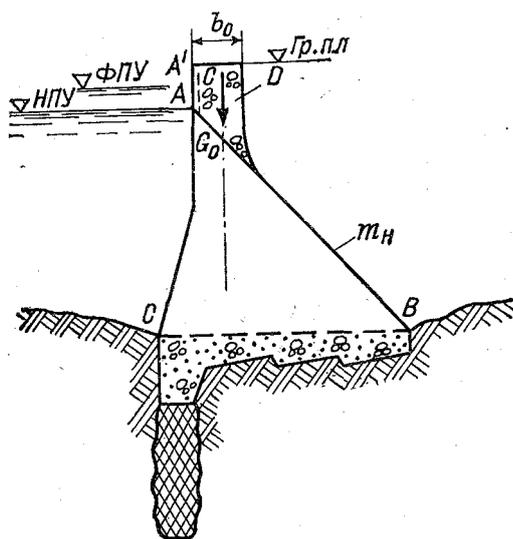


Рис. 5.5. Преобразование теоретического профиля плотины в конструктивный.

Рис. 5.6. Схема дренирования тела плотины.

1 — дренаж в теле плотины; 2 — потерна; 3 — отвод воды; 4 — дренаж в основании; 5 — завеса.

где a — запас, принимаемый равным, например, 0,5 м; Δh — высота ветрового нагона воды (денивелиция уровня) с расчетной вероятностью превышения 1%; h_b — верхняя часть высоты волны. Значения Δh и h_b находят согласно СН 92—60. (Во многих случаях величиной Δh можно пренебречь.)

Ширину гребня b_0 устанавливают в зависимости от использования гребня для тех или иных целей (для прохода или проезда, размещения крановых путей и других эксплуатационных нужд). Минимальная допустимая конструктивная ширина гребня $b_0 = 2,0$ м.

В фундаментную часть плотины (ниже линии *CB* рис. 5.5) входят верховой подплотинный зуб, инъекционная завеса, а также некоторый массив бетона, заглубленный в скалу.

Для снижения противодавления под плотиной и в ее теле устраивают дренаж, как правило вертикальный. Этот дренаж пред-

ставляет собой один ряд вертикальных труб, расположенных вблизи верхней грани плотины (рис. 5.6).

Считают, что расстояние d от верхней грани до дренажа (в данном горизонтальном сечении) должно равняться

$$d = (0,05 \div 0,07) h, \quad (5.9)$$

где h — заглубление рассматриваемого горизонтального сечения под уровень верхнего бьефа. При этом во избежание интенсивного выщелачивания бетона d не должно быть меньше 2,0—2,5 м. Диаметр дрен 0,15—0,30 м, расстояние между ними 3—4 м.

Вода из дрен поступает в продольные галереи (патерны) и по

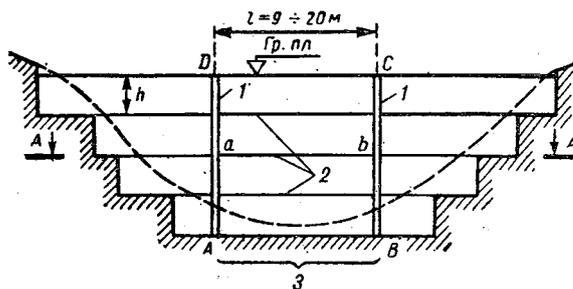


Рис. 5.7. Вид разрезки плотины с нижнего бьефа (схема).

1 — сквозной постоянный шов; 2 — горизонтальные рабочие швы; 3 — конструктивная секция.

пониженным участкам (куветам) этих патерн направляется в поперечные галереи, выводящие ее в нижний бьеф.

Продольные галереи, кроме отвода воды, служат: а) для осмотра состояния бетонной кладки, б) цементации бетонной кладки плотины при появлении трещин; в) контроля и очистки дренажных скважин; г) служебного сообщения между берегами и прокладки коммуникационных линий; д) закладки контрольно-измерительной аппаратуры (пьезометров, щелемеров, термометров и др.) и выполнения измерений по установленной аппаратуре. По высоте плотины галереи располагаются через 15—20 м и имеют поперечное сечение от 1,25×2,00 м до 3,5×4,0 м.

Для предотвращения образования трещин в теле плотины в связи с ее неравномерной усадкой и температурными деформациями бетона устраивают постоянные температурно-усадочные швы, разбивающие плотину на отдельные конструктивные секции (рис. 5.7). Эти швы делают плоскими, вертикальными и всегда поперек плотины через каждые 10—20 м. Ширина швов, как правило, 5—10 мм. С тем чтобы предотвратить фильтрацию воды через эти швы, их уплотняют. Конструкция некоторых применяемых в настоящее время уплотнений показана на рис. 5.8, а схемы швов в целом на рис. 5.9.

Кроме постоянных сквозных швов, в теле плотины имеются рабочие швы, возникающие в связи с тем, что бетон приходится укладывать отдельными блоками (см. 2 на рис. 5.7). Однако всегда при укладке очередного блока принимаются специальные меры для того, чтобы свежий бетон как можно лучше схватился

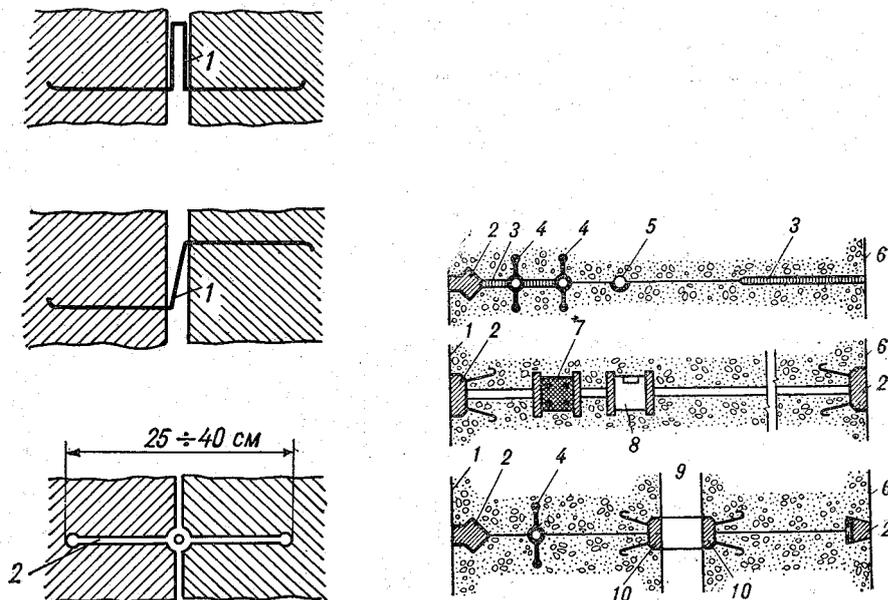


Рис. 5.8. Конструкция диафрагм в температурно-усадочных швах.

1 — металлический лист; 2 — резина.

Рис. 5.9. Примеры деформационного шва (вид уплотнения в горизонтальном сечении).

1 — верховая грань плотины; 2 — контурное наружное уплотнение; 3 — заполнение шва; 4 — резиновая диафрагма; 5 — дрена; 6 — низовая грань плотины; 7 — асфальтовая шпонка; 8 — запасная шахта; 9 — потерна; 10 — контурное внутреннее уплотнение.

с бетоном, уже находящимся в плотине, и, таким образом, шов получился бы возможно более прочным.

Особенности конструкции плотин на мягких основаниях. От однотипных плотин на скале плотины на мягком основании отличаются в основном конструкцией фундаментной части и имеют более длинный подземный контур для уменьшения вредных последствий фильтраций (рис. 5.10). Так, вместо инъекционной завесы здесь забивают шпунты (деревянные или металлические стенки, непроницаемые для воды), которых может быть один или несколько (два-три). А удлинение путей фильтрации достигается, как отмечалось выше, устройством понура. В некоторых случаях понур играет не только противофильтрационную роль, но и защитную, предохраняя дно верхнего бьефа от размыва его надземным потоком, поступающим в отверстие плотины.

Понуры могут быть жесткими (из железобетона) и гибкими. Кроме того, различают практически непроницаемые понуры специальной конструкции, например, с асфальтовой изоляцией, и маловодопроницаемые понуры, выполненные из глинистого грунта.

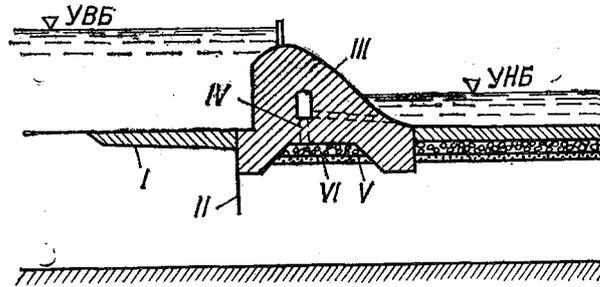


Рис. 5.10. Бетонная плотина на мягком основании.

I — понур; II — шпунт; III — дренажная галерея; IV — дренажный колодец высотой 1–2 м; V — обратный фильтр; VI — дренаж.

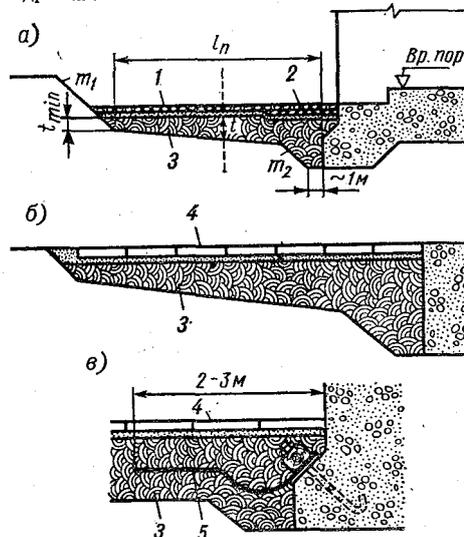


Рис. 5.11. Примеры гибких маловодопроницаемых (глинистых) понуров (а–в).

1 — одиночная мостовая на слое песчано-гравийной подготовки толщиной 0,15 м; 2 — двойная мостовая (на цементном растворе) на слое подготовки; 3 — глинистый понур; 4 — бетонные плиты размером, например, 3,0×3,0×0,5 м на гравийной подготовке толщиной 0,15 м; 5 — битумный мат.

Минимальную толщину понура из глины (рис. 5.11) в его начале принимают равной $t_{min} \approx 0,5$ м, а толщину t в остальных сечениях определяют по зависимости

$$t \geq (1/10 + 1/15) h_{п}, \quad (5.10)$$

где $h_{п}$ — потеря напора от начала подземного контура (от верхнего бьефа) до рассматриваемого вертикального сечения. Длина понура устанавливается при выполнении фильтрационных расчетов.

Железобетонные понуры обычно имеют смысл только при условии, если плотина будет привязана арматурой к понуру, т. е.

пону́р будет анкерным. В этом случае вес воды, лежащий над пону́ром, будет прижимать его к основанию, причем устойчивость плотины на сдвиг соответственно повысится.

5.3. Облегченные гравитационные плотины

Облегченные бетонные плотины применяют с целью уменьшения объема бетонных работ и удешевления строительства; основные типы этих плотин представлены на рис. 5.12. Здесь показана плотина с расширенными швами (а), плотина с полостью у основания (б) и плотина с заполнением пустот камнем (в).
 г) — массивно-контрфорсная.

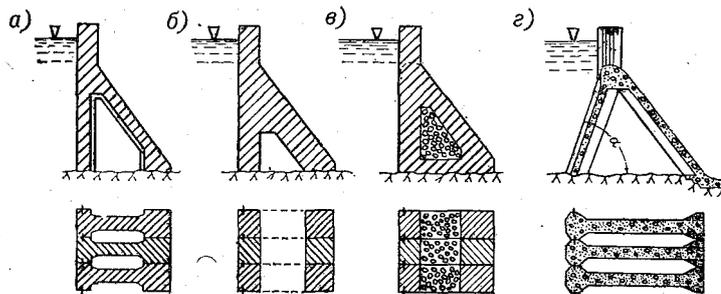


Рис. 5.12. Облегченные бетонные плотины.

а — с расширенными швами; б — с полостью у основания; в — с пазухой, заполненной камнем; г — массивно-контрфорсная.

Такие плотины могут быть глухими и водосливными, как показано пунктиром на рис. 5.12 в. Расчет плотин этих типов выполняют так же, как и массивных, но не на 1 м погонной длины, а на всю длину блока. Экономия бетона в плотинах, представленных на рис. 5.12 а, б, получается в основном за счет уменьшения противодействия, передающегося на уменьшенную площадь основания плотины, а в плотине, представленной на рис. 5.12 в, за счет замены части бетонной кладки камнем.

Примером гравитационной плотины с расширенными швами у нас в стране может служить построенная в 1967 г. плотина Братского гидроузла на р. Ангаре высотой 124 м.

На рис. 5.12 г показана так называемая массивно-контрфорсная бетонная облегченная плотина, которая может быть глухой и водосливной. Она состоит из бетонных стенок-контрфорсов, соединенных друг с другом с напорной и низовой сторон массивными оголовками, между которыми предусмотрено уплотнение. В этом типе плотин экономия бетона получается за счет наклона напорной грани плотины и снижения противодействия на основание, передаваемого, как и в схемах а и б, не на всю плотину, а только на ширину контрфорсов. Если напорная грань плотины наклонена к горизонту на угол α (рис. 5.12 г), нормальное давление воды на 1 м погонной длины плотины составит

$$R = \gamma_0 H^2 / (2 \sin \alpha), \quad (5.11)$$

откуда

$$\left. \begin{aligned} R_{\Gamma} &= R \sin \alpha = \gamma_0 H^2 / 2; \\ R_{\text{В}} &= R \cos \alpha = \gamma_0 H^2 / (2 \operatorname{tg} \alpha). \end{aligned} \right\} \quad (5.12)$$

Для получения давления на один контрфорс нужно горизонтальную R_{Γ} и вертикальную $R_{\text{В}}$ силы помножить на расстояние

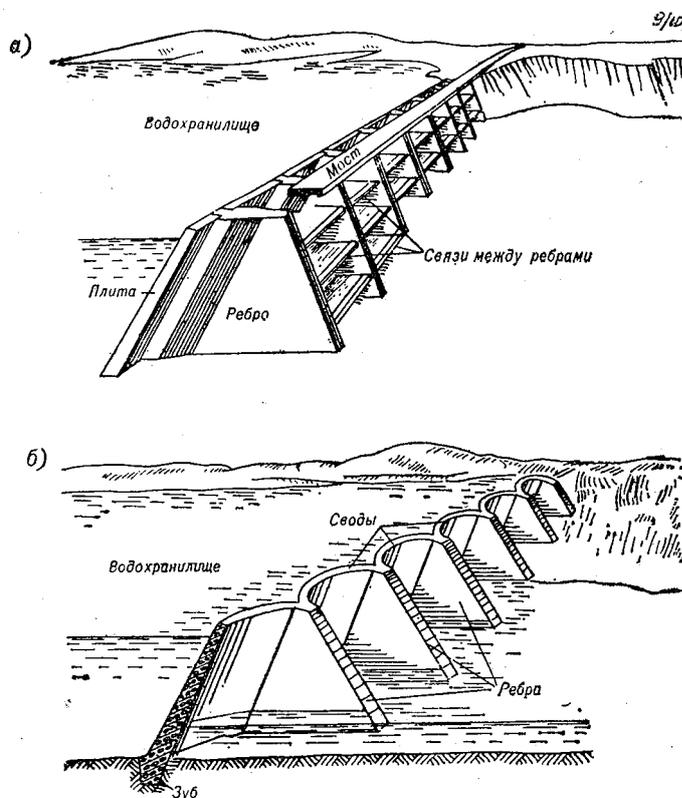
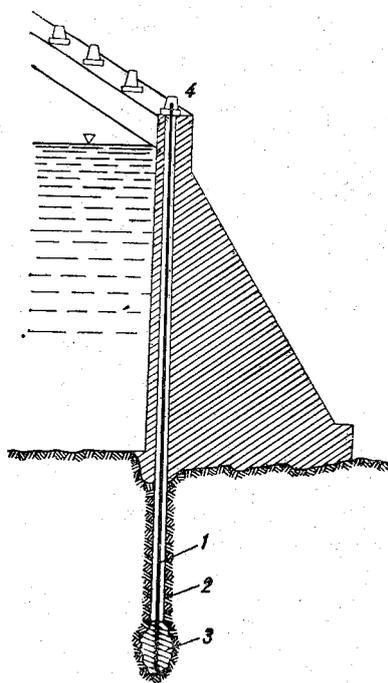


Рис. 5.13. Железобетонные контрфорсные плотины.
а — с плоской напорной гранью; б — многоарочная.

между контрфорсами. Из формул (5.12) видно, что горизонтальное давление на контрфорсную плотину остается таким же, как и на плотину с вертикальной гранью, но, кроме того, возникает вертикальное давление $R_{\text{В}}$, которое прижимает плотину к основанию и увеличивает ее устойчивость на сдвиг при меньшем объеме бетона. Из второй формулы (5.12) непосредственно видно, что сила $R_{\text{В}}$ равна весу воды, лежащей на наклонной напорной грани плотины.

Железобетонные контрфорсные плотины представлены на рис. 5.13. Если такую плотину возводят на сравнительно

слабом основании, то контрфорсы упирают на сплошную фундаментную плиту или каждый контрфорс расширяют в основании на величину, определяемую расчетом. Напорную грань железобетонных контрфорсных плотин выполняют в виде плоских железобетонных плит или наклонных сводов. Последний тип называют *многоарочной плотиной*.



Заанкеренная бетонная плотина стальными тросами к скале схематически показана на рис. 5.14. Для выполнения конструкции заранее пробуривают в скале скважины, закладывают в них тросы и заделывают (бетонируют) их концы на дне скважин. При бетонировании плотины в нее закладывают трубы, через которые пропускают тросы до гребня плотины. По окончании твердения бетона на гребне плотины ставят домкраты, натягивают тросы до расчетного усилия и закрепляют их.

Рис. 5.14. Анкерка плотины к скале.

1 — трос; 2 — буровая скважина в плотине и в скале; 3 — заделка троса в скале; 4 — натяжное приспособление и анкерка троса.

Такие натяжные устройства ставят вдоль гребня плотины на взаимном расстоянии 2—4 м (по расчету).

Натяжение тросов вызывает сжимающие напряжения в напорной части плотины и прижимает тело ее к основанию, увеличивая сопротивление сдвигу.

5.4. Арочные плотины

Арочные плотины сооружают исключительно на скальном основании. Как отмечалось в п. 5.1, арочная плотина представляет собой свод, упирающийся своими пятами в скальные берега. Естественно, что устойчивость такой плотины обеспечивается не силой трения T (см. рис. 5.1), как в случае гравитационной и контрфорсной плотин, а реакциями скальных берегов.

Со скальным основанием арочная плотина сопрягается соответствующим зубом, под которым устраивают инъекционную завесу.

Арочные плотины представляют собой пространственную конструкцию в виде некоторой оболочки. При этом только часть силы

P (см. рис. 5.1 в) передается на берега; другая часть этой силы воспринимается скальным основанием. Распределение силы между берегами и основанием может быть в разных случаях различным.

Основными параметрами арочной плотины (рис. 5.15) являются: а) радиус r арки (в плане) в данном горизонтальном сечении плотины; б) центральный угол 2α этого сечения; в) отношение ширины L створа плотины к ее высоте H ($L:H$); г) отношение ширины b плотины понизу (в вертикальном поперечном ее сечении) к высоте плотины H ($b:H$).

Несколько условно арочные плотины подразделяются на два типа:

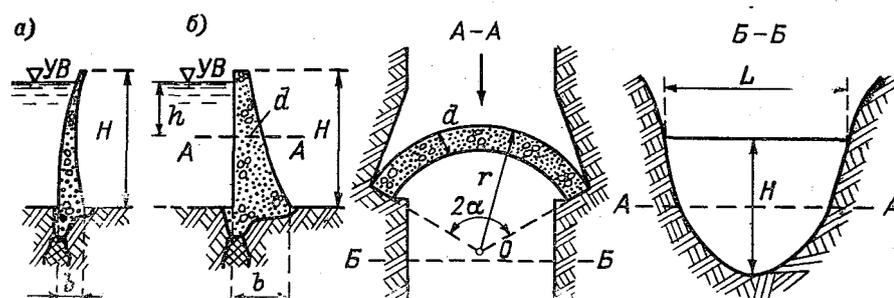


Рис. 5.15. Схема арочной плотины.

а — собственно арочная плотина (тонкая арочная плотина); б — арочно-гравитационная плотина.

а) собственно арочные плотины или тонкие арочные плотины (рис. 5.15 а), когда

$$b \approx (1/10 \div 1/3) H; \quad (5.13)$$

в этом случае большая часть гидростатического давления верхнего бьефа передается на берега; такие плотины до последнего времени строились обычно при ширине створа плотины

$$L < (1,5 \div 2,0) H; \quad (5.14)$$

б) арочно-гравитационные плотины, когда

$$b \approx (1/3 \div 1/2) H; \quad (5.15)$$

в этом случае большая часть гидростатического давления верхнего бьефа передается на скальное основание плотины; такие плотины до последнего времени строились при ширине створа плотины, удовлетворяющей условию

$$(1,5 \div 2,0) H < L < (3,0 \div 3,5) H. \quad (5.16)$$

Только в исключительных случаях размеры b и L выходили за указанные выше пределы.

По сравнению с гравитационными плотинами арочные имеют меньший объем бетонной кладки. Переходя от варианта грави-

тационной плотины к варианту арочной, объем бетонной кладки для заданных конкретных условий можно уменьшить примерно в 2—3 раза. Следует однако иметь в виду, что стоимость 1 м³ бетона в случае арочной плотины получается на 10—15 % больше, чем в случае гравитационной плотины.

В настоящее время высота арочных плотин достигает 235 м (плотина Моувазен в Швейцарии). В СССР арочные плотины были построены на Кавказе: Гергебильская высотой 70 м, Ладжанурская высотой 69 м, Шамбская высотой 49 м, Толоросская высотой 68 м и др. В настоящее время там же строятся плотины на р. Ингури высотой около 273 м и на р. Сулак — Чиркейская плотина высотой 238 м; на Енисее строится Саяно-Шушенская плотина высотой 242 м.

Рассматривая примеры построенных плотин, можно видеть, что с течением времени область применения плотин арочного типа расширяется: они строятся все большей высоты и перекрывают створы большей ширины.

В настоящее время арочные плотины сооружаются из бетона (весьма редко из железобетона). Бетон для возведения арочных плотин применяют более высокой марки, чем в случае гравитационных плотин.

Для расчета арочной плотины, заключающегося в определении толщины оболочки на разных уровнях, предложено несколько методов, но ни один из них не может быть признан вполне удовлетворительным, так как простые методы, например с использованием котельной формулы, крайне приблизительны, а более точные (например, многоконсольный метод) исключительно трудоемки. Поэтому в настоящее время при проектировании арочных плотин начали широко пользоваться исследованиями на моделях, выполненных из хрупкого (гипс, бетон), упругого (резина, пластмассы) или оптически активного материалов.

5.5. Плотины с низким порогом

Во многих случаях при строительстве водоподъемных плотин, предназначенных для улучшения условий водозабора или судоходства, не возникает требования значительного повышения уровня воды в верхнем бьефе, но при этом сохраняется необходимость пропуска через сооружения вод реки иногда с весьма большими расходами. Это вынуждает строить плотины с очень низким порогом, а точнее от самого тела плотины оставлять только фундаментную часть.

Такую фундаментную часть обычно конструктивно объединяют с водобоем, причем получают одну бетонную плиту, называемую *флютбетом* (рис. 5.16).

Во избежание истирания флютбета влекомыми наносами его часто покрывают защитной облицовкой из гранитных камней, чугуновых или стальных плит. При проектировании плотин с низким

порогом на нескальных основаниях особое внимание надо уделять ограничению размыва в нижнем бьефе. Конструктивные мероприятия, применяемые для этого, определяют на основе рас-

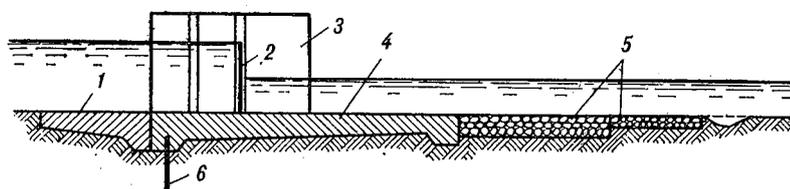


Рис. 5.16. Схема плотины с флютбетом.

1 — понур; 2 — затвор; 3 — бык; 4 — флютбет; 5 — рисберма; 6 — шпунт.

чета, по экспериментам в лабораториях на моделях плотин с учетом опыта эксплуатации возведенных сооружений.

5.6. Водопрпускные устройства в теле плотины

5.6.1. Классификация водопрпускных устройств

По назначению различают следующие водопрпускные устройства:

1) водосбросы, служащие для сброса излишней воды из водохранилища (из верхнего бьефа) во избежание его переполнения;

2) хозяйственные водоспуски, устраиваемые для осуществления полезных попусков воды из водохранилища в русло реки или в специально устроенный в нижнем бьефе канал или трубопровод, транспортирующий воду потребителю (в том числе и на ГЭС). Порог входного отверстия хозяйственного водоспуска закладывают несколько ниже УМО (уровня мертвого объема) с тем, чтобы при самом низком горизонте воды в водохранилище (при УМО) можно было бы подать потребителю необходимое количество воды; хозяйственный водоспуск именуют иногда рабочим водоспуском, или водоприемником, или водозаборным устройством;

3) аварийный водоспуск, служащий для полного опорожнения водохранилища в случае, например, аварийного состояния плотины; входной порог такого водоспуска устраивают на уровне дна водохранилища.

Водосброс при плотине устраивают почти всегда. Хозяйственный водоспуск делают в том случае, когда из водохранилища приходится подавать (самотеком) воду потребителю. Что касается аварийного водоспуска, то его делают не всегда.

Перечисленные водопрпускные устройства являются постоянными, их называют *эксплуатационными*.

В некоторых случаях одно водопропускное устройство проектируют так, что оно может выполнять несколько функций, например, служить для сброса излишних вод из верхнего бьефа и одновременно для полезных попусков в нижний бьеф.

Помимо эксплуатационных водопропускных устройств, поясненных выше, при плотине на период ее строительства в соответствующих случаях сооружают временное водопропускное устройство — *строительный водосброс*, служащий для пропуска так называемого *строительного расхода* воды. Временный строительный водосброс стремятся конструктивно совместить с тем или другим постоянным (эксплуатационным) водопропускным устройством.

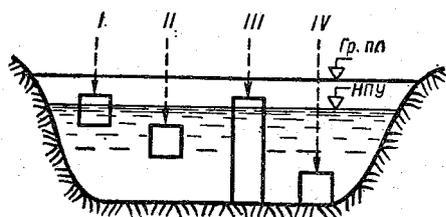


Рис. 5.17. Схема входных отверстий.

I — поверхностного; II — глубинного; III — донного поверхностного; IV — донного глубинного.

В водопропускном устройстве принято различать *входное отверстие* и *транзитную* его часть.

Входное отверстие может быть:

а) *поверхностным*, т. е. расположенным на уровне поверхности воды в водоеме (рис. 5.17); это отверстие работает как водослив, его иногда именуют также отверстием водосливному, или безнапорным, или открытым; если нижняя грань поверхностного отверстия расположена у дна, то отверстие называют *донным поверхностным*;

б) *глубинным*, расположенным так, что верхняя грань его оказывается ниже уровня воды в водоеме; это отверстие иногда именуют также отверстием водоспускным, или погруженным, или напорным, или закрытым; если нижняя грань глубинного отверстия расположена у дна, то отверстие называют *донным глубинным*.

Транзитные части водопропускных устройств отличаются большим конструктивным разнообразием. Они могут быть открытыми, закрытыми, напорными или безнапорными, трубами, туннелями и т. п.

Наиболее существенные, принципиальные различия, в особенности отдельных водопропускных устройств, определяются не столько назначением устройства, сколько типом входного отверстия. Поэтому в дальнейшем будут рассмотрены конструкции водосливнового, т. е. поверхностного отверстия, являющегося в большинстве случаев водосбросом, и водоспускного, т. е. глубинного отверстия, которое может иметь практически любое из указанных выше назначений.

5.6.2. Расчетные расходы воды для водопропускных устройств

Размеры отверстий водопропускных устройств, обеспечивающие надлежащую их пропускную способность, устанавливают по обычным зависимостям гидравлики, исходя из соответствующего расчетного расхода.

1. Расчетный расход воды для водосбросного устройства. Для водосбросного устройства в качестве расчетного расхода принимают максимальный расход воды в реке заданной обеспеченности ($Q_{расч}$). При этом значение обеспеченности (или, что то же, вероятности превышения максимального расхода) устанавливают в зависимости от класса капитальности сооружения, согласно рекомендациям СН 435—72 (см. табл. 5.5), а само значение расхода заданной обеспеченности определяют известными гидрологам способами.

Таблица 5.5

Класс капитальности сооружения	I	II	III	IV
Расчетная ежегодная вероятность превышения максимального расхода воды, %	0,01	0,1	0,5	1,0

В том случае, если имеет место трансформация стока водохранилищем, при определении $Q_{расч}$ необходимо исходить не из естественного гидрографа стока, а учитывать аккумуляцию воды в верхнем бьефе. Способы вычисления трансформации расходов воды водохранилищем изучаются в курсе «Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты».

Разумеется, если часть $Q_{расч}$ предполагают сбрасывать через хозяйственный водоспуск, то это обстоятельство должно быть учтено как при расчете водосброса, так и при расчете водоспуска.

2. Расчетный расход воды для хозяйственного водоспуска устанавливают непосредственно по предварительно построенному графику отдачи воды из водохранилища потребителю.

3. Расчетный расход для аварийного водоспуска назначают исходя, например, из заданного времени опорожнения водохранилища (которое, очевидно, должно быть небольшим).

4. Расчетный расход для строительного водосброса устанавливают, как указано в п. 1. Если строительный водосброс служит не полный год, кривую обеспеченности для него строят на основании гидрографов, относящихся только к тому сезону года, в течение которого эксплуатируется данное временное сооружение.

5. «Санитарный расход». При строительстве и эксплуатации плотины не должно создаваться такого положения, когда вода в нижний бьеф не поступает, и русло реки ниже плотины пересыхает. Это недопустимо по санитарным и хозяйственным соображениям. Поэтому водопропускные устройства проектируют с таким расчетом, чтобы обеспечить (в любой момент времени на протяжении периода строительства плотины и ее эксплуатации)

сброс в нижний бьеф так называемого санитарного расхода воды, значение которого специально устанавливают в соответствии с местными условиями.

5.6.3. Конструкция водосливных отверстий

Водосливная часть плотины ограничивается *устоями*, которые отделяют водосбросные отверстия от берега или от других сооружений, входящих в гидроузел (гидростанции, глухой части плотины и т. п.). Сама водосливная часть плотины разбивается *быками* на отдельные отверстия, перекрываемые, как правило, затворами (рис. 5.18).

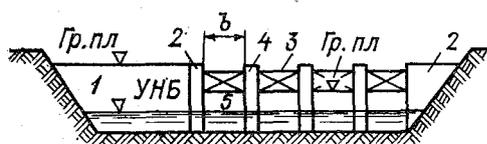


Рис. 5.18. Вид плотины с нижнего бьефа.

1 — глухая часть плотины; 2 — устой; 3 — затвор; 4 — бык; 5 — водосливная часть плотины.

Ширину водосливного фронта плотины определяют исходя из того, что нам известны: а) створ плотины (поперечное сечение реки, в котором намечают разместить плотину); б) максимальный расчетный расход воды $Q_{расч}$ для водосбросных сооружений; в) нормальный подпорный уровень (НПУ), установленный при помощи соответствующих водохозяйственных расчетов; г) форсированный подпорный уровень (ФПУ), намеченный с учетом экономических соображений.

Под шириной B водосливного фронта понимают суммарную ширину всех водосбросных отверстий (в свету) водосливного типа, устроенных в плотине:

$$B = \sum b, \quad (5.17)$$

где b — ширина одного отверстия; величину b считаем одинаковой для всех отверстий.

Зная $Q_{расч}$, ширину водосливного фронта B определяют по формуле

$$B = Q_{расч}/q, \quad (5.18)$$

где q — удельный расход, т. е. расход, приходящийся на 1 м длины водосливного фронта при полностью открытых затворах, когда в верхнем бьефе имеется форсированный подпорный уровень.

Удельный расход q в первом приближении задают на основании данных практики равным: а) при скальном и полускальном основании плотины от 50—70 до 90—120 м²/с (при устройстве плотин на больших реках); б) при нескальном основании плотины до 10—30 м²/с, а иногда и до 60—70 м²/с.

Ширина B , найденная по формуле (5.18), исходя из того или другого принятого значения q , должна вписываться в имеющуюся ширину русла реки. Если ширина B не вписывается в заданный створ, то приходится: а) или увеличивать значения q ; б) или устраивать плотину с гребнем, имеющим криволинейное очертание в плане; в) или переносить створ плотины в другое место.

Отметку гребня водосливной плотины находят из следующих соображений.

При полном открытии водопропускного отверстия водосливного типа оно будет работать как водослив с широким порогом или как водослив со стенкой практического профиля, причем такой водослив может быть неподтопленным или подтопленным.

Существующие расчетные зависимости для водосливов известны из курса гидравлики. Пользуясь этими зависимостями, можно определить отметку гребня водослива, если нам известна отметка ФПУ, ширина водосливного фронта B , расчетный расход $Q_{\text{расч}}$, а если водослив подтоплен, то еще и отметка уровня воды ниже него бьефа.

Предположим, имеется водослив практического профиля. Для такого водослива

$$Q = \sigma_n \varepsilon m B \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (5.19)$$

где σ_n — коэффициент подтопления водослива; ε — коэффициент бокового сжатия, зависящий, в частности, от числа быков; m — коэффициент расхода, зависящий от формы поперечного сечения водосливной стенки; H_0 — полный напор на водосливе, равный

$$H_0 = H + (av_0^2)/2g, \quad (5.20)$$

причем здесь v_0 — скорость подхода. (В связи с небольшими скоростями течения в водохранилище величиной v_0 часто пренебрегают, тогда $H_0 = H$, т. е. геометрическому напору.)

В первом приближении m и ε придают некоторое среднее значение из величин, приведенных в гидравлических справочниках; должен быть решен и вопрос о численном значении коэффициента подтопления.

Подставляя значения B и $Q = Q_{\text{расч}}$, найденные в п. 5.6.2, в формулу (5.19), можем определить геометрический напор на водосливе H . Далее, зная H , определяем (в первом приближении) отметку гребня плотины:

$$\nabla \text{Гр. пл} = \nabla \text{ФПУ} - H. \quad (5.21)$$

Поскольку в большинстве случаев водосбросные отверстия плотины перекрываются затворами, то полученную по формуле (5.18) ширину водосливного фронта B необходимо разбить на отдельные отверстия, соответствующие габаритам типовых затворов, согласно СНиП II—50—74.

Обычно эти отверстия в одной плотине назначают одинакового размера, но иногда, исходя из местных условий, несколько отверстий могут иметь габариты, отличающиеся от габаритов

большинства других отверстий. Например, при строительстве плотины на реке с интенсивным ледоходом водосливные отверстия, расположенные в зоне динамической оси потока, т. е. по пути движения основной массы льда, делают такого размера, чтобы через них свободно могли проходить плывущие льдины, для чего, естественно, надо знать возможные максимальные размеры льдин на данной реке.

Поперечное сечение плотины по водосливному отверстию обычно имеет форму водослива практического профиля. Очертания гребня этого водослива выполняют по таблице координат Кригера—Офицерова (известной из курса гидравлики), а нижнюю часть водосливной стенки конструируют по-разному, обеспечивая тот или иной тип сопряжения струи с уровнем воды нижнего бьефа (рис. 5.19).

В низконапорных плотинах водосливное отверстие делают в виде водослива с широким порогом (рис. 5.16).

В низконапорных плотинах водосливное отверстие делают в виде водослива с широким порогом (рис. 5.16).

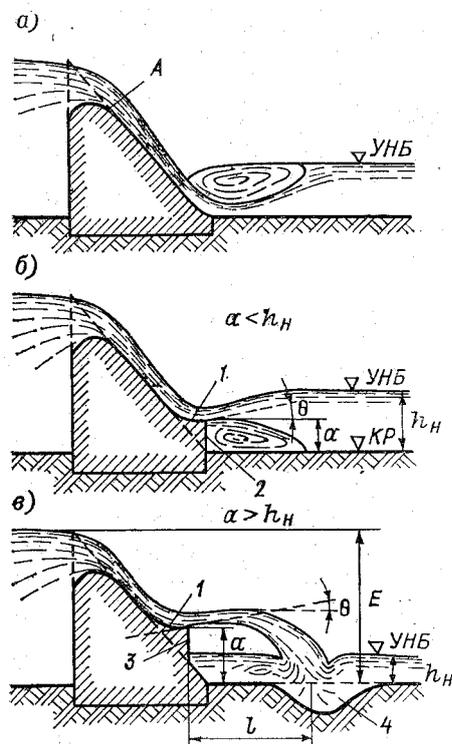


Рис. 5.19. Различные типы сопряжения сливной поверхности плотины с дном нижнего бьефа (а—в).

1 — носок; 2 — уступ низкий; 3 — уступ высокий; 4 — воронка (яма) размыва.

После разбивки водосливного фронта на отдельные отверстия, выбора определенного очертания быков и формы водосливной стенки устанавливают окончательные значения коэффициентов, входящих в формулу (5.19), и уточняют значения напора, отметки гребня плотины и ширины водосливного фронта.

5.6.4. Конструкция водоспускных отверстий

Водопускные устройства с глубинными входными отверстиями (водоспускные отверстия) встречаются самого различного вида. Для примера на рис. 5.20 показано несколько схем таких отверстий. Водопускной тракт этих устройств рассчитывают по обычным формулам гидравлики, исходя из максимального расхода воды, значение которого определяют по соображениям, изложенным в п. 5.6.2.

В плотине обычно устраивают несколько водосбросных труб того или иного типа. Иногда отдельные секции таких водосбросных труб располагают на разных отметках, причем получают несколько ярусов входных глубинных отверстий, общая пропускная способность которых может достигать 2000 м³/с и более.

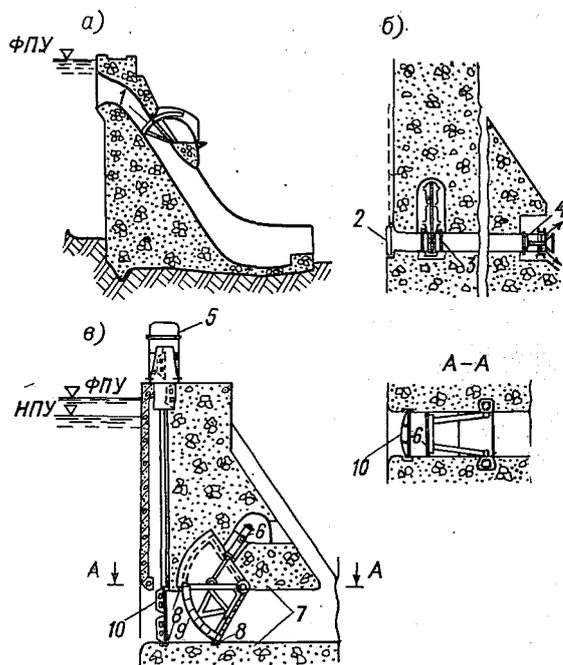


Рис. 5.20. Обычные водосбросы в теле плотины, имеющие глубинное входное отверстие (а—в).

1 — сегментный затвор; 2 — плоский ремонтный затвор; 3 — герметичный плоский затвор гидравлического действия; 4 — конусный затвор; 5 — подъемный кран; 6 — гидравлический привод; 7 — стальная облицовка; 8 — уплотнения; 9 — секторный затвор; 10 — плоский затвор (ремонтный, аварийный).

Бетонную поверхность водосбросных труб иногда покрывают стальной облицовкой. Такая облицовка дает следующий эффект: а) защищает бетон от истирания его движущимися наносами; б) предохраняет бетонную поверхность от кавитационной эрозии; в) снижает коэффициент шероховатости водопропускного тракта, а следовательно, повышает его пропускную способность; г) снижает фильтрацию воды через бетон, обусловленную гидродинамическим давлением в воде, движущейся по трубе; снижение же фильтрации способствует снижению выщелачивания бетона. В некоторых случаях (при больших гидродинамических давлениях

в трубе) за счет стальной облицовки повышается и прочность конструкции.

Интересной разновидностью водопропускных устройств с глубинным входным отверстием являются сифонные водосбросы, условия работы которых удобно пояснить, руководствуясь рис. 5.21.

Точка 2 сифонного водосброса находится на уровне НПУ; на этом же уровне устроено воздушное отверстие 1 («прерыватель»). При поднятии уровня воды в верхнем бьефе выше НПУ воздушное отверстие затопливается водой (например, на высоту

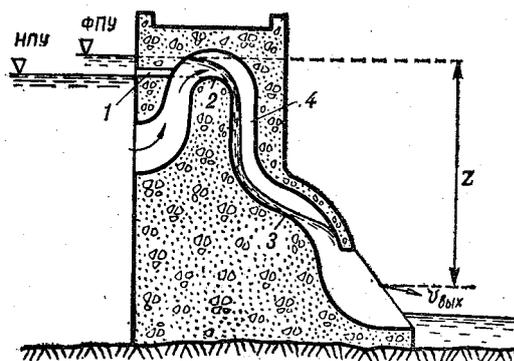


Рис. 5.21. Пример сифонного водосброса.

1 — воздушное отверстие («прерыватель»); 2 — гребень сифона; 3 — трамплин; 4 — замкнутая воздушная область (при зарядке сифона).

0,1—0,2 м); при этом вода начинает переливаться через гребень сифона 2, имеющийся в его «горловине». В точке 3 струя сходит с бетонного «трамплина» и ударяется о противоположную стенку сифона, причем в сифоне образуется замкнутая воздушная область 4. По истечении короткого промежутка времени воздух из этой области отсасывается струей, при этом сифон заряжается и начинает работать под напором. Удельный расход для сифонных водосбросов достигает (при определенных условиях) примерно $25 \text{ м}^3/\text{с}$ на 1 м погонной длины водосливного фронта.

Достоинства сифонных водосбросов: а) в отличие от обычных водосбросов они могут пропускать большие расходы без значительного повышения уровня воды в верхнем бьефе; б) включение и выключение их осуществляются автоматически; в) отсутствуют затворы и подъемные механизмы (дорогие металлические конструкции).

Недостатки сифонных водосбросов: а) нельзя регулировать расход — сифонная труба, начав работать, пропускает полный расход до тех пор, пока не выключается из работы; б) через сифонные трубы трудно сбрасывать лед и плавающие тела; при наличии суровых климатических условий имеется опасность замерзания воздушного и входного отверстий; в) при включении и выключении сифонных труб может возникать вибрация сооружения.

5.7. Устройства нижнего бьефа водосбросных плотин

5.7.1. Русловые и гидравлические процессы в нижнем бьефе

При пропуске воды через плотину вблизи нее в нижнем бьефе поток воды характеризуется большими скоростями. Этот поток, обладая повышенной кинетической энергией, имеет большую размывающую способность.

В случае даже невысокой плотины на нескальном основании, не защищенном каким-нибудь креплением (покрытием), непосредственно за плотинной может образоваться глубокая воронка размыва (рис. 5.22). Данные практики показывают, что глубина такой воронки может достигать, например, величины $h_p \approx (2 \div 3)H$, где H — напор на плотине.

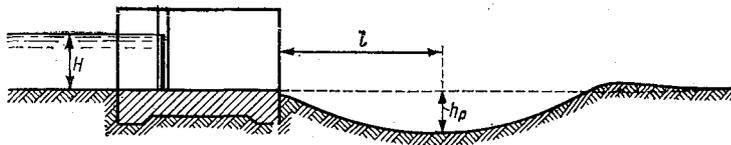


Рис. 5.22. Воронка размыва за плотинной.

При наличии высокой плотины, когда в нижний бьеф с большой высоты сбрасываются иногда громадные массы воды, причем скорости движения ее достигают 40—50 м/с, водный поток может разрушать и скальное основание; в этом случае воронки размыва в скале могут достигать значительной глубины, например 10 м и более.

Естественно, что такие размывы дна русла (а также и берегов) в нижнем бьефе часто являются недопустимыми, так как они могут вызвать разрушение плотины.

Имея это в виду, русло нижнего бьефа непосредственно за плотинной, как правило, покрывают надлежащим креплением, а также иногда углубляют. Чтобы уменьшить стоимость работ по укреплению русла за плотинной, часто в пределах нижнего бьефа (а иногда и на сливной поверхности самой плотины) устраивают различные *гасители энергии*, при помощи которых снижают кинетическую энергию потока, а следовательно, и его размывающую способность.

Здесь следует напомнить известное из гидравлики положение, что скорости потока воды непосредственно за плотинной зависят от типа сопряжения ниспадающей струи с нижним бьефом, которое может происходить при помощи *отогнутого гидравлического прыжка* или *затопленного гидравлического прыжка*. Как показали расчеты и практика, крепление нижнего бьефа получается более экономичным в случае затопленного прыжка, несмотря на то, что иногда приходится прибегать к специальным конструктивным мероприятиям для получения желаемого типа сопряжения бьефов.

Учитывая это обстоятельство, дальше вовсе не будем рассматривать случаев отогнанного прыжка.

5.7.2. Крепление нижнего бьефа плотин на нескальном основании

При сооружении таких плотин (располагаемых на основании песчаном, глинистом и т. п.) дно русла непосредственно за плотинами почти всегда покрывают на большую или меньшую длину *креплением*. Как правило, это крепление состоит из двух частей:

1) *водобоя*, представляющего собой армированную или неармированную бетонную плиту примерно такой длины, чтобы в пределах ее мог поместиться затопленный гидравлический прыжок, получающийся за плотиной (см. ниже);

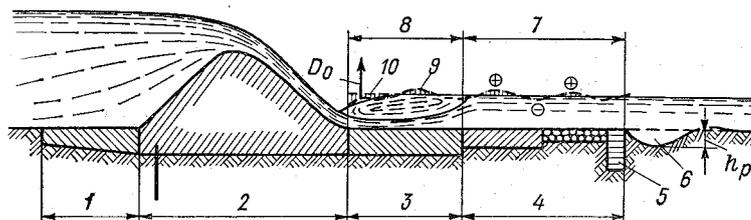


Рис. 5.23. Схема поперечного сечения плотины на нескальном основании.

1 — понур; 2 — плотина; 3 — водобой; 4 — рисберма; 5 — концевое устройство рисбермы; 6 — воронка размыва; 7 — послепрыжковый участок; 8 — затопленный прыжок; 9 — эпюра гидродинамического давления на водобой и рисберму в данный момент времени; 10 — эпюра противодействия, действующего на водобойную плиту (со стороны дренажа); D_0 — дефицит давления (см. с. 62).

2) *рисбермы*, располагаемой за водобоем в пределах так называемого *послепрыжкового участка* и выполняемой, например, из отдельных бетонных плит, каменной наброски и т. п. В конце рисбермы иногда сооружают особое *концевое устройство*.

Общий вид водобоя и рисбермы в продольном вертикальном разрезе показан на рис. 5.23.

Как было отмечено, водобой и рисберма отличаются друг от друга в конструктивном отношении. Однако иногда крепления подразделяют на водобой и рисберму только условно, так как в некоторых случаях особого различия в конструктивном отношении между ними может и не быть.

Если бытовые глубины в нижнем бьефе не обеспечивают сопряжения ниспадающей струи по типу затопленного гидравлического прыжка, то непосредственно за плотиной устраивают водобойные колодцы (рис. 5.24 а) или стенки (рис. 5.24 б), цель которых состоит не только в механической защите русла от размыва, но и в затоплении прыжка.

Гидравлический расчет указанных гасителей энергии и общее их устройство поясняются в курсе «Гидравлики».

Кроме водобойных колодцев и стенок, являющихся простейшими гасителями энергии, иногда устраивают специальные гасители энергии, размещаемые обычно в пределах водобоя и представляющие собой преграды или выступы (например, железобетонные) той или иной формы и размера. В частности, варианты специальных гасителей в виде *пирсов* и *шашек* изображены на рис. 5.25. Поток, обтекая эти преграды, распадается на отдель-

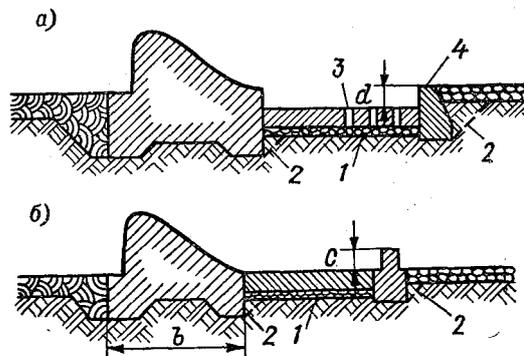


Рис. 5.24. Конструкции водобойного колодца (а) и водобойной стенки (б).

1 — дренаж; 2 — строительное отверстие; 3 — фильтрационное отверстие; 4 — подпорная стенка.

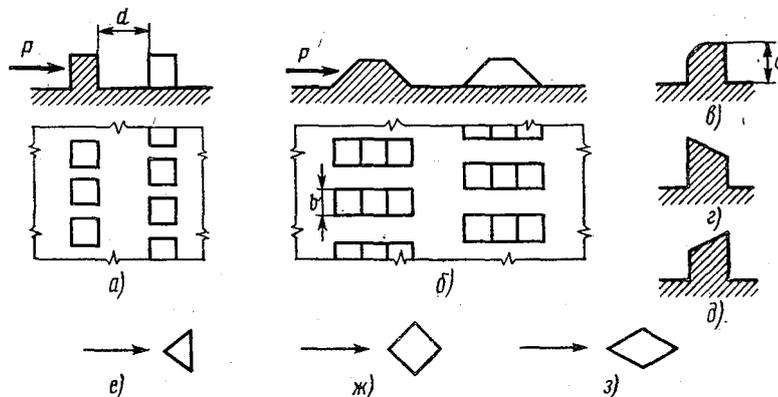


Рис. 5.25. Типы пирсов и шашек.

а, б — разрез и план; в-д — вертикальные сечения; е-з — планы.

ные струи, которые могут соударяться, при этом кинетическая энергия потока будет снижаться.

Необходимо подчеркнуть, что в настоящее время рациональную форму и достаточно надежные размеры специальных гасителей энергии можно установить только путем лабораторных испытаний конкретного сооружения.

Водобой. Водобой делают в виде горизонтальной, а иногда наклонной бетонной или железобетонной плиты.

Длину водобоя $l_{\text{вод}}$ рекомендуют назначать равной:

а) при отсутствии специальных гасителей энергии на нем

$$l_{\text{вод}} = (1,00 \div 1,25) l_{\text{п}}; \quad (5.22)$$

б) при наличии на водобое гасителей

$$l_{\text{вод}} = (0,75 \div 1,00) l_{\text{п}}, \quad (5.23)$$

где $l_{\text{п}}$ — наибольшая возможная длина затопленного прыжка.

Под водобойной плитой устраивают дренаж; сюда поступает вода, профильтровавшаяся через основание плотины из верхнего бьефа. Дренаж разгружает водобойную плиту от избыточного фильтрационного противодействия снизу.

В пределах водобойной плиты располагается затопленный гидравлический прыжок, причем глубины потока в начале этой водобойной плиты получают несколько заниженные (см. рис. 5.23). Вместе с тем в дренаже под водобоем может устанавливаться давление, соответствующее глубине воды нижнего бьефа (поскольку дренаж сообщается с нижним бьефом). Как видно, давление воды на водобой снизу получается несколько большее, чем сверху. В результате водобойная плита оказывается подверженной снизу давлению D_0 (см. на рис. 5.23 заштрихованную эпюру). Этому давлению («дефициту давления») должен противостоять вес водобойной плиты (иначе она всплывет).

Расчеты показывают, что минимальная толщина водобойной плиты d непосредственно за плотиной, обеспечивающая устойчивость водобоя на всплытие, может быть определена по формуле

$$d \approx 0,4h_{\text{н}}, \quad (5.24)$$

где $h_{\text{н}}$ — глубина воды в нижнем бьефе.

Если на водобой (или любое другое сооружение, например, флютбет низконапорной плотины, целиком находящийся под уровнем воды) действует фильтрационное противодействие, то устойчивость на всплытие одного квадратного метра водобоя может быть оценена так:

$$k = (Q + \gamma_0 h_{\text{н}} - W_{\text{вз}}) / W_{\text{ф}}, \quad (5.25)$$

где k — коэффициент устойчивости, который должен быть больше единицы; Q — вес одного квадратного метра водобоя; $\gamma_0 h_{\text{н}}$ — вес воды на единице площади водобоя; $W_{\text{вз}}$ и $W_{\text{ф}}$ — соответственно взвешивающее и фильтрационное противодействие, действующее на водобой в рассматриваемом створе.

При заданном значении k из формулы (5.25) находим требуемую толщину водобоя

$$d = kW_{\text{ф}} / (\gamma_6 - 1), \quad (5.26)$$

где γ_6 — объемная масса бетона.

Рисберма. Как отмечалось ранее, рисберму устраивают в пределах послепрыжкового участка. По ее длине размывающая способность потока должна постепенно уменьшаться за счет гашения «избыточной» кинетической энергии потока и снижения придонных скоростей (обусловленного переформированием эпюры осредненных скоростей по течению как по вертикали, так и в плане).

Поверхность рисбермы обычно делают гладкой или с небольшой шероховатостью.

В первом приближении длину рисбермы иногда назначают равной

$$l_{\text{рис}} = (1,0 \div 2,0) l_{\text{вод}} \quad (5.27)$$

Всегда можно ожидать, что в процессе эксплуатации сооружения конец рисбермы будет претерпевать некоторые деформации в связи с вымывом грунта основания из-под рисбермы. Имея это в виду, конец рисбермы часто проектируют гибким, т. е. таким, чтобы он мог без нарушения своей защитной роли деформироваться вслед за деформацией поверхности дна нижнего бьефа.

Можно считать, что в общем случае рисберма состоит из трех разных частей: жесткой, гибкой и концевого устройства.

Жесткую часть рисбермы делают из бетонных плит, гибкую — из фашинных тюфяков, каменной наброски и т. п.

Рассмотрим отдельные конструктивные элементы, которые могут служить для образования рисбермы (жесткой и гибкой).

1. Бетонные и армобетонные плиты. Толщину плит d на начальных участках рисбермы выбирают до 1—5 м, а на концевого участка — до 0,5—0,8 м и более. В плитах часто делают фильтрационные отверстия диаметром, например, 0,15—0,25 м, располагаемые в плане на расстоянии друг от друга до 5 м.

Плиты представляют собой относительно мощный тип крепления. Поэтому их часто применяют для образования начального участка рисбермы.

2. Ряжи, загруженные камнем. Этот вид крепления является также весьма надежным.

Если при колебании горизонта воды нижнего бьефа ряжи периодически выходят из воды, то во избежание разрушения их вследствие гниения дерева ряжи выполняют из железобетона.

3. Габионное крепление. Габионы представляют собой как бы корзины из проволоочной сетки, заполненные камнем.

Размеры габионов бывают самые различные. При выполнении крепления из габионов их связывают друг с другом проволокой.

Недостатком габионного крепления являются то, что крупные камни и другие влекаемые водой тела могут повреждать проволоку, причем габионы разрушаются.

4. Каменная мостовая. Ее делают обычно двойной из камня крупностью 25—30 см. Работы по сооружению каменной мостовой нельзя механизировать. Поэтому данный вид крепления избегают применять.

5. Фашинные тюфяки. Их вяжут из отдельных фашин; такое крепление является гибким. Фашинные тюфяки применяют обычно для образования рисбермы.

6. Каменная наброска. В качестве крепления используется весьма часто. В верхних слоях наброски камни должны быть более крупные. Применяются следующие виды каменной наброски: а) обыкновенная наброска камня с разравниванием

его; б) наброска между забитыми сваями (диаметром 20—25 см), расположенными в шахматном порядке через 1—2 м друг от друга; этот вид крепления часто применяют в случае песчаных грунтов; в) наброска в клетках из плетня.

Каменная наброска должна рассматриваться как «гибкий» вид крепления.

В большинстве случаев длину рисбермы приходится назначать достаточно большой с тем, чтобы не получить за ней практически ощутимого размыва. Стремясь к более экономичному решению, длину рисбермы часто сооружают несколько короче расчетной, допуская некоторый (иногда значительный) размыв за рисбермой. При проектировании такой укороченной рисбермы в конце ее создают специальное устройство, препятствующее обрушению рисбермы в воронку размыва.

Существует несколько типов (вариантов) концевого устройства. На рис. 5.23 оно показано в виде шпоры на глубину, равную возможной глубине воронки размыва. В качестве шпоры может быть поставлен армобетонный зуб, шпунтовый ряд или ряж.

Глава 6. Плотины из грунтовых материалов

6.1. Виды грунтовых материалов

К грунтовым материалам (называемым иногда «местными материалами») относятся: а) нескальные грунты (глинистые, песчаные, крупнообломочные) и б) естественный камень, получаемый путем разработки скального грунта.

Плотины из грунтовых материалов почти всегда бывают глущими: перелив воды через их гребень допускается только как исключение для плотин малой высоты (при условии принятия соответствующих мер).

Рассматриваемые материалы применялись для строительства плотин еще до нашей эры. Однако теоретические основы инженерного проектирования таких плотин были разработаны только в самое последнее время на базе сравнительно новых дисциплин, как например, механика грунта, теория фильтрации, механика скальных пород и т. п.

С развитием средств транспорта и средств механизации земляных и скальных работ строительство плотин из грунтовых материалов получает все большее распространение. Увеличились также размеры этих сооружений: если в начале нашего века такие плотины строились в СССР высотой до 20—30 м, то теперь их сооружают высотой 100 м и более.

Плотины из грунтовых материалов оказываются весьма экономичными конструкциями, если вблизи места строительства имеется соответствующий грунт или камень. Существенным положительным качеством рассматриваемого типа плотин является их долговечность, простота конструкции и производства работ по их

осуществлению, в связи с чем для сооружения таких плотин не требуется, в частности, большого количества квалифицированной рабочей силы.

6.2. Земляные плотины

Земляные плотины, являясь древнейшим типом плотин, и в настоящее время имеют самое широкое распространение. Эти плотины можно строить практически на любых основаниях, что является их крупнейшим преимуществом. Перечень некоторых земляных плотин сравнительно большой высоты приведен в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Земляные плотины

Название плотины	Год окончания строительства	Наибольшая высота, м	Страна
Андерсон Рэнч	1950	139	США
Плотина ГАЭС	1959	125	Люксембург
Сер-Понсон	1961	122	Франция
Барири	1967	112	Бразилия
Грин Маунтин	1943	94	США
Грэнби	1950	91	"
Винзор	1940	90	"
Сионская	1962	85	СССР
Качума	1953	84	США
Алькова	1938	81	"
Мингечаурская	1953	80	СССР
Дир Крик	1941	72	США
Серебрянская № 2	1972	64	СССР
Капчагайская	1972	51	"
Иркутская	1958	41	"

По способам постройки земляные плотины делятся на *насыпные*, возводимые путем отсыпки грунта в тело плотины (насухо или в непроточную воду) и *намывные*, возводимые средствами гидромеханизации земляных работ.

Способ постройки плотины существенно влияет на ее конструктивные особенности.

Земляные насыпные плотины по конструктивным признакам принято разделять на следующие основные типы (рис. 6.1):

1) плотины из однородного грунта, т. е. выполненные из одного вида слабоводопроницаемого грунта (рис. 6.1 а);

2) плотины из неоднородного грунта, т. е. выполненные из разных грунтов; часто отдельные грунты в теле плотины располагают так, чтобы водопроницаемость плотины увеличивалась по направлению от верхнего бьефа к нижнему (рис. 6.1 б), иногда же наиболее водонепроницаемый грунт помещают в центральной части профиля плотины (рис. 6.1 в);

3) плотины с наружной (верховой) маловодопроницаемой или водонепроницаемой противофильтрационной преградой в виде экрана, выполненного из маловодопроницаемого грунта (рис. 6.1 з, е),

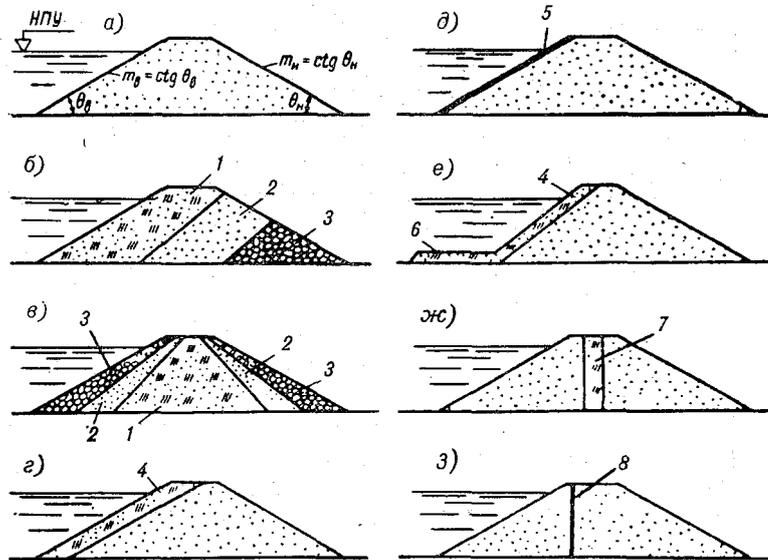


Рис. 6.1. Основные типы земляных насыпных плотин (схемы).

1 — суглинок; 2 — песок; 3 — гравий; 4 — экран грунтовый; 5 — экран из негрунтового материала; 6 — понур; 7 — ядро; 8 — диафрагма.

асфальтобетона, полиэтиленовой пленки и т. п. (рис. 6.1 д);

4) плотины с внутренней (центральной) маловодопроницаемой или водонепроницаемой преградой в виде ядра, образованного маловодопроницаемым грунтом (рис. 6.1 ж), или диафрагмы

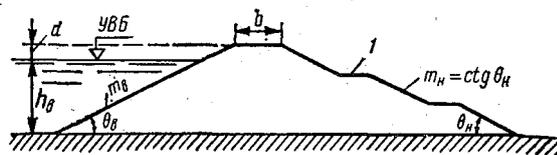


Рис. 6.2. Поперечное сечение земляной плотины.

1 — берма.

(рис. 6.1 з) из негрунтовых материалов — бетона, железобетона, асфальтобетона, полиэтиленовой пленки, металла и т. п.

Как видно из приведенных на рис. 6.1 схем, поперечное сечение земляной плотины представляет собой обычно трапецию. Минимально возможный ее профиль определяется устойчивостью откосов, т. е. величиной угла θ (рис. 6.2), который зависит от вида грунта и высоты плотины. При относительно невысоких пло-

тинах коэффициенты откосов m_b и m_n назначают на основании данных практики; в случае же достаточно высокой плотины предварительно намеченные откосы подвергают поверочному статическому расчету, способ производства которого рассматривается в «Механике грунтов». При этом имеют в виду, что обычно коэффициент откоса земляной плотины

$$m = \operatorname{ctg} \Theta = 2 \div 4,$$

редко в практике плотиностроения встречаются коэффициенты откоса $m = 1,5 \div 1,75$ и $m = 4,5 \div 6,0$ и выше.

На откосах плотины могут устраиваться бермы, позволяющие создавать более удобные условия для надзора за откосом и ремонтом его покрытия, увеличить общую устойчивость откосов, увеличить ширину плотины понизу и тем самым удлинить пути фильтрации в основании.

Отметку гребня земляной плотины находят исходя из известных отметок НПУ и ФПУ так же, как это было указано для бетонных плотин, например, по формуле (5.8), в которую вместо высоты волны h_b вводят высоту наката волны $h_{нк}$ соответствующей обеспеченности.

Земляная плотина, поперечные размеры которой определены по изложенным выше соображениям, получается настолько тяжелой и, следовательно, устойчивой, что заведомо не требует поверочных расчетов на сдвиг, опрокидывание или тем более всплытие.

Материал тела любой земляной плотины всегда в той или иной мере пропускает для воды. Поэтому в теле плотины и в ее основании создается поток воды, фильтрующейся из верхнего бьефа в нижний. Свободная поверхность этого фильтрационного потока называется *депрессионной поверхностью*. В зоне насыщения водой грунт взвешивается гидростатическим давлением и подвержен действию фильтрационных сил, стремящихся сдвинуть частицы грунта, что в определенных случаях может привести к выносу материала плотины в нижний бьеф (суффозии) и обрушению откоса.

Для выполнения фильтрационных расчетов земляных плотин используется более десяти различных приемов и формул. Сведения по большинству из них приводятся в учебниках и справочниках по гидравлике, в частности, в работе [7]. В наиболее ответственных случаях при определении фильтрационных характеристик потока обращаются к экспериментальному методу ЭГДА.

Тело плотины считается прочным в фильтрационном отношении, если пьезометрический уклон, определенный тем или иным способом, не превышает значения, указанного в табл. 6.2.

Противофильтрационные устройства (рис. 6.1) в теле земляных насыпных плотин (экраны, ядра, диафрагмы) выполняются с целью:

1) уменьшить фильтрационный расход; впрочем, это обстоятельство часто не имеет существенного значения, так как объем

воды, фильтрующийся через земляную плотину, как правило, оказывается пренебрежимо малым по сравнению с объемом воды, поступающей в водопропускные отверстия гидроузла;

2) уменьшить пьезометрические уклоны фильтрационного потока в теле плотины и тем самым повысить ее фильтрационную прочность;

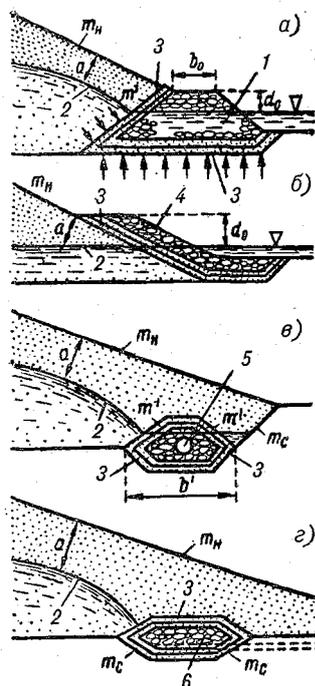


Рис. 6.3. Основные типы (а—г) дренажа низового клина плотины (схемы).

1 — дренажный банкет; 2 — кривая депрессии; 3 — обратный фильтр; 4 — наклонный дренаж; 5 — труба; 6 — горизонтальная продольная дренажная лента; 7 — отводящая труба.

3) снизить кривую депрессии в низовой части плотины и тем самым увеличить устойчивость низового откоса плотины, а также избавиться от опасности пучения грунта зимой.

Таблица 6.2

Допустимые пьезометрические уклоны, контролирующие прочность грунта тела земляных плотин

Грунт, слагающий тело плотины	Класс капитальности плотины			
	I	II	III	IV
Глина плотная	1,50	1,65	1,80	1,95
Суглинок	1,05	1,15	1,25	1,35
Песок средней крупности	0,70	0,80	0,90	1,00
Супесь	0,55	0,65	0,75	0,85
Песок мелкий	0,45	0,55	0,65	0,76

Целям, указанным в п. 3, служит и устройство дренажа основания и особенно низового клина земляных плотин. Такой дренаж устраивают почти всегда. Различные его конструктивные варианты представлены на рис. 6.3.

Надежность насыпных плотин во многом зависит от качества выполнения земляных работ, которые могут осуществляться двумя принципиально разными способами:

1) «сухой способ», когда в тело плотины отсыпают карьерный грунт и затем уплотняют его до заданной объемной массы теми или иными механическими средствами (укаткой различными катками, трюмбованием, вибрированием);

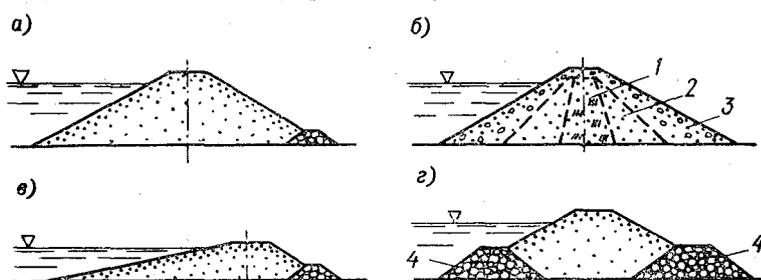


Рис. 6.4. Основные типы (а—г) земляных намывных плотин (схемы).

1 — ядерная центральная зона; 2 — промежуточная зона; 3 — боковая зона, выполненная гравийно-песчаным грунтом; 4 — боковая каменно-набросная призма (банкет).

2) «мокрый способ», когда на месте отсыпки грунта в тело плотины создают небольшие «карты», т. е. обвалованные участки, заполненные водой, причем грунт, доставленный самосвалами, отсыпают в воду; здесь также имеет место некоторое уплотнение отсыпанного грунта механическими средствами (самосвалами).

Земляные намывные плотины возводят методом гидромеханизации. Гидромеханизация земляных работ предусматривает механизацию трех разных процессов:

1) разработку грунта в карьерах, которая осуществляется или при помощи так называемых гидромониторов — «особых брандспойтов» (если карьеры находятся над водой), или при помощи землесосов (если карьеры находятся под водой);

2) транспорт грунта из карьеров в тело плотины; здесь так называемая *пульпа* или *гидросмесь* (механическая смесь воды и грунта) той или другой консистенции, перемещается в напорных трубопроводах (при помощи особых насосов) или (реже) самотеком в открытых лотках;

3) укладку (намыв) грунта в тело плотины.

Различают следующие основные типы земляных намывных плотин:

однородные плотины (рис. 6.4 а) — песчаные, супесчаные или суглинистые (в том числе лёссовые);

неоднородные гравийно-песчаные плотины (рис. 6.4 б) с ядерной (центральной) зоной, выполненной или глинистым, или песчаным грунтом.

Кроме того, в зависимости от очертания поперечного профиля плотины различают плотины:

нормального поперечного профиля (с принудительным формированием откоса при помощи дамб обвалования; см. рис. 6.4 б и рис. 6.5);

распластанного поперечного профиля, когда верховой откос формируется в результате свободного растекания пульпы (рис. 6.4 в).

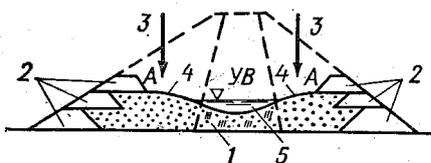


Рис. 6.5. Схема двустороннего намыва плотины с ядерной зоной 1.

2 — дамбы обвалования; 3 — сброс гидросмеси; 4 — пляж; 5 — пруд-отстойник.

Дополнительно различают еще намывные плотины, у которых та или другая часть образована на сыпкой грунта или на броской камня (см., например, на рис. 6.4 г намывную плотину с боковыми каменнонабросными призмами — банкетам).

Гидросмесь (пульпа), сброшенная в тело плотины, начинает растекаться, причем из нее выпадают и осаждаются сначала крупные фракции взвешенного грунта, а затем мелкие. В связи с этим при намыве вблизи от места сброса отлагаются крупные фракции, а вдали от него — мелкие. Управляя выпуском гидросмеси и перемещая в разные места сбросные отверстия пульповодов, можно принудительно добиться любого распределения фракций грунта в теле плотины.

Желая, например, создать плотину с ядром, используют так называемый двухсторонний намыв, причем сбрасывают гидросмесь по краям профиля плотины (см. вертикальные стрелки на рис. 6.5). Сброшенная гидросмесь стекает по *пляжу* к центру профиля, где образуется *пруд-отстойник*, на дне которого отлагаются мельчайшие частицы грунта, образующие тело ядра.

Отдавшую грунт осветленную воду отводят из пруда-отстойника при помощи особых сбросных колодцев, устроенных в теле плотины, по специально проложенным отводным трубам или путем механической откачки (или при помощи сифонов).

При проектировании поперечного профиля намывной плотины, а также при разработке ее конструктивных деталей в основном руководствуются соответствующими правилами, относящимися к насыпным плотинам.

6.3. Плотины из каменной наброски и сухой кладки

Различают следующие основные типы этих плотин: 1) каменнонабросные плотины с экраном (рис. 6.6 а); 2) каменнонабросные

плотины с диафрагмой (рис. 6.6 б); 3) плотины из сухой кладки (рис. 6.6 в).

Принципиально важной особенностью каменных плотин является то, что в их конструкцию обязательно входит экран или диафрагма, выполненные из негрунтовых материалов, как правило из железобетона, и представляющие собой единственное препятствие на пути фильтрующейся воды.

Условно к каменной наброске обычно относят и крупнообломочный грунт, поскольку плотины, возведенные из этого грунта, так же как и каменно-набросные плотины, требуют обязательного создания противофильтрационного устройства.

Перечень некоторых каменно-набросных плотин приведен в табл. 6.3.

Строительство каменно-набросных плотин в настоящее время осуществляют двумя способами:

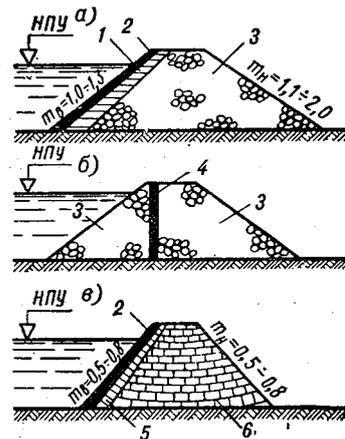


Рис. 6.6. Основные типы (а—в) каменных плотин (схемы).

1 — подэкрановый выравнивающий слой (сухая кладка, крупнообломочный грунт или мелкий камень); 2 — экран; 3 — наброска; 4 — диафрагма; 5 — кладка на растворе; 6 — сухая кладка.

1) высокими ярусами — высотой до 10 м, из крупного камня, набрасываемого так называемым «пионерным способом» (из самосвалов) и уплотняемого струей воды из гидромонитора или неуплотняемого;

2) тонкими слоями — высотой 1,5—2,5 м, из относительно мелкого камня или крупнообломочного грунта, набрасываемого про-

Таблица 6.3

Каменно-набросные плотины

Название плотины	Год окончания строительства	Наибольшая высота, м	Страна
Парадела	1956	110	Португалия
Солт Спрингс	1931	101	США
Кортрайт	1958	97	"
Уишон	1958	90	"
Дикс Ривер	1925	84	"
Сан Габриэл № 2	1937	78	"
Коготи	1931	75	Чили
Лауэр Бэр Ривер	1952	76	США
Фад	1958	68	Франция
Караун	1965	66	Ливан
Орто-Токойская	1953	59	СССР
Широковская	1944	40	"
Храмская	1947	32	"

нерным способом и уплотняемого мощными пневмо- или вибротрамбовками.

Наиболее крупные камни стремятся укладывать у линии откосов.

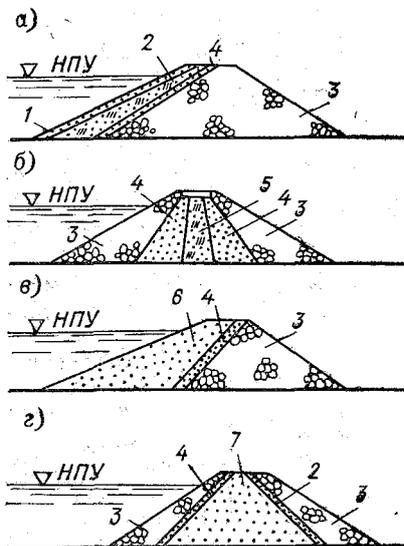
Сухую кладку камня выполняют без раствора из постелистого камня толщиной, например, 0,2—0,3 м. При выполнении этой кладки камни соответствующим образом подбирают, иногда их поверхность несколько обрабатывают, причем кладку ведут с перевязкой швов. Пустоты между камнями заполняют щебнем.

В связи с тем что работы по возведению плотин из сухой кладки не поддаются широкой механизации (за исключением процесса подачи крупных камней) и требуют квалифицированной рабочей силы, эти плотины в наших условиях могут строиться только в исключительных случаях.

6.4. Каменно-земляные плотины

Каменно-земляные плотины выполняют частично из земли (грунта), частично из каменной наброски.

Различают следующие типы каменно-земляных плотин: 1) плотины с грунтовым экраном (рис. 6.7 а); 2) плотины с ядром (рис. 6.7 б); 3) плотины с верховой земляной (грунтовой) призмой (рис. 6.7 в); 4) плотины с центральной земляной (грунтовой) призмой (рис. 6.7 г).



Главнейшей особенностью каменно-земляных плотин является сопряжение земляной ее части с каменнонаброской. В месте этого сопряжения приходится располагать особый элемент тела плотины или в виде обратного

Рис. 6.7. Схемы основных типов (а—г) каменно-земляных плотин.

1 — защитный слой; 2 — грунтовый экран; 3 — каменная наброска; 4 — переходная зона; 5 — ядро; 6 — верховая земляная (противофильтрационная) призма; 7 — центральная земляная (противофильтрационная) призма.

фильтра, или так называемой переходной зоны.

Переходную зону тела плотины выполняют из песчаного и крупнообломочного грунта (карьерного или обогащенного); она имеет то же назначение, что и обратный фильтр; кроме того, она препятствует просыпанию (только под действием силы тяжести) сухого мелкозернистого грунта в поры крупнозернистого грунта или камня.

Роль ядра и экрана каменно-земляных плотин (см. рис. 6.7 а, б) принципиально отличается от роли этих элементов в земляных плотинах, в которых ядро (или экран) является только вспомогательным противофильтрационным элементом. Ядро или экран в случае каменно-земляной плотины представляет собой единственный противофильтрационный элемент (являющийся «собственно плотиной»; каменная наброска здесь выполняет только статическую роль). В связи с этим поперечные размеры (толщина) ядер и экранов в случае каменно-земляных плотин должны быть значительно большими, чем в случае земляных плотин.

Перечень некоторых каменно-земляных плотин приведен в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Каменно-земляные плотины

Название плотины	Год окончания строительства	Наибольшая высота, м	Страна
Нурекская	1980	300	СССР
Майка	1981	240	Канада
Оривил	1967	224	США
Беннетт	1967	183	Канада
Чарвакская	1981	168	СССР
Тринити	1961	164	США
Кремаста	1966	163	Греция
Кугар	1963	158	США
Свифт	1959	156	„
Мирабо	1960	130	Япония
Серебрянская № 1	1960	78	СССР
Виллюйская	1968	75	„
Усть-Хантайская	1970	65	„
Ириклинская	1958	43	„

6.5. Водопрпускные сооружения вне тела плотины

6.5.1. Общие положения

Обычно использование плотины для размещения в ней водопрпускных устройств дает наиболее экономичное решение. Но бывают случаи, когда это невыгодно, нецелесообразно и даже недопустимо. Так, в теле земляных и каменно-набросных плотин располагать отверстия водопрпускных устройств нежелательно, а часто и невозможно. Поэтому такие отверстия приходится устраивать вне тела плотин из грунтовых материалов.

При строительстве бетонных и железобетонных плотин водосбросы вне их тела могут оказаться целесообразными в случаях: а) при устройстве строительных водосбросов в виде обходных туннелей, которые не трудно перестроить в эксплуатационные во-

досбросы; б) при плотинах арочных, многоарочных и контрфорсных, устройство водосбросов в теле которых встречает некоторые конструктивные трудности; в) при определенных топографических условиях створа гидроузла, удобных для сброса воды в соседнюю долину.

Водопропускные отверстия вне тела плотины по своему назначению и типу входного отверстия подразделяются так же, как и соответствующие отверстия, расположенные в теле плотины (см. рис. 5.7). При определении расчетных расходов воды через рассматриваемые сооружения следует руководствоваться принципами, изложенными в п. 5.6.2.

Ниже будут рассмотрены конструкции наиболее часто встречающихся на практике водопропускных сооружений вне тела плотины.

6.5.2. Конструкция поверхностных отверстий

Открытый береговой водосброс с прямым отводом воды от водослива. Такой тип водосброса особенно часто применяют в случае плотин малой и средней высоты.

В общем случае при наличии нескального грунта водосброс с прямым отводом воды состоит из четырех частей (рис. 6.8):

1) подходного канала или подходной выемки I; 2) водослива в виде входного порога D с соответствующим устройством за ним для гашения энергии II; 3) отводящего промежуточного канала III; 4) сбросного устройства IV, при помощи которого преодолевается сосредоточенное падение напора.

Подходный канал делают с горизонтальным дном или дном, имеющим обратный уклон. Скорости воды обычно в этом канале очень малы, как правило, берега и дно канала не покрывают креплением, даже если они образованы легко размываемым грунтом.

Водослив представляет собой водосливную плотину (с затворами или без них) — бетонную, железобетонную или деревянную.

Отводящий промежуточный канал рассчитывают на равномерное движение воды в нем, причем так, чтобы средняя скорость потока v не превышала максимально допустимой скорости $v_{\text{макс}}$, зависящей от материала стенок канала. Для примера в табл. 6.5 приведены приближенные данные в отношении $v_{\text{макс}}$ (подробные сведения о $v_{\text{макс}}$ даются в соответствующих нормах).

С целью уменьшения объема земляных работ при строительстве канала его стараются сделать уже, но зато более глубоким.

Чтобы в канале не образовалась кривая спада, обуславливающая увеличение скорости v , в конце канала устраивают порог E (см. рис. 6.8). Высоту этого порога C' определяют по формуле

$$C' = h_0 - H', \quad (6.1)$$

где h_0 — нормальная глубина воды в канале (при $Q_{\text{расч}}$) и H' — напор на пороге E , работающем как неподтопленный водослив;

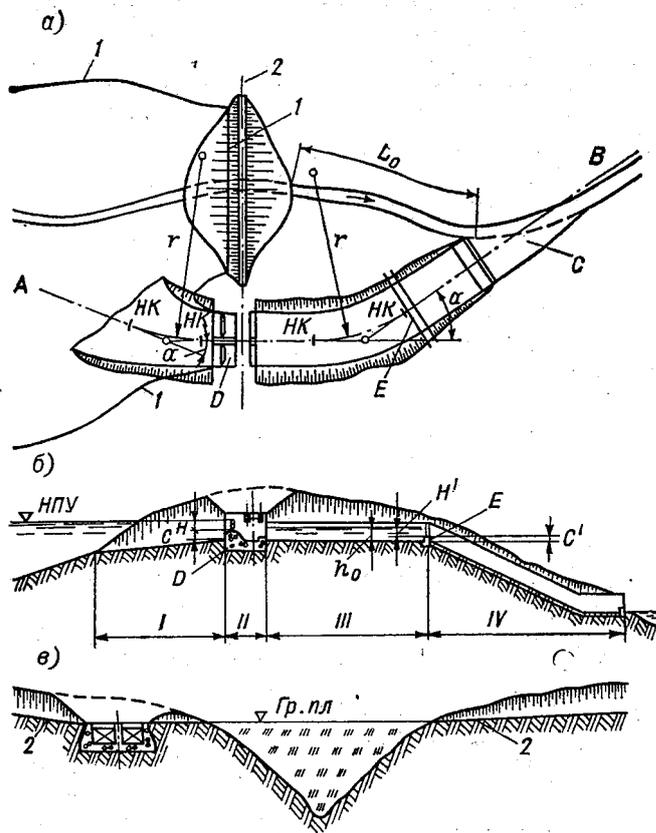


Рис. 6.8. Открытый береговой водосбор с прямым отводом воды.

a — план; *b* — разрез по оси АВ водосбора; *в* — разрез по оси дороги; I — подходный канал; II — водослив; III — промежуточный отводящий канал; IV — сбросное устройство; 1 — урез воды; 2 — дорога.

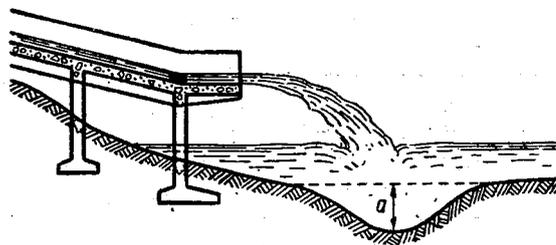


Рис. 6.9. Вариант конструкции концевой части быстротока с отбросом струи.

a — глубина размыва.

Таблица 6.5

Максимально допустимые скорости при равномерном движении воды

Материал стенок канала	$v_{\text{макс}}$ м/с
Неевязные грунты:	
пыль, ил	0,15—0,20
песок	0,20—0,60
гравий	0,60—1,20
Связные грунты:	
супесь и суглинок	0,7—1,0
глина	1,0—1,8
Скальные породы:	
осадочные	2,5—4,5
кристаллические	20—25
Крепления:	
одиночная мостовая	3,0—3,5
двойная мостовая	3,5—4,5
бетонная облицовка	5,0—10,0

величину H' устанавливают по расходной формуле соответствующего водослива (для $Q_{\text{расч}}$).

Если промежуточный отводящий канал достаточно короткий, то дно его можно проектировать горизонтальным. В этом случае канал приходится рассчитывать по формулам неравномерного движения воды.

При благоприятных топографических условиях промежуточный канал может и отсутствовать. В этом случае вода, пройдя водослив, будет поступать непосредственно в сбросное устройство, и водослив будет являться головной частью этого устройства.

Сбросное устройство выполняют в виде *быстротока* или *многоступенчатого перепада*.

Быстроток (см. участок IV на рис. 6.8) представляет собой канал большого уклона, значительно превышающий критический. Поток в пределах быстротока находится в бурном состоянии. Иногда быстроток может иметь большую длину, превышающую, например, 1 км.

Различают следующие части быстротока: а) входную, которая образуется порогом E (см. рис. 6.8); б) транзитную; в) концевую. Транзитная часть — собственно канал — выполняется из бетона, железобетона, дерева или прямо высекается в скале (без какой-либо отделки) и может иметь различную форму поперечного сечения.

Концевую часть быстротока можно проектировать без отброса струи или с отбросом струи от быстротока, при этом наиболее часто предпочтение отдается второй схеме (рис. 6.9).

Многоступенчатый перепад, как правило, строят колодезный. Здесь, в отличие от быстротока, энергия потока по длине сбросного устройства гасится относительно равномерно. Размеры ступеней перепада определяются гидравлическим расчетом.

Многоступенчатый перепад можно устраивать при определенных уклонах местности и в случае не скального грунта. Эти перепады применяются только для плотин небольшой и средней высоты. Как правило, более экономичным сооружением является быстроток.

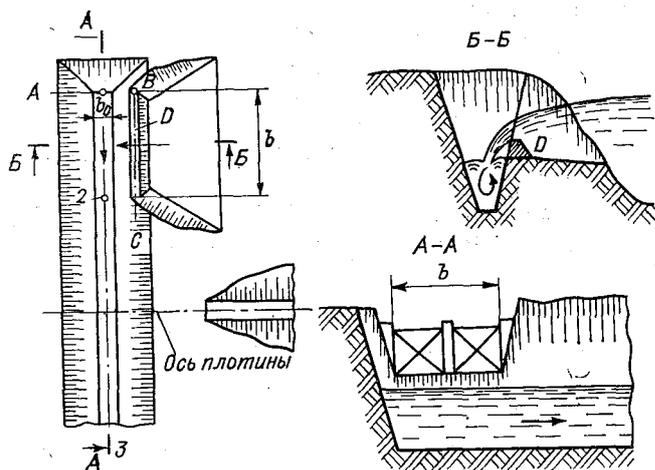


Рис. 6.10. Схема открытого берегового водосброса с боковым отводом воды.

Открытый береговой водосброс с боковым отводом воды от водослива (траншейный водосброс). Как отмечалось выше, отводящий промежуточный канал стремятся сделать возможно уже, при этом глубина его получается довольно большой; ширина же входного водослива D (см. рис. 6.8) оказывается малой, а высота затворов — большой. Чтобы уменьшить высоту затворов, а, следовательно, получить их более дешевыми и удобными в эксплуатации, вместо прямого отвода воды от водослива D устраивают боковой отвод (рис. 6.10), направленный вдоль гребня BC входного порога, при этом длина водослива может быть сделана сколь необходимо большой, а напор на нем и, следовательно, высота затворов соответственно снижены.

Шахтный водосброс. Для шахтного водосброса обычно используется туннель, пробитый в берегу для пропуска строительных расходов воды. По окончании постройки плотины существующий вход в туннель из водохранилища закрывают пробкой и делают новый вход в виде вертикальной или наклонной шахты. В период нормальной эксплуатации плотины вода в туннель может поступать только через воронку кольцевого водослива, образующего

оголовок шахты (рис. 6.11). Движение воды в шахте и в туннеле должно быть безнапорным, что обеспечивается соответствующим подбором их геометрических характеристик (диаметра, уклона). Шахтные водосбросы целесообразны при высоких плотинах

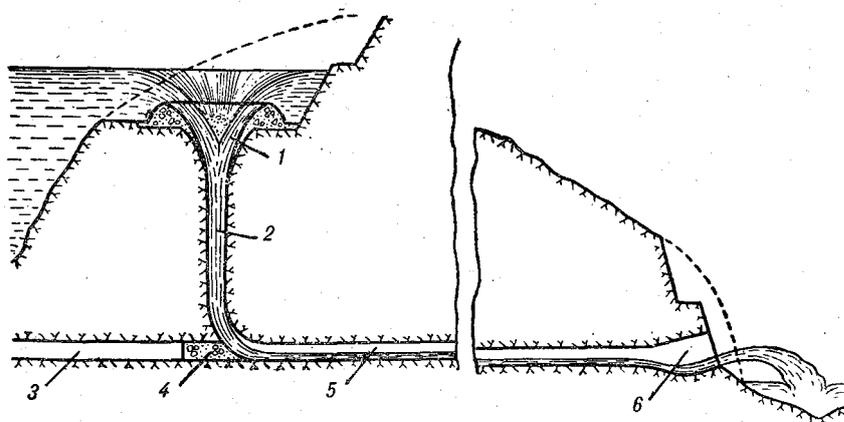


Рис. 6.11. Схема шахтного водосброса.

1 — воронка; 2 — шахта; 3 — строительный туннель; 4 — бетонная пробка; 5 — отводящий туннель; 6 — конечный участок (выход).

в узких скальных ущельях с крутыми склонами, неблагоприятными для осуществления других типов водосбросов. При определенных условиях этот водосброс может пропускать весьма большие расходы воды, например до $6000 \text{ м}^3/\text{с}$.

6.5.3. Конструкция глубинных отверстий

Транзитная часть водоспускного сооружения, имеющего глубинное входное отверстие, может быть выполнена в виде: а) туннеля

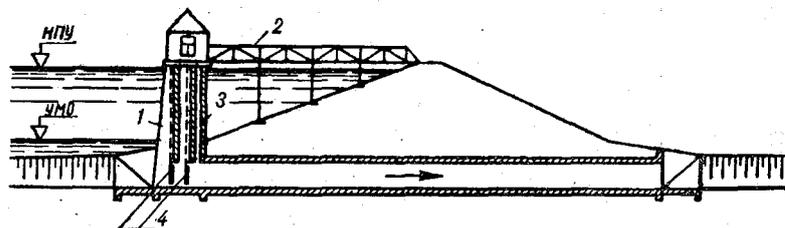


Рис. 6.12. Схема глубинного водоприемника башенного типа.

1 — башня; 2 — мост; 3 — аэрационная шахта; 4 — затворы.

(напорного или безнапорного), устраиваемого в основании плотины или в берегах (обычно в скальном грунте); б) бетонной галереи (рис. 6.12), напорной или безнапорной, построенной в откры-

той выемке под плотиной (до ее возведения на поверхности материкового грунта); в) так называемой «сухой галлерей» (рис. 6.13) (или туннеля), в которой проложены стальные напорные трубы.

По расположению затворов здесь различают водоспуски: 1) с затворами, расположенными в начале водопропускного тракта в специальных башнях (башенные водоспуски) (см. рис. 6.12); 2) с затворами, расположенными в средней части водопропускного тракта в шахтах (шахтные водоспуски) (см. рис. 6.13).

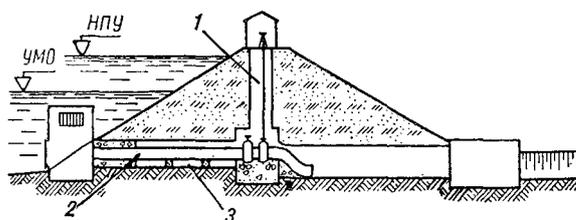


Рис. 6.13. Схема шахтного водоспуска.

1 — шахта; 2 — напорный трубопровод; 3 — «сухая галлерей».

По сравнению с поверхностными водопропускными отверстиями глубинные обладают тем преимуществом, что вода в них поступает под напором и, следовательно, для пропуска одного и того же расхода воды размеры глубинных отверстий будут меньше, чем поверхностных.

Глава 7. Деревянные плотины и плотины из прочих строительных материалов

7.1. Деревянные плотины

Деревянными плотинами называются такие, в которых нагрузка от воды и других факторов воспринимается в основном деревянными конструкциями, а устойчивость против сдвига обеспечивается закреплением деревянных частей в основании, нагрузкой их балластом в виде земли, камня и другими средствами.

Деревянные плотины, как правило, устраивают водопропускными (водосливными); глухие деревянные плотины применяются очень редко, так как они оказываются даже в лесистых местностях дороже глухих земляных или каменно-набросных плотин.

Рассматриваемые плотины сооружаются: а) главным образом в целях улучшения лесосплава на небольших лесосплавных реках; б) иногда в связи с устройством небольших ГЭС или в тех или других интересах сельского хозяйства.

Основной породой дерева в плотиностроении является сосна как наиболее распространенная и стойкая в условиях переменной влажности.

Положительными качествами древесного строительного материала, содействовавшими широкому применению его в плотностроении, являются: легкость обработки и простота конструкций, упругость, малая чувствительность к колебаниям температуры, хорошая сопротивляемость размывающему действию воды, сравнительная дешевизна.

Недостатком дерева являются: деформативность древесины (усушка, коробление и снижение ее прочности под влиянием влажности); трудность конструирования элементов, работающих на растяжение; сгораемость; подверженность гниению и разру-

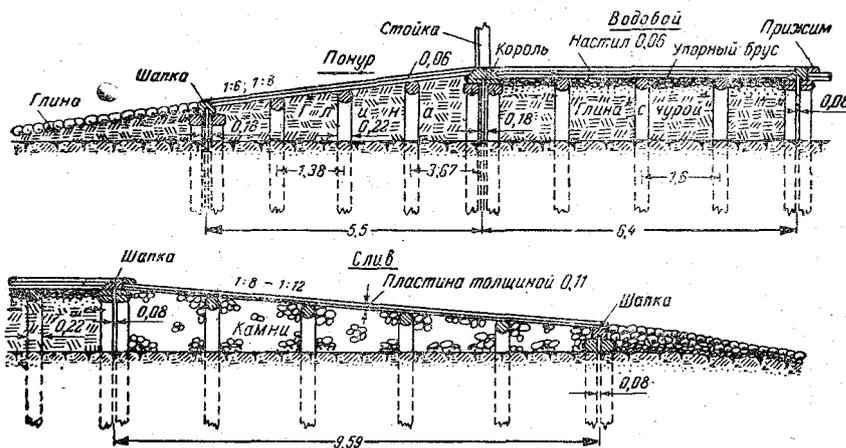


Рис. 7.1. Поперечный разрез свайного флютбета.

шению вредителями. Последнее обстоятельство наиболее важно, так как до 10—15 лет сокращает срок надежной службы сооружения, хотя при своевременном ремонте верхних частей плотины срок этот может быть доведен до 25 лет и более. В целях борьбы с гниением дерево в соответствующих местах конструкции пропитывается антисептиками.

Флютбет деревянной плотины устраивается по одному из следующих типов: 1) *свайный*, в котором нагрузка от воды воспринимается в конечном счете сваями, забиваемыми в грунт основания; 2) *ряжевый*, в котором нагрузки передаются стенкам ряжей; 3) *контрфорсный*, аналогичный железобетонным контрфорсным плотинам.

Свайный флютбет (рис. 7.1) состоит из понура, водобоя, слива и рисбермы и образуется рядами свай, забитых в грунт основания и перекрытых сверху деревянными полами, под которыми уложена загрузка (балласт). Балласт служит для обеспечения водонепроницаемости понурной и водобойной частей, для защиты основания от суффозии, а также для обеспечения сопротивления всего сооружения сдвигу.

В целях борьбы с фильтрацией в подземный контур сооружения обычно вводят два шпунтовых ряда: понурный и королевый, причем последний является основным и важнейшим.

Максимальный напор на плотине со свайным флютбетом обычно не превышает 2—3 м.

Ряжевые флютбеты представляют собой бревенчатые или брусчатые ящики, заполненные балластом и прикрытые сверху деревянным настилом. Горизонтальным усилиям они сопротивляются своим весом, благодаря которому создается по основанию необходимая для сопротивления сдвигу сила трения.

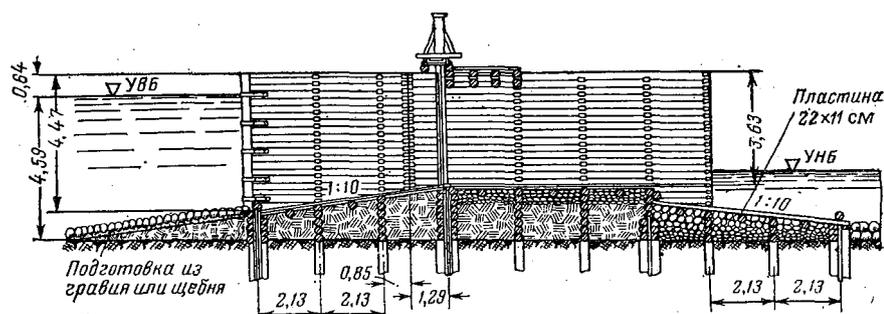


Рис. 7.2. Свайно-ряжевый флютбет русского типа.

Ряжевые флютбеты устраивают на скальных и нескальных основаниях, причем если последние недостаточно плотны и допускают забивку свай, ряжи ставят на сваи (на свайный ростверк) и флютбет носит название свайно-ряжевого, или, как его еще называют, русского типа (рис. 7.2).

Максимальный напор на плотине с ряжевым флютбетом составляет 10—15 м, а в исключительных случаях достигает 20—22 м.

Контрфорсные плотины по допустимым на них максимальным напорам занимают промежуточное положение между свайными и ряжевными плотинами.

Гидравлические расчеты водосливных деревянных плотин, а также расчеты их подземного контура осуществляются так же, как и соответствующие расчеты бетонных плотин (см. выше); расчеты прочности отдельных деревянных элементов плотины выполняют по правилам строительной механики, изучаемой в технических вузах в курсе «Инженерные конструкции».

7.2. Другие виды плотин

Особое место занимают небольшие плотины временного типа, выполняемые или из подручного материала или разборчатые.

К числу первых, в частности, относятся: а) *хворостяные и фашинно-хворостяные плотины* (рис. 7.3), устраиваемые до напоров 2—3 м; б) *сланцевые плотины*, выполняемые из свежеруб-

ленных деревьев с ветвями и листвой (рис. 7.4); их устраивают высотой до 5,0 м; в) *габионные плотины* (рис. 7.5); они образу-

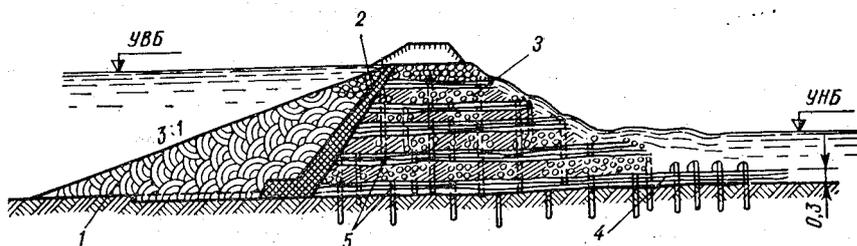


Рис. 7.3. Фашинно-хворостяная плотина.

1 — песчано-глинистый грунт; 2 — дерн, камни, солома; 3 — пригрузка камнем; 4 — выстилка хворостом; 5 — фашины.

ются из проволочных (сетчатых) «ящичков», заполненных камнем, называемых габионами; их высота достигает 5 м и более.

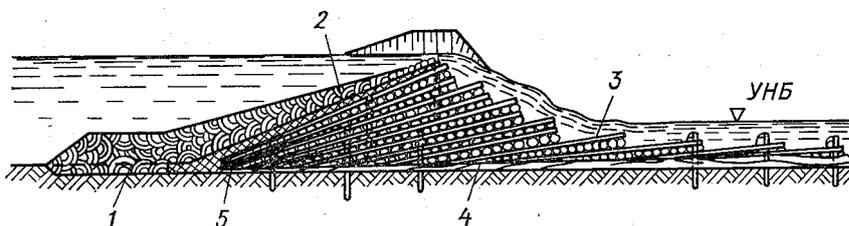


Рис. 7.4. Стланевая плотина.

1 — песчано-глинистый грунт; 2 — дерн, мох, солома; 3 — жерди; 4 — заполнение хворостом, сучьями, дерном и землей; 5 — вершины деревьев.

Разборчатые плотины используются для производства ремонтных работ на шлюзах, в доках и для создания на небольших водотоках сезонных водохранилищ с целью удовлетворения разно-

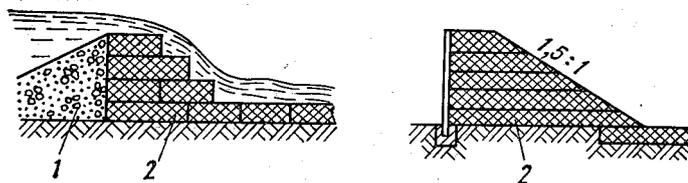


Рис. 7.5. Варианты габионной плотины.

1 — отсыпка грунта; 2 — габионы.

образных потребностей сельского хозяйства. Раньше такие плотины применялись и для улучшения судоходных условий на реках.

Ниже дадим краткое описание двух типов разборчатых плотин.
1. Гибкие перепончатые (мембранные) плотины из синтетических оболочек или прорезиненной ткани, выпускаемые на

заводе и быстро устанавливаемые на месте; напор на них может быть до 4 м.

2. Плотины типа Корицкого (называемые также плотинами Пуаре) выполняют по схеме, представленной на рис. 7.6. Их устройство таково. На бетонном флютбете на шарнирах уста-

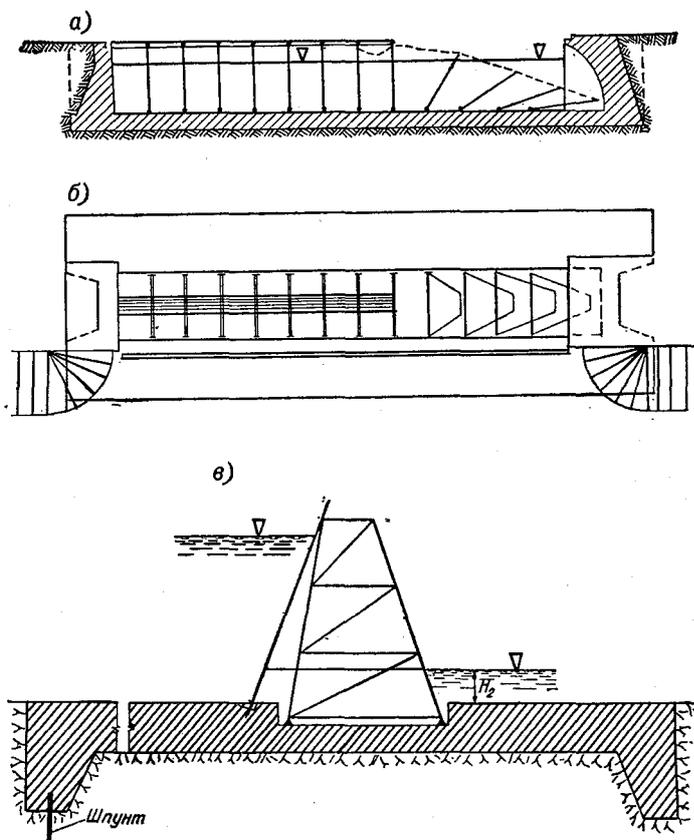


Рис. 7.6. Плотина Корицкого (Пуаре).
а — фасад; б — план; в — поперечный разрез.

новлены металлические раскосные фермы, которые могут быть уложены на дно или поставлены вертикально с помощью лебедки. Для создания преграды фермы поднимают и соединяют на болтах металлическими балками, служащими прогонами служебного пешеходного мостика. Для образования напора перед фермами опускают плотно друг к другу спицы, представляющие собой деревянные брусья сечением от 10×10 см до 20×20 см, нижним концом опирающиеся в уступ флютбета, а верхним на балки служебного мостика.

Недостатком спицевых затворов является большая фильтрация, поэтому спицы заменяют легкими деревянными окованными щитками, которые опускают лебедками и укладывают непосредственно на металлические фермы.

Существуют и другие типы разборчатых плотин, но в настоящее время они не имеют широкого применения.

Глава 8. Механическое оборудование плотин

8.1. Общие сведения

Механическое оборудование плотин служит для открытия и закрытия водопропускных отверстий, устраиваемых в плотинах.

Различают следующие основные виды механического оборудования плотин:

- 1) затворы, служащие непосредственно для закрытия и открытия водопропускных отверстий плотин;
- 2) закладные части затворов, т. е. неподвижные металлические устройства, заделываемые в бетонное тело плотины и обеспечивающие нормальную работу затворов; в качестве примера закладных частей можно назвать различные опоры затворов, рельсы, по которым перемещается затвор, и т. п.;
- 3) подъемно-опускные механизмы — лебедки, краны, гидроприводы, при помощи которых осуществляется поднятие или опускание затвора. Существуют затворы гидравлического действия (см. ниже); в случае этих затворов вместо подъемно-опускных механизмов применяют особые регулирующие устройства — водоводы с задвижками, балансиры и т. п.;
- 4) служебные мосты, на которых располагаются стационарные подъемные механизмы или по которым перемещаются подъемные краны.

Наибольший интерес представляют затворы, т. е. подвижные конструкции, которые могут закрывать и частично или полностью открывать водопропускные отверстия гидротехнических сооружений.

По назначению различают затворы:

а) *рабочие* (или основные), которые постоянно работают при эксплуатации плотины; с их помощью регулируют величину расхода воды, сбрасываемой в нижний бьеф, а также поддерживают в случае необходимости соответствующий уровень воды в верхнем бьефе;

б) *ремонтные*, которыми закрывают данное отверстие на период запланированного ремонта рабочего затвора (или соответствующей части сооружения); маневрирование ремонтными затворами осуществляют в покоящейся воде; определенное число ремонтных затворов сохраняют обычно в специальных затворохранилищах и доставляют их к месту установки при помощи кранов;

в) *аварийные*, которыми закрывают отверстие в случае какой-либо аварии; эти затворы должны опускаться в текущую воду (чем они существенно отличаются от ремонтных затворов); иногда требуют, чтобы аварийные затворы были быстродействующими;

г) *аварийно-ремонтные*, выполняющие функции как аварийных, так и ремонтных затворов;

д) *строительные*, которые используются в период строительства плотины; эти затворы по окончании строительства желательно использовать как затворы рабочие или ремонтные.

По роду перекрываемого отверстия затворы делятся на *поверхностные*, служащие для закрытия водосливных отверстий; гребень такого затвора в закрытом положении находится выше уровня воды верхнего бьефа и *глубинные*, служащие для закрытия глубинных отверстий и всегда находящиеся ниже уровня воды верхнего бьефа.

8.2. Поверхностные затворы

8.2.1. Классификация затворов

В дополнение к изложенному выше делению затворов по назначению существуют следующие классификации поверхностных затворов.

По способу передачи давления воды на сооружение затворы делятся на: а) затворы, передающие давление воды на быки и устои (рис. 8.1 *а—г*); б) затворы, передающие давление воды на порог плотины (рис. 8.1 *д—ж*); в) затворы, передающие давление и на порог, и на быки (рис. 8.1 *з, и*).

По способу передвижения и связанным с ним конструктивным особенностям различают несколько десятков различных видов водосливных затворов. На рис. 8.1 приведены схемы, которые применяются наиболее часто:

а — *плоский затвор*; при закрытии или открытии отверстия затвор 1 перемещается в вертикальных пазах 2, выполненных в быках или устоях;

б — *шандоры* — шандорная стенка, образованная отдельными горизонтальными балками 1 — шандорами;

в — *сегментный затвор* 1, вращающийся относительно горизонтальной оси 2;

г — *вальцовый* (или цилиндрический) затвор 1, выкатывающийся по наклонным зубчатым рейкам 2, заделанным в пазах;

д — *секторный затвор с нижней осью вращения*; при открытии отверстия затвор 1, вращаясь относительно оси 2, опускается в камеру 3;

е — *секторный затвор с верхней осью вращения* (Драм Гейт); при открытии отверстия затвор 1, вращаясь относительно оси 2, опускается в камеру 3;

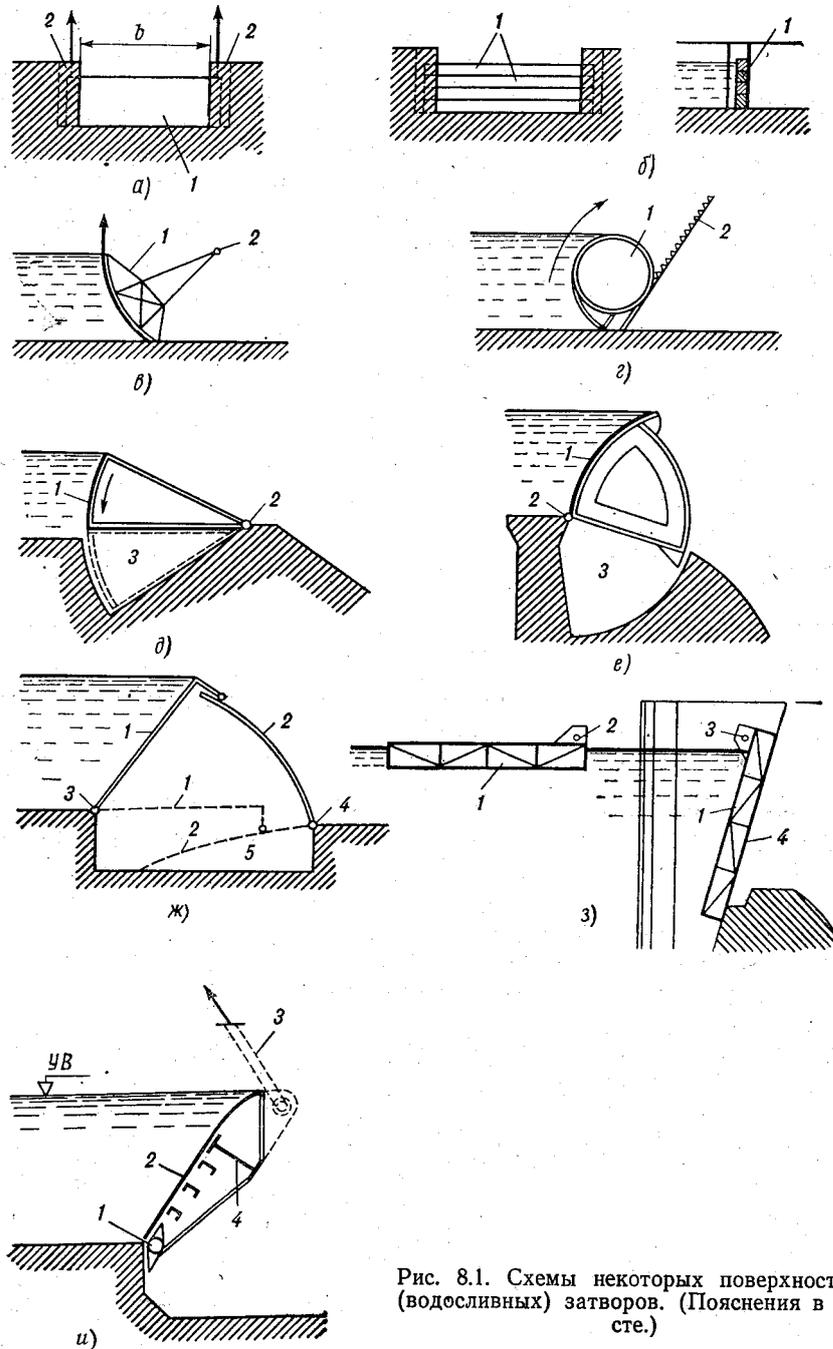


Рис. 8.1. Схемы некоторых поверхностных (водосливных) затворов. (Пояснения в тексте.)

ж — *крышевидный затвор* (Дахвер); в области *б* создается повышенное гидростатическое давление, причем части затвора *1* и *2*, вращаясь относительно осей *3* и *4*, поднимаются и закрывают отверстие;

з — *плавучий затвор 1 (батопорт) системы В. Г. Гебеля* имеет вид металлического судна (прямоугольного понтона); этот затвор доставляют наплаву в горизонтальном положении к месту установки (к перекрываемому пролету плотины); выдвижные оси *2* затвора заводят в имеющиеся в быках опорные шарниры *3*; после этого затвор затапливается водой, причем он, вращаясь относительно шарниров *3*, погружается одним концом в воду и в конечном счете прижимается давлением воды верхнего бьефа к контуру *4* отверстия, закрывая его;

и — *клапанный затвор* с продольной балкой *4* вращается вокруг шарнира *1*, удерживая воду обшивкой *2*; в закрытом положении затвор подвешен на постоянно напряженных тягах *3*, идущих от затвора к подъемному приспособлению, установленному на быке или устое.

Как видно из приведенных схем, при неполном открытии водосливного отверстия часть затворов пропускает воду по типу истечения из-под затвора (подъемные затворы), а другая — по типу перелива воды через затвор (опускные затворы). Последние позволяют более точно регулировать уровень воды верхнего бьефа и гораздо удобнее при осуществлении сброса льда и других плавающих тел. Однако при необходимости пропускать через отверстия наносы, движущиеся по дну, предпочтительнее подъемный затвор.

С целью улучшить условия эксплуатации затворов делают иногда составные затворы, состоящие, например, из двух элементов, приводимых в движение независимо друг от друга. При наличии таких затворов (подъемно-опускных) имеется возможность сбрасывать воду как через верх затвора, так и из-под него.

В настоящее время в СССР в 65 % случаев применяют плоские затворы и в 29 % случаев сегментные.

8.2.2. Конструкция некоторых поверхностных затворов

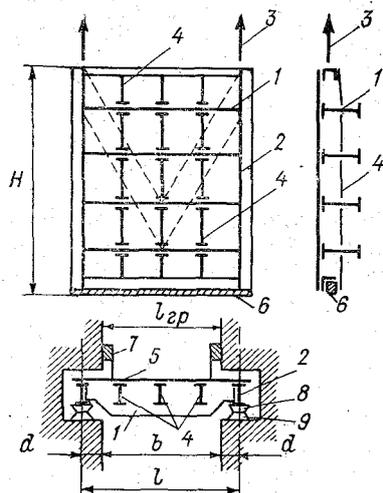
Обычный плоский металлический затвор. Этот затвор представляет собой металлическую несущую конструкцию, покрытую с верхней стороны (обращенной в сторону верхнего бьефа) водонепроницаемой обшивкой, выполненной, как правило, из листовой стали, иногда же из арктилита или дерева.

В простейшем случае металлическая несущая конструкция представляет собой балочную клетку, состоящую (рис. 8.2): а) из горизонтальных балок *1*; эти балки называются *ригелями*, они являются главными балками; б) из вертикальных балок *4*, называемых *стойками*.

Ригели и стойки пересекаются, причем все стойки, кроме крайних стоек *2*, называемых опорными, «разрезаются» ригелями на

отдельные части; эти части располагаются между ригелями; сами же ригели представляют собой неразрывную конструкцию.

Из рис. 8.2 видно, что по контуру затвора устраивают уплотнения 6 и 7, перекрывающие зазоры, образующиеся между затвором и бетонными частями сооружения. Подъемные усилия 3 прилагаются к опорным стойкам, на которые давление воды передается от ригелей. При поднятии затвора опорные стойки его перемещаются по специальным неподвижным рельсам 9, заделанным в пазах. Во избежание перекоса и боковых перемещений затвора у опорных стоек иногда предусматривают вспомогательные опорные устройства в виде «обратных» и «боковых» направляющих колесо-ролик (на рисунке не показаны).



и «боковых» направляющих колесо-ролик (на рисунке не показаны).

Важными элементами конструкции плоского затвора являются опорно-ходовая часть и уплотнения.

В зависимости от конструкции опорно-ходовых частей различают

Рис. 8.2. Простейшая схема обычного плоского металлического многоригельного затвора.

1 — ригель; 2 — опорная стойка; 3 — подъемное усилие; 4 — стойка; 5 — обшивка; 6 — донное уплотнение; 7 — боковое уплотнение; 8 — деревянный брус или стальная полоса длиной H (прикрепленная к опорной стойке); 9 — закладная часть (стальной неподвижный рельс).

металлические плоские затворы: а) скользящего трения; б) колесные; в) катковые.

Затворы скользящего трения. Опорно-ходовые части этих затворов выполняют из дерева (рис. 8.3 а) или металла (рис. 8.3 б).

При скольжении опорно-ходовых частей по неподвижным рельсам — закладным частям (или по выровненной поверхности бетона в случае ходовой части в виде деревянного бруса) — возникает сила трения:

$$T = fP,$$

где P — полное гидростатическое давление на затвор; f — коэффициент трения скольжения опорно-ходовой части по рельсу. Как видно, от значения f должна существенно зависеть мощность подъемных механизмов (см. ниже).

Значения коэффициентов f различают для покоя (в момент трогания) и при движении. Для скольжения стали по стали: а) в случае покоя $f \approx 0,50$; б) в случае движения $f \approx 0,15$.

В первом приближении усилие подъема S плоского затвора можно определять по формуле

$$S \approx 1,5G,$$

где G — вес затвора в воздухе.

Колесные затворы. С целью уменьшить мощность подъемных механизмов к опорным стойкам прикрепляют колеса или колесные тележки, которые должны катиться (при маневрировании затвором) по рельсу (по неподвижной закладной части).

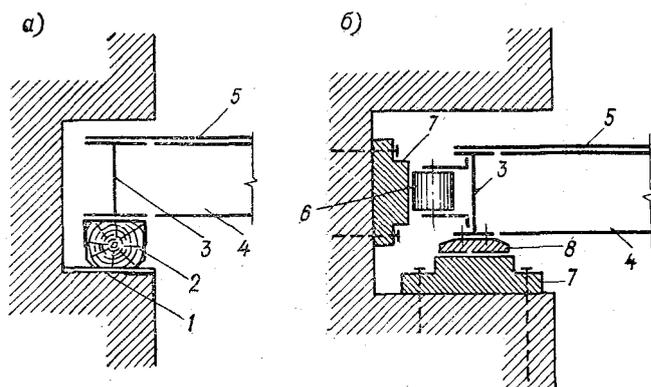


Рис. 8.3. Затворы скользящего трения.

1 — выровненная бетонная поверхность; 2 — деревянная опорно-ходовая часть; 3 — одностеночная опорная стойка; 4 — ригель; 5 — обшивка; 6 — вспомогательная опорно-ходовая часть (направляющий ролик); 7 — металлическая полоса (или рельс); 8 — металлическая (стальная, бронзовая) опорно-ходовая часть.

В случае колесного затвора сопротивление движению складывается:

а) из трения качения по рельсу и б) из трения скольжения между колесом и осью его; чтобы уменьшить это трение скольжения, иногда устраивают роликовые подшипники.

Имея размеры колеса и соответствующие коэффициенты трения (качения и скольжения), можно найти силу сопротивления движению T . Эту силу также можно представить в данном случае условной зависимостью: $T = fP$ (как в случае затвора скользящего трения), где, как показывает опыт, $f \approx 0,1$, откуда видно, что в случае колесных затворов T уменьшается примерно в 5 раз (сравнительно с обычными затворами скользящего трения). При использовании роликовых подшипников T можно снизить еще больше. Именно в снижении этой силы и заключается преимущество колесных затворов.

Число колес или колесных тележек назначают равным четырем (с тем, чтобы затвор имел четыре точки опоры).

Обычно на одно колесо водосливного затвора действует давление не более 120 т. Диаметр колеса равен 0,3—1,0 м. Колеса почти всегда имеют реборды.

Колесные тележки проектируют, например, по схеме, изображенной на рис. 8.4. Как видно, между опорной стойкой и соответствующей тележкой имеется шарнир, через который от затвора передается усилие на два колеса. Ширина пазов при наличии колес может достигать 3,0—4,0 м.

Катковые затворы («щиты Стонея»). В этих затворах опорные стойки опираются в каждом из пазов на ролики (катки), соединенные рамой, подвешенной на цепи (или тросе), концы ко-

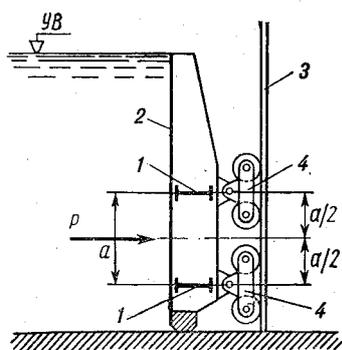


Рис. 8.4. Опорно-ходовые части в виде колесных тележек 4.

1 — главный ригель; 2 — обшивка затвора; 3 — рельс (в пазу).

торой наглухо прикреплены к быку и к затвору. Эта цепь огибает специальный ролик, укрепленный наверху катковой рамы, поэтому рама при подъеме затвора приобретает кинематику известного из физики подвижного блока.

Соответствующие расчеты показывают, что сила T в случае катковых затворов теоретически должна быть значительно меньше, чем в случае колесных затворов. Однако опыт эксплуатации катковых затворов это не подтвердил; оказалось, что эта сила в случае катковых затворов и колесных получается примерно одинаковой (в связи с некоторым смятием катков при их движении). Учитывая это обстоятельство, а также ряд других недостатков катковых затворов, эти затворы в последнее время применяют редко (и только в условиях мягкого климата и отсутствия наносов).

Уплотнение затворов. Зазоры между затвором и бетонной конструкцией не должны пропускать воду. Чтобы обеспечить герметичность этих зазоров, на краях затвора, а в некоторых случаях и на бетонной конструкции устраивают так называемые уплотнения.

При поднятии или опускании затвора некоторые уплотнения должны перемещаться (скользить) или по сглаженной поверхности бетона, или чаще всего по забетонированным стальным полосам. Уплотнения для обеспечения герметичности должны быть прижаты к соответствующим поверхностям либо давлением воды, либо давлением предварительно деформированной резины, либо давлением пружинящей стали.

Считают, что в настоящее время уплотнения затворов должны изготавливаться из резины (различного поперечного сечения — различного профиля), а также пружинящей стали; только для малоответственных объектов считают возможным использование дерева (которое ранее широко применялось, особенно в СССР).

Различают два вида уплотнения: 1) уплотнения, *отрывающиеся* от поверхности плотины при движении затвора (например, так называемые *донные уплотнения* поднимающихся плоских за-

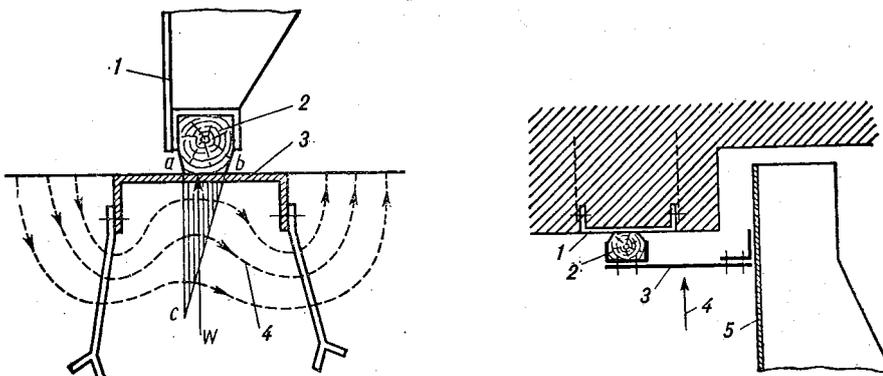


Рис. 8.5. Схема донного уплотнения затвора.

1 — обшивка затвора; 2 — деревянный брус уплотнения; 3 — закладная часть; 4 — фильтрационный поток в бетоне в обход закладной части; *abc* — эпюра противодействия.

Рис. 8.6. Схема бокового уплотнения.

1 — закладная часть; 2 — деревянный брус; 3 — стальной лист; 4 — давление воды; 5 — обшивка затвора.

творов); 2) уплотнения при движении затвора, *скользящие* по поверхности плотины (например, так называемые *боковые уплотнения* плоского затвора).

На рис. 8.5 и 8.6 показаны схемы уплотнений открывающегося (донного) и продольного скольжения (бокового); на рис. 8.7 и 8.8 — возможное конструктивное оформление этих уплотнений.

Разумеется, сопряжение донного уплотнения с боковым уплотнением требует специальной конструктивной разработки, обеспечивающей герметичность затвора в этом месте.

В настоящее время пролет плоских затворов достигает 40 м, а высота (при меньших пролетах) — 16 м. Можно считать, что площадь отверстия, перекрываемая таким затвором, иногда достигает 350 м².

Шандоры представляют собой балки, укладываемые в пазах бычков одна на другую для образования водонепроницаемой стенки. Шандоры обычно применяют как ремонтное или аварийное ограждение, их устанавливают впереди щита со стороны верхнего бьефа на расстоянии около 1,0 м с образованием щели, в которую может войти рабочий для ремонта щита. В плотинах с низким порогом иногда предусматривают шандорное огражде-

ние и со стороны нижнего бьефа. Ремонтные шандоры опускают в спокойную воду перед затвором, стоящим на пороге, и поэтому они могут быть скользящими. Аварийные шандорные затворы опускают в текущую воду перед поднятым основным затвором, если его «заело» в пазах, и поэтому аварийные затворы делают

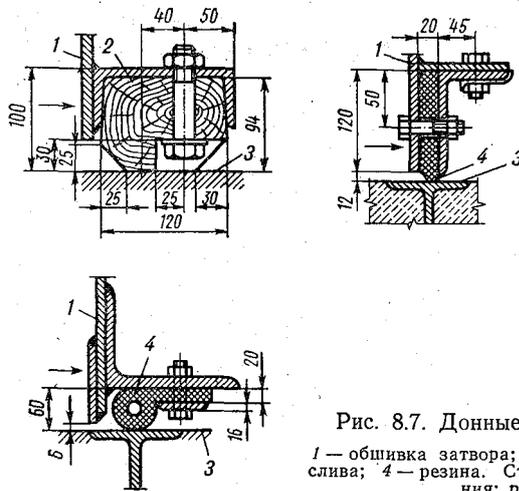


Рис. 8.7. Донные («отрывающиеся») уплотнения.
1 — обшивка затвора; 2 — деревянный брус; 3 — порог водослива; 4 — резина. Стрелка показывает направление течения; размеры в миллиметрах.

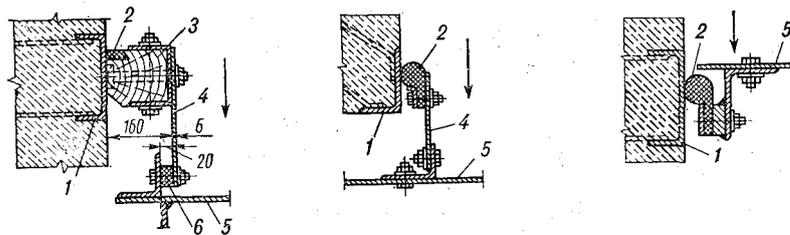


Рис. 8.8. Боковое уплотнение.

1 — закладная часть в быке; 2 — резина; 3 — дерево; 4 — пружинящий стальной лист; 5 — обшивка затвора; 6 — прокладка из резины. Стрелка показывает направление течения; размеры в миллиметрах.

колесными, так как трение качения примерно в 5—7 раз меньше трения скольжения.

Простейшие ремонтные шандоры, показанные на рис. 8.1 б, представляют собой деревянные балки. На рис. 8.9 показан колесный аварийный шандор.

Сегментный металлический затвор (рис. 8.10) представляет собой пространственную решетчатую каркасную ферму с двумя «ногами», напорная обшивка которой очерчена по цилиндрической поверхности (реже по плоскости). Затвор вращается на горизонтальных осях, укрепленных на бычках и устоях. Ноги затвора и

главные ригеля образуют так называемый портал затвора, являющийся основной его несущей конструкцией. Опорные части сегментных затворов, т. е. шарниры, располагают таким образом, чтобы равнодействующая гидростатического давления проходила через их центр вращения. Ось шарнира помещают на такой высоте, чтобы при пропуске всех расходов шарнир не был затоплен. Радиус сегментного затвора принимают равным $R = (1,2 \div 2,5)H$, где H — высота затвора, т. е. напор.

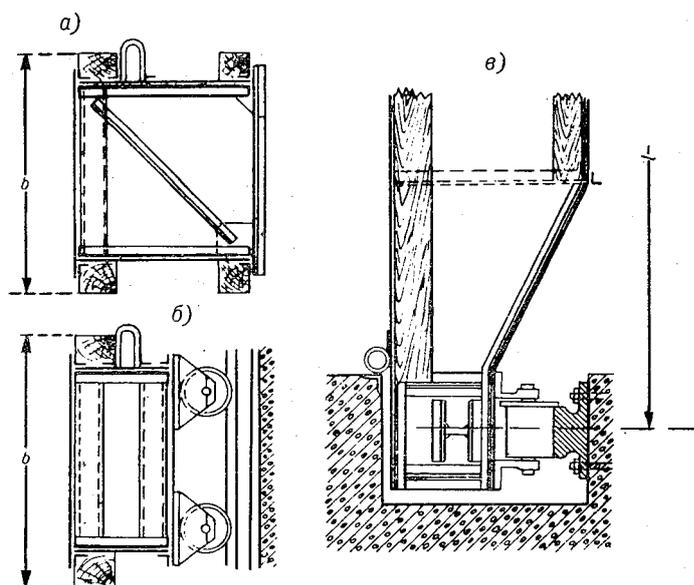


Рис. 8.9. Металлические колесные шандоры.

a — поперечный разрез по середине пролета; *б* — поперечный разрез по опоре; *в* — план у опоры.

Подъем затвора осуществляется вращением его лебедкой, установленной на служебном мостике, за гибкую тягу — трос или звеньевую цепь, укрепленную к нижнему ребру затвора. Ориентировочное значение подъемного усилия S при этом определяется по выражению

$$S = 0,8G,$$

(где G — вес затвора), т. е. оно почти в два раза меньше, чем в случае плоского затвора. Для еще большего облегчения подъемного усилия сегментных затворов их иногда снабжают противовесами, расположенными на продолжении ног затвора.

Конструкция уплотнений сегментного затвора не отличается от конструкции уплотнений плоского затвора.

Перекрывающая способность современных сегментных затворов весьма значительная. Имеются построенные затворы с шири-

ной пролета 45 м и высотой 9 м; в отдельных случаях высота затворов достигает 20 м.

Секторный затвор. Различают секторные затворы: 1) гидравлического действия, приводимые в движение давлением воды верхнего бьефа; 2) механического действия, приводимые в движение соответствующими механизмами.

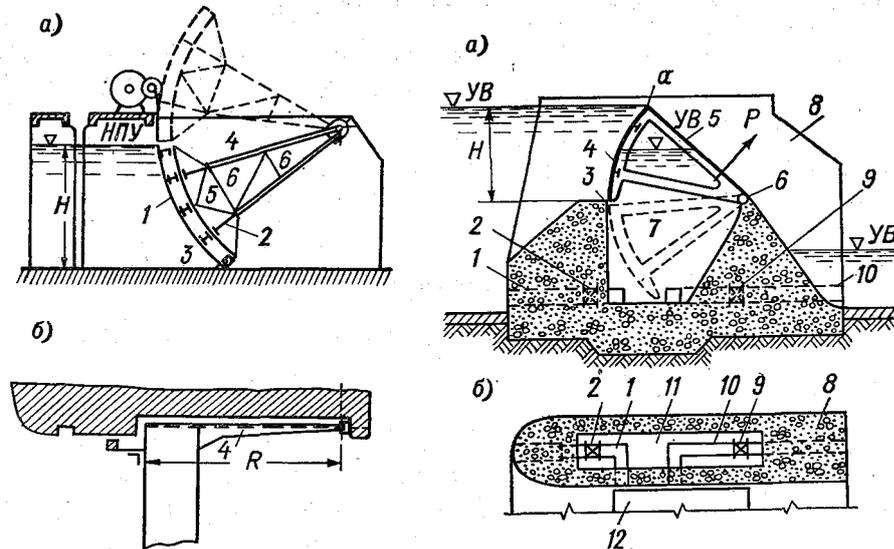


Рис. 8.10. Секторный затвор.

1 — обшивка; 2 — главные ригеля; 3 — стойки каркаса; 4 — ноги затвора; 5, 6 — стержни решетки.

Рис. 8.11. Обычный стальной секторный затвор с нижней осью вращения.

a — поперечное сечение; б — горизонтальное сечение быка; 1, 10 — трубопроводы с задвижками (клапанами) 2 и 9; 3 — донное уплотнение; 4 — круглоцилиндрическая обшивка; 5 — плоская обшивка; 6 — ось вращения затвора; 7 — камера давления; 8 — бык; 11 — шахта в быке; 12 — затвор в плане.

Ниже остановимся на описании стальных секторных затворов гидравлического действия, которые главным образом и применяются.

Как видно, этот затвор (рис. 8.11), вращаясь относительно оси 6, может опускаться в камеру 7 — в так называемую камеру давления; при этом происходит открытие отверстия, и вода верхнего бьефа начинает переливаться через гребень затвора и течь по обшивке затвора 5.

Поднятие и опускание затвора гидравлического действия осуществляется следующим образом.

В быках (см. рис. 8.11 б) устанавливают два трубопровода 1 и 10, каждый со своей задвижкой (клапаном); см. поз. 2 и 9. Трубопровод соединяет верхний бьеф с камерой давления, когда вода верхнего бьефа по этому трубопроводу поступает в камеру

давления и уровень воды в ней повышается (см. рис. 8.11 *a*), значение и плечо силы гидростатического давления P увеличивается, причем затвор начинает подниматься. Другой трубопровод соединяет камеру давления с нижним бьефом; когда вода из камеры давления начинает вытекать в нижний бьеф, причем уровень воды в ней начинает снижаться (см. рис. 8.11 *a*), значение силы гидростатического давления P , а также плечо этой силы относительно центра b уменьшается и затвор опускается.

Чтобы достичь герметичности камеры давления 7 устраивают соответствующие уплотнения. Вопрос о качестве уплотнений в случае секторного затвора имеет большое значение еще потому, что такие уплотнения защищают камеру давления 7 от попадания в нее наносов, нарушающих работу затвора.

В большинстве случаев рассматриваемый секторный затвор делают автоматического действия; это достигается при помощи специального регулирующего устройства, состоящего из поплавков, соединенных с клапанами, перекрывающими описанные выше водопроводные системы.

Пролеты, перекрываемые такими затворами, составляют 60—65 м; высота затворов H 9—11 м.

8.2.3. Подъемно-опускные устройства затворов

Различают затворы *гидравлического действия*, приводимые в движение давлением воды, поступающей из верхнего бьефа в особые камеры (см. п. 8.2.2.) и *механического действия*, которые поднимаются и опускаются при помощи тех или других механических устройств.

Затворы механического действия могут обслуживаться механизмами: а) стационарными (индивидуальными); б) подвижными; в последнем случае каждый отдельный подвижной механизм (в виде, например, порталного крана, перемещающегося по рельсам) обслуживает несколько затворов.

В качестве стационарных подъемно-опускных механизмов применяют: а) винтовые механизмы (рис. 8.12) и им подобные — для малых затворов; б) лебедки, которые могут приводиться в движение либо электродвигателем, либо вручную; в) гидравлические домкраты (гидроподъемники) (рис. 8.13).

В качестве подвижных подъемных механизмов при малых затворах используют лебедки, перемещаемые от одного пролета к другому.

При наличии достаточно больших затворов (плоских, сегментных) для маневрирования ими иногда используют подъемные краны, движущиеся по рельсовым путям; на кранах устанавливают лебедки, которые могут перемещаться обычно в пределах пролетного строения крана.

Различают следующие виды кранов: *мостовые*, *портальные* и *козловые* (козловыми называют иногда такие порталные краны, ноги которых имеют некоторый наклон к вертикали).

Мостовые краны (рис. 8.14 а) на плотинах устраивают редко. Хотя эти краны и дешевле порталных (рис. 8.14 б), но они требуют сооружения колонн.

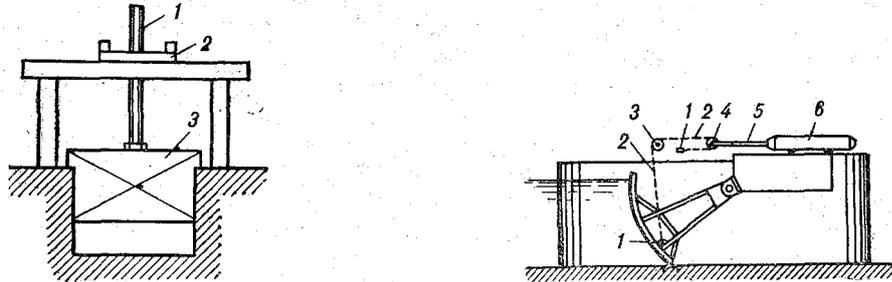


Рис. 8.12. Винтовой механизм.

1 — винт; 2 — вращающаяся часть; 3 — затвор.

Рис. 8.13. Схема горизонтального расположения гидроподъемника с гибкой тягой.

1 — точка закрепления гибкой тяги; 2; 3 — неподвижный блок; 4 — подвижный блок; 5 — шток гидроподъемника; 6 — неподвижно укрепленный цилиндр гидроподъемника.

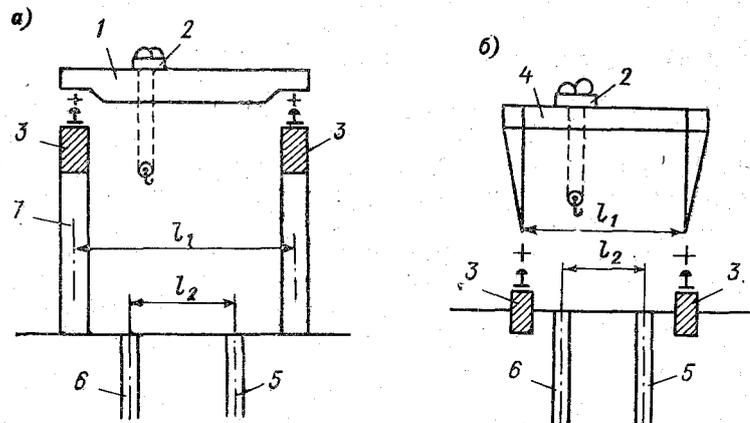


Рис. 8.14. Безмасштабные схемы мостового (а) и порталного (б) кранов ($l_1 > l_2$).

1 — мостовой кран; 2 — лебедка; 3 — подкрановая балка; 4 — порталный (или козловый) кран; 5 — паз рабочих затворов; 6 — паз ремонтных затворов; 7 — колонна.

Отметим основные достоинства и недостатки различных подъемных механизмов затворов механического действия.

Стационарные механизмы имеют ряд преимуществ: 1) они позволяют быстро открывать отверстия, что важно, например, в случае быстронарастающих паводков; 2) при наличии этих механизмов относительно легко осуществлять дистанционное управление затворами; 3) в случае затворов, требующих принудительную посадку, стационарные механизмы позволяют относительно просто осуществлять ее; 4) эти механизмы облегчают маневрирование

затворами, что важно в случае размываемого (нескального) основания плотины.

Однако при большом числе отверстий (более 7—10) стационарные механизмы обычно оказываются дороже, чем подвижные. Кроме того, подвижные механизмы позволяют: 1) переставлять плоские затворы из одного пролета в другой; 2) транспортировать вдоль плотины аварийно-ремонтные затворы; 3) подъемные краны могут быть использованы на ГЭС, а также в период строительства плотины.

8.2.4. Обеспечение бесперебойной работы затворов

Затворы плотины должны в общем случае удовлетворять следующим требованиям:

1) действовать безотказно (особенно в условиях паводка, когда работа по эксплуатации плотины усложняется);

2) позволять достаточно точно регулировать отметку уровня воды в верхнем бьефе и значение расхода воды, сбрасываемой в нижний бьеф;

3) позволять пропускать через отверстия лед и другие плавающие (и влекомые водой) тела, а также наносы; наносы не должны заполнять имеющиеся в плотине ниши и камеры, а также отлагаться у затворов в большом количестве, «заваливая» их (препятствуя нормальной работе затворов);

4) при полном закрытии отверстий обеспечивать герметичность мест их примыкания к бетонным частям сооружения; эти места не должны пропускать воду даже в малом количестве (особенно зимой).

Иногда к затворам предъявляют дополнительные требования: они должны быстро подниматься и опускаться; управление ими могло быть автоматизировано, что позволяет обходиться без оперативного персонала.

Перечисленные эксплуатационные условия обеспечиваются не только самой конструкцией принятого механического оборудования, но и надлежащей эксплуатацией его, основными мероприятиями которой являются: 1) периодический осмотр и периодическое опробование механического оборудования; 2) так называемый планово-предупредительный ремонт, осуществляемый, например, один раз в год и состоящий: а) в замене износившихся частей подъемно-опускных механизмов; б) в чистке и смазке, а также окраске соответствующих частей; в) в специальном ремонте уплотнений затворов и т. п.

Особенно сложно и важно обеспечить бесперебойную работу затворов в зимнее время.

При эксплуатации затворов зимой необходимо (в общем случае) учитывать возможность нарушения нормальной работы затворов за счет следующих обстоятельств:

а) обмерзания опорно-ходовых частей, а также уплотнений, что может вызвать срыв уплотнений при работе затвора;

- б) примерзания затворов к их порогам;
- в) намерзания льда на боковых поверхностях быков и устоев;
- г) намерзания льда на корпусе затвора со стороны верхнего бьефа (рис. 8.15 а), что увеличивает «вес» затвора;
- д) возникновение наледей на низовой стороне затвора, что также увеличивает его «вес»;
- е) замерзания воды в камерах давления затворов гидравлического действия и системах гидравлического управления затворами;
- ж) недостаточно хорошей работы обычной смазки отдельных частей механического оборудования при низких значениях температуры;

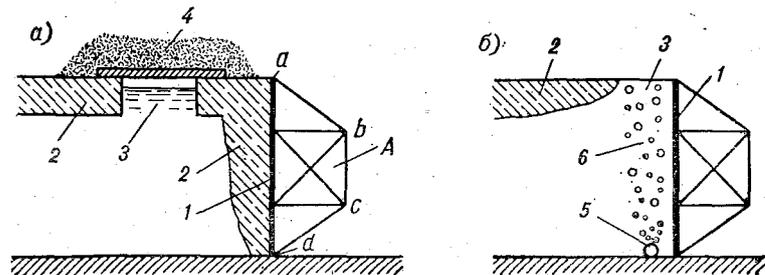


Рис. 8.15. Создание перед затвором майн, снимающих статическое давление льда.

а — прорубь перед затвором; б — схема воздухообдува; 1 — обшивка затвора; 2 — лед; 3 — майна; 4 — утепление проруби снегом; 5 — воздушная труба; 6 — всплывающие пузырьки воздуха.

з) возникновения статического давления льда верхнего бьефа на затвор.

Для обеспечения удовлетворительной работы затворов зимой в ряде случаев приходится проводить следующие мероприятия: 1) принимать специальные меры по предохранению затвора от статического давления льда на них; 2) устраивать теплоизоляцию обшивки затвора; 3) обогревать отдельные части механического оборудования; 4) подготавливать специальную смазку для оборудования, эксплуатация которого будет проходить при низких температурах.

1. Меры по предохранению затвора от статического давления льда. К числу таких мер относятся, в частности, следующие: а) создание перед затворами утепленных майн (рис. 8.15 а); б) установка перед затвором (например, на понтонах) так называемых потокообразователей в виде насосов, которые, работая, создают соответствующее движение воды в верхнем бьефе, в связи с чем перед затвором образуется майна; в) воздухообдув обшивки, который позволяет также не допускать намерзания льда на корпус затвора со стороны верхнего бьефа.

Воздухообдув обшивки затвора (с верхней ее стороны) устраивают следующим образом:

В зимний период в верхнем бьефе вблизи затвора (рис. 8.15 б) пролагают горизонтальную воздушную трубу 5 с боковыми отверстиями (или специальными боковыми выпусками). В эту трубу от компрессора поступает сжатый воздух, который выходит из трубы в боковые отверстия и попадает в воду в виде отдельных пузырьков. Такие пузырьки, всплывая, насыщают вертикальный слой воды, расположенный непосредственно у обшивки затвора. Объемная масса этого слоя двухфазной жидкости оказывается меньше объемной массы воды. Это обстоятельство обуславливает движение воды по направлению от дна к свободной поверхности потока вдоль обшивки затвора. Так как вода у дна относительно теплая, то, поднимаясь кверху и омывая обшивку затвора, она предохраняет ее от обмерзания, а также способствует образованию перед затвором соответствующей майны, снимающей статическое давление льда с затвора.

Боковые выпуски на воздушной трубе устраивают через 3—5 м. Воздуховод работает периодически через 1—4 ч в течение всей зимы; продолжительность одного воздухообдува 20 мин.

2. Теплоизоляция обшивки затвора. Теплоизоляцию создают с низовой стороны обшивки затвора. Здесь различают: а) обшивку, например деревянную, устраиваемую по линии *abcd* (рис. 8.15 а); в этом случае собственно изоляцией является слой неподвижного воздуха, заключенного в замкнутом пространстве А между стальной и деревянной обшивками; иногда пространство А обогревают (см. ниже п. 3); б) покрытие стальной обшивки с низовой ее стороны, например слоем пенобетона. Этот способ часто более эффективен.

3. Обогрев отдельных частей затвора. Различают следующие виды обогрева закладных частей, уплотнений, стальной обшивки и т. п.:

а) при помощи подогретого трансформаторного масла, циркулирующего по трубам, заделанным в бетон и расположенным на расстоянии 60—120 мм от обогреваемой металлической части;

б) при помощи электрического тока, проходящего непосредственно по соответствующей обогреваемой металлической части (например, по обшивке затвора, которая в этом случае должна быть изолирована от арматуры железобетона, и т. п.);

в) теплым воздухом, поступающим, например, в пазы затвора из системы охлаждения генераторов электростанции;

г) при помощи электрических печей; такие печи имеют большую длину и размещаются, например, внутри швеллеров, которые располагаются вдоль обогреваемых частей затвора.

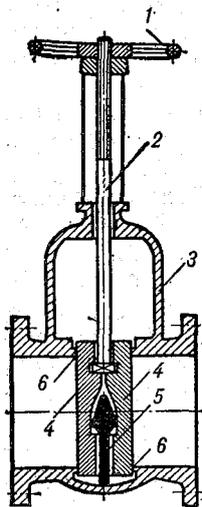
Гидравлические системы затворов отепляют путем пропуска через них горячей воды или путем использования средств, описанных выше.

8.3. Глубинные затворы

Глубинные затворы встречаются двух типов: затворы герметические и затворы открытого типа.

Герметический затвор заключен в соответствующий герметический кожух (металлический корпус) с фланцами, при помощи которых он и присоединяется к напорному трубопроводу (в конце его или в средней части). Затвор открытого типа такого кожуха не имеет.

Герметические затворы бывают разных конструкций: «водопроводные», дисковые, игольчатые, конусные, цилиндрические, вальцовые, шаровые и т. п. Рассмотрим только некоторые из них.



Затворы (задвижки) водопроводного типа могут иметь различное устройство. На рис. 8.16 схематично показан пример одного из них. Чугунный (при большом давлении стальной) конус задвижки 3 имеет два фланца, к которым присоединяются трубы. Вращая моховик 1, связанный с вертикальным шпинделем 2, имеющим винтовую нарезку, можно опускать или поднимать диски 4, перекрывающие трубопровод. При опускании шпинделя он давит на клин 5, расположенный между дисками, и при-

Рис. 8.16. Герметический затвор водопроводного типа.

1 — моховик; 2 — шпиндель; 3 — корпус задвижки; 4 — диски задвижки; 5 — клин; 6 — уплотняющие кольца.

жимает их к уплотняющим кольцам 6. Когда шпиндель поднимается, диски и клин тоже поднимаются и располагаются в верхней части задвижки вне габаритов трубопровода.

Такого рода задвижки выполняют (согласно имеющемуся сортаменту) диаметром до 1600 мм. Обычно считают, что они могут работать под напором до 50 м.

Дисковый (дроссельный) затвор (рис. 8.17) может перекрывать трубопровод диаметром до 7—8 м. Ось 1 круглого литого диска 2 затвора может быть вертикальной или горизонтальной. Затвор открывают или закрывают путем вращения конца этой оси, выведенного наружу через металлический кожух затвора соответствующим приводом (гидравлического или механического действия). Уплотнение затвора в закрытом его состоянии осуществляют иногда при помощи резинового «шланга» (надуваемого воздухом), установленного по периметру диска.

Игольчатый затвор является наиболее совершенным. Он позволяет легко открывать и закрывать трубопровод и хорошо регулировать расход воды, пропускаемый по трубопроводу.

Диаметр трубопровода, перекрываемого таким затвором, может достигать 6—7 м; напор на затворе — 800 м.

Игольчатый затвор, как правило, устанавливают в конце напорного трубопровода с расчетом получить истечение из отверстия затвора непосредственно в атмосферу. Недостатками этого затвора являются его дороговизна и сравнительно большие потери напора в пределах затвора (при полном его открытии).

Идея устройства игольчатого затвора (рис. 8.18 а) заключается в следующем.

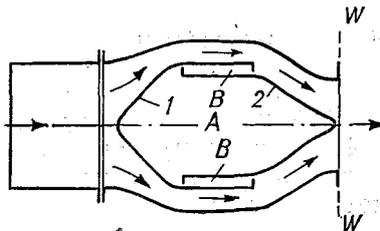
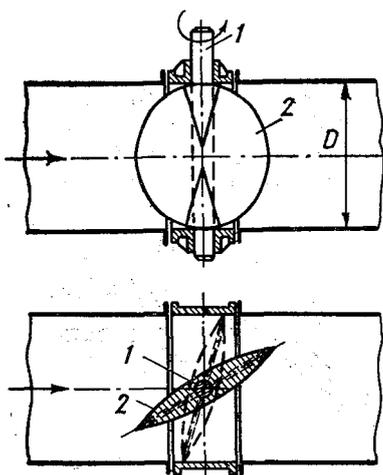


Рис. 8.18. Схема игольчатого затвора.

1 — неподвижный цилиндр; 2 — подвижный цилиндр.

← Рис. 8.17. Схема дискового затвора.

1 — ось диска; 2 — диск.

Имеется хорошо обтекаемый неподвижный «цилиндр» 1; в нем может двигаться (влево или вправо) подвижный «цилиндр» 2. Если при помощи особых труб соединим пространство А с верхним бьефом, а пространство В с нижним, то благодаря разнице давлений в камерах А и В цилиндр 2 начнет перемещаться вправо и своим правым (обтекаемым) концом закрывать выходное отверстие затвора W—W. Если после этого соединим пространство В с верхним бьефом, а пространство А с нижним, то цилиндр 1 начнет перемещаться влево и откроет выходное отверстие затвора W—W; в это отверстие вода будет поступать, обтекая «цилиндр» 1, как показано на рисунке стрелками.

Как видно, описанный игольчатый затвор является затвором гидравлического действия (существуют игольчатые затворы и механического действия).

Глубинные затворы открытого типа делают в виде плоского щита, сегментного и секторного затворов, в целом аналогичных по конструкции рассматриваемым выше одноименным поверхностным затворам и отличающихся от них только наличием дополнительного горизонтального уплотнения по верху затвора. Однако в данном случае они даже при полностью открытом водопропускном отверстии целиком находятся под уровнем воды верхнего бьефа.

2

Раздел второй

ВОДОЗАБОРЫ И ВОДОВОДЫ

Глава 9. Речные водозаборы

9.1. Общие сведения

В пп. 5.6.4 и 6.5.3 были рассмотрены устраиваемые при плотинах глубинные водопропускные отверстия, которые по своему назначению могут быть хозяйственными водоспусками, т. е. служить для забора воды из водохранилища и подачи ее различным потребителям.

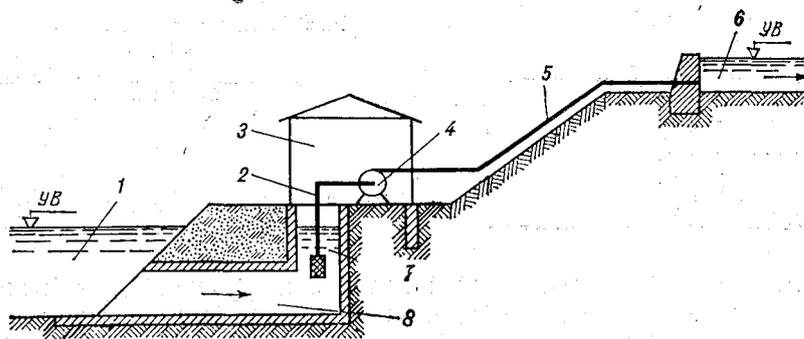


Рис. 9.1. Схема машинного речного водозабора.

1 — река; 2 — всасывающая труба; 3 — насосная станция; 4 — насос; 5 — напорная труба; 6 — магистральный оросительный канал; 7 — береговой колодезь; 8 — самотечная галерея.

Ниже остановимся на рассмотрении открытых речных водозаборов, которые устраивают вблизи уреза воды в реке. При этом будем иметь в виду случай, когда вода из водозабора поступает в безнапорный водовод, например, в открытый магистральный канал оросительной системы.

В зависимости от положения уровня воды в реке и той площади, на которую требуется осуществить водоподачу, забор воды в канал может совершаться самотеком или механической перекачкой. В первом случае водозабор называется *самотечным*, а во втором — *машинным*. Отметим, что самотечные открытые речные водозаборы называют также головными водозаборными шлюзами или водоприемниками, а машинные водозаборы — насосными станциями, которые могут быть береговыми (рис. 9.1) и плавучими, т. е. расположенными на соответствующих понтонах.

Далее конструкции машинных водозаборов будут кратко рассмотрены в п. 27.2.

Если вода в водозабор поступает при бытовых уровнях воды в реке, т. е. без подпора их плотиной, то такой водозабор называется *бесплотинным*, а если из подпертого бьефа плотины, то водозабор носит название *плотинного*.

Речной водозабор любого типа должен удовлетворять следующим требованиям: а) обеспечивать подачу воды в канал в соответствии с имеющимся графиком потребления воды из канала; б) по возможности не допускать в канал плавающих тел (льда, шуги, и т. п.), а также наносов (донных и взвешенных); в) до-

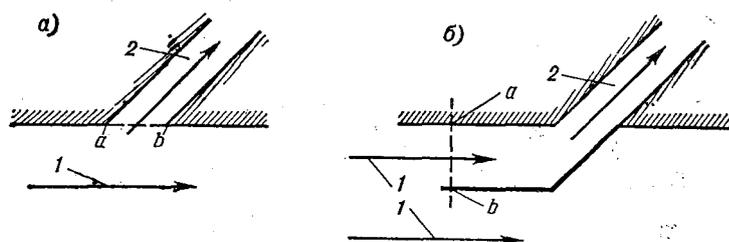


Рис. 9.2. Схемы водозаборов с боковым (а) и фронтальным (б) забором воды.

1 — река; 2 — канал; *ab* — плоскость, в которой располагается водозаборное отверстие.

пускать перекрытие канала на время его ремонта (выключать канал из работы).

Самотечные плотинные и бесплотинные водозаборы расчленяют на два основных типа: 1) водозаборы с *боковым отводом воды*, когда входные отверстия водозабора располагаются в плоскости *ab*, примерно параллельно течению реки (рис. 9.2 а); 2) водозаборы с *фронтальным забором воды* (фронтальные водозаборы), когда входное отверстие водозабора располагается в плоскости *ab* примерно нормально к течению реки (рис. 9.2 б).

9.2. Бесплотинный самотечный водозабор

Бесплотинный водозабор можно сооружать, если в реке обеспечены требуемые уровни воды, гарантирующие подачу в канал расходов, соответствующих графику потребления. Но при наличии больших уклонов реки иногда такой водозабор сооружают и в случае, когда требуемые уровни воды в реке (в данном ее створе) не обеспечены. При этом водозаборе подъем уровня достигается с помощью устройства *шпоры 1* (рис. 9.3); причем получаем особый фронтальный водозабор, называемый *шпорным водозабором*.

Как видно из рисунка, шпора образует карман 2. В этом кармане, имеющем достаточную длину *l*, задаются сравнительно

малые уклоны свободной поверхности потока, благодаря чему уровень воды в области *A* кармана оказывается выше уровня воды реки в области *B*. Разность этих уровней Δ (т. е. величина подъема воды в реке у головного водозаборного шлюза)

$$\Delta = (i_p - i_k) l,$$

где i_p — уклон реки, i_k — уклон свободной поверхности воды в кармане, l — длина шпоры.

На рис. 9.3 показан промывной шлюз 5, служащий для промыва наносов, отложившихся в кармане.

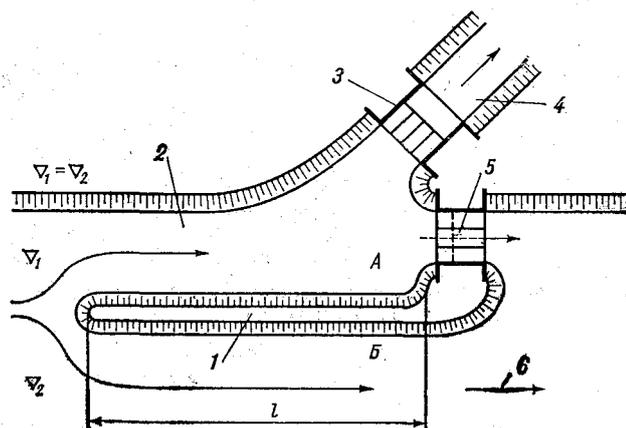


Рис. 9.3. Шпорный водозабор.

1 — шпора; 2 — карман; 3 — головной шлюз; 4 — канал; 5 — промывной шлюз; 6 — река.

При малых уклонах реки длина шпоры получается большой и в этих случаях по экономическим соображениям отказываются от шпорного водозабора и устраивают обычно плотинный водозабор. Впрочем, у построенных водозаборов длина шпор достигает иногда и нескольких километров.

Вообще полагают, что при помощи бесплотинного водозабора практически можно отвести от реки не более 30 % расхода реки.

Для нормальной работы бесплотинного самотечного водозабора очень важно правильно выбрать его местоположение на реке, особенно с учетом характера движения воды на прямолинейных и криволинейных участках русла.

Как известно, в связи с неравномерностью распределения продольных осредненных скоростей в подходе (к повороту русла) живом сечении потока в пределах поворота потока возникает винтообразное движение воды, обусловленное соответствующими силами инерции воды (рис. 9.4). При этом свободная поверхность воды в сечении *A—A* несколько искривляется: отметка воды в точке *B*, намеченной у вогнутого берега, оказывается несколько выше отметки воды в точке *C*.

Благодаря описанному движению воды на повороте реки придонные объемы воды вместе с донными наносами перемещаются от вогнутого берега *B* к выпуклому берегу *C*. Поверхностные же относительно чистые объемы воды (иногда, впрочем, содержащие шугу и лед) перемещаются от выпуклого берега *C* к вогнутому берегу *B*. В результате получаем следующее: а) вогнутый берег *B* может размываться (но не заиляться); этот берег оказывается более крутым и глубины воды у него бывают относительно большие; б) выпуклый берег *C* может заиляться (но не размываться); этот берег оказывается более пологим, причем глубины у него относительно малые.

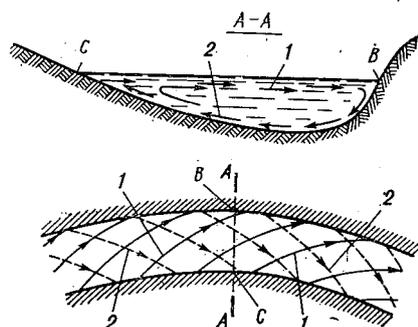


Рис. 9.4. Схема винтообразного движения воды на повороте безнапорного потока.

1 — поверхностные и 2 — донные струи.

Учитывая описанный характер движения воды на повороте реки, легко видеть, что водозабор всегда желательно располагать в пределах вогнутого берега реки, поскольку в этом случае: а) можно не опасаться заиления водозабора; б) от размыва берега можно защитить соответствующим креплением; в) достаточно большие глубины у берега могут позволить устроить у водозабора порог надлежащей высоты, защищающий водозабор от попадания в него донных наносов (см. ниже).

Располагая водозабор на повороте, стараются разместить его не выше (по течению) середины криволинейного участка, где описанная ранее циркуляция воды получила уже полное развитие.

Выбирая место для водозабора, необходимо также обращать внимание на устойчивость откосов берега, на его доступность и незатопляемость.

При отсутствии приемлемых поворотов реки водозабор придется располагать на прямолинейном участке реки (но не на выпуклом берегу).

Сам головной шлюз представляет собой ту же плотину с низким порогом или вовсе без нее, т. е. флютбет (см. рис. 5.16).

Для регулирования расходов воды, поступающей из реки в канал, в шлюзе устраивают рабочие затворы; кроме того, в общем случае предусматривают также ремонтно-аварийные затворы.

Перед затворами иногда устраивают решетку (для удержания плавающих тел).

В случае работы шлюза в зимних условиях предусматривают еще особые конструкции (запаны, шугосбросы), препятствующие доступу в канал шуги и льда.

Чтобы воспрепятствовать попаданию в канал донных наносов, перед шлюзом делают порог (повышая флютбет). Высота порога зависит от крупности и количества наносов. Часто рекомендуют высоту порога перед шлюзом делать: а) в случае песчаных наносов — 1,5—2,0 м; б) в случае гравелисто-галечных — 1,0—1,5 м.

Как видно, чем наносы мельче, тем высота порога должна быть больше. Для промыва наносов, отложившихся перед поро-

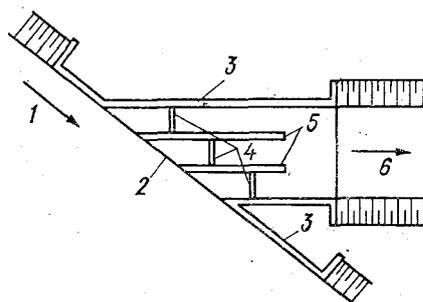


Рис. 9.5. Схема плановой компоновки головного шлюза.

1 — река; 2 — входной порог; 3 — устой; 4 — затворы; 5 — быки; 6 — канал.

гом, иногда устраивают специальные промывные галереи (см. гл. 10).

Обычно рекомендуют устраивать в шлюзе не менее трех отдельных водозаборных отверстий. На рис. 9.5 приведена одна из возможных схем плановой компоновки головного шлюза.

Если по каким-либо веским соображениям водозабор с боковым отводом воды приходится устраивать не на вогнутом, а на прямолинейном участке реки, то выгодную картину движения воды перед водозабором можно создать с помощью наносонаправляющих (или струенаправляющих) лопастей системы В. М. Потапова.

Это устройство (рис. 9.6) представляет собой раму AB , удерживаемую на плаву тросами в определенном положении. Рама плавает в реке на понтонах I в виде стальных сегментов.

Размеры рамы и параметры, определяющие ее расположение по отношению к водозаборному отверстию шлюза CD , следующие (см. рис. 9.6): $a \approx (1,2 \div 1,4)b$, где b — ширина водозаборного отверстия; $\theta = 45 \div 60^\circ$; $\beta = 18 \div 20^\circ$; $\alpha = 18 \div 25^\circ$; $c = (0,3 \div 0,4)h$, где h — глубина реки в данном месте; c — глубина погружения понтонов в воду.

Как видно, при помощи понтонов, выполняющих одновременно роль направляющих лопастей, искусственно (принудительно) на прямолинейном участке реки создается винтообразное (циркуляционное) движение: поверхностные струи (сплошные линии на рис. 9.6) оказываются направленными в отверстие шлюза; дон-

ные же струи, обогащенные относительно крупными наносами (пунктирные линии на рис. 9.6), оказываются направленными от шлюза.

Практика показала, что система струенаправляющих лопастей М. В. Потапова дает значительный эффект: объем наносов, отла-

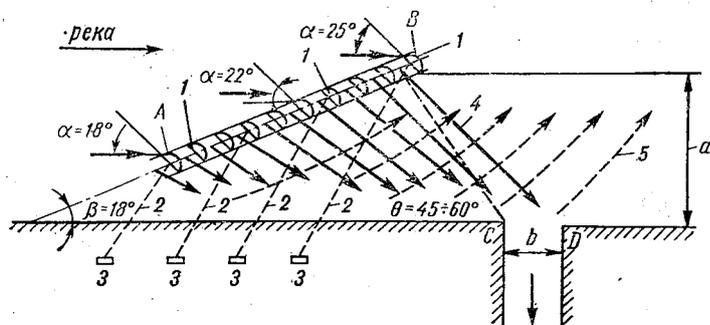


Рис. 9.6. Наносоперехватывающие (или струенаправляющие) лопасти системы М. В. Потапова.

AB — плавающая рама на понтонах (лопастях) 1; *CD* — входное отверстие головного шлюза шириной *b*; 2 — тросы; 3 — лебедки; 4 — поверхностные линии тока; 5 — донные линии тока.

гающихся в канале при применении этой системы, уменьшается иногда в 2—3 раза.

9.3. Плотинный самотечный водозабор

Плотинный водозабор сооружают, когда требуемые уровни воды в реке в естественном ее состоянии не обеспечены (т. е. при этих уровнях воды нельзя построить бесплотинный водозабор, обеспечивающий подачу необходимых расходов воды в канал). В этом случае уровень воды в реке приходится поднимать путем устройства водоподъемной плотины.

Водоподъемную плотину устраивают также с целью забирать воду из реки (в данном ее створе) с более высоких отметок, а следовательно, иметь возможность трассировать магистральный канал оросительной системы по более высоким отметкам местности (увеличивая тем самым орошаемую площадь).

Иногда приходится устраивать два водозабора на противоположных берегах реки. В этом случае наличие плотины позволяет легче распределять воду между этими двумя водозаборами.

В каждом плотинном водозаборе кроме водосливной плотины, поднимающей уровень воды в верхнем бьефе и пропускающей необходимые расходы воды в нижний бьеф, обычно имеются следующие составные части:

1) головной водозаборный шлюз, порог которого на 1—2 м и более возвышается над дном реки; шлюз имеет несколько водо-

пропускных отверстий, перекрываемых затворами, для регулирования количества воды, подаваемой в канал;

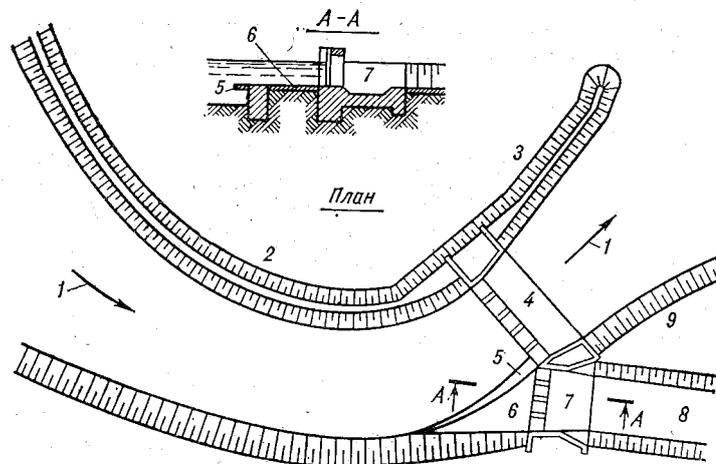


Рис. 9.7. Схема водозабора Ферганского типа.

1 — река; 2 — криволинейная дамба; 3 — струнаправлющая дамба; 4 — плотина; 5 — выносной полок; 6 — криволинейный порог шлюза; 7 — головной шлюз; 8 — канал; 9 — берег.

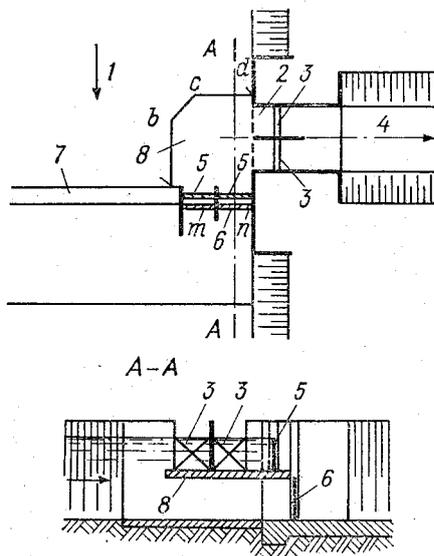


Рис. 9.8. Схема водозабора системы А. В. Троицкого (Среднеазиатский тип).

1 — река; 2 — порог головного шлюза; 3 — затвор головного шлюза; 4 — канал; 5 — затвор верхнего промывного отверстия; 6 — затвор нижнего промывного отверстия; 7 — плотина; 8 — полок.

2) промывные устройства для удаления от порога отложившихся донных наносов;

3) отстойники для задержания взвешенных наносов и тех донных, которые не будут задержаны входным порогом;

4) решетки на входе в водозабор для защиты канала от внутриводной взвеси;

5) специальные элементы, устраиваемые по мере надобности, к которым относятся шугосбросы, гравиеловки и др.

В зависимости от местных условий, указанные составные части могут быть скомпонованы в различном сочетании и иметь разнообразное плановое расположение. Для примера на рис. 9.7 и

рис. 9.8 приведены схемы фронтального водозабора и водозабора с боковым отводом воды.

Строительство водоподъемной плотины водозабора на реке, влекущей наносы, вызывает в верхнем и нижнем бьефах водотока определенные изменения, характер которых был рассмотрен в гл. 3. Однако, поскольку образующиеся перед рассматриваемыми плотинами регулирующие емкости весьма незначительны, то и масштабы указанных изменений также невелики.

Глава 10. Отстойные бассейны (отстойники)

10.1. Назначение отстойников

Часто реки, вода из которых забирается для различных хозяйственных целей, перемещают вместе с водным потоком (особенно во время паводков) большое количество наносов, являющихся для потребителей воды весьма нежелательной, а то и вредной примесью. Прежде всего, определенные ограничения по содержанию наносов предъявляют к воде, используемой в системе питьевого водоснабжения. Однако и мелиорация (орошение), и энергетика (ГЭС) также не безразличны к количеству и крупности наносов. Попадая в каналы, транспортирующая способность которых обычно меньше транспортирующей способности реки, наносы начинают выпадать из воды, заиляя каналы, что обуславливает необходимость их периодической механической чистки, требующей больших трудовых затрат. При наличии в конце канала гидростанции наносы, попадая в турбины, истирают их лопасти, коэффициент полезного действия турбин снижается.

Поэтому уже в конструкции головного водозаборного шлюза (см. гл. 9) предусмотрены меры по уменьшению количества влекомых наносов, поступающих в водозабор. Однако эти меры не всегда могут обеспечить требуемую степень очистки воды от механических примесей. Для получения необходимого результата, т. е. очистки водного потока от прошедшей через водозабор части влекомых наносов и от взвешенных наносов, используют принцип гравитационного осветления воды, который осуществляют в особых отстойных бассейнах, называемых *отстойниками*.

Отстойник — это инженерное сооружение для освобождения воды от наносов при очень малых скоростях поступательного течения. Принцип работы отстойника заключается в том, что путем уменьшения поступательной скорости течения воды снижают вертикальную пульсационную ее составляющую, взвешивающую наносы, и тем самым способствуют выпадению из потока частиц, гидравлическая крупность которых больше взвешивающей силы.

Для уменьшения поступательной скорости площадь живого сечения отстойника принимают значительно больше площади живого сечения водотока (например, канала), на котором установлен отстойник.

Выпавшие в отстойнике наносы удаляют из него тем или иным способом (см. ниже) в специально отведенные места.

Отстойники обычно располагают в самом начале канала, непосредственно за головным шлюзом, но иногда и вдали от шлюза.

Степень очистки воды от наносов зависит от требований водопользователей. Так, при подаче воды на орошение стремятся к тому, чтобы количество наносов, оставшееся после отстоя воды в отстойнике и попавшее в отводящий канал, не превышало бы транспортирующей его способности (т. е. чтобы канал не заилялся). Необходимо подчеркнуть, что и переосветление воды в отстойнике является нежелательным, так как в этом случае в ниже расположенных каналах могут возникнуть размывы. Кроме того, следует иметь в виду, что мелкие наносы, выносимые водой на поля орошения, могут рассматриваться как удобрения или как улучшающая почву добавка. Учитывая сказанное, иногда считают (на основании данных практики), что отстойники на оросительной сети должны очищать воду от наносов диаметром

$$d \geq 0,10 \div 0,01 \text{ мм} \quad (10.1)$$

или даже

$$d > 0,05 \div 0,01 \text{ мм.} \quad (10.2)$$

Отстойники гидроэлектростанций в современных условиях обычно проектируют на удержание наносов крупностью

$$d \geq 0,25 \div 0,50 \text{ мм.} \quad (10.3)$$

Требования к осветлению воды, используемой в водоснабжении, будут рассмотрены в гл. 27.

10.2. Устройство отстойников

По направлению движения воды отстойники разделяют на горизонтальные и вертикальные.

Горизонтальные отстойники в свою очередь различают:

а) по количеству камер в отстойнике: однокамерные, двухкамерные и многокамерные;

б) по характеру работы: непрерывного действия и периодического действия (когда камеры отстойного бассейна периодически приходится выключать из работы для их очистки от отложившихся наносов);

в) по способу удаления отложившихся наносов: с гидравлическим промывом; с механической очисткой (при помощи землесосов и т. п.).

Имеется много конструкций отстойников, в которых перечисленные выше признаки сочетаются различным образом.

Приведем несколько схем установки горизонтальных отстойников с периодическим промывом.

Однокамерный отстойник, соединенный с каналом последовательно (рис. 10.1). В этом случае во

время очистки отстойника 2 от наносов канал 1 приходится выключать из работы. Промыв отложившихся в отстойнике наносов осуществляют через галерею 4.

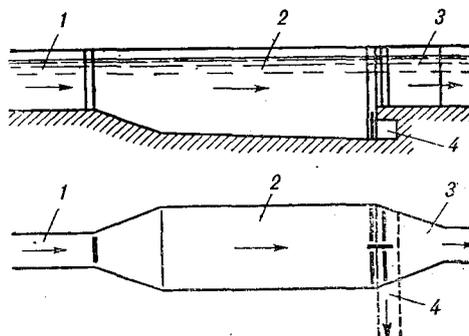


Рис. 10.1. Однокамерный отстойник с периодическим промывом, соединенный с каналом последовательно.

1 — подводящий канал; 2 — отстойный бассейн; 3 — отводящий канал (от отстойника); 4 — промывная галерея (пульповод).

Однокамерный отстойник, соединенный с каналом параллельно (рис. 10.2). Здесь во время промывки отложившихся в отстойнике наносов вода из подводящего канала 1 подается в отводящий канал 6 по специально устроенному обвод-

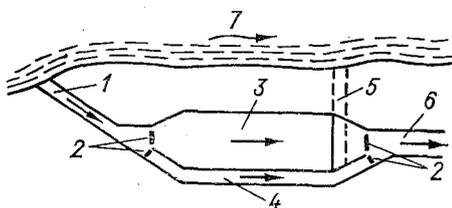


Рис. 10.2. План однокамерного отстойника с периодическим промывом, соединенного с каналом параллельно.

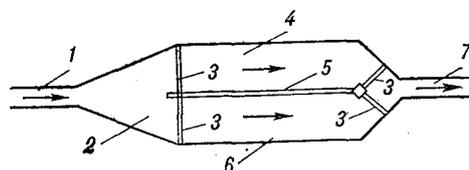
1 — подводящий канал; 2 — затворы; 3 — отстойный бассейн; 4 — обводный канал; 5 — промывная галерея; 6 — отводящий канал; 7 — река.

ному каналу 4 (в обход отстойной камеры), причем во время промывки отстойника в канал 6 подается неочищенная вода.

Двухкамерный отстойник, соединенный с каналом последовательно (рис. 10.3). В этом случае, когда одна камера выключается из работы для промыва наносов, другая работает, очищая поток от наносов.

Рис. 10.3. Двухкамерный отстойник с периодическим промывом (промывные галереи не показаны).

1 — подводящий канал; 2 — аванкамера; 3 — затворы; 4 — первая камера; 5 — разделяющая стенка; 6 — вторая камера; 7 — отводящий канал.



Тот или другой тип отстойника и его размеры выбирают с учетом режима реки и требований к степени очистки воды от наносов, а также с учетом экономических соображений, сопоставляя в экономическом отношении различные варианты отстойника.

Вообще следует иметь в виду, что расчеты отстойников разработаны еще недостаточно и в настоящее время трудно сказать, ка-

кой из приводимых в специальной литературе методов расчета более рационален.

Некоторые авторы рекомендуют основные размеры горизонтального отстойника — его длину S и глубину воды h в начале отстойника (еще не заполненного наносами) — связывать следующим соотношением:

$$S = (1,2 \div 1,5) hv/\omega_0, \quad (10.4)$$

где гидравлическая крупность ω_0 для частиц заданного размера принимается равной (в см/с), например (при $t = 15^\circ\text{C}$ и плотности материала частиц $\gamma = 2,65 \text{ т/м}^3$):

для фракций крупности

$$d = 0,50 \text{ мм}, \quad \omega_0 = 5,24,$$

$$d = 0,30 \text{ мм}, \quad \omega_0 = 3,00,$$

$$d = 0,20 \text{ мм}, \quad \omega_0 = 1,88,$$

$$d = 0,10 \text{ мм}, \quad \omega_0 = 0,58.$$

Что касается скорости v движения воды в отстойной камере, еще не заполненной наносами, то часто такую скорость принимают (при осаждении фракций крупностью $d = 0,25 \div 0,50 \text{ мм}$)

$$v = 0,20 \div 0,50 \text{ м/с}. \quad (10.5)$$

Глубину воды в начале отстойника находят по формуле

$$h = Q_{\text{раб}}/vB, \quad (10.6)$$

где $Q_{\text{раб}}$ — рабочий расход воды, подаваемый из отстойника в отводящий канал (величина заданная); B — сумма ширин работающих отстойных камер; v — средняя скорость в начальном сечении отстойника.

Как видно, задаваясь различными B , будем получать различные h ; чем больше будет задана величина B , тем меньше будет получаться h .

Согласно соотношению 10.5, в некоторых пределах можно изменять и скорость движения воды в отстойнике. Очевидно при заданном h , принимая большую скорость v , будем получать более длинные и более узкие отстойники.

Задаваясь различными сочетаниями v , B , h , удовлетворяющими условию

$$vBh = Q_{\text{раб}}, \quad (10.7)$$

будем получать различные варианты отстойника. Строго говоря, эти варианты должны сопоставляться в экономическом отношении.

Вертикальные отстойники занимают меньше места и эффективнее горизонтальных. Существует несколько разновидностей вертикальных отстойников; ниже будет дано описание простейшего вида. Вертикальный отстойник (рис. 10.4) представляет собой железобетонный круглый бак диаметром D и высотой H , открытый

сверху, с коническим дном, зарытый в землю. Внутри отстойника укреплен бак диаметром d , примерно в 3—4 раза меньше диаметра D . Внутренний бак не имеет дна и также открыт сверху, а стенки его поднимают несколько выше стенок сливного желоба большого наружного бака. Вода для отстоя поступает во внутренний бак по горизонтальной трубе и, выходя из нижнего среза,

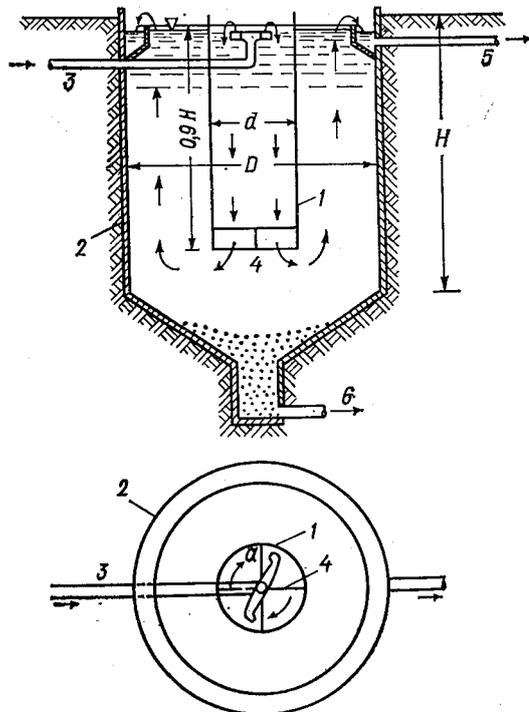


Рис. 10.4. Вертикальный отстойник.

1 — внутренний бак; 2 — наружный бак; 3 — подводная труба; 4 — успокоитель; 5 — отводящая труба чистой воды; 6 — грязеспуск.

поступает в наружный бак, двигаясь вверх, а наносы при этом падают вниз. Очищенная вода, переливаясь через стенку наружного бака в кольцевой желоб, попадает в отводящую трубу. Вертикальный отстойник работает по принципу противотока, что весьма эффективно. Осаждающаяся взвесь заполняет воронку дна наружного бака, откуда ее удаляют через промывную трубу по мере надобности. Вертикальные отстойники строят для освобождения воды от мелких наносов и в основном применяют в системах водоснабжения.

В некоторых случаях для ускорения осаждения взвеси в отстойниках, а также для осаждения коллоидных частиц, которые в обычных отстойниках не могут осадиться, применяют *коагулиро-*

вание. Коагулирование — это искусственный процесс, вызывающий слипание взвешенных и коллоидных частиц взвеси в виде ясно видимых хлопьев, которые выпадают как осадок, увлекая с собой взвесь. Для осуществления коагулирования в воду вводят так называемые коагулянты, чаще всего сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$.

При растворении в воде сернокислый алюминий вступает во взаимодействие с солями кальция и магния (гидрокарбонатами) и образует гидроокись алюминия



Частицы гидроокиси алюминия $Al(OH)_3$ обволакивают взвешенные в воде частицы и в виде хлопьев, напоминающих по виду куски ваты в воде, осаждаются на дно.

Если в вертикальном отстойнике применяют коагулянт, то его подводят вместе с сырой водой во внутренний бак через двойное вращающееся сопло, устроенное подобно Сегнерову колесу. Благодаря такому устройству во внутреннем баке получается винтообразное течение, способствующее смешению коагулянта с водой. В нижнем срезе внутреннего бака устанавливают гасители (перегородки) для ликвидации вращательного движения воды.

Глава 11. Водопроводящие сооружения

11.1. Назначение и классификация

Сооружения, осуществляющие передачу воды от водозаборов к определенному месту, называют водопроводящими сооружениями, или водоводами.

Водопроводящие сооружения представляют собой искусственные русла, открытые или закрытые. По гидравлическим условиям движения воды в водоводах их разделяют на безнапорные и напорные. По конструктивным признакам водоводы делятся на следующие виды:

1) каналы — искусственные открытые земляные русла с поперечным сечением правильного геометрического очертания; движение воды в них всегда безнапорное;

2) лотки — искусственные открытые русла, устраиваемые из различных материалов (дерева, стали, железобетона) и располагаемые на поверхности земли или выше ее на специальных опорах; движение воды в них всегда безнапорное;

3) трубопроводы — искусственные закрытые русла из различных материалов с замкнутой разнообразной формой поперечного сечения, уложенные на земле, под землей или над землей на опорах; движение воды в них почти всегда напорное и редко безнапорное;

4) туннели — искусственные закрытые русла с правильной формой замкнутого поперечного сечения, выполненные в земной

коре без вскрытия лежащего над ними грунта; движение воды в них может быть напорным и безнапорным.

При большой длине водоводов различные их участки могут быть выполнены в разных конструктивных формах: например, при встрече с возвышенностью канал переводят в безнапорный туннель: напорный туннель часто чередуют с напорными трубопроводами и т. п.

11.2. Каналы и лотки

11.2.1. Классификация

По назначению каналы делятся на: 1) энергетические, или гидросиловые — подводят воду из реки, водохранилища, озера к гидроэлектростанциям или отводят от них отработанную воду; 2) оросительные — обычно образуют оросительную систему, состоящую из разветвленной сети каналов, выполняющих различные хозяйственные функции и поэтому имеющих определенные конструктивные отличия друг от друга; 3) обводнительные — подают воду для нужд сельского хозяйства (главным образом для хозяйственно-бытовых целей) в безводные и засушливые районы; 4) осушительные (дренажные) — служат для сбора воды с переувлажненной территории и отвода ее в водоприемник (реку, озеро, море); 5) водопроводные — подводят воду для водоснабжения промышленных районов, городов, предприятий (например, каналы р. Северский Донец — г. Донбасс, р. Днепр — г. Кривой Рог); 6) судоходные; 7) лесосплавные; 8) рыбоводные — осуществляют подачу воды на нерестилища, соединяют с рекой отдельные изолированные водоемы, в которых водится рыба, и т. п.; 9) комплексные (комбинированные) — одновременно решают несколько хозяйственных задач. Например, канал им. Москвы построили для судоходства, водоснабжения г. Москвы и обводнения р. Москвы. На этом канале имеется также ряд гидроэнергетических сооружений.

Лотки могут иметь любое из указанных выше назначений, кроме судоходного и осушительного.

11.2.2. Формы поперечных сечений каналов и лотков и скорости течения воды в них

Форма поперечного сечения зависит от назначения сооружения, его размеров, от свойств местных грунтов и применяемых строительных материалов, а также от условий производства работ.

Практически поперечное сечение канала может иметь форму, изображенную на рис. 11.1.

В гидравлическом отношении наиболее выгодна полукруглая форма, но из-за трудностей выполнения и сохранения в натуре криволинейных очертаний полукруглую и параболическую форму сечения каналов в практике строительства применяют редко.

Прямоугольное или близкое к нему сечение принимают для каналов, трассируемых в скальных выемках. Наиболее распространенными формами сечения каналов в мягких грунтах являются трапециевидная и полигональная.

В конструкции лотков, изготавливаемых промышленным способом, полукруглая форма поперечного сечения встречается достаточно часто. Нередко строят лотки и прямоугольного поперечного сечения.

Рельеф местности, по которой проходит трасса канала, может вызвать необходимость располагать живое сечение канала на раз-

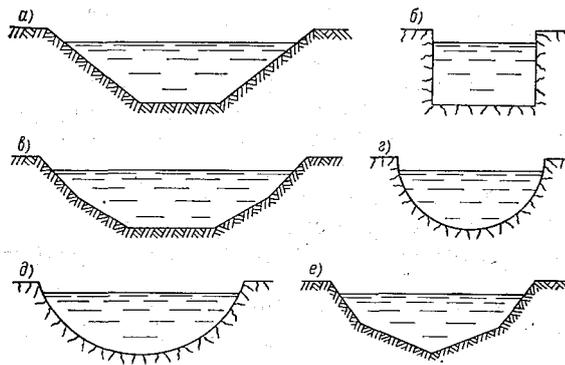


Рис. 11.1. Формы живых сечений каналов.

a — трапециевидная; *б* — прямоугольная; *в* — полигональная; *г* — полукруглая; *д* — параболическая; *е* — ложбинообразная.

ных уровнях по отношению к поверхности земли. На рис. 11.2 показаны каналы, устроенные в выемке различной глубины (рис. 11.2 *a—в*), в полувыемке-полунасыпи (рис. 11.2 *г, д*) и полностью в насыпи (рис. 11.2 *е, ж*).

При необходимости прокладки трассы канала на косогорах в каждом конкретном случае принимают соответствующие конструктивные решения, экономичные и обеспечивающие нормальную работу сооружения (рис. 11.3).

Уклоны (заложения) откосов каналов принимают в соответствии с устойчивостью грунтов. Для предварительных расчетов каналов трапециевидного профиля в выемках при глубине воды 3—5 м можно пользоваться следующими данными:

	Заложение подводных откосов
Твердая скала	0—0,1
Слабая скала	0,25—0,5
Плотная скала	0,5—1,0
Плотный суглинок, гравийно-галечный грунт	1,0—1,5
Супесь	1,5—2,0
Песчаный грунт	2,0—2,25
Мелкозернистый песок	3,0—4,0

При большой глубине выемок, а также в сложных геологических условиях устойчивость откосов проверяют расчетом.

Площадь живого сечения канала и его форму выбирают на основе гидравлического расчета и с учетом конструктивных условий

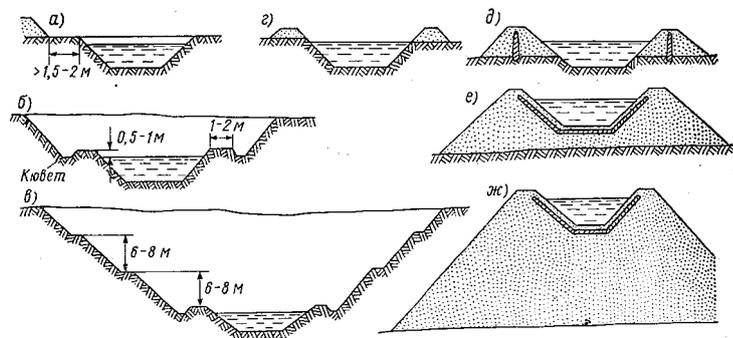


Рис. 11.2. Расположение сечения канала по отношению к поверхности земли (а—ж).

и назначения канала. Например, судоходные и лесосплавные каналы должны иметь размеры, соответствующие габаритам расчетных судов и плотов.

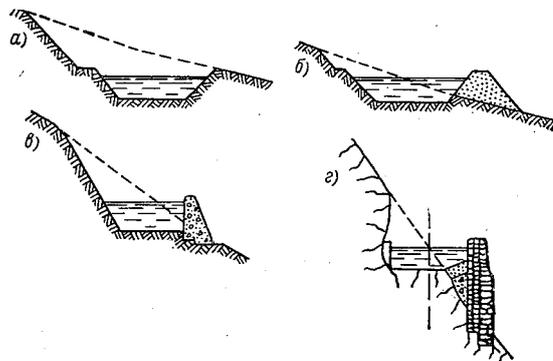


Рис. 11.3. Поперечные профили каналов на косогорах.

а — на пологом склоне в минимальной выемке; б — в полувыемке-полунасыпке; в — на крутом склоне с подпорной лицевой стенкой; г — на скальном основании с подпорной стенкой.

Гидравлический расчет обычно исходит из формул равномерного движения воды

$$\omega = Q/v; \quad v = c \sqrt{RI}, \quad (11.1)$$

однако энергетические каналы необходимо еще рассчитывать на неустановившийся режим.

Из формул (11.1) видно, что при заданном расходе Q можно различным способом изменять скорость v , а также гидравлический радиус R и уклон I , а с ними и площадь живого сечения ω . Поскольку объем земляных работ по каналу и их стоимость существенно зависят от указанной площади, то ее желательно иметь возможно меньшей, что может быть достигнуто за счет увеличения скорости течения воды (средней по живому сечению). Однако, учитывая возможность размыва ложа каналов, неблагоприятные условия зимнего режима, излишние потери энергии в энергетических каналах и значительное сопротивление движению судов в судоходных каналах, приходится скорости воды в каналах ограничивать, устанавливая для них верхние предельные значения.

Одновременно приходится устанавливать и нижний предел скорости воды в каналах во избежание заносимости (заиления) каналов наносами и их зарастания водолюбивой растительностью.

Связи процессов размыва и заиления русел со скоростями течения воды рассматриваются в курсе «Динамика русловых потоков». Ориентировочные значения неразмывающих скоростей для различных видов грунтов приведены выше (см. п. 6.5.2).

В энергетических каналах скорость воды (и уклон канала) определяют технико-экономическим расчетом. Наиболее экономичным решением явится такое, при котором сумма ежегодных затрат на содержание канала (эксплуатационные расходы плюс амортизационные отчисления на капитальный ремонт и на полное восстановление капитальных вложений) и стоимости ежегодно теряемой в результате увеличения уклона канала выработки электроэнергии гидроэлектростанцией будет минимальной.

В судоходных каналах скорости воды по условиям экономичности тяги судов обычно не превышают 0,8 м/с.

В зимний период пропускная способность канала снижается вследствие уменьшения его живого сечения льдом и возникающего дополнительного трения. Поверхностный лед не образуется при скорости потока более 2—3 м/с. Однако при отсутствии ледового покрова в канале может образоваться шуга. Чтобы предотвратить появление ее в канале, принимают специальные меры для образования поверхностного льда небольшой толщины. При неизбежном обильном количестве шуги должны быть предусмотрены сооружения для сброса ее из канала, а сам канал следует трассировать с минимальным числом поворотов в плане.

11.2.3. Потери воды из каналов и меры борьбы с ними

Различают три вида потерь воды из каналов: 1) на испарение в атмосферу, 2) на фильтрацию в грунт, 3) на фильтрацию через гидротехнические сооружения на каналах. Последний вид потерь незначителен и при всех расчетах его обычно не учитывают.

Потери на испарение измеряют слоем воды, испаряющейся со всей площади зеркала воды в канале. В зависимости от климати-

ческих условий эти потери составляют от 300 до 800 мм в год.

Наибольшими являются потери воды на фильтрацию в грунт ложа канала. В оросительных каналах эти потери могут достигать 50—60 % полезного расхода воды. Такие значительные потери воды удорожают строительство каналов из-за необходимости делать их большего сечения (с целью доставки потребителю требуемого количества воды) и значительно увеличивают эксплуатационные расходы по каналам, питающимся при помощи насосных станций.

Основное значение в явлении фильтрации воды в грунт имеют геологические и гидрогеологические условия. Имеется несколько теоретических решений для определения расхода фильтрации воды из канала в разных случаях (работы Н. Н. Павловского, В. В. Ведерникова, В. И. Аравина и др.). Существуют также эмпирические формулы, например, формулы А. Н. Костякова для оросительных каналов. В них потери воды на 1 км длины канала σ даются в процентах от расхода Q протекающей в нем воды ($\text{м}^3/\text{с}$):

в легкопроницаемых грунтах

$$\sigma = 3,4/Q^{0,5}, \quad (11.2)$$

в среднепроницаемых грунтах

$$\sigma = 1,9/Q^{0,4}, \quad (11.3)$$

в тяжелых малопроницаемых грунтах

$$\sigma = 0,7/Q^{0,3}. \quad (11.4)$$

Как показывает опыт эксплуатации, средние значения потерь воды при среднепроницаемых грунтах изменяются от 0,2—0,5 % для каналов с расходом воды 20—100 $\text{м}^3/\text{с}$ до 3—4 % для каналов с расходом воды 1—50 $\text{м}^3/\text{с}$.

Фильтрация воды из каналов со временем обычно уменьшается в результате естественного кольматажа. Так, например, на Каракумском канале через 6 лет его эксплуатации потери воды с 0,41 $\text{м}^3/\text{с}$ уменьшились до 0,2 $\text{м}^3/\text{с}$ на 1 км длины канала.

Для уменьшения фильтрации воды принимают меры по повышению водонепроницаемости грунтов ложа каналов. Наиболее эффективные способы — *кольматаж* и *механическое уплотнение*.

Кольматаж представляет собой процесс заполнения пор грунта ложа канала мелкими частицами грунта, искусственно вводимыми в воду канала.

Механическое уплотнение предварительно разрыхляемого грунта ложа канала производят главным образом укаткой и трамбованием различными машинами.

Кроме этих основных способов применяют: *солонцевание*, заключающееся во введении в грунт солей; *нефтявание* — в виде поливки грунта нефтью или смесью нефти с известковым молоком; *упрочнение* грунта применением цементов, силикатов и других материалов.

Более надежные результаты в борьбе с фильтрацией воды и размывом ложа каналов достигаются применением различного рода одежд откосов и дна каналов.

Противофильтрационные одежды представляют собой слои (толщиной 0,5—1,0 м) глины, суглинка и реже хорошо разложившегося торфа, уложенные в виде экранов по откосам

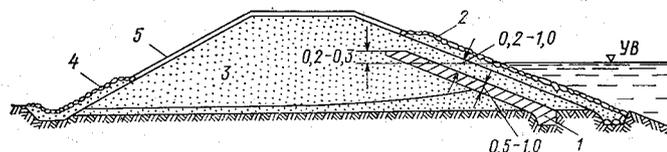


Рис. 11.4. Защита от фильтрации приканальной дамбы.

1 — глина (суглинок); 2 — каменная одежда; 3 — песок; 4 — наклонный фильтр и кювет; 5 — одерновка или посев трав.

и дну каналов. Для защиты от механических повреждений и температурных влияний экраны покрывают защитным слоем (рис. 11.4). Если фильтруют только откосы канала (дамбы), то экраны могут быть заменены ядрами, аналогичными ядрам земляных плотин.

Одежды для защиты от размыва откосов, а в некоторых случаях и дна канала выполняют в виде каменного мощения, каменной укладки или наброски, бетонных или железобетонных плит.

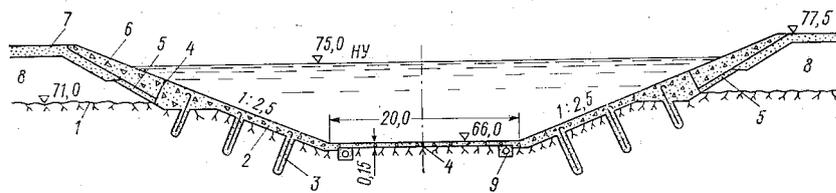


Рис. 11.5. Бетонная (монолитная) одежда канала.

1 — скала; 2 — бетонная облицовка; 3 — стальной анкер; 4 — шов; 5 — обратный фильтр; 6 — бетонная лежащая подпорная стенка; 7 — песчано-гравийная смесь; 8 — суглинок; 9 — дренаж.

Каменные одежды укладывают на подготовку в виде слоя гравия или щебня толщиной 15—20 см. Если ложе канала сложено мелкозернистыми песчаными грунтами, частицы которых могут вымываться при волнении через каменную одежду, то под ней обязательно устраивают обратный фильтр из двух или трех слоев материала различной крупности.

Бетонные одежды толщиной 8—20 см (монолитные и сборные) наиболее универсальны, так как они обеспечивают водонепроницаемость канала, защищают его ложе от размыва, увеличивают пропускную способность, уменьшая шероховатость отко-

сов и дна (рис. 11.5). Вместе с тем они позволяют полностью механизировать строительные работы и относительно недороги.

Этими же качествами обладают железобетонные одежды (монолитные и сборные), но их как более прочные применяют обычно при деформирующихся грунтах ложа канала.

Универсальны также асфальтобетонные одежды толщиной 5—8 см; по сравнению с бетонными они обладают большей водонепроницаемостью и гибкостью, но иногда пробиваются развивающейся под ними растительностью.

В последнее время начали применять экраны из пластических материалов в виде пленок толщиной 0,2—0,3 мм (из винилпласта, полиэтилена и др.). Такие пленки для защиты их от механических повреждений покрывают слоем грунта. Однако опыт применения пластических материалов пока еще небольшой.

Водонепроницаемые одежды ложа каналов испытывают значительные давления от грунтовых вод при стоянии их выше уровня воды в канале и при быстром снижении уровня воды в нем; зимой одежды могут повреждаться от пучения увлажненных глинистых грунтов. Для борьбы с этими явлениями под одеждой устраивают дренаж в виде дренирующего слоя или дрен с выпусками воды из них в понижения местности.

11.2.4. Сооружения на каналах

При строительстве каналов на них возводят: а) сооружения, вызванные трассировкой канала на пересеченной, обводненной или освоенной территории; б) сооружения при переходе канала на другие уровни, т. е. сопрягающие сооружения; в) сооружения, необходимые для эксплуатации канала; г) прочие сооружения. Рассмотрим основные из этих сооружений.

При встрече трассы канала с постоянным водотоком (рекой, ручьем) или суходолом (временным водотоком) возможны пересечения канала на одном уровне или на разных уровнях.

Пересечение канала с другим постоянным водотоком на одном уровне, т. е. принятие этого водотока в канал, нежелательно, так как уровни естественного водотока обычно подвержены колебаниям, что влечет за собой колебания уровней воды и в канале; нерегулируемый режим наносов реки или ручья приводит к отложению наносов в канале в месте пересечения его с рекой и нарушает условия его эксплуатации.

Поэтому обычно такие пересечения делаются на разных уровнях. Если канал значительно выше реки, он проводится через реку специальным *мостом-водоводом*, или *акведуком*, представляющим собой лоток на опорах мостового типа (рис. 11.6); если канал проходит на уровне реки и ниже, или выше ее, но не настолько, чтобы можно было провести его акведуком, воды канала транспортируются напорным водоводом, называемым *дюкером* (рис. 11.7).

Пересечение канала с суходолами и оврагами делается аналогично предыдущему — акведуком или дюкером в случае глубокой долины либо каналом в насыпи с пропуском вод суходола (оврага) через трубу под насыпью (рис. 11.8).

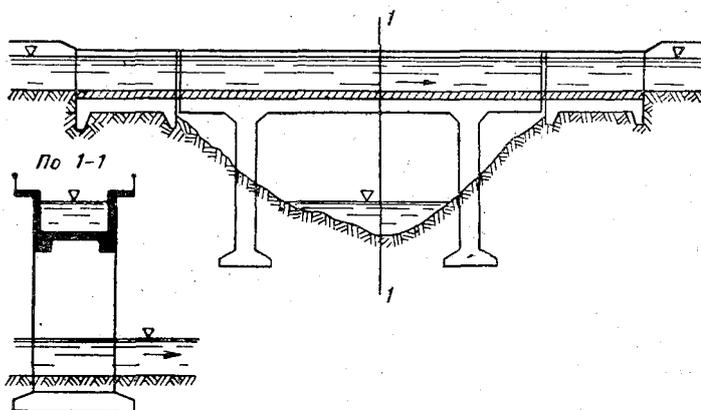


Рис. 11.6. Мост-канал (акведук).

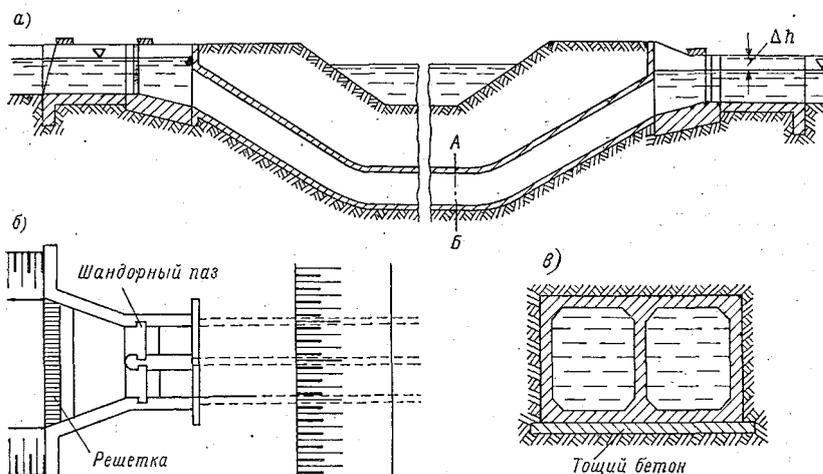


Рис. 11.7. Дюкер.

а — разрез по оси; б — план; в — разрез по А—Б.

В местах резкого изменения продольного уклона канала, вызванного перепадом отметок местности, устраивают сопрягающие сооружения, которые выполняют в виде быстротоков или ступенчатых перепадов согласно схемам, изображенным на рис. 11.9 и 11.10. Разумеется, на судоходных каналах таких сооружений не делают.

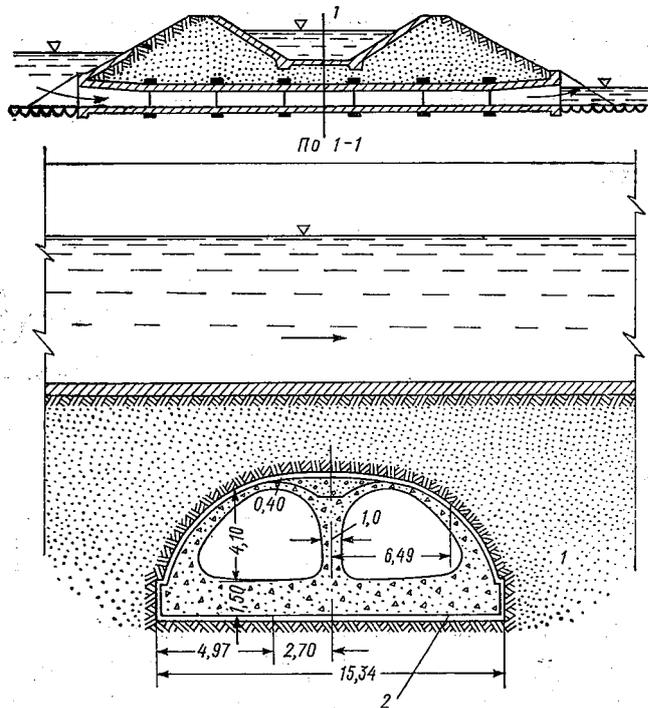


Рис. 11.8. Труба под каналом.

1 — изоляция битумным матом; 2 — подготовка из тощего бетона.

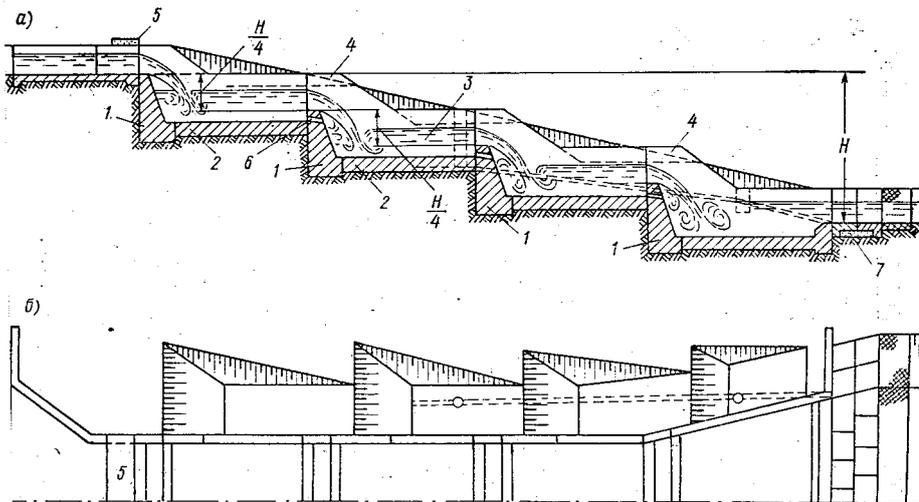


Рис. 11.9. Ступенчатый перепад.

а — продольный разрез; б — план. 1 — стенка падения; 2 — водобой; 3 — водобойный колодец; 4 — продольные стенки; 5 — служебный мостик; 6 — сливные отверстия; 7 — обратный фильтр.

Важнейшими видами сооружений, необходимых для эксплуатации главным образом оросительных и водопроводных каналов, являются шлюзы-регуляторы и вододелители, которые устанавливают в местах разветвления канала на отдельные водоводы.

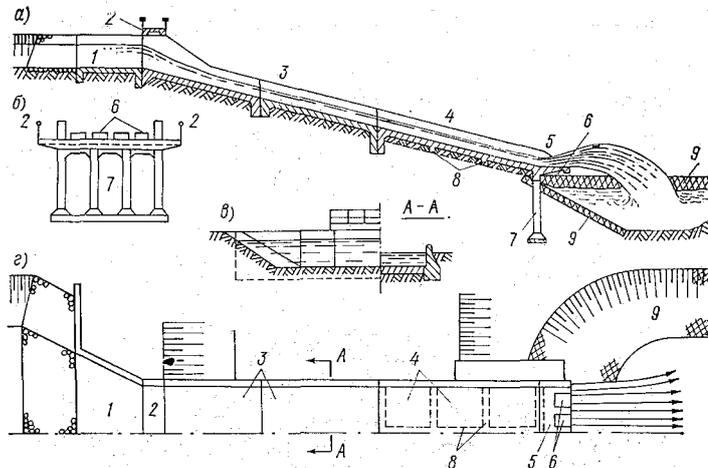


Рис. 11.10. Быстроток с консольным перепадом.

а — продольный разрез; б — вид снизу (без земли); в — вид спереди; 2 — план, 1 — вход; 2 — мостик; 3 — бетонный лоток; 4 — железобетонный лоток; 5 — консоль; 6 — трамплин; 7 — рамная опора; 8 — балка жесткости; 9 — габионное крепление.

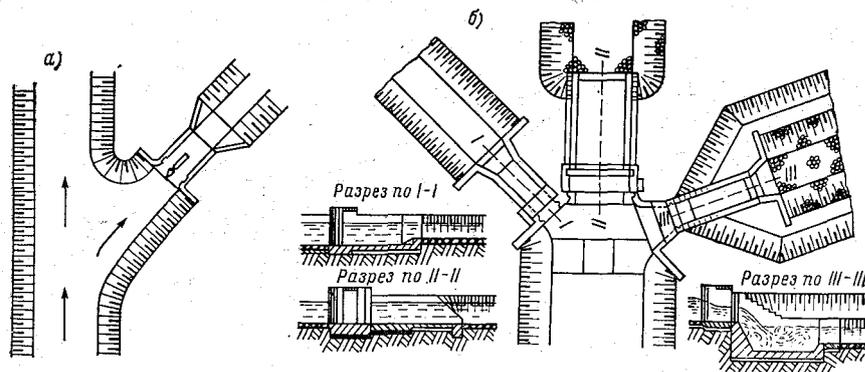


Рис. 11.11. Схемы шлюзов-регуляторов.

Шлюз-регулятор конструктивно представляет собой низконапорную плотину с затворами и порогом обычно на отметке дна ложа канала, т. е. флютбет, и позволяет регулировать расходы воды в канале и в ответвлениях от него, а также полностью закрывать его. Шлюз-регулятор может быть расположен только на ответвлении канала (рис. 11.11 а) или на основном тракте и ответвлении,

причем оба или даже иногда три регулятора соединяют в одно устройство (рис. 11.11 б).

Вододелители представляют собой упрощенные регуляторы без затворов, но с фиксированным отношением расходов, пропускаемых по главному каналу и ответвлению, например, в соотношении 2:1 (рис. 11.12); применяются они главным образом в орошении.

К другим сооружениям, необходимым для эксплуатации каналов, относятся *водосбросы, водоспуски, шугосбросы и др.*

Водосбросы устраивают для организационного сброса воды, которая может по тем или иным причинам переполнить канал.

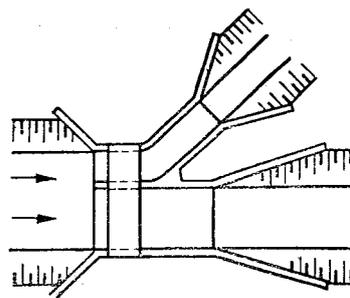


Рис. 11.12. Вододелитель.

В гидравлическом отношении они представляют собой боковые водосливы с широким порогом в дамбе канала или водосливы практического профиля без затворов и с затворами, размещаемые в дамбе канала. Автоматичность действия водосбросов позволяет значительно упростить их эксплуатацию, а поэтому целесообразно применять, например, сифонные водосбросы и другие типы водосбросов с автоматически действующими затворами.

Отводящую (сбросную) часть водосбросов делают в виде быстротока или перепада; на ее конце обычно предусматривают устройство для гашения энергии потока воды.

На энергетических и других каналах, работающих зимой, водосбросы служат также для сброса льда, шуги и сора.

Для опорожнения каналов или отдельных их участков, а также для снижения в них уровня воды строят специальные гидротехнические сооружения, называемые водоспусками. По конструкции они представляют собой обычно трубы. Водоспуски, как и водосбросы, можно использовать для полезных попусков воды, например, в оросительные системы, рыбоводные пруды и т. п. Размещают водоспуски в приканальных дамбах, в местах, удобных для сброса воды, и обязательно на концевых участках каналов.

Кроме описанных, на каналах бывает еще много мелких сооружений; сюда относятся нагорные канавы на склонах, ливнеспуски, пропускающие воду из нагорных канав под каналом или над каналом (в последнем случае они называются ливневыми лотками), приемники для дренажных вод, для вод мелких ручьев и т. п.

На выбор скорости в туннеле влияет степень шероховатости его стенок; при гладких стенках, получающихся в результате устройства облицовки, поперечное сечение туннеля может быть уменьшено без увеличения уклона, но иногда экономически выгодно обделку не предусматривать.

Но кроме гидравлических условий форма сечения туннеля зависит еще от статических, т. е. от нагрузок, испытываемых стенами туннеля, а также производственно-строительных условий.

Основными нагрузками на туннель являются давление воды и так называемое горное давление, величина которого определяется по специальным методикам.

Под горным давлением понимают силы, проявляющиеся в породах, окружающих туннельную выработку, и вызывающие деформацию этих пород, во избежание которой необходимо устраивать *крепя*, или *обделки* туннелей.

Назначение обделок заключается: а) в предохранении выработки от обрушения ее кровли и стен и вообще от опасных деформаций пород; б) в уменьшении шероховатости стенок туннеля (для повышения его пропускной способности) — в породах прочных и устойчивых; в) в обеспечении водонепроницаемости — в трещиноватых породах.

Наиболее широко применяемыми материалами для обделок в настоящее время являются бетон, железобетон и сталь.

Туннели, как и другие водоводы, подразделяют на безнапорные и напорные.

Безнапорные туннели устраивают в тех случаях, когда колебания уровня воды в голове туннеля незначительны и когда соединяемые туннелем участки водовода или водоемы допускают безнапорное их соединение.

По гидравлическим условиям сечение туннеля, обладающее максимальной пропускной способностью, должно иметь в заполненной водой части круглую или прямоугольную форму со скругленными углами или близкую к ним форму.

Свойства пород, по которым проходит туннель, и величина горного давления существенно влияют на форму сечения туннеля: при малом вертикальном горном давлении кровля туннельной выработки может быть плоской или полого изогнутой; с увеличением горного давления кривизну свода целесообразно увеличивать, так как это облегчает обделку; с появлением бокового давления делают криволинейными и боковые стенки туннеля; при весьма значительных величинах вертикального и бокового давления кривизну стенок туннеля увеличивают и форма сечения приближается к овальной, а иногда даже круглой.

Рекомендованные в нашей стране некоторые типы сечений безнапорных туннелей приведены на рис. 11.16.

Начало и конец безнапорного туннеля обрабатывают в виде так называемых *порталов*. Назначение портала — закрепить конец обделки, создать плавный переход к туннелю или переход из него в дальнейшую часть водовода либо погасить избыточную энер-

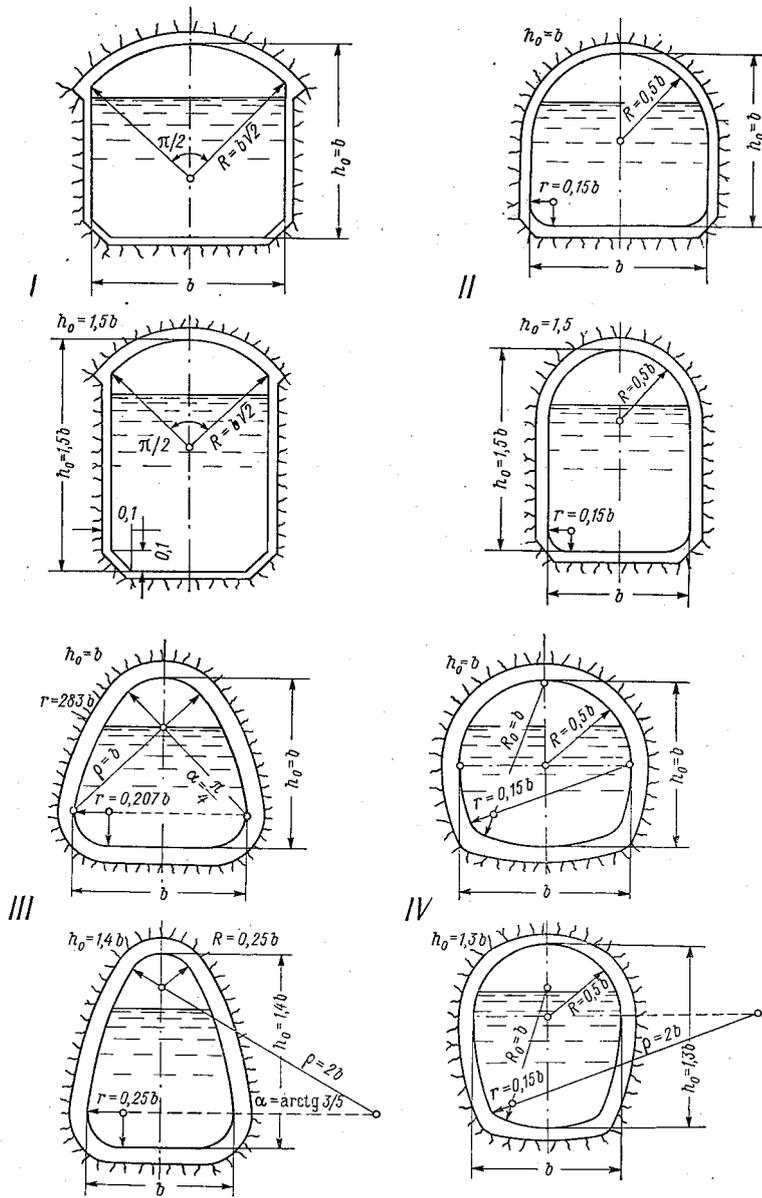


Рис. 11.16. Типы сечений безнапорных туннелей (I—IV).

гию потока, выходящего из туннеля, если скорости в дальнейшей части водовода меньше, чем в туннеле, а иногда регулировать расход воды в туннеле при помощи затворов. Поэтому входной портал оборудуют решетками, ремонтными и рабочими затворами (рис. 11.17). Для впуска воздуха в туннель при закрытии затвора за ним должно быть предусмотрено специальное отверстие.

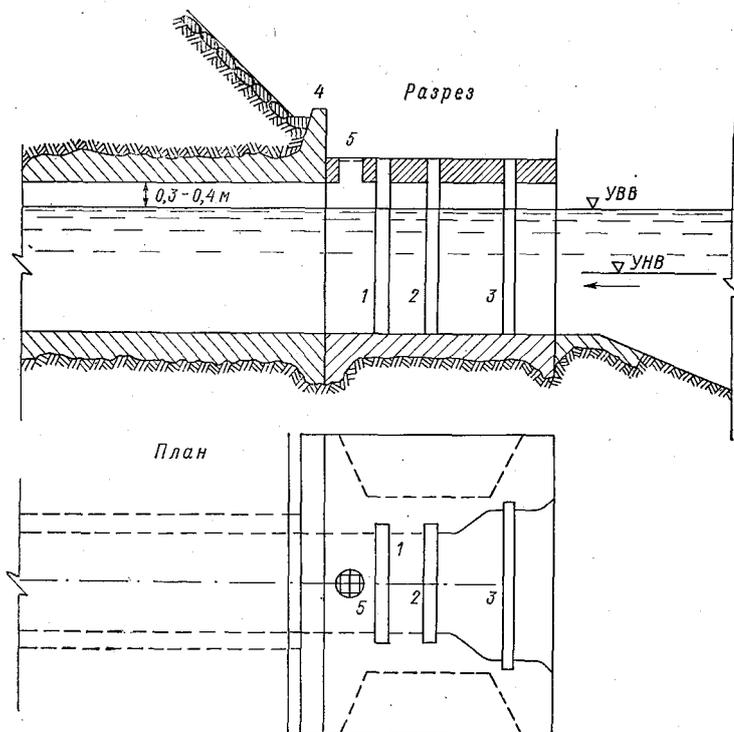


Рис. 11.17. Входной портал безнапорного туннеля.

1 — паз рабочего затвора; 2 — паз ремонтного затвора; 3 — паз решеток;
4 — кювет; 5 — впуск воздуха.

Выходной портал служит лишь для обеспечения плавного сопряжения туннеля с каналом или бассейном и поэтому устройство его самое простое.

Напорные туннели строят в случаях значительных колебаний уровня воды в голове туннеля (водохранилище) при неблагоприятных топографических и геологических условиях для безнапорных туннелей и при сложном гидравлическом режиме гидроэлектростанции, которую они питают.

Напорные туннели подвержены значительному внутреннему гидростатическому давлению, почти равномерному во всех точках рассматриваемого сечения, поэтому наилучшей формой обделки

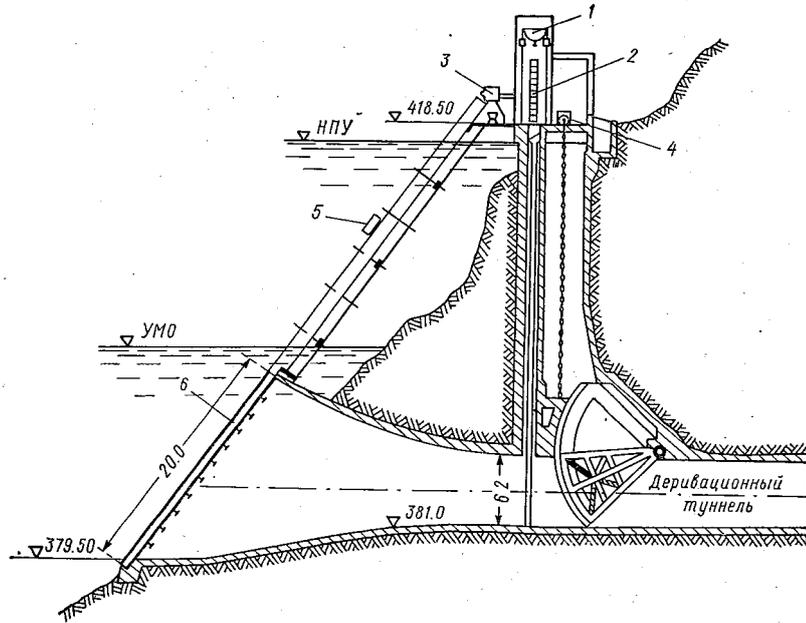


Рис. 11.18. Вход в напорный туннель.

1 — лебедка для шандор; 2 — шандоры; 3 — сорочищающая машина; 4 — подъемник сегментного затвора; 5 — грабли для очистки решеток; 6 — решетки.

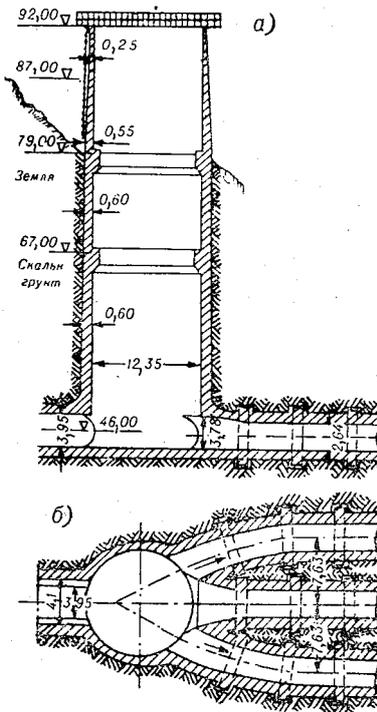


Рис. 11.19. Выход из напорного туннеля.

а — разрез; б — план.

таких туннелей является кольцо. (Однако известны напорные туннели и прямоугольного сечения.)

Водозабор в туннель оборудуют решетками и затворами, а входную часть выполняют в виде воронки с целью уменьшения потерь напора. Вход в напорный туннель защищен решеткой с граблями для очистки и снабжен сегментным затвором, перед которым предусмотрено ремонтное шандорное заграждение (рис. 11.18). Выход из напорного туннеля обычно непосредственно примыкает к напорным трубопроводам, перед которыми устанавливают затворы. Кроме того, у выхода из туннеля устраивают *уравнительный резервуар* (см. п. 15.3). Выход из напорного туннеля с уравнительным резервуаром так называемого шахтного типа показан на рис. 11.19.

Расчеты напорных туннелей, как и безнапорных, сводятся к экономическому и гидравлическому расчетам, а также к статическому, т. е. к расчету прочности облицовки.

11.4. Трубопроводы

Трубопроводы устраивают вместо каналов и лотков на участках трассы со сложным рельефом (в горной местности с крутыми склонами), с неблагоприятными геологическими условиями (неустойчивые грунты, выходы скалы) и вообще там, где устройство трубопровода проще и дешевле постройки водовода другого типа.

По водохозяйственному назначению различают следующие трубопроводы: энергетические, подводящие воду к гидроэлектростанциям или отводящие ее; оросительные и обводнительные; водопроводные; комплексные — для решения нескольких задач.

Для постройки трубопроводов чаще всего применяют сталь, железобетон и дерево, реже — чугун, асбоцемент, пластмассы и другие материалы.

Диаметры трубопроводов определяют на основании технико-экономических расчетов. При заданном расходе воды с уменьшением диаметра или живого сечения трубопровода скорость течения воды в нем увеличивается, а стоимость его уменьшается, но увеличиваются потери напора. Диаметр трубопровода, при котором достигается максимальный экономический эффект, является наивыгоднейшим.

Для энергетических трубопроводов экономичные скорости находятся обычно в пределах 2—6 м/с.

Стальные трубопроводы изготовляют заводским способом из стальных листов, которые изгибают по заданному радиусу в холодном или горячем состоянии и затем сваривают продольными швами.

Отдельные трубы поперечными швами сваривают в звенья длиной по 6—8 м. На месте сборки трубопровода звенья соединяют друг с другом электросваркой поперечных швов; применяют также соединение фланцами на болтах. Стенки трубопроводов делают толщиной не менее 7 мм, наибольшая толщина их 50 мм.

Существуют также трубы бесшовные (цельнотянутые), но их изготовление ограничивается диаметром до 820 мм.

При значительных напорах (примерно от 500 до 2000 м) и при сравнительно небольших диаметрах (приблизительно до 2 м) иногда применяют бандажированные трубопроводы, представляющие собой обычные стальные трубы с насаженными на них холодным или горячим способом неразрезными стальными бандажами (кольцами), воспринимающими часть внутреннего давления воды. Иногда вместо жестких применяют гибкие бандажи из стального каната.

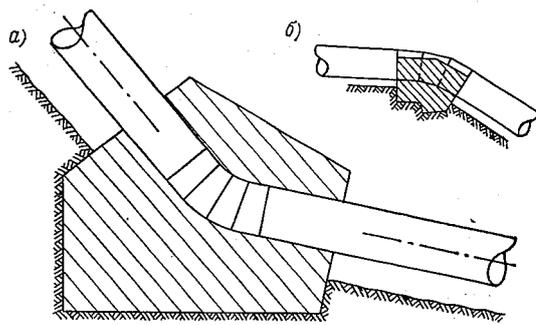


Рис. 11.20. Бетонная анкерная опора.

При строительстве гидроэлектростанций стальные трубопроводы применяют преимущественно в качестве турбинных водоводов. Предельный напор построенных стальных турбинных водоводов достигает 1750 м (гидроэлектростанция Шандолин в Швейцарии), а максимальный диаметр 9,14 м.

В начале и конце трубопровода, а также в каждой точке перегиба его продольного профиля устраивают анкерные опоры (рис. 11.20), на которых трубопровод закрепляется неподвижно. Для восприятия продольных удлинений или укорочений трубопровода, возникающих в результате изменения температуры, между двумя соседними анкерными опорами устраивают компенсаторы.

Наиболее употребительны скользящие компенсаторы с сальниковой набивкой (рис. 11.21 а) и эластичные тарельчатые компенсаторы (рис. 11.21 б).

Между анкерными опорами размещают промежуточные опоры, на которых труба лежит свободно и может перемещаться под влиянием изменений температуры. Для этого в опору (скользящего типа) закладывают изогнутый лист, поверхность которого покрыта графитом (рис. 11.22 а), или ставят опору качающегося типа (рис. 11.22 б), позволяющую трубе несколько смещаться относительно опоры.

Железобетонные трубопроводы больших диаметров делают монолитными, малых диаметров — сборными, собираемыми на месте из заранее изготовленных труб. Монолитные трубопро-

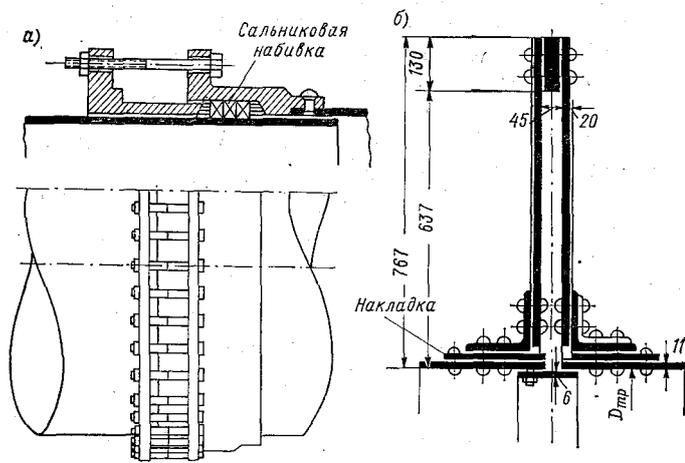


Рис. 11.21. Температурные компенсаторы на стальном трубопроводе.

а — с сальниковой набивкой; б — тарельчатый.

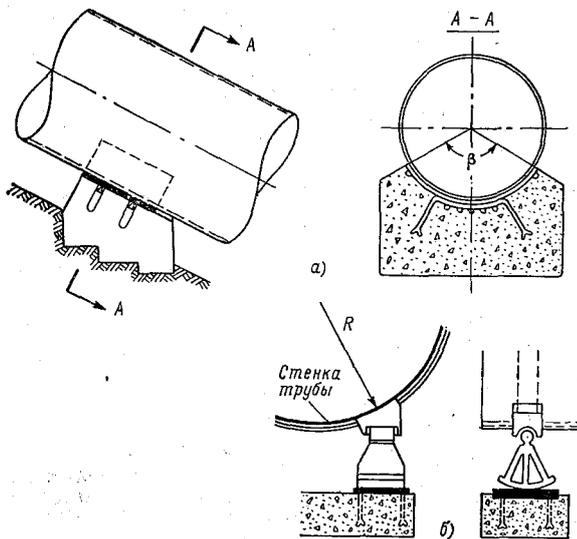


Рис. 11.22. Промежуточные опоры стальных трубопроводов.

а — скользящая; б — качающаяся.

воды бетонируют на месте отдельными участками. Замыкание смежных участков трубопровода путем бетонирования оставленных между ними промежутков производят при низких температурах, чтобы исключить появление в трубопроводе продольных растягивающих напряжений. Железобетонные трубопроводы делают обычно круглой формы, изменяя ее лишь при специальных условиях.

При небольших напорах железобетонные трубопроводы дешевле стальных и расход металла на их изготовление значительно меньше. Положительным качеством железобетонных трубопроводов является также их жесткость, что позволяет засыпать трубопроводы слоем грунта для предохранения от промерзания и значительных температурных деформаций.

К недостаткам железобетонных трубопроводов относится трудность обеспечения высокой водонепроницаемости при больших напорах. Для повышения водонепроницаемости трубопровода применяют специальные составы бетона, особые защитные покрытия внутренней поверхности и другие мероприятия.

Железобетонные трубопроводы располагают обычно на сплошном бетонном основании; отдельные опоры применяют редко, лишь для трубопроводов небольших диаметров.

Деревянные трубопроводы малых диаметров собирают из отдельных звеньев, изготовленных на заводе. При больших диаметрах трубопроводы собирают целиком на месте строительства из деревянных клепок, скрепляя их стальными бандажами (рис. 11.23). Собираемые клепки образуют, таким образом, непрерывную трубу круглого сечения.

Клепки делают из высококачественной и хорошо высушенной сосны или лиственницы, реже — из кедра. В зависимости от напора клепку делают толщиной от 4 до 12,5 см, длиной не менее 2—3 м, но желательна длина клепки 6—6,5 м. Поперечные стыки между торцами клепок располагают обязательно «вразбежку» и уплотняют оцинкованными металлическими пластинками, вставляемыми в специальные пропилы в торцах, сделанные при изготовлении клепок на заводе. Продольные стыки между отдельными клепками при малых диаметрах трубопроводов выполняют в шпунт, при больших диаметрах — гладкими. Эти стыки уплотняют натяжением бандажей (рис. 11.23 б); после наполнения трубопровода водой клепка разбухает, что обеспечивает плотность стыков.

Бандажи изготавливают из круглой стали марки Ст. 3 диаметром 8—32 мм. Для натяжения и закрепления бандажей применяют металлические башмаки (штампованные из листовой стали или отлитые из чугуна). Диаметр бандажей и их число (расстояние между ними) определяют расчетом на внутреннее давление воды в трубопроводе и на усилия в радиальных швах между клепками, появляющиеся при разбухании древесины.

Деревянные трубопроводы для лучшей их сохранности, возможности постоянного наблюдения за их техническим состоянием

и удобства ремонтных работ не допускается зарывать в землю, также нельзя, чтобы они соприкасались с землей. Поэтому их прокладывают на деревянных или железобетонных опорах. Рас-

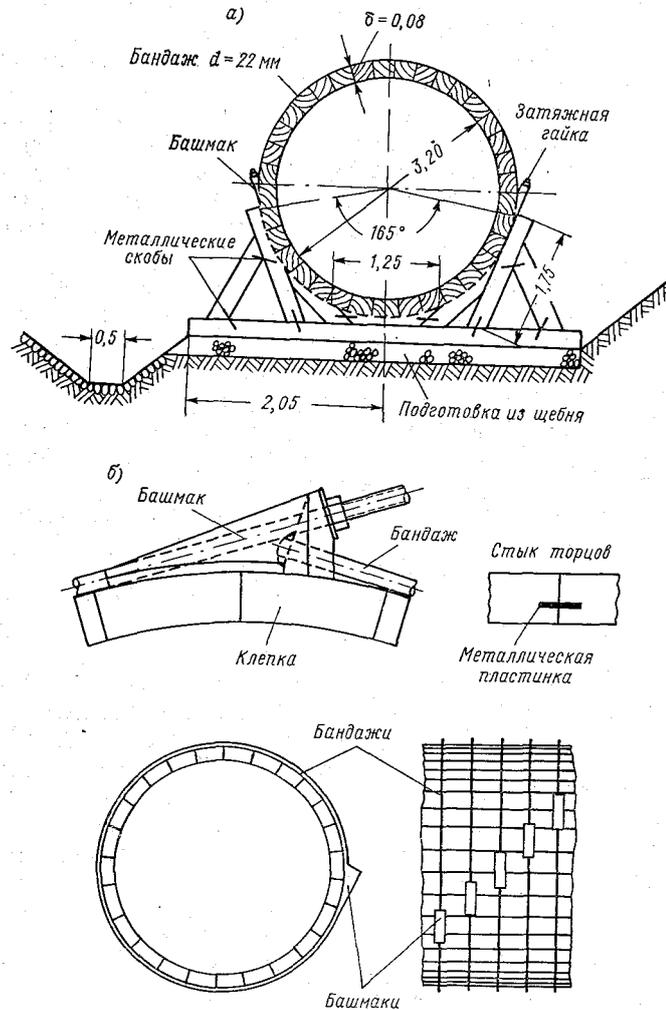


Рис. 11.23. Деревянный клепочный трубопровод.
а — поперечное сечение; б — детали деревянного трубопровода.

стояния между опорами обычно равняются одному-двум диаметрам трубопровода.

Основным достоинством деревянных трубопроводов является простота и скорость их сборки, причем трубопроводы можно изгибать в горизонтальной и в вертикальной плоскостях без изменения элементов конструкции и устройства специальных анкерных опор.

Кроме того, благодаря гибкости трубопровода для него менее опасны различные деформации грунта основания.

При правильной эксплуатации деревянные трубопроводы могут работать 30 лет и более. Одним из главных условий для их долговременной службы является поддержание деревянных клепок в состоянии постоянной влажности. Для этого необходимо, чтобы внутреннее давление воды в трубопроводе равнялось $\approx 60\text{--}70$ Па. Кроме того, иногда пропитывают древесину клепок специальным антисептическим составом.

Глава 12. Учет воды на водозаборах

12.1. Задачи учета

Непрерывное увеличение потребления воды всеми отраслями народного хозяйства, дефицит воды в ряде районов страны, особенно в маловодные годы, привели к тому, что величина забора воды из некоторых водоисточников стала соизмеримой с их естественной водностью. Влияние хозяйственной деятельности сказалось на заметном сокращении стока даже такой реки, как Волга. Воды р. Сырдарья теперь практически не доходят до Аральского моря; полностью разбираются в основном на орошение другие, менее крупные реки Средней Азии.

В этих условиях значительно возросли требования к более экономичному расходованию воды, к наиболее рациональному распределению ее между отдельными водопользователями. Решение указанных задач возможно лишь на основе качественного, высокоточного измерения как количества воды в водных источниках (в частности расходов воды в реках), так и надежного учета всех забираемых, используемых и сбрасываемых вод.

Необходимость осуществления такого учета в нашей стране официально закреплена в «Основах водного законодательства Союза ССР и союзных республик», а порядок его осуществления определен «Положением о государственном учете вод и их использовании», утвержденным Советом Министров СССР 10 марта 1975 г. Это «Положение», в частности, обязывает все государственные, кооперативные и общественные организации, предприятия и учреждения, осуществляющие водопользование, вести первичный учет забираемых из водных объектов и сбрасываемых в них вод.

Способ учета воды на водозаборе зависит от типа водозабора. В дальнейшем мы будем рассматривать только открытые речные водозаборы (см. гл. 9), так как вопросы определения количества воды, проходящей через водоспуски, являющиеся глубинными водопропускными отверстиями плотин, изучаются в курсе «Учет стока на ГЭС».

12.2. Способы учета воды на самотечных водозаборах

На самотечных водозаборах находят применение два способа учета воды: гидрометрический и гидравлический.

Гидрометрический способ, или как его еще называют, способ «площадь—скорость» основан на вычислении расхода воды по скорости течения (определяемой обычно с помощью гидрометрической вертушки), и по площади живого сечения потока. Площадь и скорость измеряют в створе (гидростворе), расположенном, как правило, в начале канала недалеко от головного водозаборного шлюза. Для удобства выполнения работ гидроствор оборудуют мостиком, а поскольку русло канала обычно достаточно устойчиво, глубины невелики и скорости течения умеренные, то погрешность измерения единичного расхода оказывается в пределах допустимой нормами речной гидрометрии, т. е. не превышает $\pm 4\%$.

С целью перехода от измеренных расходов воды к подсчету суммарного стока (водозабора), как известно, строят кривые связи расходов Q с уровнями H . Установив на гидростворе самописец уровней и имея с его помощью непрерывный ряд значений H , можно по построенной кривой $Q = f(H)$ рассчитать величину водозабора за заданный интервал времени.

Однако использование такой классической схемы нередко нарушается из-за неустойчивости и недостаточной тесноты связи $Q = f(H)$, обусловленной особенностями гидравлического режима каналов. Дело в том, что изменение у водопользователей потребности в воде вызывает необходимость частого маневрирования затворами на водозаборном шлюзе и на расположенных ниже по каналу сооружениях (см. п. 24.2), вследствие чего режим водного потока становится неравномерным и неустановившимся, в частности гидроствор может оказаться в зоне переменного подпора. В этих условиях необходимо применять специальные методы подсчета стока, изучаемые в гидрометрии.

Гидравлический способ базируется на наличии функциональной связи между сосредоточенным падением уровня воды в некотором створе и расходом, проходящим через указанный створ. Такое сосредоточенное падение может быть создано различными способами. В частности, оно всегда имеет место на головных водозаборных шлюзах, которые, как известно, представляют собой водосливы (практического профиля или с широким порогом) с установленными на их гребне затворами.

Функциональные связи между расходом и напором или, как их еще называют, расходные характеристики составляют для каждого водозаборного шлюза еще на стадии проектирования сооружения с целью определения габаритов водопропускных отверстий. Затем эти характеристики передают эксплуатационному персоналу водозабора для использования их в водомерных целях, т. е. в целях учета количества воды, прошедшей через сооружение.

В зависимости от конструктивных особенностей сооружения и гидравлической схемы истечения расходные характеристики имеют различный вид. Так, в случае неподтопленного истечения из-под затвора, находящегося на гребне водосливной стенки с профилем Кригера—Офицера, пропускную способность сооружения следует определять по зависимости

$$Q = \varepsilon \varphi a b \sqrt{2g(H - a/2)}, \quad (12.1)$$

а при подтопленном истечении можно воспользоваться уравнением

$$Q = \mu a b \sqrt{2gz}, \quad (12.2)$$

где Q — расход, м³/с; H — напор на пороге водослива, м (без учета скорости подхода); g — ускорение свободного падения; a — величина открытия отверстия, м; b — ширина водосливного отверстия, м; ε — коэффициент вертикального сжатия; φ — коэффициент скорости; $\mu = \varepsilon \varphi$ — коэффициент расхода; z — разность уровней верхнего и нижнего бьефов, м.

Для известных типов сооружений выбор соответствующей расходной характеристики и входящих в нее коэффициентов обычно осуществляют по гидравлическим справочникам. В случае особо крупных и ответственных сооружений расходные характеристики уточняют по испытаниям, проведенным на моделях.

Однако, как показывает опыт эксплуатации, справочными данными и даже испытаниями на моделях не всегда можно учесть все особенности и факторы, влияющие на пропускную способность сооружений. Например, трудно моделировать реальные условия подхода потока к сооружению, распределение скоростей внутри него, трудно при расчете точно подобрать коэффициенты местных сопротивлений, бокового сжатия и т. п. Некоторые факторы, влияющие на пропускную способность, выявляются уже после постройки сооружения и поэтому вообще не могут быть учтены заранее (качество выполненных работ, действительные размеры сооружения и т. п.).

Расходная характеристика может изменяться также и в процессе эксплуатации гидросооружения, после ремонта или частичной реконструкции его узлов, из-за изменений условий подхода потока к водозабору при заилении водохранилища и по другим причинам. В результате действительная расходная характеристика может отличаться от проектной на 15—20 %, а иногда и больше.

Следовательно, проектные расходные характеристики (взятые из справочников или полученные на моделях) вполне могут служить целям определения размеров водопропускных отверстий, поскольку действующие строительные нормы всегда предусматривают некоторые запасы в габаритах сооружений, учитывающие, в частности, неточность значений максимальных расходов воды. Однако использование этих же расходных характеристик

для водоучета может привести к существенным ошибкам в оценке величины водозабора. Поэтому после ввода головного шлюза в нормальную эксплуатацию его расходные характеристики должны быть уточнены путем тарировки, которая включает следующие этапы:

- 1) осмотр сооружения, установление возможных гидравлических схем истечения, по возможности замер основных габаритов;
- 2) выбор соответствующих расчетных формул (расходных характеристик) для определения пропускной способности сооружения;
- 3) контрольные измерения расходов воды гидрометрическим или другими методами при всех основных режимах работы сооружения;
- 4) уточнение значений коэффициентов в расчетных формулах (по результатам контрольных измерений расходов воды) и составление рабочих таблиц для определения расходов воды на водозаборе в зависимости от определяющих параметров (например, напора и величины открытия затвора);
- 5) оснащение головного шлюза измерительными приспособлениями для получения значений параметров, используемых при определении расхода воды (напора, величины открытия затвора и т. п.).

Гидравлический способ учета воды может быть реализован не только на головных водозаборных шлюзах, но и путем установки на каналах непосредственно за водозаборами специальных гидрологических расходомеров, среди которых наибольшее значение имеют водосливы и гидрометрические лотки. Эти водомерные устройства рассматриваются в учебных пособиях ко второму разделу курса «Основы гидротехники и гидрометрические сооружения».

12.3. Способы учёта воды на машинных водозаборах (насосных станциях)

Вода, забираемая машинными водозаборами, или весь путь от источника до потребителя или хотя бы часть этого пути обязательно проходит по трубам, полностью заполняя их сечение. Именно здесь, в трубах, обычно и осуществляют измерение расходов воды. Однако, если насосная станция подает воду в канал (см. рис. 9.1), то учет количества забираемой воды может быть организован не в трубе, а в канале с использованием рассмотренных выше гидрометрического или гидравлического способов.

Существует большое число различных по принципам действия и конструктивному оформлению приборов для измерения расходов воды в трубах. Классификация их точно не определена и у разных авторов различна. Так, некоторые специалисты выделяют до 16 типов расходомеров. Мы рассмотрим только некоторые приборы, получившие в настоящее время наибольшее рас-

пространение, а именно: расходомеры гидравлического типа, индукционные и парциальные.

Расходомеры гидравлического типа основаны на измерении перепада давления и состоят, согласно принятой терминологии (ГОСТ 15528—70 и 18083—72), из измерительных преобразова-

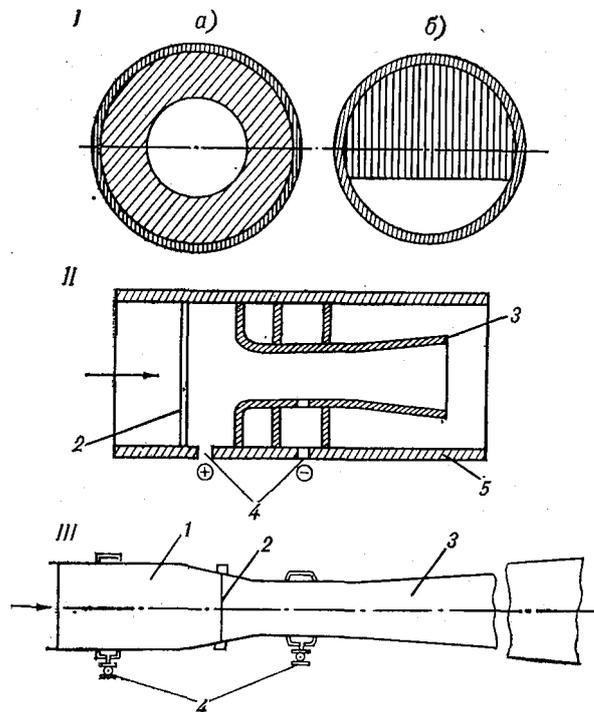


Рис. 12.1. Измерительные преобразователи (сужающие устройства).

I — диафрагмы: *a* — концентрическая, *б* — сегментная; *II* — сопло; *III* — труба Вентури: 1 — входной конус, 2 — предохранительная сетка, 3 — выходной конус, 4 — отверстие (краны) для отбора давления, 5 — трубопровод.

телей, промежуточных преобразователей, показывающих приборов и соединяющих их линий связи.

Измерительные преобразователи непосредственно воспринимают измеряемую величину (в нашем случае — расход воды) и преобразуют ее в другую, удобную для измерения (например, в разницу давлений). У расходомеров гидравлического типа измерительные преобразователи носят характер сужений, выполненных в виде диафрагмы, сопла Вентури и трубы Вентури.

Диафрагмы могут быть с концентрическими (относительно оси трубы) отверстиями и сегментными (рис. 12.1). Их изготавливают в соответствии с ГОСТами 14321—73 и 14322—73 в рас-

чете на трубы определенного диаметра и заданные диапазоны перепада давления.

Соплом Вентури (рис. 12.1) называют сужающее устройство, входная часть которого выполнена по форме нормального сопла, а в устье имеется конус, который служит для уменьшения потерь напора.

Трубы Вентури выполняют с конической входной частью (рис. 12.1) и с выходной частью в виде сопла. Область применения труб Вентури ограничена, так как они обладают существенным недостатком — громоздкостью и сложностью изготовления.

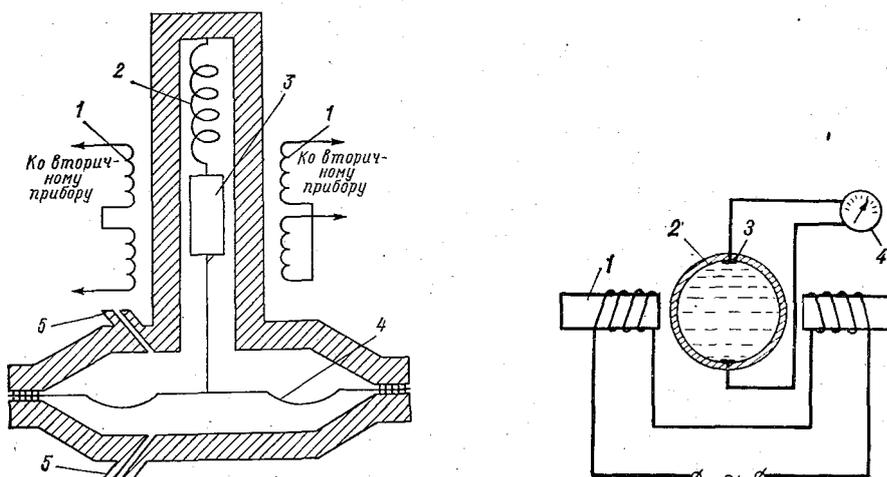


Рис. 12.2. Принципиальная схема промежуточного преобразователя (дифманометра ДМИ-Р).

1 — дифтрансформатор; 2 — уравнивающая пружина; 3 — плунжер; 4 — мембрана; 5 — штуцера для подачи давления от измерительного преобразователя.

Рис. 12.3. Схема индукционного расходомера.

1 — магнитопровод; 2 — трубопровод; 3 — электроды; 4 — измерительный прибор.

Измерительный преобразователь связан трубками с промежуточным преобразователем — дифманометром (рис. 12.2), последовательно преобразующим сигнал от измерительного преобразователя для дальнейшей его дистанционной передачи в виде электрических импульсов на показывающий прибор, которым обычно является самопишущий потенциометр.

Дифманометры, работающие в комплекте со стандартными диафрагмами и соплами, применяют для измерения расходов воды на основе заводских характеристик этих устройств, без их последующего тарирования.

Индукционные расходомеры. Принцип действия индукционного расходомера (рис. 12.3) основан на явлении электромагнитной

индукции. При прохождении электропроводящей жидкости (в том числе и водопроводной воды) через однородное магнитное поле в ней, как в движущемся проводнике, возникает электродвижущая сила, пропорциональная средней скорости потока.

Индукционный расходомер имеет в своей конструкции электромагнит, полюса которого прикрепляются по обе стороны трубопровода. Напряжение, возникающее в жидкости, снимается электродами, располагаемыми перпендикулярно внешнему магнитному полю, и подается на измерительный прибор. Связь между напряжением и расходом воды устанавливается заводской тарировкой расходомера.

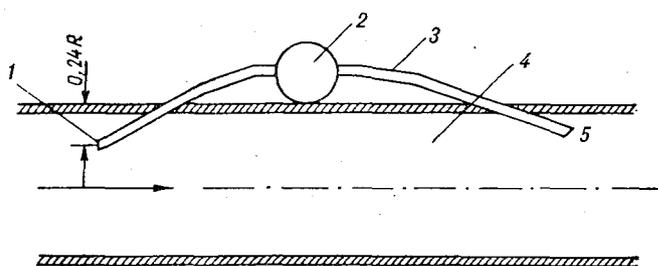


Рис. 12.4. Парциальный расходомер.

1 — приемное отверстие обвода; 2 — водомер; 3 — труба обвода; 4 — трубопровод; 5 — выходное отверстие.

Индукционные расходомеры имеют ряд достоинств: 1) результаты измерения не зависят от распределения скоростей в сечении; 2) отсутствуют дополнительные гидравлические потери в трубопроводе; 3) возможность применения для измерения загрязненной жидкости.

Выпускаемые отечественной промышленностью индукционные расходомеры ИР-1 и ИР-1М позволяют измерять расходы в трубопроводах диаметром до 0,3 м с точностью до 0,5 %.

Парциальные расходомеры. Стоимость многих типов расходомеров значительно возрастает с увеличением диаметра трубопровода, на котором их устанавливают. Трубы диаметром около 1 м требуют весьма дорогих приборов, что, естественно, ограничивает возможность массового инструментального учета воды на машинных водозаборах. Выходом из этого положения может служить установка расходомеров по так называемой парциальной схеме.

Характерная особенность парциальной схемы — наличие обводного шунта, т. е. небольшого (по сравнению с основным) трубопровода, в котором и устанавливается расходомер той или иной конструкции (рис. 12.4). Количество воды, протекающей через трубопровод, определяют умножением расхода, замеренного расходомером, на постоянный для данного водомерного устройства коэффициент.

Парциальные расходомеры имеют по сравнению с другими типами водомеров меньшую точность. Они мало пригодны для измерения расходов загрязненной жидкости по причине засорения отверстий в обводном трубопроводе.

12.4. Оценка величины водозабора по косвенным показателям

Рассмотренные ранее способы определения расходов воды на водозаборах, основанные на использовании различных приборов и сооружений, позволяют, в принципе, получать достаточно надежные данные о количестве забираемой воды. Однако по ряду технических и экономических причин указанные способы внедрены далеко не на всех действующих водозаборах. И там, где они пока не применяются, оценка величины водозабора производится по различным косвенным показателям.

Таковыми косвенными показателями могут быть: 1) эксплуатационные характеристики насосов (связь между расходом, мощностью, напором и коэффициентом полезного действия агрегата); 2) норма потребления воды на единицу выпускаемой продукции; 3) нормы, установленные для водозаборов и обслуживаемых ими потребителей проектом системы водоснабжения и др.

Следует иметь в виду, что использование косвенных показателей для оценки величины водозабора всегда сопряжено с возможностью получения результатов, отягощенных ошибками 100 % и более.



Глава 13. Гидравлическая энергия и способы ее использования

13.1. Мощность и энергия речного потока

Масса воды, проходящей по руслам рек от истока до устья, совершает определенную работу (1 кг воды, падая с высоты 1 м, способен произвести работу, равную 1 кгс·м) и, следовательно, обладает некоторым запасом энергии. Причем, чем больше паде-

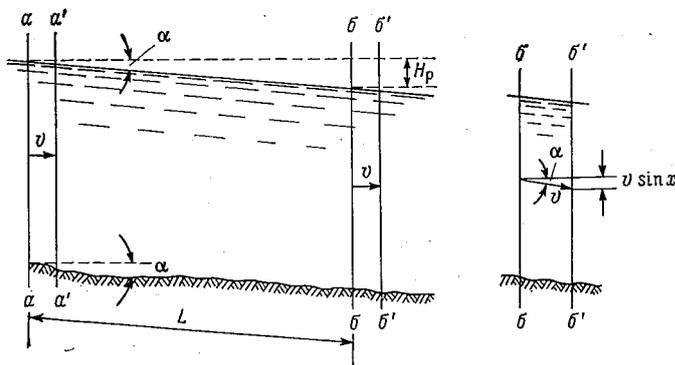


Рис. 13.1. Схема к определению работы, совершаемой рекой.

ние (уклон) реки и расход воды, тем больше энергия. Эта энергия называется *водной энергией*, а совокупность ее для данной реки или речного бассейна называется *гидроэнергетическими ресурсами* реки или бассейна.

Энергия рек в естественном состоянии расходуется на преодоление сил трения между частицами воды внутри самого потока и между потоком и его ложем. Внешне работа рек проявляется в размывах русел, во влечении взвешенных в воде наносов и перекачивании по дну частиц гравия, гальки и камней.

Работу, совершаемую рекой, и количество водной энергии, заключенной в любом участке реки, можно выразить математически следующим путем.

Пусть участок реки (рис. 13.1) имеет длину L м, средний уклон $i = \operatorname{tg} \alpha$, падение H_p м, расход Q_p м³/с, среднюю скорость v м/с и постоянную площадь живого сечения ω м². В этом случае $Q_p = \omega v$ м³/с.

В течение одной секунды объем воды, заключенной между сечениями $a-a$ и $b-b$, на участке L переместится на расстояние, численно равное скорости воды v , и займет положение $a'-a'$ и $b'-b'$. При этом поток совершит работу $\mathcal{E}_p = \omega L \gamma v \sin \alpha$, где γ — объемная масса воды, а $\gamma \omega L$ — масса всей воды в пределах рассматриваемого участка, кг; $v \sin \alpha$ — путь воды в направлении действия силы тяжести, м. Так как $\omega = Q_p/v$, а $L \sin \alpha = H_p$, работу потока можно выразить так:

$$\mathcal{E}_p = (Q_p/v) H_p \gamma v = Q_p H_p \gamma. \quad (13.1)$$

Поскольку эта работа относится к промежутку времени в 1 с, то она численно равна мощности, и уравнение мощности реки для участка L будет иметь вид

$$N_p = Q_p H_p \gamma. \quad (13.2)$$

Для воды $\gamma = 1000$ кг/м³, 1 кВт = 102 кгс·м/с, поэтому мощность речного потока в кВт будет равна

$$N_p = 1000 Q_p H_p / 102 = 9,81 Q_p H_p. \quad (13.3)$$

Как известно из механики, работу можно выразить как произведение мощности и времени ее действия, т. е. $\mathcal{E}_p = N_p T$ кВт·ч, где T — время (в часах) действия мощности N_p (в киловаттах).

Количество работы (энергии), которую речной поток совершит за время T , таким образом, можно записать так:

$$\mathcal{E}_p = N_p T = 9,81 Q_p H_p T. \quad (13.4)$$

Если известны общий объем воды W м³, протекшей в реке за рассматриваемый период T , и падение реки H_p , то работа, выполненная речным потоком (количество энергии, которое теоретически может быть получено от реки), составит (в кВт·ч)

$$\mathcal{E}_p = (9,81/3600) W H_p = \frac{W H_p}{367,2}. \quad (13.5)$$

Для использования водной энергии данного участка реки на нем необходимо соорудить гидроэлектрическую станцию (ГЭС), в которой водная энергия преобразовывалась бы в электрическую.

С помощью гидротехнических сооружений концентрируется (сосредоточивается) падение реки, т. е. создается напор ГЭС, а воду направляют через силовое (машинное) здание, где водная энергия посредством гидромеханического и электромеханического оборудования преобразуется в электрическую.

Гидроэлектрическая станция превращает в полезную работу не все энергоресурсы реки, выраженные формулами (13.2) — (13.5). Часть их расходуется на преодоление различных сопротивлений: механических (трение в подшипниках турбины и электрического генератора), гидравлических (внутреннее трение в воде, образование вихрей, трение воды о стенки водоподводящих устройств ГЭС и др.) и электрических (вызывающих нагрев генератора и

проводов). В связи с этим для определения мощности ГЭС в формулу (13.3) вводят дополнительные множители, выражающие собой к. п. д. водоподводящих сооружений η_c , водяной турбины η_t и электрического генератора η_r . При этом формула мощности гидроэлектростанции принимает вид

$$N_{\text{ГЭС}} = 9,81 Q_{\text{ГЭС}} H_p \eta_c \eta_t \eta_r. \quad (13.6)$$

Произведение $H_p \eta_c$ является напором ГЭС $H_{\text{ГЭС}}$ (сосредоточенным падением реки, используемым ГЭС); он всегда меньше H_p (падение используемого участка реки).

Средние значения к. п. д. электрического генератора ГЭС 0,95—0,97. Средние значения к. п. д. крупных водяных турбин 0,86—0,88.

В предварительных расчетах общий к. п. д. ($\eta_t \eta_r$) принимают равным 0,75, и формула мощности ГЭС записывается следующим образом:

$$N_{\text{ГЭС}} \doteq 9,81 Q_{\text{ГЭС}} H_{\text{ГЭС}} \cdot 0,75 = 7,3 Q_{\text{ГЭС}} H_{\text{ГЭС}}. \quad (13.7)$$

Мощность крупных ГЭС, где к. п. д. η_t и η_r имеют обычно более высокие значения, определяется по формуле

$$N_{\text{ГЭС}} = (8,3 \div 8,5) Q_{\text{ГЭС}} H_{\text{ГЭС}}. \quad (13.8)$$

Суммарную мощность установлений на ГЭС гидроагрегатов называют *установленной мощностью*.

Выработка энергии ГЭС за период времени T при переменной мощности $N_{\text{ГЭС}}$ определяется формулой

$$\mathcal{E}_{\text{ГЭС}} = \int_0^T N_{\text{ГЭС}} dT,$$

или

$$\mathcal{E}_{\text{ГЭС}} = \sum_0^T N_{\text{ГЭС}} \Delta T, \quad (13.9)$$

где $N_{\text{ГЭС}}$ — фактическая мощность, с которой ГЭС работает в интервале времени ΔT .

Работа ГЭС (в кВт·ч) обычно характеризуется годовой выработкой. Ее можно определить также по объему стока $W_{\text{ГЭС}}$ м³, прошедшего за год через турбины ГЭС:

$$\mathcal{E}_{\text{ГЭС}} = (W_{\text{ГЭС}} H_{\text{ГЭС}} \eta_t \eta_r) / 367,2 \quad (13.10)$$

13.2. Принципиальные схемы гидроэлектростанций

Наиболее эффективное использование энергии водотока возможно при концентрации перепадов уровней воды на сравнительно коротком участке. При наличии естественного водопада решение этой задачи упрощается, однако подобные условия встречаются очень редко. Для использования падений рек, рас-

пределенных по значительной длине водотока, прибегают к искусственному сосредоточению перепада. Такое сосредоточение может быть осуществлено различными способами (рис. 13.2).

Плотинная схема (рис. 13.2 I) создания напора, т. е. концентрации перепада в наиболее удобном для использования месте, предусматривает подпор уровня реки путем создания плотины. Образующееся при этом водохранилище используется

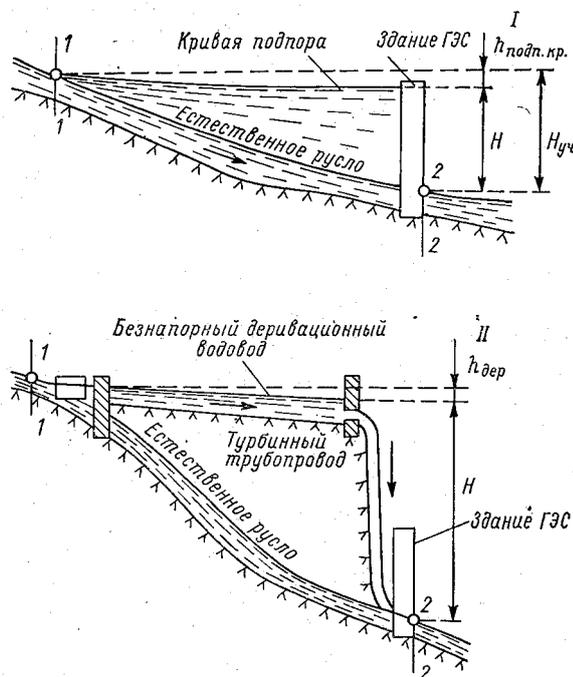


Рис. 13.2. Принципиальные схемы гидроэлектростанций.

I — приплотинная; II — деривационная.

в качестве регулирующей емкости, позволяющей периодически создавать запасы воды и более полно использовать энергию водотока.

Деривационная схема (рис. 13.2 II) позволяет получить сосредоточенный перепад путем отвода воды из естественного русла по искусственному водоводу, имеющему меньший продольный уклон, чем уклон русла. Благодаря этому уровень воды в конце водовода оказывается выше уровня воды в реке. Этой разностью уровней и создается напор гидроэлектростанции.

ГЭС, у которых напор частично создается с помощью плотины достаточно большой высоты и частично с помощью деривации, называют *смешанными* (смешанная схема энергоиспользования реки).

Выбор схемы энергетического использования водотока — плотинной, деривационной, смешанной — определяется падением реки, расходом воды, топографическими и инженерно-геологическими условиями русла, поймы и долины.

Плотинные ГЭС более выгодны при малых уклонах рек, так как в этом случае получение необходимого напора с помощью деривации потребует значительной длины последней и она будет дороже плотины. При очень больших расходах воды плотинные схемы энергоиспользования тоже более выгодны, так как каналы больших сечений оказываются дороже плотин.

Расходы воды, используемые в плотинных ГЭС, в настоящее время достигают 14 000 м³/с (Волжская им. В. И. Ленина на р. Волге). Напоры, используемые на плотинных ГЭС, колеблются в очень широких пределах. Минимальные значения используемого напора достигают 1,5—3,0 м. Например, на ГЭС Диксон (США) используемый напор равен 2,45 м (ее мощность 2800 кВт, максимальный расход 140 м³/с). Максимальный напор ГЭС плотинного типа около 280 м (Нурекская ГЭС).

На горных реках с большими падениями (выше 6—8 м на 1 км длины реки) деривационные ГЭС выгоднее плотинных. Напоры деривационных ГЭС колеблются от нескольких метров до 1767 м (ГЭС Райсек в Австрии). Расходы на деривационных ГЭС колеблются в очень значительных пределах — от нескольких кубических метров в секунду до 1530 м³/с (ГЭС Донзер-Мондрагон на р. Роне во Франции). Самый большой напор на деривационных ГЭС в СССР достигает 600 м, а самый большой расход 700 м³/с на Нарвской ГЭС.

Выбор схемы использования водотока есть один из сложных вопросов гидроэнергетики и выполняется на основе технического и экономического сопоставлений ряда возможных вариантов.

Глава 14. Оборудование гидроэлектростанций

14.1. Состав оборудования ГЭС

Для осуществления главной функции ГЭС — выработки электроэнергии — необходимо различное сложное оборудование, от которого зависит эффективность и надежность эксплуатации ГЭС. Это оборудование образует несколько групп.

1. Гидросиловое оборудование ГЭС в качестве основных компонентов включает *турбины* и *гидрогенераторы*. В турбине механическая энергия воды преобразуется в механическую энергию, передаваемую вращающемуся валу. В гидрогенераторе механическая энергия, получаемая от вала турбины, преобразуется в электрическую энергию, которая передается в энергосистему. В состав оборудования рассматриваемой группы кроме того входят устройства, связанные с подачей воды на турбину и регулированием ее количества.

Комплекс, состоящий из турбины и гидрогенератора, называют *гидроагрегатом* или просто *агрегатом ГЭС*. Число агрегатов в здании ГЭС может быть различным и зависит от установленной мощности ГЭС и мощности агрегата.

2. Электрические устройства ГЭС включают токопроводы от генератора, главные силовые трансформаторы, выводы высокого напряжения, открытое распределительное устройство и ряд других систем. Силовые трансформаторы повышают относительно невысокое напряжение гидрогенераторов до значения, требуемого для передачи энергии на большие расстояния (110—750 кВ). Выводы высокого напряжения служат для передачи энергии от силовых трансформаторов к открытому распределительному устройству (ОРУ), которое предназначено для распределения вырабатываемой ГЭС электроэнергии между отдельными линиями электропередачи.

3. Механическое оборудование ГЭС включает гидротехнические затворы (см. гл. 8), подъемно-транспортные механизмы, сороудерживающие решетки и т. п.

4. Вспомогательное оборудование состоит из системы технического водоснабжения, пневматического хозяйства, масляного хозяйства, противопожарных и санитарно-технических устройств.

Из перечисленного оборудования далее рассмотрим более подробно конструкции турбин.

14.2. Турбины и их установка в зданиях ГЭС

Водяной турбиной называют двигатель, преобразующий энергию движущейся воды в механическую, носителем которой является вал рабочего колеса турбины. По принципу работы водяные турбины разделяют на два основных типа: активные и реактивные.

14.2.1. Активные турбины

Общая схема активной водяной турбины приведена на рис. 14.1. На горизонтальном валу насажено колесо с лопатками, размещенными по всей длине окружности; оно называется рабочим колесом. Лопатки имеют форму ковшей. Вода из верхнего бьефа к рабочему колесу подводится при помощи трубопровода, заканчивающегося насадком — соплом. Напор H перед насадком превращается целиком в живую силу струи и вода вытекает из сопла в атмосферу с большой скоростью. Встречая на своем пути лопатки рабочего колеса, струя из сопла попадает на какую-либо из них и поворачивает колесо, совершая при этом работу. После отклонения струей одной лопатки под удар воды подходит другая, т. е. процесс вращения колеса происходит непрерывно.

Процесс использования энергии струи здесь происходит при атмосферном давлении, а производство энергии осуществляется только за счет кинетической энергии воды. Из рис. 14.1 нетрудно

видеть, что в данном случае используемым напором будет не разность отметок воды в верхнем и нижнем бьефах H , а величина $(H - a)$, т. е. разность отметок верхнего бьефа и сопла. Здесь a — потерянная часть напора.

В активных турбинах функции аппарата, направляющего поток воды на рабочее колесо и регулирующего ее количество, т. е. изменяющего мощность, выполняет насадок с игольчатым затвором, с помощью которого можно прекратить подачу воды в рабочее колесо турбины и остановить ее.

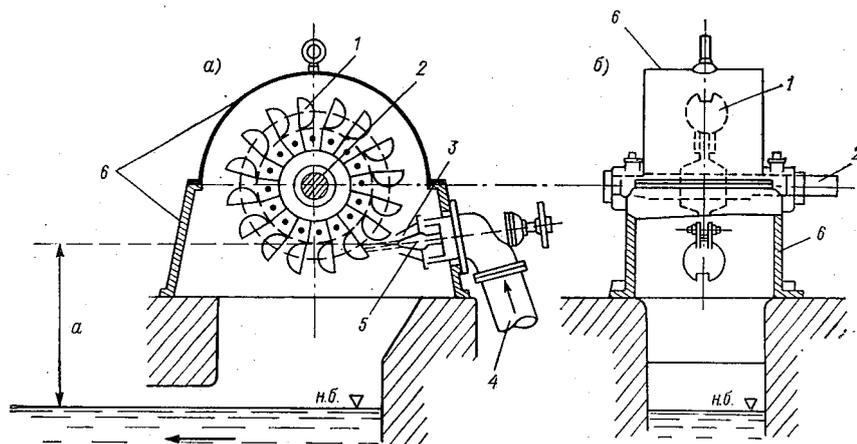


Рис. 14.1. Активная (струйно-ковшовая) турбина.

a — продольный разрез; b — поперечный разрез; 1 — рабочее колесо; 2 — вал рабочего колеса; 3 — насадок (сопло); 4 — напорный (турбинный) трубопровод, подводящий воду к турбине; 5 — игольчатый затвор; 6 — кожух.

В некоторых современных активных турбинах под действием струи воды в любой момент времени находится не одна лопатка, а две, если вода на колесо подводится через два насадка.

Активная турбина, изображенная на рис. 14.1, носит название струйно-ковшовой (по форме лопаток ее рабочего колеса); она устанавливается на высоконапорных ГЭС.

14.2.2. Реактивные турбины

Реактивными называют турбины, в которых рабочее колесо находится целиком в потоке воды под напором и приводится во вращение реактивным давлением струй, протекающих между его изогнутыми лопатками, причем это давление передается на все лопатки одновременно. Рабочее колесо насажено, как правило, на вертикальный вал, через который приводится в действие электрический генератор.

Наиболее распространенными реактивными турбинами являются радиально-осевые турбины (РО) и поворотно-лопастные

(ПЛ). Реже применяются пропеллерные турбины (ПР) (рис. 14.2). У турбин РО лопасти рабочего колеса неподвижно закреплены на ободе, а у турбин ПР — на втулке. У турбин ПЛ лопасти могут вращаться в цапфах и в зависимости от напора и расхода занимать положение, обеспечивающее наибольший коэффициент полезного действия турбины. Разновидностью поворотно-

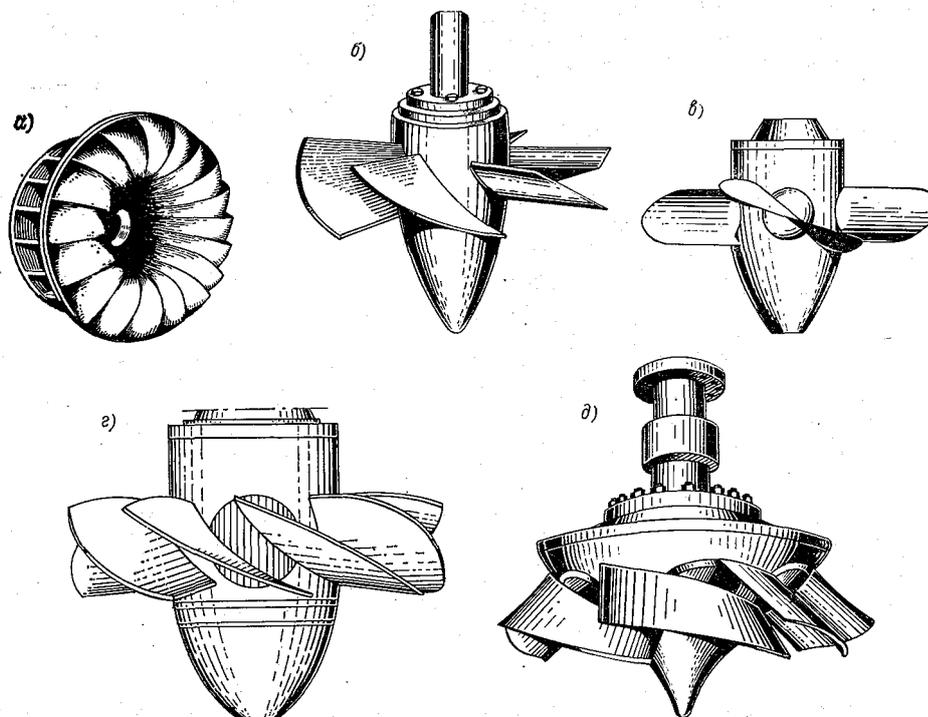


Рис. 14.2. Рабочие колеса реактивных турбин.

а — радиально-осевой; *б* — пропеллерной; *в* — поворотно-лопастной; *г* — двухперовой поворотно-лопастной; *д* — диагональной поворотно-лопастной.

лопастной турбины являются: двухперовая турбина (рис. 14.2 *г*), у которой к одной цапфе прикреплены две лопасти, и диагональная поворотно-лопастная турбина (рис. 14.2 *д*).

Гидротурбинная установка с реактивной турбиной (рис. 14.3) имеет следующие основные элементы: рабочее колесо, направляющий аппарат, турбинную камеру и отсасывающую трубу.

Направляющий аппарат служит для изменения расхода воды, поступающей на рабочее колесо, с целью регулирования мощности турбины и поддержания постоянным числа ее оборотов, что обусловлено необходимостью обеспечения стабильной скорости вращения генератора, от которого зависит частота вырабатываемого электрического тока (принятая в СССР повсеместно частота переменного тока составляет 50 периодов в секунду). По-

этому число оборотов турбины в минуту не может быть произвольным, а выбирается по конструкции генератора. На наших заводах выпускают гидроагрегаты со следующим числом оборотов в минуту: 300, 250, 214, 187,5, ..., 88,3, 75, 60, 50 и другими, согласно справочникам. Максимальные допустимые в практике отклонения от нормального числа оборотов турбины в ту или другую сторону не должны превышать 5—6 %.

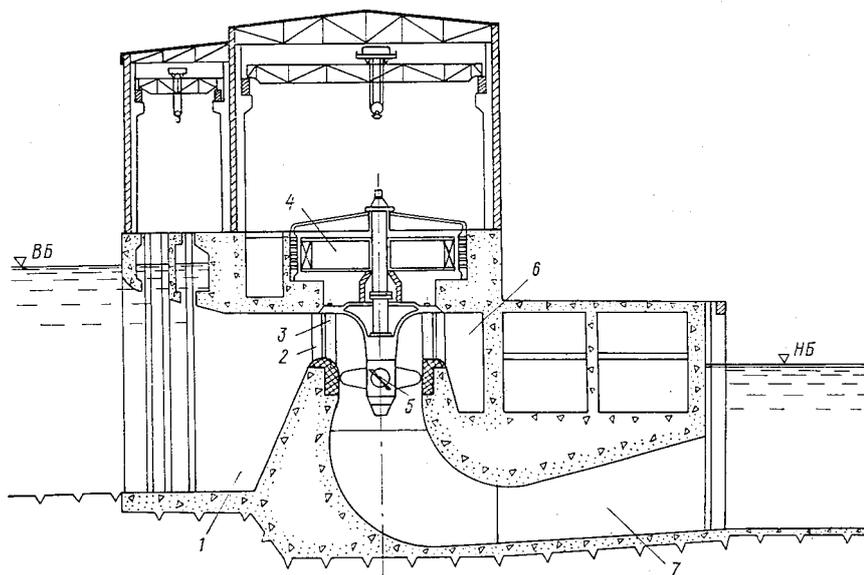


Рис. 14.3. Гидротурбинная установка с реактивной турбиной.

1 — камера водоприемника; 2 — статор турбины; 3 — направляющий аппарат; 4 — генератор; 5 — рабочее колесо турбины; 6 — турбинная (спиральная) камера; 7 — отсасывающая труба.

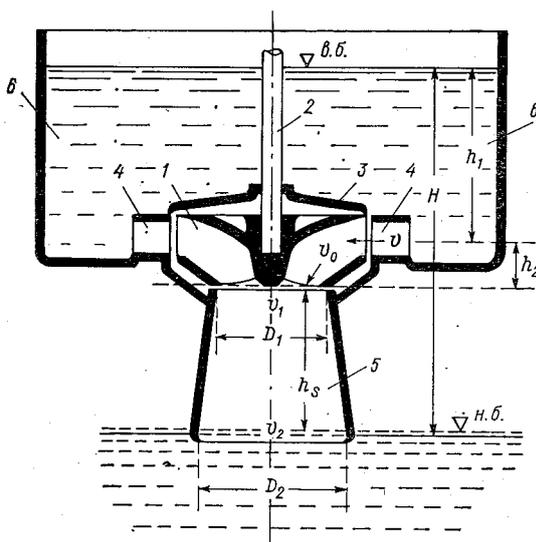
Для выполнения этого условия необходимо, чтобы расход воды через турбину в каждый момент соответствовал мощности, отдаваемой генератором. При нарушении этого соответствия и уменьшении нагрузки генератора турбина, обладая излишней мощностью, пойдет в разгон; при увеличении нагрузки на генератор турбина из-за недостатка мощности не в состоянии будет обеспечить генератору нормальное число оборотов, из-за чего последний не даст нормального напряжения и требуемой мощности.

Конструктивно направляющий аппарат состоит из системы лопаток, окружающих рабочее колесо турбины. Каждая лопатка закреплена на вертикальной оси и может на ней поворачиваться, но таким образом, что одновременно все лопатки поворачиваются на один и тот же угол. Вода на турбину может поступать только через щели между лопатками, а если направляющий аппарат привести в такое положение, при котором соседние лопатки

сомкнутся друг с другом, то доступ воды на рабочее колесо будет прекращен и турбина остановится. Время полного открытия или закрытия турбины колеблется от 3 до 8 с в зависимости от мощности масляного сервомотора автоматического регулятора.

Турбинная камера является местом непосредственной установки турбины в здании ГЭС. Именно через эту камеру вода поступает к направляющему аппарату и далее на рабочее колесо турбины. Различают *открытые* и *закрытые турбинные камеры*.

Открытые турбинные камеры (рис. 14.4) обычно применяют при напорах не выше 6—8 м и при небольших диаметрах рабочих колес.



Потолок открытой камеры, как правило, находится выше свободной поверхности воды в камере. В плане такие камеры имеют прямоугольную, квадратную и криволинейную формы.

Турбины средней и большой мощности устанавливают в спиральных

Рис. 14.4. Схема реактивной водяной турбины с открытой турбинной камерой.

1 — рабочее колесо; 2 — вал рабочего колеса; 3 — крышка турбины; 4 — направляющий аппарат; 5 — коническая отсасывающая труба; 6 — открытая турбинная камера.

закрытых камерах, обеспечивающих равномерную подачу воды по всей окружности направляющего аппарата (см. рис. 14.3). С этой целью сечение спиральной камеры постепенно уменьшают, например так, как это показано на рис. 14.5. При напорах до 25 м спиральные камеры изготавливают из железобетона, а на высоконапорных ГЭС их делают металлическими в виде улитки (рис. 14.6).

Отсасывающая труба служит для отвода воды от реактивной турбины. Необходимость такой трубы вызывается следующими обстоятельствами.

Реактивная водяная турбина обычно располагается выше уровня воды в нижнем бьефе на некоторой минимальной высоте h_s над ним (см. рис. 14.4). Чтобы при этом избежать потери в напоре ГЭС, равные этой высоте h_s , и хотя бы частично использовать кинетическую энергию потока, сходящего с лопастей рабочего колеса турбины, к выходному отверстию турбинной камеры присоединяется специальная труба, уходящая своим дру-

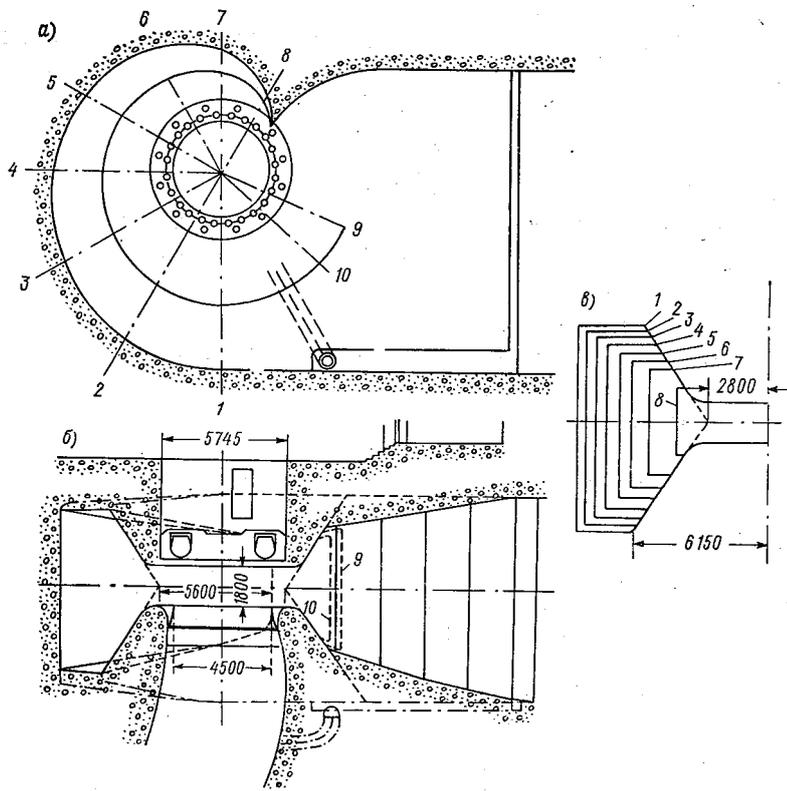


Рис. 14.5. Спиральная турбинная камера из армированного бетона.
 а — план, б — продольный разрез, в — поперечные сечения (1, 2, 3, ..., 8).

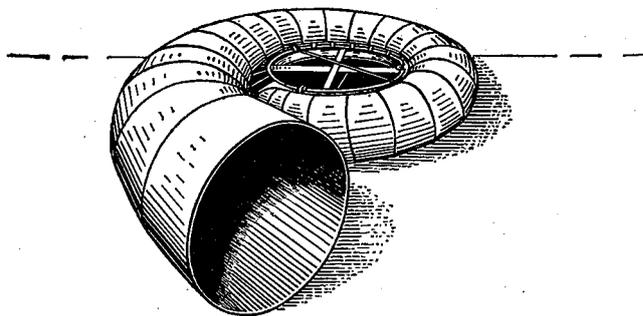


Рис. 14.6. Металлическая спиральная турбинная камера.

гим концом под уровень воды нижнего бьефа. Таким образом, вода, выходя из рабочего колеса реактивной турбины, попадает не в атмосферу, а проходит в нижний бьеф через отсасывающую трубу, заполняя ее полностью. Использование в турбине напора h_s обуславливается тем, что в отсасывающей трубе благодаря ее герметичности и погружению под уровень нижнего бьефа всегда имеется разрежение (вакуум).

Этот вакуум равен $h_s + v_1^2/2g - (v_2^2/2g + h_w)$ и складывается из статического вакуума h_s и динамического понижения давления $v_1^2/2g$, уменьшенного на величину $v_2^2/2g + h_w$, где v_1 — скорость потока при входе в отсасывающую трубу; v_2 — скорость потока при выходе из нее; $v_1^2/2g$ и $v_2^2/2g$ — соответствующие потери напора (на входе и выходе); h_w — потери напора в самой трубе. При отсутствии отсасывающей трубы, помимо h_s , терялся бы и весь скоростной напор $v_1^2/2g$ в виде кинетической энергии воды, выходящей с рабочего колеса турбины. Придание трубе конической формы (расширения к выходу) приводит к тому, что $v_2^2/2g < v_1^2/2g$, т. е. к уменьшению в ней потерь напора по сравнению с цилиндрической ее формой. Отсюда нетрудно видеть, что отсасывающая труба позволяет частично использовать и кинетическую энергию выходящего из турбины водного потока.

По форме отсасывающие трубы бывают прямоосными (рис. 14.4) и изогнутыми (рис. 14.3). Выбор формы трубы для конкретной ГЭС зависит от напора, а также от типа, быстроходности и размеров турбины.

14.3. Характеристики турбин

Основной характеристикой турбины является ее *быстроходность*.

Быстроходность любой турбины характеризуется коэффициентом быстроходности, т. е. числом оборотов, даваемых геометрически подобной ей турбиной-моделью, которая развивает мощность в 0,73 кВт при напоре 1 м (подобные турбины имеют одну и ту же форму и число лопаток, отличаясь лишь размерами).

В теории гидравлических двигателей выводится такое выражение для коэффициента быстроходности турбины:

$$n_s = n \sqrt{N} / H \sqrt[4]{H}, \quad (14.1)$$

где n_s — коэффициент быстроходности; n — число оборотов турбины в минуту; N — мощность; H — напор, м.

Из формулы (14.1) видно, что число оборотов турбины прямо пропорционально коэффициенту быстроходности при данном напоре и мощности

$$n = n_s H \sqrt[4]{H} / \sqrt{N}. \quad (14.2)$$

Таким образом, для получения большого числа оборотов при одном и том же напоре необходимо применять более быстроходные турбины.

Из формулы (14.1) также видно, что при данном числе оборотов и мощности с увеличением напора коэффициент быстроходности падает.

Следовательно, каждый тип турбин, отличающийся своей быстроходностью, применим только при определенных напорах.

Основные типы турбин характеризуются следующими коэффициентами быстроходности:

Ковшовые	4—24
Радиально-осевые	
тихоходные	50—150
нормальные	150—250
быстроходные	250—450
Пропеллерные и поворотные-лопастные	300—1000

С увеличением быстроходности уменьшаются размеры турбин. Однако выбор турбин производится не только по признаку быстроходности; существуют дополнительные условия, связывающие напор H и коэффициент быстроходности n_s , например кавитация.

Кавитация — сложное физическое явление, возникающее при обтекании лопастей турбин водным потоком с большими скоростями, сопровождаемое их пульсациями, вызывающими местные гидравлические удары, приводящие к коррозии металла, его усталости и разрушению. С учетом явлений кавитации поворотные-лопастные и пропеллерные турбины могут использоваться при напорах 25—30 м и ниже, причем турбины с $n_s = 700 \div 800$ применяются при напорах ниже 6—7 м. Радиально-осевые турбины устанавливаются при напорах 25—300 м; с увеличением напора применяются рабочие колеса меньшей быстроходности. При напорах выше 300—350 м устанавливаются только ковшовые турбины.

Эксплуатационные качества турбины оцениваются по величине ее к. п. д. во всем диапазоне изменения напора и расхода на ГЭС.

У разных типов турбин в зависимости от изменения напора и расхода ГЭС к. п. д. меняется по-разному. Чтобы судить о том, как меняется к. п. д. турбины, производят испытания моделей турбин в лаборатории. Модель турбины представляет собой точную копию действительной турбины, но уменьшенного размера. На модельной установке снимаются различные характеристики турбин.

Если на графике по оси абсцисс отложить расходы (или мощности) турбины в процентах от максимального при постоянном напоре, а по оси ординат — соответствующие к. п. д. в процентах и через полученные точки провести линию, получится кривая, которая называется *расходной характеристикой турбины* (рис. 14.7). Нанеся на один график характеристики разных

типов турбин, можно судить о достоинствах и недостатках того или другого их типа в работе при переменном расходе. Так, из приведенных характеристик видно, что высокий к. п. д. на большей части диапазона изменения мощности (расхода) сохраняется только у поворотно-лопастных реактивных и струйно-ковшовых активных турбин. Радиально-осевые турбины по своим характе-

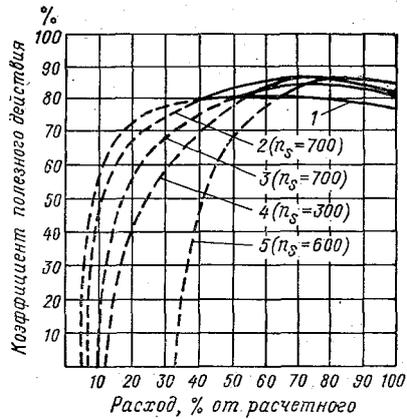


Рис. 14.7. Расходные характеристики различных типов водяных турбин.

1 — ковшовый; 2 — поворотно-лопастной; 3 — то же, с неподвижными лопатками направляющего аппарата; 4 — радиально-осевой; 5 — пропеллерный.

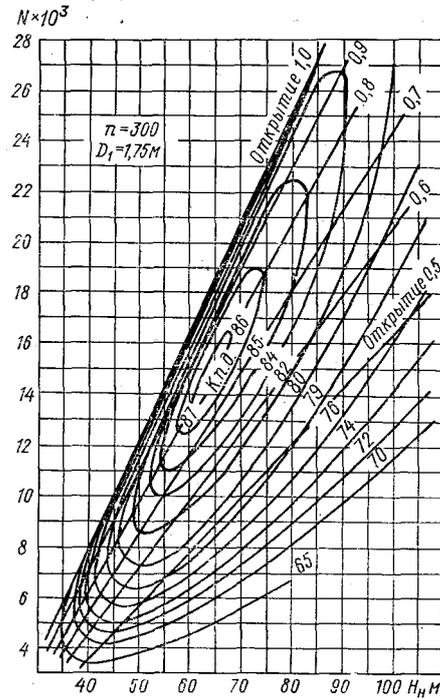


Рис. 14.8. Универсальная характеристика радиально-осевой турбины.

ристикам занимают промежуточное положение между поворотно-лопастными и пропеллерными.

Из рис. 14.7 видно, что все турбины на малых мощностях работают с низким к. п. д., поэтому работать в этой зоне не рекомендуется.

У радиально-осевых и пропеллерных турбин в зоне больших мощностей к. п. д. начинает резко уменьшаться, в силу чего дальнейшее увеличение расхода может привести не к увеличению мощности, а к ее снижению. Поэтому и в зоне больших мощностей область работы этих турбин ограничивают.

Полная картина изменения к. п. д. турбины в зависимости от изменения мощности и напора дается на *универсальных эксплуатационных характеристиках*. На рис. 14.8 приведена такая характеристика для радиально-осевой турбины. По оси абсцисс отложены значения напоров, по оси ординат — соответствующие мощности. Линии разных открытий направляющего аппарата

турбины на характеристике представлены наклонными лучами; на рисунке нанесены также линии равных значений к. п. д. По такой характеристике можно установить значение к. п. д. турбины при любом сочетании напора и мощности. Линия полного открытия дает представление о том, как изменяется максимальная возможная мощность турбины в связи с изменением напора. На рис. 14.8 видно, что максимальный к. п. д., равный 0,87, достигается при открытии на 0,8 от полного и при напоре 60—68 м.

Число водяных турбин, устанавливаемых на ГЭС, определяется сезонным колебанием расходов воды в реке, конфигурацией графика нагрузки, режимом работы ГЭС и строительно-экономическими соображениями. Оно должно быть выбрано так, чтобы при всех колебаниях расхода воды в реке ГЭС обеспечивала бы покрытие графика нагрузки или части его с наиболее высоким к. п. д.

Глава 15. Состав сооружений и компоновка гидроэлектростанций

15.1. Состав сооружений гидроузлов и их назначение

Гидроэлектростанция (ГЭС) обычно входит в состав гидроузла — комплекса гидротехнических сооружений, предназначенных для использования водных ресурсов в интересах народного хозяйства: получения электрической энергии, орошения, водоснабжения, улучшения условий судоходства, защиты от наводнений, рыбоводства и др.

В состав гидроузла входят постоянные, временные и вспомогательные сооружения. К постоянным сооружениям гидроузлов относятся:

Водоподпорные и водосбросные сооружения, предназначенные для создания подпора и образования водохранилищ, обеспечения пропуска воды, сбрасываемой в нижний бьеф во избежание превышения максимальных расчетных уровней воды, осуществления попусков, а также сброса из верхнего бьефа льда, шуги, сора и промыва наносов (специальные устройства).

Энергетические устройства, необходимые для выработки электрической энергии и распределения ее в соответствии с требованиями потребителей. К энергетическим сооружениям относятся водоприемные устройства, водоводы, подводящие воду из верхнего бьефа к турбинам и отводящие воду в нижний бьеф, здание гидроэлектростанции с основным энергетическим оборудованием (гидротурбины, гидрогенераторы, трансформаторы) и вспомогательным механическим и подъемно-транспортным обо-

дованием, пультом управления, а также открытые распределительные устройства (ОРУ).

Судоходные и лесосплавные сооружения, предназначенные для пропуска судов и плотов через гидроузлы, перевалки грузов и пересадки пассажиров с водного на сухопутный транспорт и наоборот. К ним относятся шлюзы или судоподъемники с подходными каналами, плотоходы или бревноспуски и пр.

Рыбохозяйственные сооружения. К ним относятся рыбоходы и рыбоподъемники, устраиваемые для пропуска через гидроузел проходных пород рыбы к местам постоянных нерестилищ, а в некоторых случаях и в обратном направлении, рыбозащитные сооружения, сооружения для искусственного рыборазведения.

Сооружения для отбора воды неэнергетическими водопотребителями обеспечивают отбор и подачу воды в требуемом направлении; это водоприемные сооружения, отстойники, насосные станции.

Транспортные сооружения служат для связи объектов гидроузла между собой и соединения с сетью государственных автомобильных и железных дорог, а также пропуска этих дорог через сооружения гидроузла; к ним относятся мосты, шоссейные и железные дороги с разъездами, бремсберги, канатные дороги.

Временные сооружения необходимы только на период производства строительных работ. В их состав входят сооружения, обеспечивающие пропуск расходов воды в обход строительной площадки и защиты последней от затопления (каналы, туннели, лотки, перемычки), а также производственные предприятия, обеспечивающие строительство гидроузла (бетонные заводы, механические мастерские и пр.).

В целях снижения стоимости строительства часть временных сооружений стараются использовать и в период эксплуатации гидроэлектростанции. Например, строительные каналы и туннели полностью или частично могут входить в состав постоянных энергетических водоводов.

Вспомогательные сооружения предназначены для обеспечения нормальной эксплуатации гидроузла и создания необходимых удобств для обслуживающего персонала (жилье, административные и хозяйственные здания, связь, водоснабжение и т. п.).

Состав основных сооружений гидроузла и его компоновка зависят от выбранной схемы использования водной энергии реки (плотинная или деривационная), хозяйственных целей строительства гидроузла и природных условий створа, в котором возводятся сооружения.

15.2. Компоновка ГЭС при плотинной схеме использования водной энергии

15.2.1. Русловые гидроэлектростанции

В гидроузлах с русловыми ГЭС здания электростанций входят в состав напорного фронта, т. е. так же, как и плотины, являются водоподпорными сооружениями (рис. 15.1). Они возводятся при напорах до 30—40 м. При выборе общей компоновки

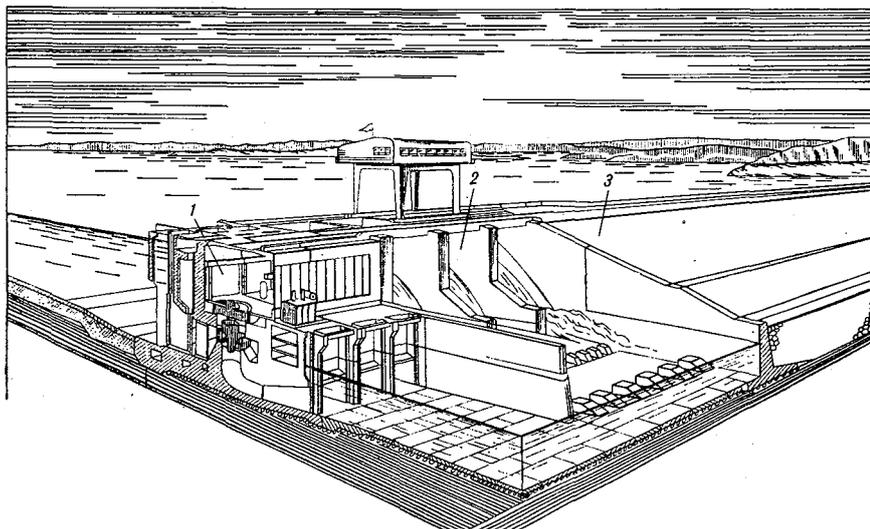


Рис. 15.1. Гидроузел с русловым зданием ГЭС.
1 — здание ГЭС; 2 — водосливная плотина; 3 — глухая плотина.

таких гидроузлов существенное влияние оказывает принимаемая схема пропуска расходов в период строительства. Выделяют четыре различные компоновки.

Береговая компоновка. Основные бетонные сооружения (здание ГЭС, водосливная плотина, шлюз) располагаются либо на одном берегу — односторонняя компоновка (рис. 15.2 А), либо на разных берегах (например, здание ГЭС и водосливная плотина на одном берегу, а шлюз — на другом) — береговая двусторонняя компоновка. Достоинством береговой компоновки с точки зрения условий производства строительных работ является уменьшение высоты и длины перемычек, ограждающих котлован основных сооружений (см. гл. 33). При расположении котлована на незатопляемом берегу необходимость устройства таких перемычек вообще исключается.

Недостатком данной схемы является необходимость выполнения больших объемов выемки грунта в котловане, а также в подводящем и отводящем каналах.

Пойменная компоновка. Основные сооружения размещаются в пойме реки (рис. 15.2 II). В период строительства котлован ограждается продольной и поперечными перемычками. Пропуск строительных расходов, в том числе паводка, осуществляется по руслу реки. При такой компоновке объемы земляных (или скальных) работ меньше по сравнению с береговой компоновкой, но котлован ограждается более высокими перемычками.

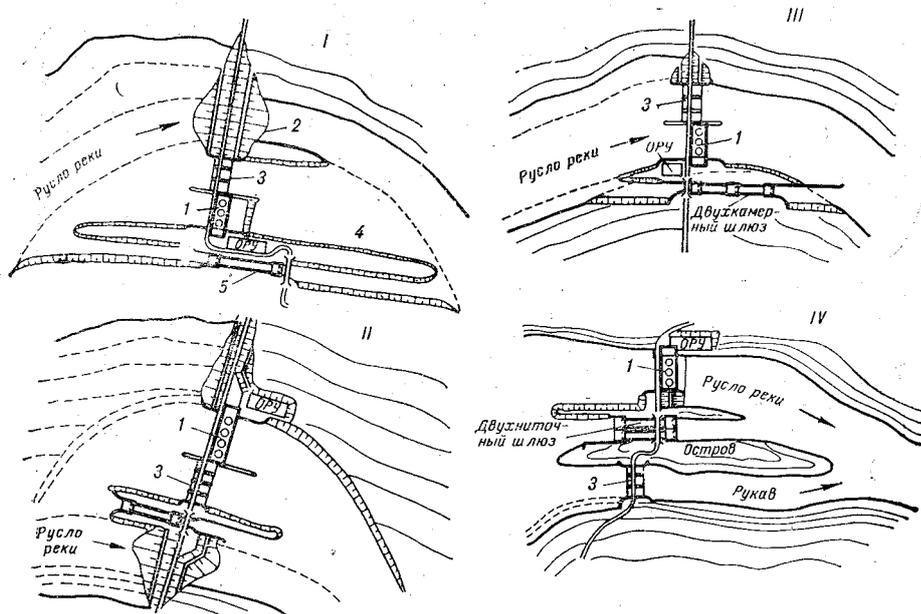


Рис. 15.2. Варианты компоновки гидроузлов с русловыми зданиями ГЭС.
1 — здание ГЭС; 2 — глухая плотина; 3 — водосливная плотина; 4 — отводящий канал; 5 — шлюз.

Русловая компоновка. Применяется обычно при значительной ширине створа и крутых берегах (рис. 15.2 III). Бетонные сооружения занимают всю или большую часть ширины русла реки, одновременное их возведение в отличие от береговой и пойменной компоновки обычно невозможно, оно осуществляется в две (иногда в три) очереди. Котлован в этом случае должен быть отгорожен высокими перемычками, рассчитанными на пропуск паводков и ледоходов через стесненную часть русла, что часто связано с большими затруднениями.

Смешанная компоновка. Является промежуточной между береговой (пойменной) и русловой. Основные бетонные сооружения располагаются на берегу или пойме и частично в русле или занимают всю ширину русла и часть берега или поймы.

В компоновке, приведенной на рис. 15.2 IV, здание ГЭС занимает часть русла реки, водосливная плотина перекрывает рукав, а шлюз размещается на острове.

Классическим примером русловой компоновки гидроузла с гидроэлектростанцией большой мощности является Волжская ГЭС им. XXII съезда КПСС.

В каждом случае выбор варианта компоновки сооружений определяется минимумом объема строительных работ и стоимости гидроузла.

15.2.2. Приплотинные гидроэлектростанции

Приплотинные здания гидроэлектростанций сооружаются при напорах от 30—40 до 200—300 м. Верхний предел напора определяется высотой плотины. Характерная особенность приплотин-

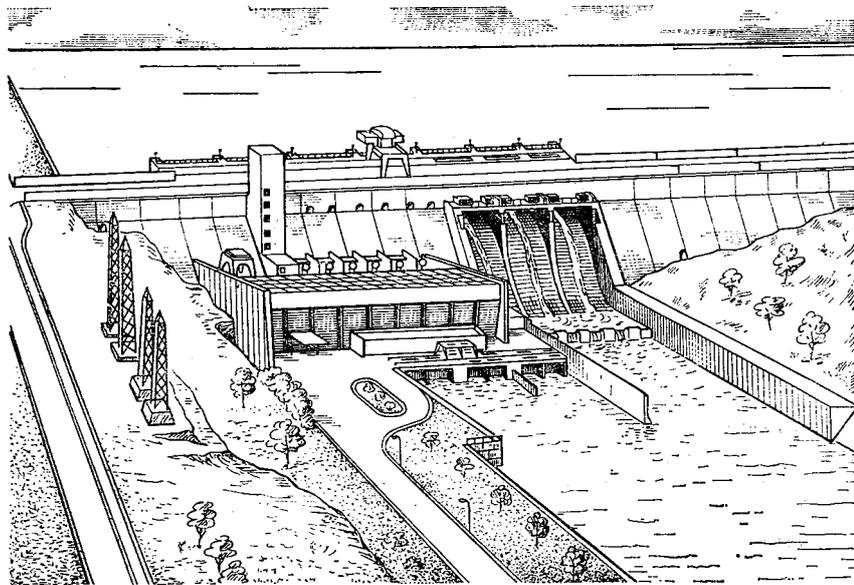


Рис. 15.3. Гидроузел с приплотинным зданием ГЭС.

ного здания ГЭС состоит в том, что оно не является водоподпорным сооружением и располагается за плотиной или в стороне от нее (рис. 15.3). В данном случае большое влияние на компоновку оказывает тип плотины, так как от высоты и ширины ее по подошве зависит длина напорных водоводов и компоновка здания гидроэлектростанции. Турбинные водоводы могут быть проложены в теле бетонной плотины на низовой или напорной ее грани (рис. 15.4 а).

К приплотинным зданиям ГЭС условно могут быть отнесены и так называемые *встроенные здания*, т. е. размещенные внутри

полости в теле бетонной гравитационной плотины (рис. 15.4 б). Такое решение целесообразно лишь при определенных соотношениях высоты плотины и размеров гидроагрегатов. Устройство полости внутри тела плотины уменьшает объем бетона, но при этом усложняется напряженное состояние конструкции.

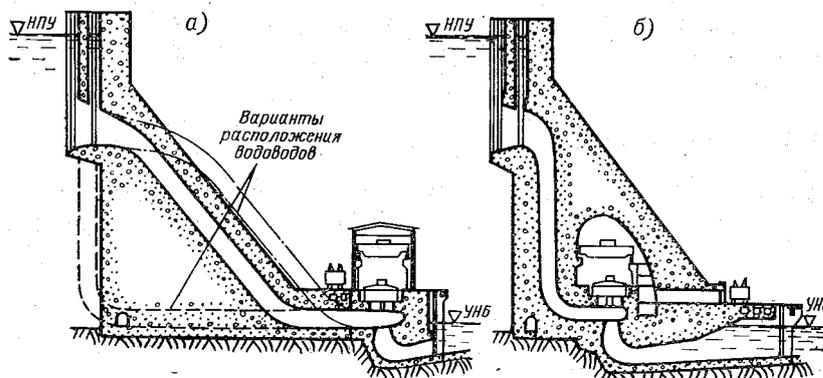


Рис. 15.4. Варианты расположения турбинных водоводов при расположении здания ГЭС за бетонной плотиной (а) и встроенное здание ГЭС (б).

В случае строительства плотины из грунтовых материалов взаимное расположение здания ГЭС и плотины аналогично вариантам, изображенным на рис. 15.3 и 15.4.

15.3. Компонировка ГЭС при деривационной схеме использования водной энергии

Сооружения деривационных ГЭС (а также с плотинно-деривационной схемой концентрации напора) по местоположению и назначению разделяются на следующие основные узлы.

Головной узел объединяет сооружения, предназначенные для создания подпора в реке и направления потока в деривацию, очистки воды от сора и наносов, а иногда от льда и шуги: плотину, водосбросные устройства, водоприемник (водозабор), отстойник, промывные и ледосбросные устройства. Следует отметить, что такие сооружения, как отстойник, водосброс, шугосброс, могут размещаться, исходя из местных условий не только на головном узле, но и в различных местах трассы деривации.

Деривационные водоводы и сооружения на их трассе (собственно деривация) осуществляют подвод воды к станционному узлу сооружений. Деривационные водоводы могут быть напорными — туннели, трубопроводы (рис. 15.5) или безнапорными — каналы, туннели, лотки (рис. 15.6). На трассе безнапорной деривации устраивают ливнеспуски, акведуки, дюкеры, боковые водосбросы, пороги для защиты от наносов, защитные устройства от камнепадов, селей и другие сооружения. На трассе

деривации, обычно в конце ее, могут устраиваться бассейны суточного регулирования (рис. 15.6).

Станционный узел объединяет комплекс сооружений в конце деривационного тракта: напорный бассейн, аварийный



Рис. 15.5. Деривационная ГЭС с напорной деривацией.

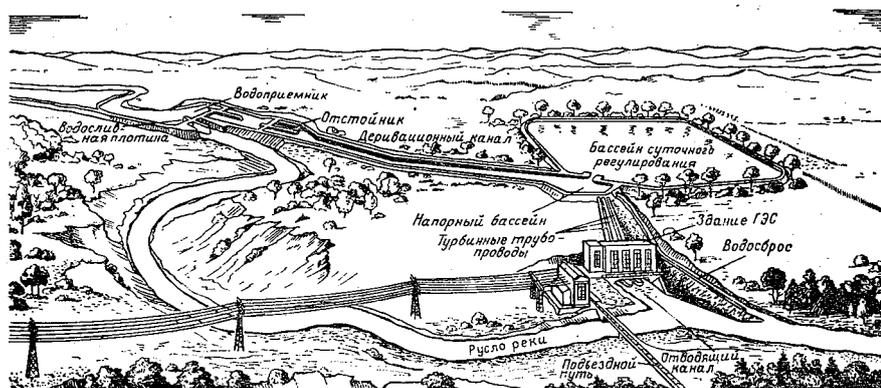


Рис. 15.6. Деривационная ГЭС с безнапорной деривацией.

водосброс, соро- и льдозащитные устройства — при безнапорной деривации, а при напорной — уравнительный резервуар. Независимо от типа деривации к станционному узлу относятся турбинные водоводы, здание ГЭС (собственно станция), распределительное устройство, отводящий водовод (канал, туннель).

Наиболее важные из перечисленных выше сооружений (плотины, водозаборы, отстойники и др.) рассмотрены в предшествующих разделах книги. Далее мы остановимся на особенностях деривационных водоводов.

В конструкциях деривационных каналов учитываются особенности гидравлического режима, который может быть не только равномерным, но и неравномерным и неустановившимся.

Когда расход через турбины ГЭС уменьшается, равномерный гидравлический режим канала переходит в режим подпора, и уровень воды в конце канала начинает повышаться. В пределе в канале может установиться статический горизонт. Для того чтобы не допустить перелива воды через дамбы канала, надо поднять их бермы выше статического горизонта и расположить горизонтально (линия 3 на рис. 15.7 а). Такой канал называют саморегулирующимся (рис. 15.7 а). При большой глубине само-

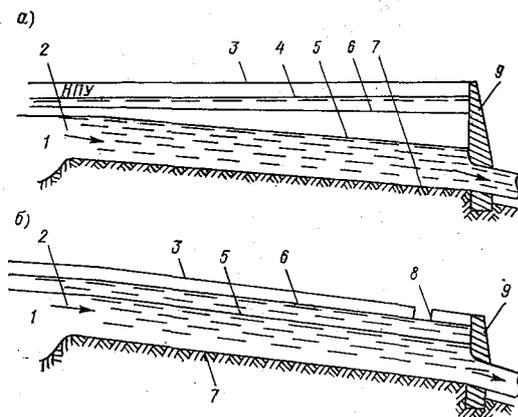


Рис. 15.7. Схематические продольные профили деривационных энергетических каналов.

а — саморегулирующийся (с горизонтальными бермами); б — несаморегулирующийся (с наклонными бермами); 1 — водохранилище; 2 — вход в канал; 3 — бермы; 4 — статический уровень воды; 5 — уровень воды при максимальном расходе; 6 — уровень воды при минимальных расходах; 7 — дно канала; 8 — боковой водослив; 9 — фронтальная стенка напорного бассейна.

регулирующихся каналов глубина выемки в конце канала оказывается значительно больше, чем глубина выемки в голове канала, и стоимость сооружения его увеличивается. Для удешевления стоимости канала его строят с наклонными бермами, но в конце располагают боковой холостой сброс. Такой канал называют несаморегулирующимся (рис. 15.7 б). Применяют также холостые сбросы с автоматическими затворами.

При мгновенном закрытии турбин (при сбросе нагрузки гидростанции) в канале возникает волнообразное неустановившееся движение воды и уровень повышается над отметками равномерного режима, что также должно быть учтено при назначении высоты порога бокового водослива или отметок берм.

В случае применения напорных дериваций (туннелей, трубопроводов) на них устраивают так называемые уравнивательные башни (шахты, резервуары), предназначенные для смягчения гидравлического удара в напорных водоводах при быстром изменении скорости течения воды, вызванном маневрами затворов или направляющих аппаратов турбин.

В напорной системе гидроэлектрической установки гидравлический удар возникает при аварийном сбросе нагрузки, происходящем по различным причинам. В этих случаях турбина, потеряв

нагрузку, резко и значительно увеличивает число оборотов против нормального расчетного и, как говорят, переходит на разгонный режим. На таком режиме турбина по своей конструкции может работать только очень ограниченное время — несколько минут. Поэтому при сбросе нагрузки необходимо как можно скорее закрыть направляющий аппарат турбины и остановить машину. Однако быстрое закрытие направляющего аппарата вызывает в напорной системе гидравлический удар и значительное повышение напора в трубопроводе и туннеле. Таким образом, возникает противоречие, сводящееся к тому, что для сохранения агрегата надо быстрее закрыть направляющий аппарат, а для сохранения трубопровода надо возможно медленнее закрывать направляющий аппарат.

Не входя в рассмотрение теории гидравлического удара, отметим только, что при быстром закрытии направляющего аппарата турбины перед ним возникает прямая или положительная волна давления, которая, продвигаясь по трубопроводу (и туннелю), распространится до водоприемника, отразится от его свободной поверхности и пойдет в обратном направлении к турбине как отрицательная волна. Если обратная волна придет к затвору, когда он уже будет полностью закрыт, возникнет так называемый *прямой гидравлический удар*, сопровождающийся наибольшим повышением давления перед затвором; если обратная волна придет к затвору через время t_b , когда он еще не вполне закрыт, будет иметь место так называемый *непрямой удар*, при котором повышение давления в системе будет меньшим.

Для обеспечения непрямого удара необходимо, чтобы время закрытия затвора перед турбиной t_t было больше t_b , но при длинных трубопроводах это время может оказаться столь большим, что турбина окажется в аварийном состоянии. Поэтому время t_t задают по допустимому времени вращения турбины на разгонном числе оборотов, а для соблюдения неравенства $t_t > t_b$ уменьшают время t_b , для чего надо сократить путь, по которому проходят прямая и обратная волны. Указанной цели достигают сооружением на трубопроводе уравнительного резервуара (см. рис. 15.8). В этом случае путь волн резко сокращается, так как будет измеряться от затвора перед турбиной (направляющий аппарат) не до водозабора, а только до свободной поверхности в резервуаре.

Уравнительные резервуары строят в виде простого вертикального цилиндра или цилиндра с гидравлическими сопротивлениями, цилиндра с камерами и пр. Уравнительные башни возводят из железобетона, стали или выполняют в виде шахт горными методами. Железобетонная уравнительная башня так называемого дифференциального типа представлена на рис. 15.8. При сбросе нагрузки и возникновении гидравлического удара объем воды в уравнительной камере увеличивается и уровень в ней повышается. Так как гидравлический удар представляет собой волнообразное явление, то и уровень воды в уравнительной

башне также волнообразно колеблется относительно положения равновесия.

Задача гидравлического расчета уравнительной башни заключается в определении дополнительного объема воды, входя-

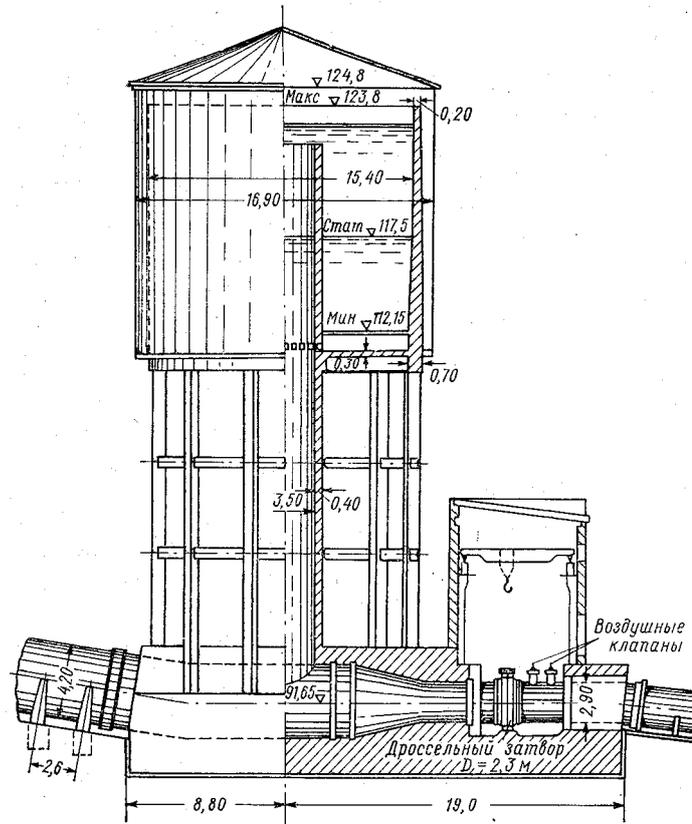


Рис. 15.8. Железобетонная уравнительная башня.

щей в башню, и наивысшего горизонта волнового колебания ее уровня. Эти вопросы изучаются в специальных курсах гидравлики. В некоторых случаях допускают перелив воды через верх уравнительной башни; такие башни называют уравнительными башнями с водосливом. Другой способ обеспечить не прямой удар в трубопроводе заключается в сохранении некоторой скорости течения воды в системе за счет устройства, называемого *холостым спуском (регулятором давления)*.

Холостой спуск выполняют как отросток трубы от улитки турбины, выходящий в нижний бьеф, чаще всего в отсасывающую трубу. На холостом спуске устанавливают затвор, который при сбросе нагрузки автоматически быстро открывается, когда

направляющий аппарат закрывается. Закрытие же затвора холостого спуска производят после закрытия направляющего аппарата также автоматически, но медленно, с тем чтобы не вызвать нового гидравлического удара. При наличии регулятора давления отраженная волна давления придет к зданию ГЭС, когда холостой спуск будет полностью открыт, вследствие чего в затворе будет некоторая скорость течения, снижающая повышение давления.

На высоконапорных ГЭС со струйноковшовыми турбинами устраивают отклонители струй, которые автоматически вступают в действие при сбросе нагрузки, в результате чего вода перестает попадать на ковши рабочего колеса турбины. Поэтому время закрытия сопла можно выбирать достаточно большим, так как при наличии отклонителя струи это время не влияет на разгон агрегата, вызванный сбросом им нагрузки.

15.4. Специальные типы зданий ГЭС

Под специальными типами гидроэлектростанций принято понимать особые конструкции их зданий, принципиально отличающиеся от обычных приплотинных, русловых и деривационных установок. Можно выделить две подгруппы специальных типов ГЭС.

Первая подгруппа характеризуется тем, что здания ГЭС одновременно с основными задачами выполняют также функции водосбросных сооружений. К этой подгруппе относятся совмещенный и водосливный типы, а также не получивший пока широкого применения в практике отечественного гидростроительства бычковый тип.

Здания ГЭС второй подгруппы имеют специфические конструкции машинного зала, либо отличаются местом размещения машинного зала. Ко второй подгруппе относятся открытый и полукрытый тип зданий, подземный и полуподземный типы и некоторые другие.

Водосбросные отверстия совмещенных ГЭС для пропуска паводков размещаются обычно в нижней части здания и осуществляются в виде водосбросных напорных галлерей, берущих начало под водоприемной частью здания, далее идущих под спиральной камерой в обход отсасывающих труб и выведенных под диффузорами последних (рис. 15.9). Такие водосбросные отверстия имеют Каховская ГЭС на р. Днепре, Новосибирская на р. Оби, а также крупнейшие Волжские ГЭС им В. И. Ленина и имени XXII съезда КПСС.

На водосливных ГЭС паводковые расходы воды пропускаются над машинным залом по всей его длине или отдельными лотками. В подавляющем большинстве гидроузлы с водосливными ГЭС других водопропускных сооружений не имеют. Примерами таких гидроэлектростанций в нашей стране являются Ириклинская на р. Урале, Плявиньская на р. Даугаве и ряд других.

На низконапорных водосливных ГЭС (с напорами до 15—20 м), характеризующихся небольшими высотными размерами зданий станций, часто устанавливают так называемые *капсульные гидроагрегаты* с горизонтальной осью. Они работают на Череповецкой ГЭС на р. Шексне, а также на Киевской и Каневской ГЭС на р. Днепре и др.

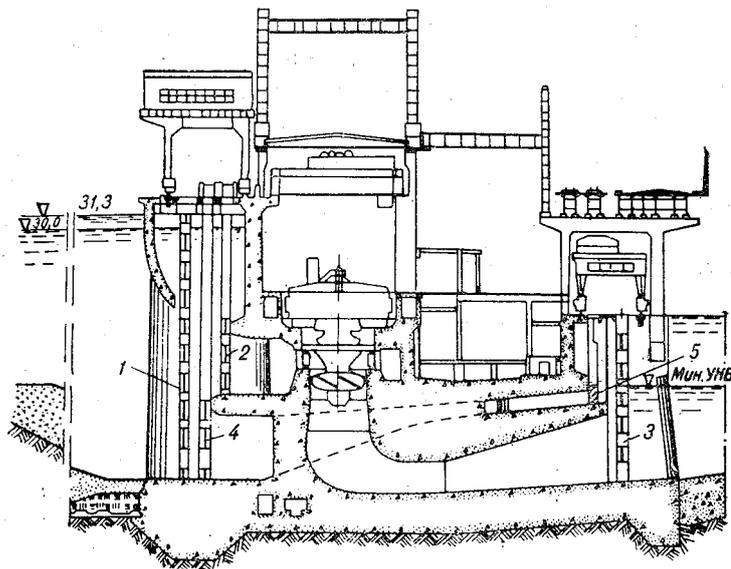


Рис. 15.9. Совмещенная ГЭС.

1 — общий ремонтный затвор; 2 — затвор турбины; 3 — затвор отсасывающей трубы; 4, 5 — верховой и низовой затворы водосливных отверстий.

Характерной особенностью бычковых ГЭС является отсутствие единого здания станции как такового и чередование одноагрегатных блоков ГЭС (размещенных в бычках) с водосливными пролетами плотины (в СССР бычковых ГЭС не имеется).

Стремление удешевить стоимость силовых зданий ГЭС привело к применению машинных залов особой конструкции.

Открытые здания ГЭС не имеют машинного зала, а их генераторы защищены от атмосферных воздействий индивидуальными съемными колпаками, сделанными обычно из какого-либо металла. Строительство таких ГЭС целесообразно в условиях умеренного и теплого климата, в местностях, где не бывает сильных ливней, песчаных бурь или ветров большой силы, где не опасна возможность обмерзания колпаков и т. п. Поэтому открытый тип получил распространение главным образом в США; в условиях нашей страны предпочтение отдается полукрытому типу.

Полуоткрытое здание часто называют зданием ГЭС с пониженным машинным залом. В верхнем перекрытии такого здания делают люки со съёмными крышками. Через люки производят монтаж и ремонт агрегатов, используя специально имеющиеся для этой цели козловые краны. Горьковская и Днепродзержинская ГЭС на р. Днепре имеют здания рассматриваемой конструкции. Крупнейшей установкой данного типа будет строящаяся Нурекская ГЭС на р. Вахш.

Подземная ГЭС — наиболее многочисленная группа из всех специальных типов; общее число эксплуатируемых и строящихся подземных ГЭС превысило 400.

Анализ технико-экономических показателей и условий эксплуатации гидроэлектростанций с подземным расположением здания ГЭС показывает, что эти гидроэлектростанции обладают рядом преимуществ, главными из которых являются следующие.

1. При сооружении здания гидроэлектростанции под землей выбор места его расположения на водопроводящем тракте практически лишен ограничений, если геологические условия благоприятны. В этом случае принимают также наиболее целесообразные варианты компоновок других сооружений ГЭС (уравнительных резервуаров и пр.).

2. Для восприятия части нагрузок в конструкциях подземного здания ГЭС и в элементах его оборудования используется несущая способность окружающего скального массива. В прочных породах конструктивные элементы подземного здания гидроэлектростанции (колонны, подкрановые балки, стены, подгенераторные конструкции) могут быть облегчены за счет использования несущей способности скального массива.

3. Подземные сооружения гидроэлектростанции надежно работают в любых климатических условиях зимой и летом, тогда как при открытом расположении сооружений в горных районах возникает необходимость в их защите от лавин, обвалов, камнепадов, в проведении специальных мероприятий, обеспечивающих надежную эксплуатацию каналов и открытых турбинных водоводов в зимнее время (борьба с шугой, с обмерзанием открытых водоводов).

4. Строительно-монтажные работы могут производиться вне зависимости от погодных условий, что особенно важно для северных районов с суровым климатом и для тропических районов с длительным дождливым периодом.

Основные недостатки подземного расположения здания ГЭС заключаются в применении постоянного искусственного освещения и непрерывной вентиляции помещений, что приводит к увеличению расхода электрической энергии на собственные нужды.

Экономические и технологические преимущества гидроэлектростанций с подземным расположением сооружений способствуют интенсивному развитию их строительства в различных странах мира.

В СССР в различных климатических зонах (на Кольском полуострове, в районах Крайнего Севера, Кавказа и Средней Азии) успешно эксплуатируются гидроэлектростанции с подземным расположением сооружений общей мощностью более 1 млн. кВт. Опыт строительства и эксплуатации этих гидроэлектростанций в СССР позволил приступить к сооружению более мощных ГЭС: вступила в строй Ингурская ГЭС мощностью 1300 МВт, строятся Колымская и Рогунская ГЭС.

Полуподземные ГЭС по существу являются переходными от обычных наземных к подземным и в зависимости от местных особенностей и геологических условий имеют разные варианты конструкций. На первой в нашей стране полуподземной Вилюйской ГЭС, находящейся в Якутии, здание станции устроено в котловане, верхнее перекрытие здания расположено на уровне поверхности земли и мостовые краны, обслуживающие агрегаты, установлены внутри.

Глава 16. Работа гидроэлектростанций в энергоэлектрической системе

16.1. Экономические показатели гидроэнергетических установок

Определение технико-экономических показателей необходимо при проектировании ГЭС, выборе ее параметров, компоновок, типов и размеров сооружений и оборудования и при решении более общих вопросов об эффективности данной ГЭС и целесообразности ее строительства. Эти задачи рассматриваются в специальных курсах в вузах, готовящих инженеров-гидротехников. Здесь же дается лишь краткое рассмотрение основных и наиболее часто применяемых экономических показателей.

Важным экономическим показателем является стоимость строительства, которая определяется сметой, включающей затраты на выполнение подготовительных работ, затраты на строительно-монтажные работы по возведению всех сооружений гидроузла (плотины, здание ГЭС, каналы, туннели, шлюзы и другие, подготовка ложа водохранилища), затраты на подсобно-производственные и обслуживающие сооружения, на благоустройство территории и т. д., а также на объекты жилищного и гражданского строительства. После завершения строительства некоторая часть затрат возвращается (частично стоимость временных сооружений, стоимость материалов от разборки конструкций и др.). Разность между сметной стоимостью строительства и возвратными суммами дает капитальные вложения на ГЭС.

Большинство гидроэлектростанций представляет собой объекты комплексного назначения. Кроме энергетических функций

они могут обеспечить расширение орошения, улучшить условия водного транспорта, использоваться для борьбы с наводнениями, для водоснабжения, для улучшения состояния окружающей среды и др. Очевидно, что общие капиталовложения по ГЭС должны быть разнесены соответственно на все элементы водохозяйственного комплекса, пропорционально получаемому этими элементами хозяйственному и экономическому эффекту. Таким образом, выделяется часть капиталовложений, относимых на энергетику.

Для сопоставлений широко используются удельные капиталовложения, отнесенные к единице установленной мощности ГЭС $N_{уст}$

$$K_N^{уд} = K/N_{уст} \quad (16.1)$$

и к 1 кВт·ч среднегодовой выработки энергии \mathcal{E}

$$K_{\mathcal{E}}^{уд} = K/\mathcal{E}. \quad (16.2)$$

В (16.1) и (16.2) K — капиталовложения, отнесенные на энергетику. Значения $K_N^{уд}$ для различных ГЭС колеблются в довольно широких пределах и составляют 150—350 руб/кВт. Значения $K_{\mathcal{E}}^{уд}$ обычно лежат в пределах 0,04—0,18 руб/(кВт·ч).

Другим важным экономическим показателем ГЭС являются ежегодные издержки. Определение ежегодных издержек I требует учета затрат на оплату эксплуатационного персонала Π , охрану O , затрат на приобретение необходимых материалов M , затрат на производство как текущих P_t , так и капитальных P_k ремонтов, затрат по дополнительным издержкам в процессе эксплуатации $I_{доп}$. В состав ежегодных издержек включаются также начисления, компенсирующие неизбежный физический и моральный износ сооружений и оборудования, — так называемые амортизационные отчисления A . Таким образом, ежегодные издержки определяются суммой

$$I = \Pi + O + M + P_t + P_k + I_{доп} + A, \quad (16.3)$$

причем амортизационные отчисления зависят от капиталовложений $A = \alpha K$ (коэффициент амортизации α в среднем составляет 0,02—0,03).

Себестоимость энергии ГЭС $b_{себ}$ определяется из выражения

$$b_{себ} = I/\mathcal{E}, \quad (16.4)$$

где I — ежегодные издержки, \mathcal{E} — среднегодовая выработка энергии. Обычно себестоимость ГЭС составляет 0,05—0,15 коп/(кВт·ч), что в 4—6 раз меньше, чем себестоимость энергии тепловых и атомных электростанций. Однако удельные капиталовложения в гидроэнергетику получают в большинстве

случаев выше капиталовложений в тепловые электростанции, даже с учетом затрат на развитие топливной базы (расширение добычи угля, нефти, газа) и его транспорта.

В связи с этим определение эффективности капиталовложений в строительство гидроэлектростанций, а также выбор параметров ГЭС производится путем сопоставления с другими возможными вариантами электроснабжения — строительством тепловых (ТЭС) или атомных (АЭС) электростанций.

16.2. Электроэнергетические системы

Эксплуатация мощных электрических станций наиболее эффективно осуществляется при параллельной работе этих станций в крупных энергосистемах. Эти системы объединяют различные электрические станции, повысительные и понизительные подстанции, внутрисистемные линии электропередачи, вспомогательные предприятия. Районные электроэнергетические системы соединяются друг с другом высоковольтными линиями электропередачи (ВЛ) и образуют объединенные электроэнергетические системы (ОЭС). В результате объединения отдельных ОЭС образуются более крупные — единые электроэнергетические системы (ЕЭС). Примером такого объединения является Единая электроэнергетическая система европейской части СССР (ЕЕЭС), которая включает в себя ОЭС Северо-Запада, Центра, Средней Волги, Урала, Юга, Северного Кавказа и Закавказья.

Для оперативного управления работой энергетических систем создаются специальные диспетчерские службы, которые объединяются в диспетчерские управления (ОДУ). Они осуществляют оперативное управление режимами работы электростанций системы, поддерживают наиболее выгодные нагрузки на агрегатах и станциях, ведут расчеты режимов работы всех входящих в энергетическую систему электростанций, линий электропередачи и других элементов системы.

Опыт эксплуатации объединенных энергосистем показывает, что на электростанциях системы можно уменьшить резервные мощности, так как снижается вероятность совпадения во времени крупных аварий, которые могут произойти в отдельных энергосистемах.

Единая энергетическая система в СССР — крупнейшая энергосистема мира — в настоящее время объединяет Единую энергосистему европейской части СССР, ОЭС Северного Кавказа и ОЭС Сибири, что позволяет повышать надежность и качество электроснабжения народного хозяйства страны. Оперативное управление ЕЭС СССР осуществляется центральным диспетчерским управлением (ЦДУ), находящимся в Москве, которому подчинены все объединенные диспетчерские управления и диспетчерские службы районных энергосистем.

Создание крупных объединенных энергосистем общенационального и международного значения является одной из наиболее

лее характерных особенностей мировой энергетики. Так, в Европе действуют объединение энергосистем стран — членов СЭВ — система «Мир» и объединение западно-европейских стран — «Союз по координации производства и передачи электроэнергии» (СКППЭ).

Развитие энергосистем и их объединений сопровождается постоянным развитием линий электропередачи, дальнейшим увеличением их протяженности, пропускной способности и напряжений.

16.3. Графики нагрузки энергосистем

Промышленные, сельскохозяйственные, коммунально-бытовые предприятия, освещение, электрифицированный транспорт и другие группы потребителей электрической энергии в связи со спецификой своей работы создают неравномерную нагрузку электроэнергетических систем, к которым они присоединены. Изменение электрической нагрузки электрических систем во времени обычно изображают в виде графиков.

Наиболее широко используются графики, характеризующие изменение нагрузки (мощности) энергосистемы в течение суток, недели, года. Графики, характеризующие изменение нагрузки энергосистемы в течение суток,

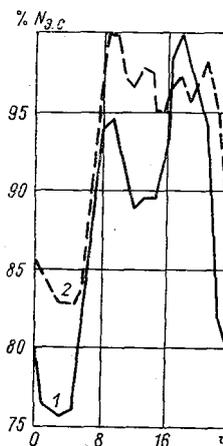


Рис. 16.1. Суточный график электрической нагрузки энергосистемы.

1 — зимний день; 2 — летний день.

называются *суточными графиками нагрузки энергосистемы*; они показывают, какую суммарную мощность в каждый момент времени суток необходимо иметь на зажимах генераторов электростанций, работающих в рассматриваемой энергосистеме. Площадь суточного графика нагрузки энергосистемы характеризует необходимую суточную выработку электрической энергии на электростанциях системы.

Форма суточного графика нагрузки энергосистемы зависит от характера и продолжительности работы присоединенных к энергосистеме потребителей электроэнергии. Типичный суточный график электрической нагрузки энергосистемы промышленного района представлен на рис.16.1. График нагрузки зимнего дня имеет два ярко выраженных пика и два провала. Из графика видно, что колебания нагрузки в энергосистеме от минимума до максимума значительны. Минимальная нагрузка в ночные часы составляет примерно 0,65 суточной максимальной на-

грузки. График нагрузки летнего дня имеет обычно три-четыре пика.

В суточном графике нагрузки выделяют три характерные зоны: базис, полупик и пик графика. *Базисом* называется часть графика, расположенная между осью абсцисс и горизонтальной линией, проведенной на уровне минимальной мощности. *Полупиком* называется часть графика, расположенная между горизонтальными линиями, проведенными на уровне минимальной и средней мощности. *Пиком* называется часть графика, расположенная выше горизонтальной линии, проведенной на уровне средней мощности.

Постоянное развитие энергоемких производств и энерговооруженности промышленных предприятий, внедрение автоматизации, интенсивный рост коммунально-бытовой и сельскохозяйственной нагрузки приводят наряду с абсолютным увеличением нагрузок энергосистем к значительному приросту пиковых нагрузок, для покрытия которых система должна располагать соответствующей мощностью.

При объединении энергосистем получают некоторое уменьшение суточного максимума нагрузки. Эффект снижения суточного максимума нагрузки объединенной энергосистемы происходит в связи с одновременностью максимумов нагрузки параллельно работающих энергосистем; в этом случае максимальная нагрузка Объединенной энергосистемы становится меньше арифметической суммы максимальных нагрузок отдельных энергосистем. Наибольший эффект в снижении максимальной нагрузки получается при объединении энергосистем, расположенных в различных поясных районах страны.

Гарантированная мощность гидроэлектростанций, входящих в энергосистему, как правило, меньше максимальной нагрузки энергосистемы, в которой они работают. Поэтому гидроэлектростанции покрывают лишь некоторую часть суточного графика нагрузки энергосистемы. Остальная часть графика покрывается другими электростанциями, работающими в данной энергосистеме. Следовательно, в общем виде можно записать:

$$N_{\text{макс. эс}} = \sum N_{\text{гар. гЭС}} + \sum N_{\text{гар. тЭС}} + \sum N_{\text{гар. аЭС}}, \quad (16.5)$$

где $N_{\text{макс. эс}}$ — максимальная мощность энергосистемы; $N_{\text{гар. гЭС}}$, $N_{\text{гар. тЭС}}$ и $N_{\text{гар. аЭС}}$ — соответственно гарантированные мощности гидравлических, тепловых и атомных электростанций, с которыми они участвуют в покрытии графика нагрузок энергосистемы.

Изменение электрических нагрузок энергосистемы в течение суток и в более длительный период времени требует соответствующего изменения мощности на электростанциях данной системы и оптимального распределения нагрузки между ними.

В крупных энергосистемах выработка электроэнергии гидроэлектростанциями обычно размещается в верхней пиковой части суточного графика нагрузки, так как ГЭС лучше других элек-

тростанций приспособлены к быстрому изменению режимов работы, покрытию кратковременных пиков нагрузок. Подобное размещение суточной выработки гидроэлектростанции практически всегда осуществляется в том случае, если она располагает водохранилищем или бассейном суточного регулирования, позволяющим перераспределить естественный суточный сток, и если изменение турбинных расходов, вызванное изменением нагрузок, не ограничивается какими-либо условиями.

Наряду с суточными графиками нагрузки в практике широко применяются графики, характеризующие изменения нагрузки энергосистемы и в более длительные периоды времени.

Глава 17. Особые схемы использования водной энергии

17.1. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)

Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) перераспределяют электроэнергию, вырабатываемую другими электростанциями, во времени в соответствии с требованиями потребителей. Принцип действия гидроаккумулирующей станции основан на ее работе в двух режимах: насосном и турбинном. В насосном режиме вода из нижнего водохранилища (бассейна) ГАЭС (рис. 17.1 I) перекачивается в вышерасположенный верхний бассейн. Во время работы в насосном режиме (обычно в ночные часы, когда нагрузка в энергосистеме снижается) ГАЭС потребляет электрическую энергию, вырабатываемую тепловыми электростанциями энергосистемы. В турбинном режиме ГАЭС использует запасенную в верхнем бассейне воду, агрегаты станции при этом вырабатывают электроэнергию, которая подается потребителю в часы пиков нагрузки.

Гидроаккумулирующие электростанции можно классифицировать по следующим признакам.

По схеме аккумуляирования:

- 1) ГАЭС простого аккумуляирования, иногда их называют чистыми ГАЭС (рис. 17.1 I). Характерным признаком ГАЭС такого типа является отсутствие притока воды в верхний бассейн;
- 2) ГАЭС смешанного типа, или ГЭС—ГАЭС, при этой схеме имеется приток воды в верхний бассейн, который, срабатываясь в турбинном режиме, дает дополнительную выработку энергии (рис. 17.1 II);
- 3) ГАЭС в схеме переброски стока (рис. 17.1 III), или ГАЭС с неполной высотой подкачки в бассейн или канал на водоразделе. Характерным для этой схемы является раздельное расположение насосной и гидроэлектрической станций, в связи с чем эту схему иногда называют раздельной.

По длительности цикла аккумулярования, т. е. по периоду сработки и наполнения бассейна различают ГАЭС суточного, недельного и сезонного аккумулярования.

По схеме основного гидросилового оборудования: 1) четырехмашинная схема, имеющая отдельные насосный и турбинный

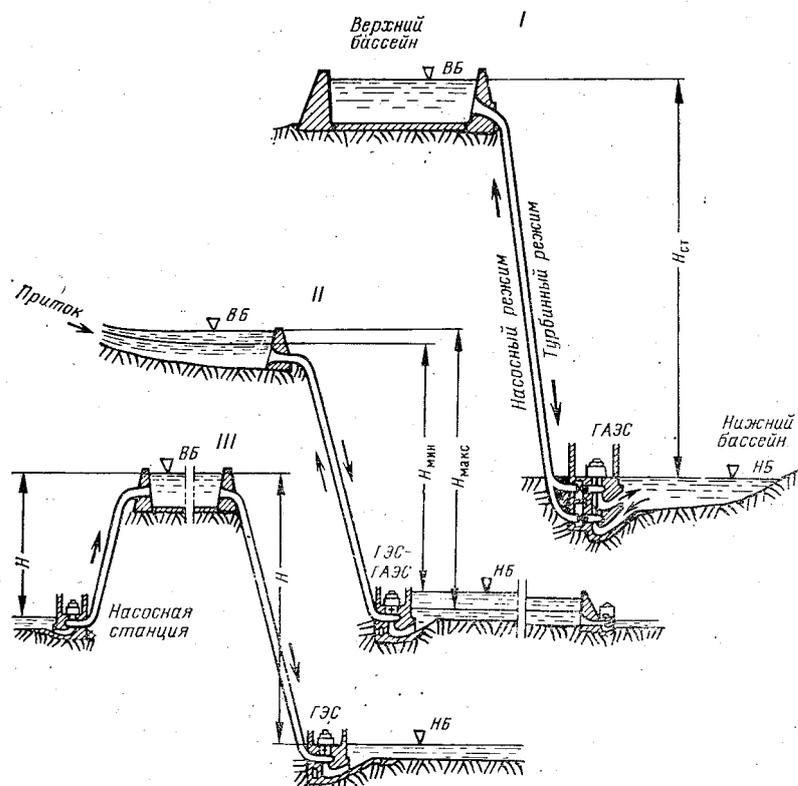


Рис. 17.1. Схемы ГАЭС.

агрегаты, т. е. четыре машины (двигатель, насос, турбина и генератор); 2) трехмашинная схема (двигатель-генератор, насос и турбина); 3) двухмашинная схема (двигатель-генератор и обратимая гидромашина).

ГАЭС предназначены для работы в составе энергосистемы совместно с другими гидроэлектростанциями или совместно с одной-двумя ТЭС или АЭС. На рис. 17.2 а показано, что при отсутствии ГЭС или ГАЭС суммарные колебания нагрузок ТЭС и АЭС ($\pm \Delta N_{ТЭС+АЭС}$) энергосистемы достигают 40—50 % максимальной нагрузки (ΣN) и с ростом бытовых нагрузок имеют тенденцию к дополнительному относительному росту. Колебания нагрузок агрегатов ТЭС и АЭС вызывают повышение

удельных затрат топлива, ускорение износа и сокращение сроков амортизации их оборудования, увеличение издержек и затрат времени на ремонт. На рис. 17.2 б видно, что покрытие пиковой части графиков суточных нагрузок с помощью ГЭС уменьшает колебания $\pm \Delta N_{ТЭС+АЭС}$. За счет работы ГАЭС в турбинном режиме также обеспечивается покрытие пиков графика, а в часы минимальных нагрузок ГАЭС работают в насосном режиме и потребляют энергию ТЭС или АЭС, повышают их загрузку и тем самым дополнительно уменьшают колебания нагрузки $\pm \Delta N_{ТЭС+АЭС}$ (рис. 17.2 в). Это улучшает условия эксплуатации ТЭС и АЭС и снижает суммарные затраты топлива в энергоси-

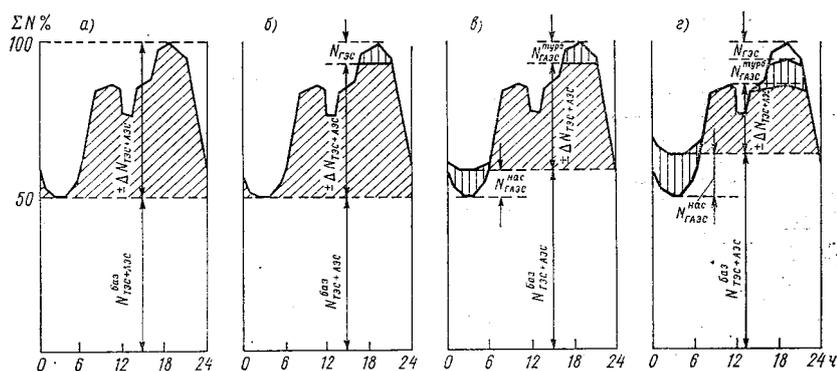


Рис. 17.2. Работа ГЭС и ГАЭС в графике суточной нагрузки.

стеме. Исключительной особенностью ГАЭС, которой не обладает никакой другой тип электростанций, является именно повышение нагрузок ТЭС и АЭС в часы минимумов («провалов») нагрузок.

ГАЭС могут быть использованы также в полупиковой части графика суточных нагрузок, если верхняя, самая острая часть пика графика обеспечивается за счет работы каких-либо других электростанций (рис. 17.2 г). В самой верхней части графика использование мощности ГАЭС в течение отдельных суток имеет место примерно в течение 1,5—3 ч, в полупиковой части графика 5—8 ч (соответственно употребляется термин: трехчасовая зона, пяти-, восьмичасовая зона и т. д.).

Во многих случаях при решении вопроса о строительстве ГАЭС возможность ее аварийно-резервного использования является решающим фактором. Опыт показал, что при эксплуатации энергосистем не удается полностью устранить возникновение аварийных ситуаций, приводящих к нарушениям и даже прекращению энергоснабжения. В зарубежных энергосистемах предусматриваются дополнительные запасы воды в верхних бассейнах ГАЭС, рассчитанные на аварийное кратковременное использование ГАЭС в течение 1,5—3 ч. При возникновении аварийных ситуаций ГАЭС включается на полную мощность в течение не-

скольких десятков секунд и обеспечивает непрерывность энерго-снабжения и возможность проведения работ по устранению последствий аварии. Очевидно, что такое использование ГАЭС имеет очень большое значение, так как устраняет необходимость создания других резервных пиковых электростанций.

Из приведенных на рис. 17.1 схем может сложиться впечатление, что строительство ГАЭС осуществимо только на местно-

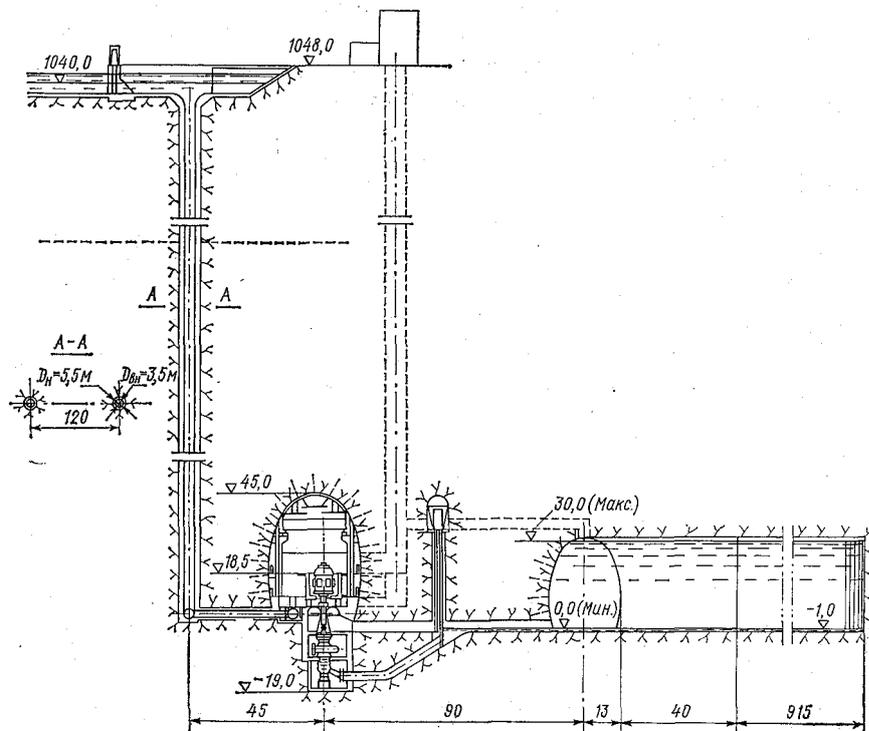


Рис. 17.3. ГАЭС с подземным машинным залом и нижним бассейном.

сти, обладающей некоторым перепадом высот, необходимым для создания напора. Однако это не так. ГАЭС сооружают и на совершенно ровной территории, размещая машинный зал станции и нижний бассейн под землей, например, как изображено на рис. 17.3.

Важная роль, которую играют ГАЭС в энергосистемах, является причиной быстрого роста количества и мощности таких станций. Во второй половине 70-х годов в 30 странах мира насчитывалось в эксплуатации и строительстве около 250 ГАЭС суммарной мощностью более 68 млн. кВт. По имеющимся данным, к 1990 г. мощность всех ГАЭС в мире достигнет примерно 100 млн. кВт, при их доле в энергосистемах до 5,6 % в США и 4 % в Западной Европе.

Единичные мощности построенных и строящихся ГАЭС достигают 1500—2000 МВт, проектируются ГАЭС мощностью 3000—3500 МВт. Большинство ГАЭС используют напоры 100—300 м и в отдельных случаях 800—900 м, а для ГАЭС с подземными бассейнами напоры могут достигать 1200—1500 м.

Первая ГАЭС в нашей стране — Кубанская насосно-аккумулирующая станция — построена в 1956 г. в головной части Большого Ставропольского канала.

В 1970 г. была введена в эксплуатацию Киевская ГАЭС суточного цикла аккумулярования; в качестве нижнего бассейна ГАЭС используется водохранилище Киевской ГЭС. Строятся Загорская (под Москвой) и Кайшядорская (в Литве) ГАЭС, а также Константиновская ГЭС—ГАЭС в составе Южно-Украинского энергетического комплекса на р. Южный Буг.

Институтом Гидропроект обоснована необходимость ввода в европейской части СССР до 1990 г. не менее десяти ГАЭС общей мощностью 10—12 млн. кВт. Ведутся проектные работы по Ленинградской, Днестровской, Теремлинской ГАЭС. Начаты изыскания и составление технико-экономических обоснований Ржевской ГАЭС, Поньшской ГАЭС на Урале, Ставропольской, Невинномысской ГАЭС на Северном Кавказе, Высокогорной ГЭС—ГАЭС на р. Тереке, Хамышкинской ГЭС—ГАЭС на р. Белой, Жигулевской, Каневской и других станций.

17.2. Приливные электрические станции (ПЭС)

Периодические повышения и понижения уровня моря при приливах и отливах определяются силами притяжения системы Земля—Луна—Солнце и центробежными силами. Амплитуда колебания уровня моря меняется с течением времени в зависимости от астрономических факторов. Ее максимальное значение в открытом океане составляет около 2 м и значительно увеличивается у побережья в проливах и узких заливах. Наибольшие приливы наблюдаются: в заливе Фанди в Северной Америке — 19,6 м, в устье р. Северн (Англия) — 16,3 м, во Франции в Гранвиле — 14,7 м. На побережье Советского Союза наибольшие приливы имеют место в Пянжинской губе Охотского моря — 11 м и в Мезенском заливе Белого моря — 10,2 м.

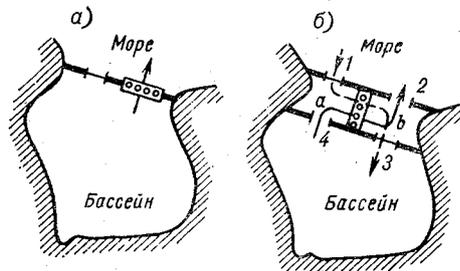
Использование энергии морских приливов издавна привлекало человечество. Одним из возможных направлений такого использования является строительство приливных электрических станций (ПЭС).

При наличии удобного естественного залива или фиорда он может быть отделен от моря плотиной и зданием ПЭС, образуя бассейн, уровни воды в котором в некоторые периоды времени будут отличаться от уровня моря и получающийся таким образом перепад (напор) использован для работы гидроагрегатов.

Принцип работы ПЭС рассмотрим на наиболее простой схеме, когда бассейн отгорожен от моря плотиной, имеющей

водопрпускные отверстия, и зданием ПЭС, в котором установлены турбины, способные работать только при течении воды из бассейна в море (рис. 17.4 а).

На рис. 17.5 показано изменение уровня моря в результате приливов и отливов, имеющее характер, близкий к синусоиде.



В момент времени, соответствующий точке А, водопрпускные отверстия открываются, вода из моря поступает в бассейн, турбины останавливаются. В точке В, когда отлив уже начался, уровни воды в море и в бассейне сравниваются. В этот момент затворы водопрпускных отверстий закрываются, поэтому уровень в бассейне сохраняется неизменным. Турбины ПЭС могут

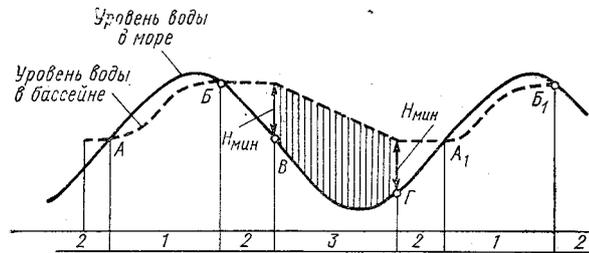


Рис. 17.5. Циклы работы однобассейновой ПЭС одностороннего действия.

быть пущены в момент времени, соответствующий точке В, когда благодаря понижению уровня моря будет достигнут напор $H_{мин}$. В период времени В—Г агрегаты ПЭС работают, уровень в бассейне постепенно понижается, водопрпускные отверстия остаются закрытыми. Когда напор опять понизится до технического минимума (точка Г), турбины останавливаются, уровень воды в бассейне опять сохраняется постоянным. В точке А₁ уровень воды в бассейне вновь сравнивается с уровнем моря и работа ПЭС продолжается в той же последовательности.

Рассмотренная ПЭС получила название *однобассейновой ПЭС одностороннего действия*, рабочий процесс которой состоит из следующих характерных циклов: А—В—наполнение; В—В—ожидание; В—Г—выработка электроэнергии; Г—А₁—ожидание.

Существенным недостатком ПЭС такого типа является то, что выработка электроэнергии происходит лишь в течение ограниченного времени и период прилива не используется для ее производства.

Этого недостатка лишены *однобассейновые ПЭС двустороннего действия*, на которых выработка электрической энергии возможна как при пропуске воды из бассейна в море (отлив), так и в обратном направлении (прилив) (см. рис. 17.4 б).

Увеличение выработки электроэнергии на ПЭС также может быть достигнуто за счет насосной подкачки воды в определенные циклы работы станции из моря в бассейн и из бассейна в море. (Разумеется, реализация этой идеи возможна только при работе ПЭС в одной энергосистеме с другими источниками электроэнергии.)

Включение в состав сооружений ПЭС специальных насосных станций неэкономично, и поэтому насосная подкачка возможна лишь в том случае, если агрегаты ПЭС являются не только двусторонними, но и обратимыми, т. е. допускают работу как в турбинном, так и в насосном режиме.

Одним из основных препятствий к использованию энергии приливов является прерывистость работы ПЭС и сдвиг по времени ее циклов каждые сутки на 50 мин (период прилива составляет 12 ч 25 мин). Для обеспечения непрерывной работы ПЭС предлагались сложные схемы с двумя, тремя и более бассейнами; однако стоимость осуществления таких вариантов весьма высока.

Для строительства достаточно простых ПЭС, способных при современном уровне развития техники конкурировать с другими источниками электрической энергии, необходимы благоприятные топографические условия (заливы с большой площадью зеркала при небольшой ширине протоки). К сожалению, таких мест, где бы сочетались большие амплитуды приливов и подобные топографические условия, сравнительно мало, в связи с чем интенсивное использование энергии приливов является трудной задачей.

В настоящее время во всем мире построены только две приливные электростанции: в СССР сооружена опытная Кислогубская ПЭС, расположенная в узкой горловине, соединяющей Баренцево море с заливом площадью 1,14 км², и ПЭС Ранс во Франции в устье р. Роны, впадающей в Ла-Манш.

Существуют проекты создания ряда мощных ПЭС в США, Франции и Австралии и некоторых других странах. У нас ведутся проектно-изыскательские работы для Лумбовской ПЭС на Кольском полуострове, Тугурской ПЭС на побережье Охотского и Мезенской ПЭС (мощностью 10 млн. кВт) на побережье Белого моря.



Раздел четвертый

ВНУТРЕННИЕ ВОДНЫЕ ПУТИ

Глава 18. Водные пути и их роль в народном хозяйстве

18.1. Общие сведения о внутренних водных путях

Водными путями называют водоемы и водотоки, которые используются для перевозки по ним грузов и пассажиров. Водные пути принято разделять на внешние и внутренние. Внешние водные пути моря и океаны — используются для судоходства в основном в естественном состоянии ввиду больших глубин. Внутренние водные пути подразделяют на *естественные* и *искусственные*. Естественными внутренними водными путями являются свободные от гидротехнических напорных сооружений реки и озера. Искусственными водными путями являются реки с возведенными на них гидротехническими сооружениями-шлюзами, а также водохранилища, образованные крупными гидроузлами, и судоходные каналы. Естественные водные пути могут быть судоходными или только сплавными, используемыми для сплава леса.

Наша страна имеет огромную сеть внутренних водных путей, одну из самых разветвленных в мире, ее длина составляет около 500 тыс. км. Роль этих путей исключительно велика. Годовой объем перевозок грузов по внутренним водным путям СССР речным флотом общего пользования в 70-х годах достигал 400 млн. т и ведомственного пользования — около 110 млн. т в год. Годовой грузооборот на них составил около 200 млрд. т·км.

На внутренних водных путях нашей страны получили распространение суда смешанного плавания река—море. Такие суда могут выходить из рек в море и идти по нему до портов назначения или входить в устья других рек. При этом используются межбассейновые воднотранспортные соединения: Волго-Балтийский водный путь им. В. И. Ленина, Беломорско-Балтийский канал, Волго-Донской судоходный канал им. В. И. Ленина.

Основное экономическое преимущество водного транспорта — дешевизна перевозки грузов, особенно по магистральным водным путям. Передвижение единицы груза на судах требует мощность 6—7 раз, а при буксировке леса в плотках — в десятки раз меньшую, чем при перевозке по железной дороге. Стоимость устройства и содержания 1 км водного пути в несколько раз дешевле железнодорожного.

Существенным недостатком внутреннего водного транспорта у нас в стране является его сезонность — ограниченность периода навигации, обусловленная климатом. Перерыв перевозок на зиму

тем больше, чем севернее расположен водный путь. Так, длительность навигации на Северной Двине составляет всего 5—6 месяцев, на Волге — 7—8 месяцев и лишь на таких реках, как Дунай, достигает 10—11 месяцев.

Невысокая скорость движения судов на внутренних водных путях тоже является недостатком водного транспорта. Однако при увеличении скорости движения судов быстро растет и сопротивление движению. Поэтому на внутренних водных путях даже самоходные грузовые суда ходят с небольшими скоростями, редко превышающими в спокойной воде 20—22 км/ч.

При больших скоростях течения на реках v_t , составляющих значительную долю скорости движения судов v_c , скорости перемещения судов против течения становятся еще меньше. Поэтому для взводного (против течения) судоходства используют свободные от гидротехнических напорных сооружений только равнинные реки.

Техническим преимуществом внутренних водных путей перед другими видами транспорта является возможность перевозки крупногабаритных грузов. Примером является доставка по водным путям огромных рабочих колес гидротурбин от заводского причала в Ленинграде до Красноярской ГЭС.

Погрузочно-разгрузочные работы составляют на водном транспорте большую часть стоимости перевозки груза. В связи с этим перевозка грузов по воде на малые расстояния, как правило, невыгодна. В СССР средняя дальность водных перевозок грузов речным флотом в последние годы составляла свыше 500 км, а на магистральных путях — около 1000 км.

18.2. Основные требования судоходства к водным путям

Габариты судовых ходов, судопропускных и других сооружений на водном пути, а также глубины на нем должны соответствовать размерам, осадке и составам наибольших плавающих по нему судов и плотов.

Судовым ходом называется непрерывная полоса водного пространства на входящих в состав водного пути реках, озерах, каналах, подпертых бьефах и водохранилищах, в пределах которой обеспечены заданные габаритная ширина и глубина.

У судопропускных сооружений на искусственных водных путях — судоходных шлюзов и транспортных судоподъемников — основными габаритными размерами являются длина и ширина их камер; глубина на порогах их должна соответствовать глубинам на судовых ходах.

При пересечении водного пути сооружениями (мостами, линиями передач и др.) должны быть обеспечены достаточные пролеты и надводные габариты.

Внутренние водные пути подразделяются по своему транспортному значению на четыре категории: сверхмагистрали, магистрали, пути местного значения и малые реки.

Главнейшей характеристикой водного пути является *судоходная глубина* h_c , определяющая осадку судов S_c . Другие габариты водных путей, необходимые для пропуска по ним наибольших судов с этой осадкой, при современных рациональных отношениях длины и ширины их к наибольшей осадке судов обеспечиваются и на естественных, и на искусственных водных путях, как правило, значительно легче, чем судоходные глубины.

Поэтому внутренние водные пути СССР подразделяют согласно СНиП II—И. I—62 на категории только по судоходным глубинам на них. При этом отличают наименьшие гарантированные судоходные глубины и глубины, используемые флотом в среднем за навигацию. Классификация водных путей приведена в табл. 18.1.

Таблица 18.1

Категория водного пути	Глубина судового хода, м	
	наименьшая гарантированная	используемая флотом в среднем за навигацию
I — сверхмагистраль	Более 2	Более 3
II — магистраль	1,1—2,6	1,65—3
III — пути местного значения	0,6—1,4	1—1,65
IV — малые реки	0,45—0,8	До 1

В табл. 18.1 под наименьшими гарантированными понимаются глубины, которые поддерживаются на данном водном пути или участке его (путевыми работами или сооружениями) в течение всей навигации при минимальных уровнях воды, имеющих определенную обеспеченность по продолжительности. Эта обеспеченность принимается для водных путей разных категорий от 95 до 99 %.

Для безопасного движения судов необходимо иметь достаточный слой воды на порогах судоходных сооружений и между днищем судна и дном реки. Минимальный запас под днищем судна необходим для того, чтобы оно не задевало за случайные неровности поверхности дна. Величина этого запаса для судов с осадкой более 1,5 м, согласно Правилам плавания, равна 0,1—0,3 м.

Запас на отложение наносов (заносимость) вводится в расчет при определении судоходной глубины на перекатах, прорезях, каналах, на которых можно ожидать отложения наносов. Этот запас выбирается в зависимости от возможного отложения наносов в период между дноуглубительными работами; его принимают равным 0,2—0,5 м.

Ширина судового хода должна обеспечивать безопасные и достаточно удобные условия движения и разминования наибольших судов, составов судов и плотов с полной грузовой осадкой при минимальном навигационном уровне воды. Этим требованиям удовлетворяют ширины, приведенные в табл. 18.2.

Таблица 18.2

Ширина и радиус закругления судового хода в зависимости от категории водных путей

Категория водного пути	Ширина, м	Радиус закругления, м
I — сверхмагистрالی	100—85	1000—600
II — магистрالی	75—70	600—350
III — пути местного значения	50—40	300—200
IV — малые реки	20—14	120—90

Скорости течения на водном пути, как указывалось, очень влияют на судоходство, в ряде случаев не только ограничивая, но и исключая его.

При скорости движения судна $v_c \geq 0,6 \sqrt{gh_c}$ сопротивление его движению существенно увеличивается, а с приближением ее к $v_c = \sqrt{gh_c}$ резко возрастает. (Здесь $\sqrt{gh_c}$ — скорость движения волн возмущения; g — ускорение свободного падения; h_c — судоходная глубина.) Поэтому скорость движения водоизмещающих судов ограничивают величиной $v_c = 0,9 \sqrt{gh_c}$.

Эксплуатационной скоростью течения $v_{т.э}$ называют скорость по судовому ходу. Она на реках заметно отличается от средней скорости течения, изменяясь вдоль реки во времени в зависимости от режима уровней и расходов. На большинстве крупных рек СССР $v_{т.э}$ составляет на плёсах 0,3—0,4 м/с, а на перекатах 0,5—1,5 м/с; в половодье 1,5—2,0 м/с.

Взводное судоходство по указанным причинам считают целесообразным при скорости течения на реке не более 2 м/с, а при небольшой протяженности участков — 3,0 м/с.

Глава 19. Обеспечение судоходных условий на внутренних водных путях

19.1. Основные мероприятия по улучшению судоходных условий на реках

Внутренние водные пути в естественном состоянии почти всегда характеризуются наличием различных препятствий для судоходства, которыми могут быть мели, высокие скорости течения, крутые повороты трассы судового хода и др. Поэтому для повышения эффективности работы водного транспорта приходится осуществлять систему специальных мероприятий по улучшению судоходных условий на внутренних водных путях.

На реках, свободных от гидротехнических сооружений, с этой целью проводят так называемые путевые работы, к которым от-

носятся: установка предупредительных и указательных знаков (судоходной обстановки), сигнализирующих о состоянии пути; руслоочищение — удаление со дна реки случайных подводных предметов и берегоочищение — очистка берегов от пней, деревьев, камней, которые могут попасть в русло; дноуглубление судового хода с помощью землечерпалок и землесосов или с помощью взрывов; выправление, т. е. улучшение судоходных условий рек специальными сооружениями; регулирование стока, т. е. дополнительное питание рек водой в период навигации из создаваемых в верховьях или на притоках водохранилищ, в которых задерживается часть весеннего стока.

Наиболее радикальным способом улучшения судоходных условий рек, резко изменяющим их режим, является шлюзование. На реках с большими скоростями, а также на реках с небольшими расходами шлюзование является иногда единственным техническим средством для их судоходного освоения. При транспортном использовании рек со шлюзованием широко применяется и регулирование стока в водохранилищах.

19.2. Путевые работы на свободных судоходных реках

Из отмеченных в п. 19.1 различных видов путевых работ наиболее простым и широко распространенным является использование *судоходной обстановки*, т. е. средств навигационного оборудования, обозначающего направление, границы и габариты (глубины и ширины) судовых ходов, а также регулирующего очередность движения судов в местах, где это необходимо по условиям плавания.

Однако для повышения объема водных перевозок важно не только иметь сведения о состоянии пути, но и по возможности активно его улучшать, в первую очередь увеличивая гарантированные судоходные глубины.

Основным способом увеличения и поддержания судоходных глубин и других габаритов судового хода в настоящее время является *дноуглубление* — удаление грунта с судового хода механическими средствами. Такими средствами являются землесосы, многочерпаковые и одночерпаковые дноуглубительные снаряды.

Дноуглублением выполняются судоходные прорези, преимущественно подводные, в пределах перекатов как на транзитных судовых ходах, так и вне транзита — на подходах к портам и пристаням, у входов в затоны и т. п.

Судоходные прорези бывают *эксплуатационные* и *капитальные*. Эксплуатационные прорези на которые в настоящее время приходится большая доля дноуглубительных работ выполняют для обеспечения на перекатах в течение всей навигации заданных габаритов судового хода. Их подразделяют на восстановительные и ремонтные.

Капитальные прорезы делают для создания новых судовых ходов на перекатах с недостаточными радиусами закруглений судового хода, со свальным (поперечным) течением или неустойчивым судовым ходом, на котором поддерживать необходимые глубины эксплуатационным дноуглублением затруднительно и требуются большие объемы работ. Капитальные прорезы выполняют также для спрямления излучин рек и углубления несудоходных рукавов.

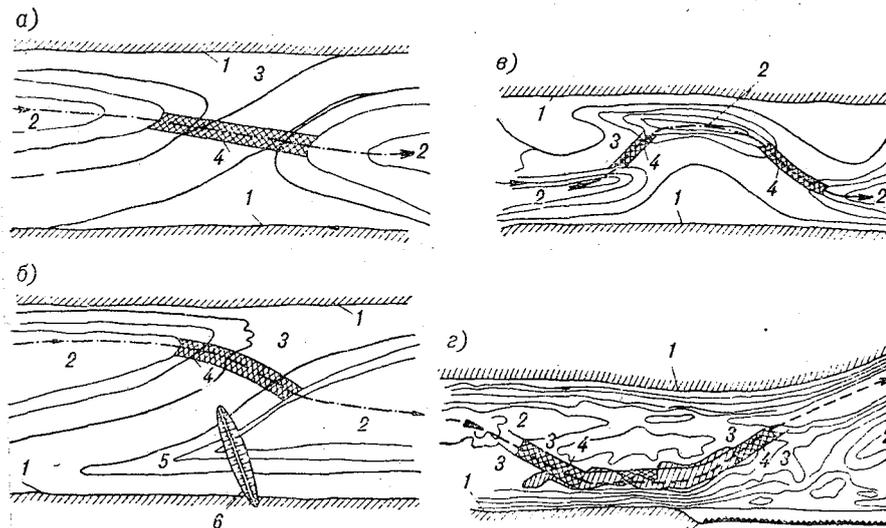


Рис. 19.1. Расположение дноуглубительных прорезей.

1 — на перекате-перевале; б — на перекате с затонской частью; в — на сложном перекате; г — на перекате-россыпи; 1 — урез воды; 2 — плёсовая лощина; 3 — песчаная отмель; 4 — прорезь; 5 — затонская часть; 6 — дамба.

Судоходные прорезы должны обеспечивать безопасные и удобные условия прохода по ним судов и плотов, а для этого прорезы должны иметь на всем протяжении принятые для участка реки габариты — глубину, ширину и радиусы закруглений.

Выбор трассы эксплуатационной прорези представляет сложную гидротехническую задачу и во многом зависит от типа переката (рис. 19.1).

При устройстве относительно крупных (по сравнению с меженим живым сечением) прорезей в ряде случаев приходится устанавливать расчетом: а) кривую свободной поверхности после устройства прорези при расчетном расходе воды заданной обеспеченности, б) изменение распределения расхода и скоростей воды по ширине потока после выполнения прорези; в) деформацию русла.

Еще одним видом путевых работ является *выправление* (регулирование) *русел*, которое может проводиться одновременно с дноуглублением или осуществляться самостоятельно.

Выправление затруднительных для судоходства участков русел рек представляет собой совокупность работ, которые, используя размывающую и руслоформирующую способность речного потока, увеличивают судоходные глубины и улучшают судоходные условия на перекатных участках рек. На равнинных судоходных реках выправительные работы могут включать возведение полузапруд и струенаправляющих дамб, запруду побочных рукавов, спрямление крутых извилин, закрепление и наращивание отдельных участ-

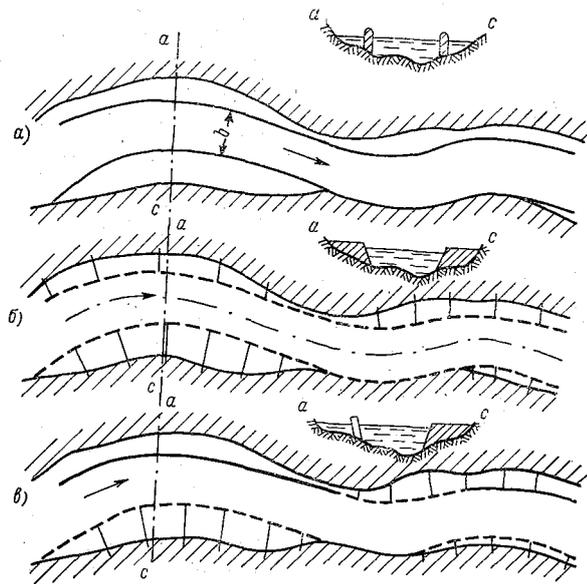


Рис. 19.2. Схемы сжатия потока продольными и поперечными дамбами.

a — продольные дамбы; *б* — поперечные полузапруды (буны);
в — комбинация продольных дамб и поперечных полузапруд.

ков берегов и русла, в том числе у сопряжения основного русла с притоками и рукавами.

При первых работах по выправлению русел рек для улучшения судоходных условий пытались увеличивать судоходные глубины сжатием потока водостеснительными сооружениями—продольными дамбами или поперечными полузапрудами с одной или с обеих его сторон (рис. 19.2). Но такие работы значительных результатов не давали и к концу прошлого века представление о сжатии потока как основном средстве повышения судоходных глубин на реках изменилось, главным образом под влиянием работ выдающихся инженеров-гидротехников того времени — Фарга, Жирардон и Н. С. Лебявского.

Французский инженер Фарг выявил, по данным изучения русла р. Гаронны, связь между кривизной русла реки и изменением глу-

бин на ней. Установленные им зависимости подтвердились и на других меандрирующих реках. В дальнейшем наблюдения Жирардона на выправленных участках Роны привели его к выводам, что для улучшения судоходных условий на «плохих» перекатах с затонской частью (рис. 19.1 б) следует воспроизводить формы русла «хороших» перекатов, не представляющих затруднений для судоходства. При этом он считал, что образованию ведущего вогнутого берега на перекате способствует продольная дамба, поддерживающая вдоль нее большие глубины, а для перевода судового хода через перекат эта дамба должна иметь уменьшающуюся кривизну по направлению к перегибу.

К аналогичным выводам на основании многолетних наблюдений и опыта выправительных работ на р. Днепре пришел русский инженер Н. С. Лелявский. Он считал, что для получения непрерывного глубоководного судового хода на свободной реке необходимо с помощью выправительных сооружений, которые должны иметь в основном характер струенаправляющих, управлять внутренними течениями речного потока таким образом, чтобы они не заносили наносами трассу судового хода (рис. 19.3).

В дальнейшем, на основании теоретического и экспериментального изучения явлений поперечной циркуляции в речном потоке И. В. Гагатов предложил искусственно создавать эту циркуляцию регуляционными соображениями разного типа, в том числе и плывучими щитами, о принципе работы которых сказано в п. 9.2.

В последующее время на основе теории поперечной циркуляции советские инженеры (А. И. Лосиевский, Л. И. Кустов и др.) разработали и применили различные схемы увеличения глубин на перекатах.

В настоящее время при выправлении русел рек стремятся обеспечить устойчивую трассу судового хода, а также углубление его на перекатах эффективным воздействием на руслоформирующие процессы возможно меньшего количества простых, рационально расположенных выправительных сооружений. При этом разнообразие морфологических, гидрологических и геологических условий речных русел и различных перекатов на них приводит к большому разнообразию применявшихся с различным успехом схем расположения выправительных сооружений.

Способом дополнительного увеличения судоходных глубин в реках является их *подпитывание* в межень попусками из водохранилищ, создаваемых на притоках или в верховьях рек.

В дореволюционное время регулирование стока рек носило отаслевой характер, т. е. водохранилища предназначались в основном для улучшения судоходных условий. Примером такого водохранилища может служить Верхневолжское (полезным объемом 47 км³), которое поддерживает кратковременными навигационными попусками судоходные глубины на Волге выше г. Калинина.

В современных условиях, как неоднократно отмечалось, использование рек носит комплексный характер и создаваемые на их гидротехнические узлы преследуют цели одновременного удов-

летворения запросов различных отраслей водного хозяйства. Примером может служить увеличение судоходных глубин на Дону ниже Цимлянского гидроузла комплексного назначения (водный

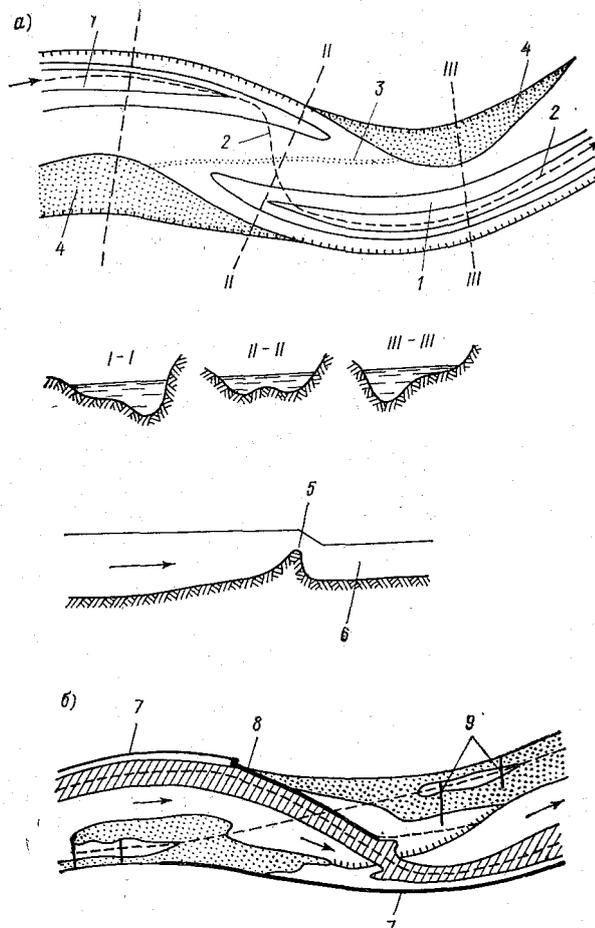


Рис. 19.3. Схема размещения струенаправляющих сооружений для выправления переката (по Лелявскому).

а — участок до выправления; б — участок с сооружениями; 1 — плёс; 2 — судовой ход; 3 — перекат; 4 — побочки; 5 — гребень переката; 6 — подвалье переката; 7 — береговое укрепление; 8 — струенаправляющая дамба; 9 — полузапруды.

транспорт, гидроэнергетика, орошение засушливых земель на левом берегу Дона). Более подробно вопросы учета потребностей водного транспорта при комплексном использовании рек рассматриваются ниже (см. п. 19.3).

19.3. Шлюзование рек

Шлюзованием реки называется радикальный способ увеличения судоходных глубин возведением на ней ряда гидроузлов, повышающих в период навигации уровни воды в реке по сравнению с имевшимися в естественном ее состоянии. При этом преодоление судами сосредоточенных перепадов уровней воды осуществляется через входящие в состав гидроузлов судопропускные сооружения — судоходные шлюзы или судоподъемники.

В судоходных шлюзах суда переходят из верхнего бьефа в нижний и обратно через камеры, уровни воды в которых выравнивают в соответствующей последовательности с уровнями верхнего и нижнего бьефов (см. п. 20.1). В судоподъемниках камеры вместе с находящимися в них судами перемещают между уровнями воды в бьефах по наклонным путям или вертикальным направляющим (см. п. 20.2).

Каскады гидроузлов на судоходной реке редко возводили на всем ее протяжении — от истока до устья. Строительство гидроузлов в нижнем течении рек, на котором судоходные глубины значительно возрастают, особенно на устьевых участках, как правило, экономически не оправдывается. Также обычно не оправдывается шлюзование реки или ее притока выше расположения крупных экономических районов, обуславливающих основной объем водных перевозок. Поэтому ниже и выше шлюзованного участка реки часто остаются свободные участки, на которых для улучшения судоходных условий производят путевые работы.

Для увеличения судоходных глубин на всем шлюзованном участке реки расположение гидроузлов и напоры воды на них должны быть таковы, чтобы подпор от нижележащего гидроузла обеспечивал в нижнем бьефе вышележащего заданные судоходные глубины. При этом река разделяется гидроузлами на ряд бьефов.

Общая схема шлюзования мелководного участка реки зависит кроме природных условий в первую очередь от характера намечаемого использования его и проектной судоходной глубины на нем.

Технические схемы шлюзования — разделение падения реки между гидроузлами на отдельные бьефы, напоры на гидроузлах и их расположение — существенно различаются, если: а) шлюзование реки проектируется только в транспортных целях — для улучшения судоходных условий; б) каскад гидроузлов на реке проектируется для комплексного использования ее водных ресурсов — в интересах как водного транспорта, так и других отраслей народного хозяйства (энергетики, мелиорации, водоснабжения и т. д.).

В случае, когда шлюзование участка реки проектируется только в транспортных целях, основным исходным условием разделения падения реки между гидроузлами, а также выбора их расположения и подпорных уровней воды является обеспечение заданных судоходных глубин в бьефах с минимумом затрат по пути.

Наименьшие же капиталовложения и эксплуатационные издержки по гидроузлам получаются, когда подпорные уровни гидроузлов не выходят из коренного русла и поймы на равнинных реках (обычно широкая и используемая в народном хозяйстве) не затопляется. В этом случае напоры на гидроузлы получаются небольшими — обычно 2—6 м, а расстояние между гидроузлами не превышает нескольких десятков километров.

На низконапорных русловых гидроузлах во избежание ущерба от дополнительного после их строительства затопления пойменных земель расходы высоких половодий с расчетной вероятностью превышения часто пропускают при уровнях верхнего бьефа, близких к бытовым при таких же расходах. Эти уровни в ряде случаев значительно превышают нормальный подпорный уровень (НПУ). Поэтому и после возведения сооружений большая часть живого сечения реки должна оставаться свободной. Для этого плотины в таких гидроузлах имеют низкие пороги, расположенные на отметках, близких к дну реки на перекатах, находящихся ниже гидроузла (с учетом размыва и углубления перекатов в процессе эксплуатации).

При высоких и длительных половодьях в ряде случаев оказывается целесообразным пропускать суда через плотины без шлюзования, иногда даже при затопленных шлюзах. Для этого сооружаются так называемые разборные судоходные плотины. Значительное число таких плотин было построено и эксплуатируется до сего времени на р. Москве, Северском Донце, Оке и др.

При комплексном использовании рек их шлюзование для увеличения транзитных глубин рассматривают как воднотранспортную часть гидроузла.

В связи с этим термин «шлюзование рек» стал в данном случае терять свое значение, выходить из употребления и заменяться выражением «каскад гидроузлов».

Расположение гидроузлов на используемом в комплексных целях и шлюзуемом участке реки, а также подпорные отметки их определяются как общими для всего комплекса технико-экономическими факторами, так и требованиями водного транспорта — обеспечение экономически наиболее целесообразных судоходных глубин на этом участке реки.

При комплексном использовании водных ресурсов судоходных рек ведущим компонентом комплекса чаще всего является гидроэнергетика. В этом случае распределение падения реки между гидроузлами определяется получением наибольшего возможного в данных природных условиях энергоэкономического эффекта на всем каскаде гидроэлектростанций. Для этого в некоторых бьефах каскада обычно создают значительные полезные емкости для регулирования стока реки.

Все это приводит к значительным напорам на сооружения гидроузлов и затоплению в долинах рек поймы, а иногда и надпойменных террас. При этом значительную, а иногда и решающую роль в выборе месторасположения и подпорной отметки средне-

напорных гидроузлов на судоходных реках играют получающиеся затопления сельскохозяйственных земель, промышленных объектов и населенных пунктов, а также инженерно-геологические условия районов сооружений.

При принятых на основании данных соответствующих изысканий и проектных проработок вариантах створов гидроузлов отметки нормальных подпорных уровней и полезные объемы водохранилищ выбираются технико-экономическим сравнением нескольких вариантов, в которых учитываются затраты по всем компонентам комплекса.

Каскады гидроузлов комплексного (энергетически-транспортного или другого) назначения созданы на Волге, Свири, Днепре и других реках.

Глава 20. Судопропускные сооружения на внутренних водных путях

20.1. Судоходные шлюзы

Судоходный шлюз — это водоподпорное гидротехническое сооружение, посредством которого различные плавсредства преодолевают сосредоточенный перепад уровней гидроузла, в состав которого входит шлюз.

Пропуск судов и составов через шлюз называется их шлюзованием. В состав шлюза входят: верхняя и нижняя головы с механизмами, камера, верховой и низовой подходные каналы (рис. 20.1). Процесс шлюзования вверх состоит из следующих последовательных операций: судно подходит к шлюзу и занимает положение *I*, камеру шлюза опорожняют через водопроводную систему и горизонт в ней выравнивают с горизонтом воды в нижнем бьефе, верхние ворота при этом закрыты; открывают нижние ворота и вводят судно в камеру в положение *II*; закрывают нижние ворота и нижнюю водопроводную систему; открывают верхнюю водопроводную систему и наполняют камеру шлюза. При этом одновременно подымается судно, которое через некоторое время займет положение *III*, когда горизонт воды в камере достигнет горизонта воды верхнего бьефа; открывают верхние ворота и выводят судно из камеры шлюза в верховой подходный канал в положение *IV*. В обратном порядке выполняют шлюзование вниз.

В зависимости от напора различают следующие типы шлюзов: *однокамерные*, или одноступенчатые, со стенкой падения¹ и *многокамерные*, или многоступенчатые (рис. 20.2).

В шлюзах со стенкой падения (см. рис. 20.1) верхние ворота получаются низкими и сравнительно дешевыми. При значительных напорах переходят к многоступенчатым шлюзам. Основным

¹ Шлюз без стенки падения применяют только при низконапорном шлюзовании при напорах не свыше 4—5 м.

преимуществом многоступенчатого шлюза является уменьшение объема воды на шлюзование и ~~снижение~~ ~~напоры~~ напоры на стенки и ворота. Из рассмотрения схемы ~~трех~~ трехступенчатого шлюза (рис. 20.2)

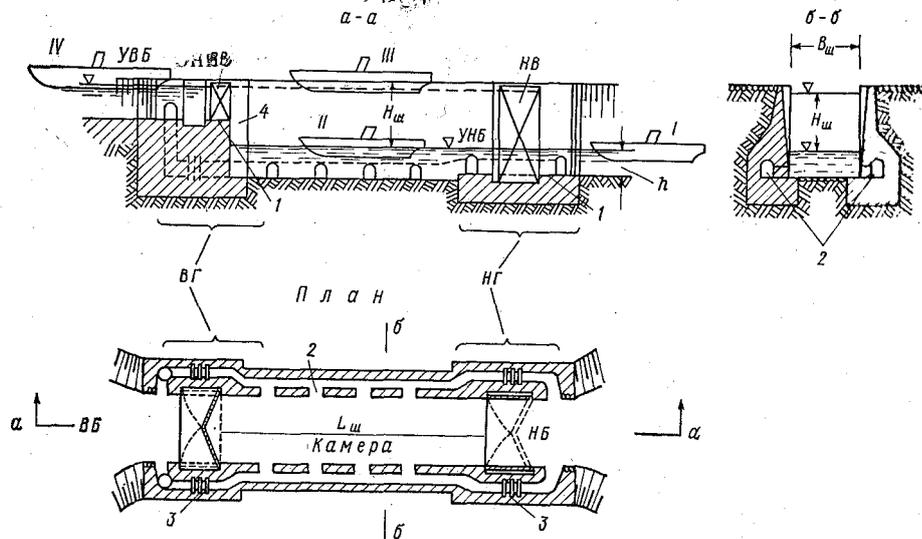


Рис. 20.1. Схема однокамерного шлюза.

ВГ и НГ — верхняя и нижняя головы; ВВ и НВ — верхние и нижние ворота; 1 — пороги шлюза; 2 — боковые водопроводные галереи; 3 — затворы галерей; 4 — стенка падения.

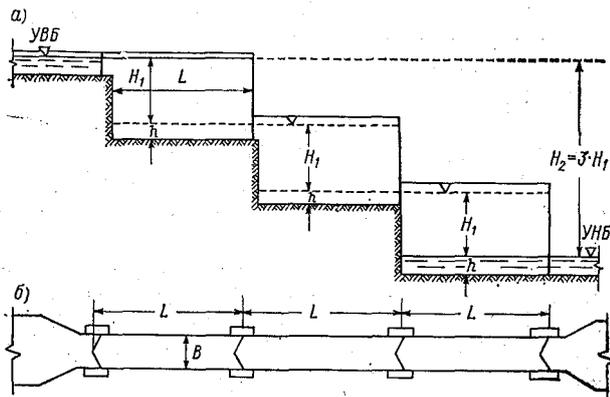


Рис. 20.2. Схема трехступенчатого шлюза.

а — продольный разрез; б — план.

видно, что при шлюзовании вниз расход воды на шлюзование в трехступенчатом шлюзе уменьшается в три раза по сравнению с однокамерным (при одинаковом перепаде уровней между верхним и нижним бьефами), так как судно переходит из одной ка-

меры в другую вместе с одной и той же призмой воды. Недостатком многоступенчатых шлюзов является увеличение числа ворот и механизмов, удлинение водопропускной системы, большая длина стенок камер, увеличение времени шлюзования.

Для повышения пропускной способности шлюза можно увеличить длину его камеры, чтобы шлюзовать одновременно два судна. На современных магистральных внутренних водных путях длина шлюзов достигает 300 м. Если этого мероприятия будет недостаточно, применяют парные шлюзы (шлюзы в две нитки), представленные на рис. 20.3. В длинных камерах предусматривают иногда средние ворота, которые используют в случае шлюзования сравнительно коротких судов, например пассажирских теплоходов, для экономии воды и ускорения шлюзования.

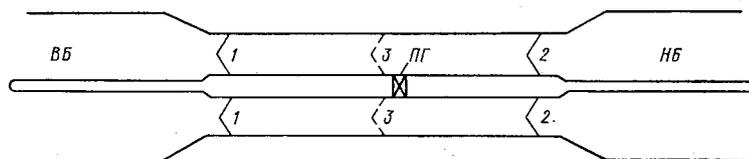


Рис. 20.3. Парные шлюзы.

ПГ — перепускная галерея; 1, 2, 3 — соответственно верхние, нижние и средние ворота.

Системы наполнения шлюза и его опорожнения определяют экономическими соображениями и наибольшей возможной скоростью наполнения и опорожнения камеры при условии обеспечения безопасности судов, как находящихся в камере, так и ожидающих шлюзования. В современных шлюзах применяют следующие основные системы наполнения: а) через боковые продольные галереи в стенках, б) через донные продольные галереи, в) через голову шлюза. Наполнение шлюза через боковые продольные галереи было показано на рис. 20.1. Система наполнения шлюза при посредстве донных продольных галерей аналогична системе с боковыми галереями. Наполнение шлюза через верхнюю голову производят через плоские подъемные или опускаемые и сегментные ворота (рис. 20.4). Для наполнения шлюза ворота немного поднимают, вследствие чего между ними и порогом образуется щель, через которую вода поступает в камеру гашения. После того как горизонт в камере шлюза сравняется с горизонтом в верхнем бьефе, сегментные ворота опускают, а плоские поднимают (или опускают) и судно вводят в камеру или выводят из нее.

Опорожнение шлюза осуществляют чаще всего короткими обводными галереями нижней головы с выпуском воды непосредственно в нижний подходный канал.

Расход воды на шлюзование при комплексном использовании речного стока имеет большое значение для правильного распределения водных запасов водохранилища. Если известны размеры шлюза $L_{ш}$, $B_{ш}$, $H_{ш}$, среднее число шлюзований в сутки n ,

число суток в навигацию N_n и число суток со шлюзованием $N_{ш}$, то средний секундный расход воды на шлюзование в период навигации составит (в $\text{м}^3/\text{с}$)

$$q_{\text{ср}} \cong (L_{\text{ш}} B_{\text{ш}} H_{\text{ш}} n N_{\text{ш}}) / (24 \cdot 3600 N_n) \alpha, \quad (20.1)$$

где α — коэффициент, учитывающий потери на фильтрацию в воротах, в затворах и др. При проектировании шлюзов необходимо

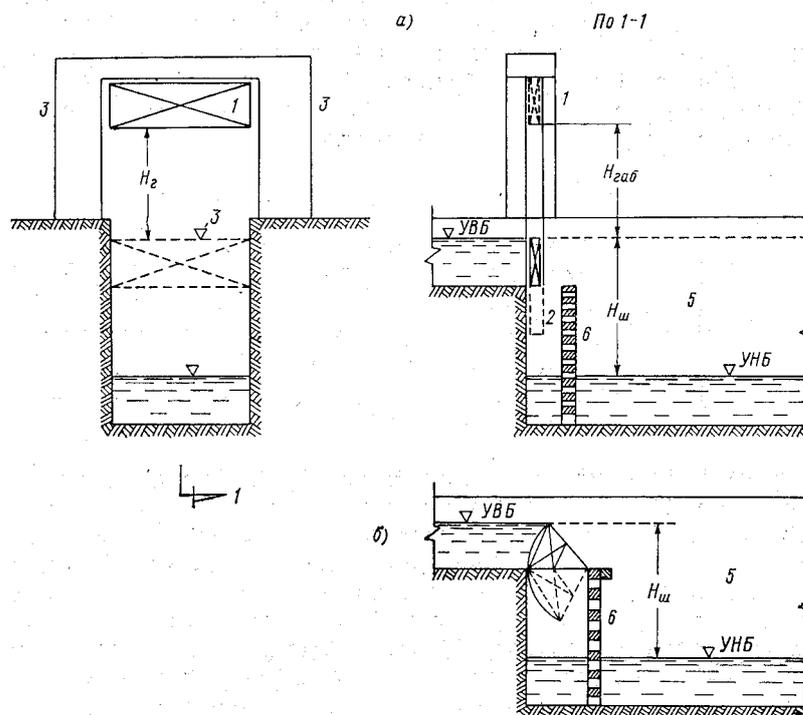


Рис. 20.4. Схемы наполнения шлюза через голову.

a — подъемные или опускаемые верхние ворота; *б* — сегментные верхние ворота; *1* — верхнее положение подъемных ворот; *2* — нижнее положение опускаемых ворот; *3* — башни для подъемных ворот; *4* — мост для расположения подъемных механизмов; *5* — камера шлюза; *6* — стенка гасителя энергии.

принимать меры к сокращению расхода воды на шлюзование, что достигается различными техническими мероприятиями. Некоторые из этих мероприятий были уже упомянуты. К ним относятся: а) применение при высоких напорах многоступенчатых шлюзов вместо одноступенчатого, б) применение средней головы в длинных шлюзах для пропуска пассажирских теплоходов и малогабаритных судов. Другим мероприятием к сокращению расхода на шлюзование является устройство сберегательных бассейнов. Прототипом сберегательных бассейнов может служить парный шлюз с перепуском воды из одной камеры в другую.

20.2. Транспортные судоподъемники

Транспортными судоподъемниками называют сооружения для преодоления судами сосредоточенных падений уровней воды на искусственных водных путях и речных гидроузлах посредством перемещения их между смежными бьефами на плаву в наполненной водой камере или насухо на тележках.

Судоподъемники применяют на судоходных соединениях через водоразделы рек, плохо обеспеченные водой, и при высоконапор-

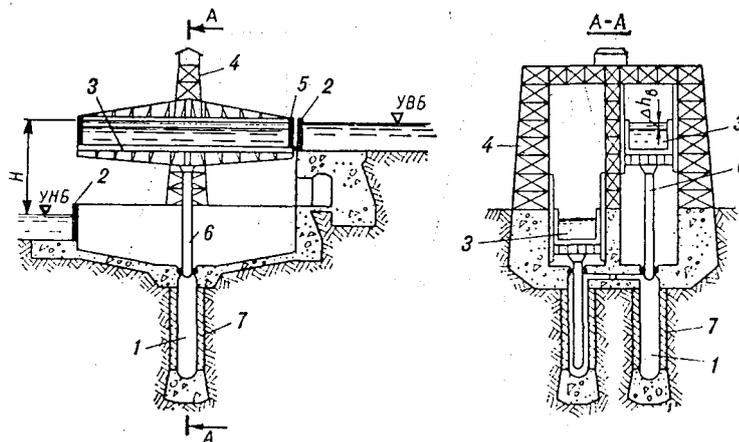


Рис. 20.5. Вертикальный двухниточный гидравлический судоподъемник на Центральном канале в Бельгии.

1 — цилиндр (шахта); 2 — подъемные ворота бьефа; 3 — камера; 4 — направляющий каркас; 5 — ворота камеры; 6 — поршень; 7 — чугунная облицовка шахты.

ных гидроузлах. В таких условиях, как показывают расчеты, однокамерные шлюзы расходуют много воды. Устройство многокамерных шлюзов приводит к созданию сооружений большой протяженности, а следовательно дорогих и характеризующихся большими затратами времени на проводку судов.

Судоподъемник независимо от его типа состоит из следующих основных частей: камеры или платформы на тележках для перемещения судов, строительных конструкций и оборудования для перемещения камер. В зависимости от способа перемещения камер различают *вертикальные* и *наклонные* судоподъемники.

Необходимо отметить, что судоподъемники до сих пор являются уникальными сооружениями, на которых не получили применения, как на шлюзах, типовые конструкции. Поэтому ниже дается описание в основном схем наиболее совершенных и крупных судоподъемников.

Вертикальные судоподъемники подразделяются на поршневые, гидравлические, поплавковые и канатные (механические).

Поршневые судоподъемники (рис. 20.5) состоят из двух камер, по торцам которых установлены ворота. Каждая ка-

мера опирается на поршень с сальниковым уплотнением, движущийся в цилиндре. Оба цилиндра наполнены жидкостью и соединены трубопроводом, на котором установлен затвор. Камеры обычно перемещаются за счет массы добавочного слоя воды 24—30 см, которая поступает из верхнего бьефа и создает повышенное давление в цилиндре.

При открытии затвора жидкость по трубопроводу начинает перетекать из одного цилиндра в другой и камеры двигаются одна вниз, другая вверх со средней скоростью до 7 см/с.

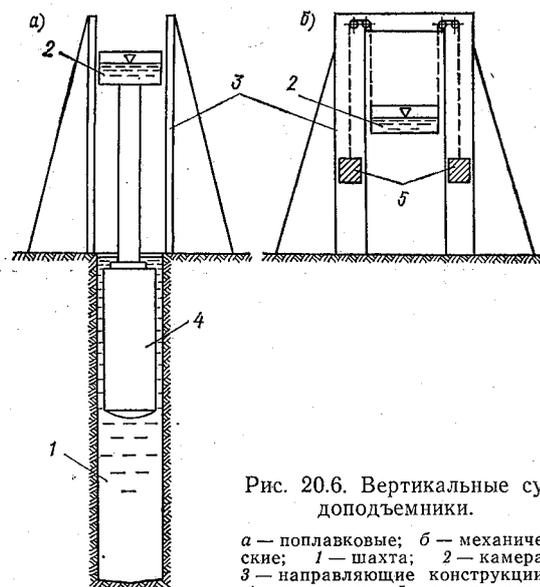


Рис. 20.6. Вертикальные судоподъемники.

a — поплавковые; *б* — механические; *1* — шахта; *2* — камера; *3* — направляющие конструкции; *4* — поплавок; *5* — противовес.

Верхний бьеф подводится к камере с помощью моста-канала, заканчивающегося воротами, к которым подходят ворота камеры, когда она в верхнем положении. В нижнем положении камера судоподъемника располагается в специальной приемной камере с воротами со стороны нижнего бьефа. Ворота в камере открывают тогда, когда между торцами стенок камеры и стенками бьефа выдвигается уплотнение и промежуток между воротами заполняется водой.

Наиболее крупные гидравлические судоподъемники построены в Западной Европе в первой четверти нашего века для преодоления судами грузоподъемностью до 800 т перепадов уровней в 15—20 м. Камеры их имеют длину 43 м и ширину 10 м при глубине 2,7 м; нагрузка от камеры с водой на поршень достигает 1700 т; давление в цилиндрах диаметром 4 м составляет 42 атм.

Поплавковый судоподъемник (рис. 20.6 *a*) состоит из камеры, покоящейся на специальных поддерживающих ее ме-

таллических конструкциях, закрепленных на одном или нескольких (обычно двух) поплавках.

Подъемная сила поплавков должна соответствовать весу всей системы — камеры с водой (и судном), металлических ферм и поплавков — в течение всего периода подъема и опускания. Поэтому в нижнем положении камера судоподъемника может опускаться только в сухую, отделенную воротами от нижнего бьефа, приемную камеру, а цилиндрической формы колодцы (шахты) под камерой, в которых движутся поплавки, должны быть наполнены водой до верха. Для компенсации изменения веса плавающей части судоподъемника при погружении в воду металлических каркасов стоек, соединяющих камеру с поплавками, по оси каждого из них устраивается закрытая сверху и открытая снизу вертикальная труба, заполненная воздухом. При движении какой-либо поплавок вниз увеличивается давление воды в трубе, воздух сжимается и в нее входит вода; при этом взвешивающая сила поплавок уменьшается почти на ту же величину, на которую она возрастает из-за погружения в воду каркаса стойки. Это позволяет достаточно точно уравновесить подвижную часть судоподъемника при всех ее положениях и ограничиться небольшой мощностью механизмов вертикального перемещения, которые должны преодолевать только силы сопротивления движению — трения и инерции, а также избыток или недостаток объема воды в камере вследствие неточного ее наполнения.

Для уменьшения мощности механизмов применялась иногда догрузка камеры при ее движении вниз слоем воды в несколько сантиметров, впускаемой в камеру из верхнего бьефа и затем выпускаемой в нижний.

Наиболее крупный поплавок судоподъемник построен в 1962 г. на Дортмунд-Эмском канале в Вальтропе (ФРГ) для преодоления судами водоизмещением 1500 т перепада в 14,5 м. Камера этого судоподъемника имеет размер в плане 93×12 м при глубине воды в ней 3 м. Она опирается на два поплавка, что обеспечивает статическую определенность системы. Каждый поплавок представляет собой полый металлический цилиндр диаметром 10 м и длиной около 35 м. Скорость перемещения камеры 15 см/с — наибольшая скорость, достигнутая на современных вертикальных судоподъемниках.

В механическом судоподъемнике (рис. 20.6 б) вес камеры с водой и находящимся в ней на плаву судном уравнивается в основном противовесами, соединенными с камерой через блоки многочисленными стальными канатами или цепями. Для приведения камеры в движение механизмы судоподъемника (обычно электрические лебедки) должны преодолеть только сопротивление трения, силы инерции и неуравновешенной части канатов.

Наиболее крупный механический вертикальный судоподъемник находится в ГДР на канале между реками Одер и Хавель. Его металлическая камера имеет длину 85 м, ширину 12 м, глубину

воды в ней 2,5 м; наибольшая грузоподъемность судна 1000 т, а преодолеваемый судоподъемником перепад уровней в канале составляет около 37 м.

Наклонные судоподъемники в зависимости от величины преодолеваемого падения, профиля трассы, размеров и водоизмещения (грузоподъемности) наибольших намеченных к пропуску судов и способа перемещения камеры могут иметь весьма различные схемы.

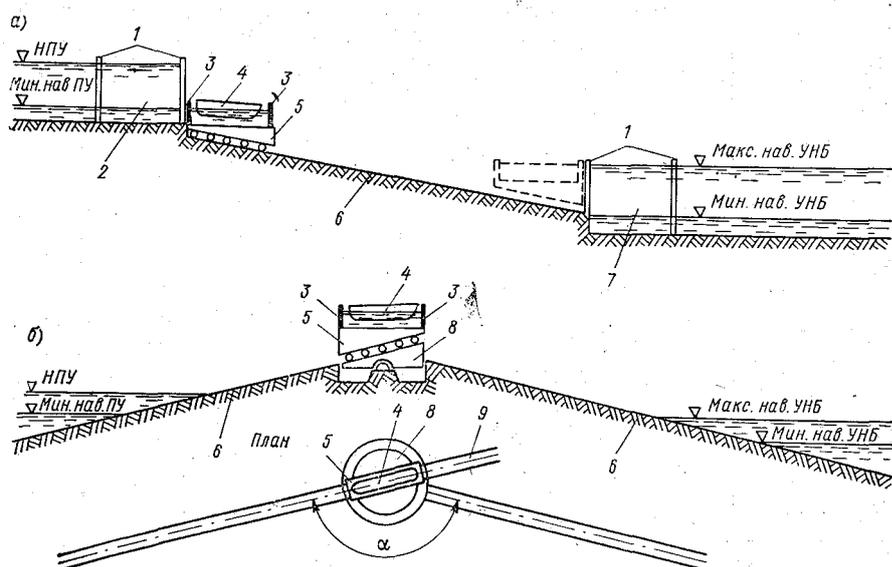


Рис. 20.7. Однориточные продольные судоподъемники при больших колебаниях уровня воды в бьефах.

a — односкатный с верховым и низовым шлюзами; *б* — двускатный с поворотным кругом; 1 — ворота шлюза; 2 — верховой шлюз; 3 — ворота камеры; 4 — судно; 5 — косяковая тележка; 6 — судовозный путь; 7 — низовой шлюз; 8 — поворотный круг; 9 — разъездной судовозный тупик.

По форме продольного профиля они могут быть односкатными (рис. 20.7 *a*) или двускатными (рис. 20.7 *б*). Суда могут перемещаться в них насухо на тележках или на плаву в камерах. Тележки и камеры могут быть самоходными или прицепными, т. е. механизмы перемещения могут находиться на них или на неподвижных частях судоподъемника.

Самый большой двускатный судоподъемник построен на Красноярском гидроузле на Енисее для преодоления судами грузоподъемностью 1500 т (в перспективе 2000 т) падения 101 м. Камера судоподъемника полезным размером 90×18 м и глубиной воды в ней 2,5 м — самоходная на 148 колесах, объединенных попарно в 74 балансирные тележки. Вес конструкции камеры около 4 тыс. т. В одном конце камеры устроены ворота сегментного типа; другой конец камеры тупиковый. Для обеспечения входа судна в ка-

меру в одном бьефе и выхода его из нее в другом камера на своем пути через гидроузел должна развернуться, для чего в наивысшей точке подъема устроен специальный поворотный круг. Расчетная скорость движения камеры 1 м/с; продолжительность одного пропуска судов через судоподъемник около 1,5 ч.

20.3. Судходные каналы

Основные вопросы, связанные с устройством каналов различного назначения, были рассмотрены в п. 11.2. Ниже дополнительно отметим некоторые особенности судходных каналов.

Каналы, используемые для нужд водного транспорта, в зависимости от назначения, разделяют на *обходные*, *подходные* и *соединительные* (рис. 20.8).

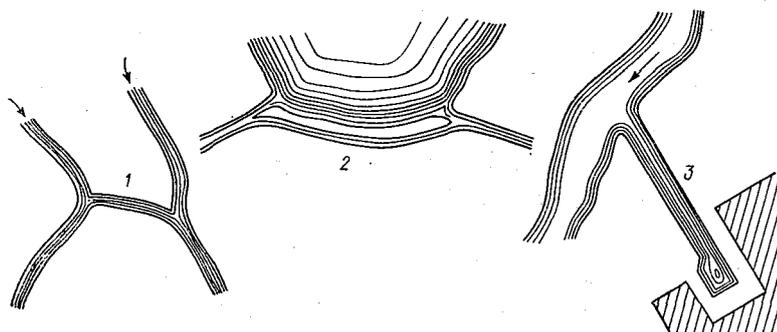


Рис. 20.8. Схемы судходных каналов.

1 — соединительные; 2 — обходные; 3 — подходные.

Обходные каналы сооружают для обхода больших озер, по которым движение речных судов ввиду их слабой конструкции опасно (Приладожский), а также для обхода больших городов (Ленинградский). Подходные каналы соединяют города или промышленные предприятия с судходной рекой, озером или морем. В большинстве случаев подходные каналы являются морскими (Ленинградский, Калининградский и др.). Соединительные каналы связывают отдельные речные бассейны. Обычно соединительные каналы сооружают на водоразделе смежных водных путей, как, например, Ново-Мариинский канал на Волго-Балтийском водном пути (б. Мариинская система) и др.

Различают также каналы *открытые* и *шлюзованные*. Большинство обходных и подходных каналов открытые; соединительные каналы почти всегда шлюзованные.

При проектировании соединительного канала возникает вопрос о питании водой его водораздельного бьефа для покрытия расхода на шлюзование, потерь из канала на фильтрацию, испарение и на другие нужды. На некоторых каналах местной воды на водораз-

дельном бьефе оказывается мало, поэтому ее необходимо поднимать на водораздел насосами, а это в свою очередь обязывает к очень экономному расходованию ее.

Поперечное сечение судоходных каналов чаще всего выполняется трапецеидальным или мульдобразным. Отношение площади живого сечения канала к миделевому сечению (наибольшему поперечному сечению судна), носящее название профильного коэффициента, принимается больше четырех-пяти, так как при меньших площадях живого сечения сильно возрастает сопротивление движению судов.

Расчет колебаний уровней воды в судоходных каналах и средней скорости течения (которая, как указывалось, не должна превышать 0,8 м/с) иногда представляет достаточно сложную гидравлическую задачу, требующую привлечения математического аппарата, описывающего неустановившееся движение воды. Это относится к каналам, расположенным между шлюзами, а также к подходным каналам шлюзов при гидроузлах, когда в процессе наполнения или опорожнения камер происходит резкое изменение расхода воды: в течение нескольких минут расход возрастает от нуля до максимума, а затем снова уменьшается до нуля. Для выполнения указанных расчетов применяют разные способы, но чаще всего метод характеристик акад. С. А. Христиановича.

Глава 21. Речные порты

21.1. Классификация

Речным портом называется узел специальных сооружений на реке, обеспечивающий передачу грузов и пересадку пассажиров с берега и сухопутных видов транспорта на суда и обратно.

При небольшом объеме грузопереработки — до 50 тыс. т в навигацию или при соответствующем пассажирообороте — порты принято называть пристанями.

Порты классифицируют по ряду признаков. По виду выполняемых операций они делятся на: а) грузовые, б) пассажирские, в) грузо-пассажирские порты и г) специализированные порты по переработке только определенных видов массовых грузов (лесные порты, угольные, рыбачьи и т. п.).

Кроме отмеченных выше, имеются специальные порты, не выполняющие грузо-пассажирские операции; это аванпорты и порты убежища.

Аванпорты устраивают в верхних бьефах гидроузлов (на водохранилищах) в тех случаях, когда на подходах к судопропускным сооружениям могут возникать волны такой высоты, что вход в сооружения, переформирование составов судов и другие операции с ними без соответствующей защиты становятся невозможными.

Порты-убежища устраивают по берегам нижних участков больших водохранилищ, где при штормовой погоде бывают волны высотой, недопустимой для озерных судов и плотов. В этих портах отстаиваются суда при неблагоприятной навигационной обстановке.

По водному объекту, на котором расположен речной порт, различают: а) порты на естественных водных путях, т. е. на свободных реках; б) порты на искусственных водных путях, т. е. на судоходных каналах, шлюзованных реках, водохранилищах.

Для того чтобы речной порт мог выполнять предъявляемые к нему требования, он должен иметь акваторию, причальный фронт, территорию, оборудование и гидротехнические сооружения.

На акватории порта производят различные маневры судов, погрузку-разгрузку судов на плаву и отстой их в ожидании обработки. На причальном фронте производят основную погрузку-разгрузку судов и посадку-высадку пассажиров. На территории порта располагают все жилые, служебные, административные и бытовые здания, легкие склады-пакгаузы, склады долгосрочного хранения, средства связи, внутривортовый транспорт и пр.

Под оборудованием порта понимают перегрузочные устройства на пристанях причального фронта, механическое оборудование складов, электроснабжение, водопровод и канализацию порта, санитарные устройства, судоремонт, механические мастерские и пр.

Гидротехнические сооружения порта составляют внешние ограждающие сооружения, набережные причалов и пристаней, причальные и отбойные приспособления, укрепление берегов порта, некоторые сооружения для ремонта судов и др.

Расположение элементов речного порта относительно реки позволяет выделить три основные схемы речных портов: *русловую, внерусловую и смешанную*. Основными достоинствами русловых портов (рис. 21.1 а) является малая строительная стоимость и простота маневров судов, недостатками — отсутствие защиты от волнения, от ледоходов и от перемещения наносов. Достоинствами внерусловых портов (рис. 21.1 б) является защита от волнения и ледоходов и возможность использовать их для зимовки судов, а недостатками — большая строительная стоимость, возможность скопления наносов у входа в портовый бассейн, более позднее очищение портовых бассейнов от ледяного покрова и более раннее их замерзание, сложность маневров судов, затруднение входа в порт.

Смешанные речные порты позволяют использовать достоинства русловых и внерусловых портов и смягчают недостатки, присущие обеим основным схемам.

Русловой порт далеко не всегда располагают так компактно, как это показано на рис. 21.1 а. Во многих случаях причалы руслового порта приходится разбрасывать на большое расстояние друг от друга и располагать на обоих берегах реки.

Порты на каналах устраивают по схеме внерусловых в искусственных бассейнах или уширениях. Порты на озерах и крупных водохранилищах располагают в устьях рек, впадающих в озера, или в заливах.

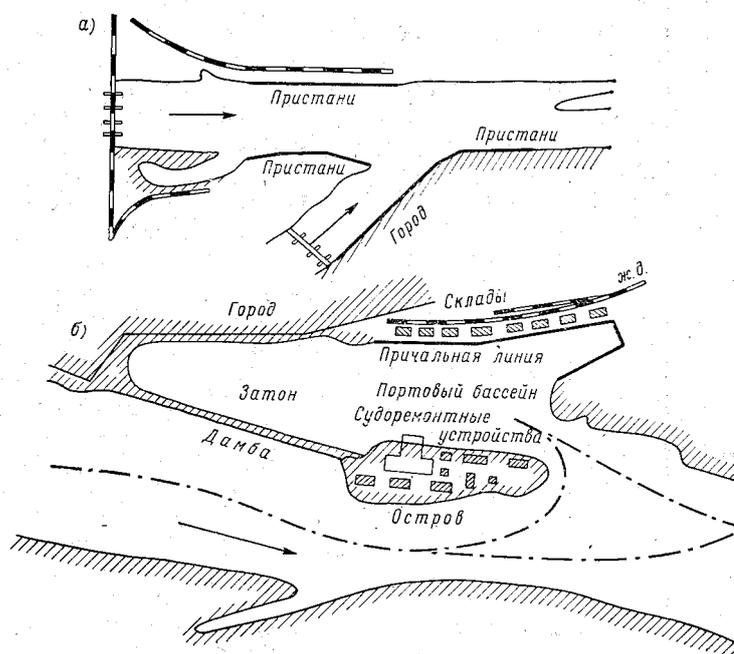


Рис. 21.1. Речные порты.

а — русловой; б — внерусловой.

Из перечисленных выше составных частей речного порта несколько подробнее остановимся на его гидротехнических сооружениях.

21.2. Портовые гидротехнические сооружения

Гидротехнические сооружения в речных портах состоят из следующих видов: а) оградительных сооружений, б) причальных сооружений и набережных, в) судоремонтных сооружений. Естественно, что необходимость сооружения тех или иных сооружений в конкретном порту определяется местными (главным образом природными и хозяйственными) условиями.

Оградительные сооружения возводят на внутренних водных путях для защиты акваторий и причальных линий речных портов от ветровых волн, течения, ледохода и наносов.

В долинах рек, русла и поймы которых сложены песчано-глинистыми грунтами, оградительные волнозащитные сооружения

обычно представляют собой земляные насыпные или намывные дамбы с откосами, защищенными креплением от размыва ветровой волной и продольным течением реки. Высота ветровой волны у таких оградительных дамб в значительной степени зависит не только от расчетной силы ветра и длины разгона волны, но и от глубины воды перед дамбами, которая часто, особенно над поймой, бывает небольшой.

Для определения параметров расчетной ветровой волны в водоемах разного вида и размеров, а также высоты нагона воды (при расчетной скорости ветра) над статическим уровнем в свое время предлагался ряд различных формул (В. Г. Андреянова, Н. А. Лабзовского, А. П. Браславского и др.). В настоящее время

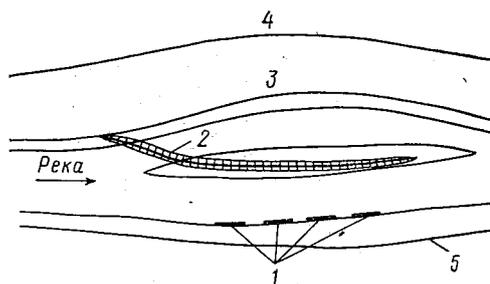


Рис. 21.2. Оградительное сооружение порта на свободной реке.

1 — причальные сооружения; 2 — струенаправляющая дамба; 3 — пойма; 4 — надпойменная терраса; 5 — коренной берег.

способы определения параметров ветровой волны в глубоководных и мелководных зонах водохранилищ установлены нормативными документами — СН 92—60 и СН 288—64.

Дамбы возводят в речных портах и как струенаправляющие сооружения в тех случаях, когда в акватории перед причальными сооружениями, где должны отстояться при погрузочно-разгрузочных работах и маневрировать составы судов, имеются сильные косые течения потока с поперечными составляющими скоростей более 0,4 м/с. Такие условия имеются в частности, при наличии перед причальной линией островов или мелей, через которые при высоких расходах половодий и паводков переливается вода.

В других случаях эти сооружения устраивают для предотвращения значительных отложений наносов в подходах к причальным линиям, которые трудно на спаде половодий или паводков своевременно удалять дноуглубительными снарядами.

Пример расположения струенаправляющей дамбы в русловом речном порту показан на рис. 21.2.

Ледозащитные сооружения служат для задержания и разлома в необходимых случаях больших льдин перед причалами и местами зимнего отстоя судов. Поэтому ледозащитные сооружения располагают на подходе к ним выше по течению.

При слабом ледоходе и небольшой глубине воды лед может быть задержан кустами свай, располагаемыми обычно на расстоянии 3—5 м друг от друга и состоящими каждый из 5—12 свай.

При значительной глубине воды и более сильном ледоходе возводят свайные ледорезы, представляющие собой пространственные конструкции с обшитой деревом и металлом передней наклонной гранью (рис. 21.3). На эту грань ледорезов под действием течения вползают крупные льдины, а затем под влиянием своей тяжести разламываются. Расстояние между отдельными ледорезами назначается обычно от 10 до 15 м.

При очень сильных ледоходах возводят ледорезы более тяжелых типов — из заполненных камней ряжей, а также в виде зем-

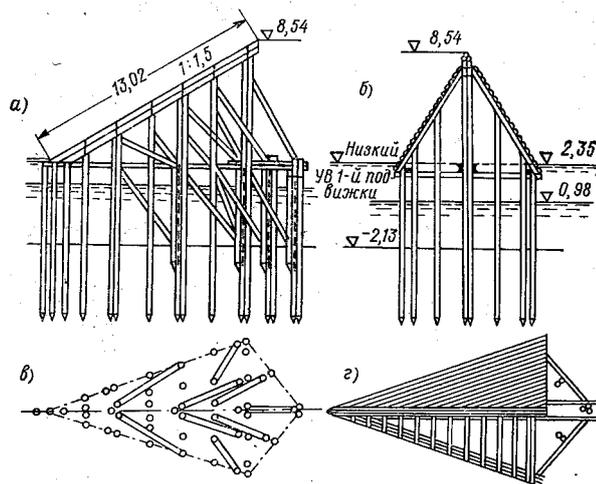


Рис. 21.3. Свайный ледорез шатрового типа.

а — продольный осевой разрез; б — поперечный разрез; в — план свай и нижних подкосов; г — вид сверху.

ляных и каменных дамб с сильным креплением их откосов и гребня и даже в виде бетонных стен.

Давление льда на ледозащитные сооружения определяют по СН 76—66.

Причалы, образующие причальный фронт, являются основными эксплуатационными гидротехническими сооружениями речных портов и пристаней на внутренних водных путях, предназначенными для стоянки у них судов при погрузочно-разгрузочных работах, посадке-высадке пассажиров и других портовых операциях.

От схемы причального фронта, типа причалов и оснащенности их оборудованием в большой степени зависит успешность, быстрота и экономичность портовых операций.

Причалы в речных портах и пристанях по условиям их эксплуатационной работы разделяются на постоянно действующие, весенние и меженные.

Выбор между ними зависит в основном от амплитуды навигационных колебаний уровней воды в реке и категории (грузооборота) порта.

Постоянно действующими (всю навигацию) создаются, как правило, причалы на всем протяжении причального фронта в портах на искусственных водных путях и в новых крупных портах на свободных реках при относительно небольших (до 5—6 м) колебаниях уровней воды перед ними.

Затопление этого причального фронта и прилегающей к нему портовой территории допускается только при высоких половодьях с вероятностью превышения 1—10 % в зависимости от категории порта.

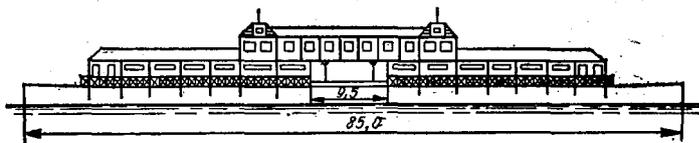


Рис. 21.4. Плавающий причал (дебаркадер).

Весенние причалы устраивают на малых реках, судоходство на которых возможно только в период половодья.

Отдельные весенние и меженные причалы создают в портах и пристанях преимущественно низких категорий при больших (обычно выше 10 м) навигационных колебаниях уровней воды перед ними.

Причалы речных портов и пристаней могут быть плавучими и стационарными.

Плавучие причалы представляют собой судно, устанавливаемое у берегового откоса на якорях и причальных тросах, закрепленных за расположенные на берегу причальные тумбы. Причал соединяется с берегом мостиком, или сходнями. Корпус его изготавливают, как правило, из железобетона, а переходные мостики — из металла и дерева.

На плавучих причалах типа дебаркадера имеются надстройки, чаще всего в два этажа, в которых размещаются служебные помещения. В первом этаже среднюю часть надстройки оставляют свободной для прохода пассажиров и перемещения грузов (рис. 21.4).

Достоинства дебаркадеров как причалов заключаются в возможности установки их при любом колебании уровня воды, хорошей амортизации ими ударов судов, удобной швартовке, подходе и особенно отходе от них судов (при заходе корпуса судна за лицевую грань причала).

В связи с этими особенностями плавучие причалы получили в СССР распространение преимущественно на свободных реках и водохранилищах со значительными (более 3—4 м) колебаниями навигационных уровней воды.

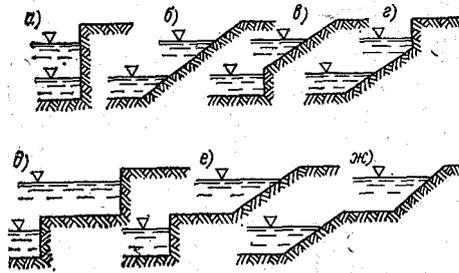


Рис. 21.5. Поперечные профили причального фронта.

a — вертикального; *b* — откосного; *v* — полукоткосного; *g* — полувентриального; *g* — двухъярусного вертикального; *e* — двухъярусного откосного; *z* — двухъярусного полукоткосного.

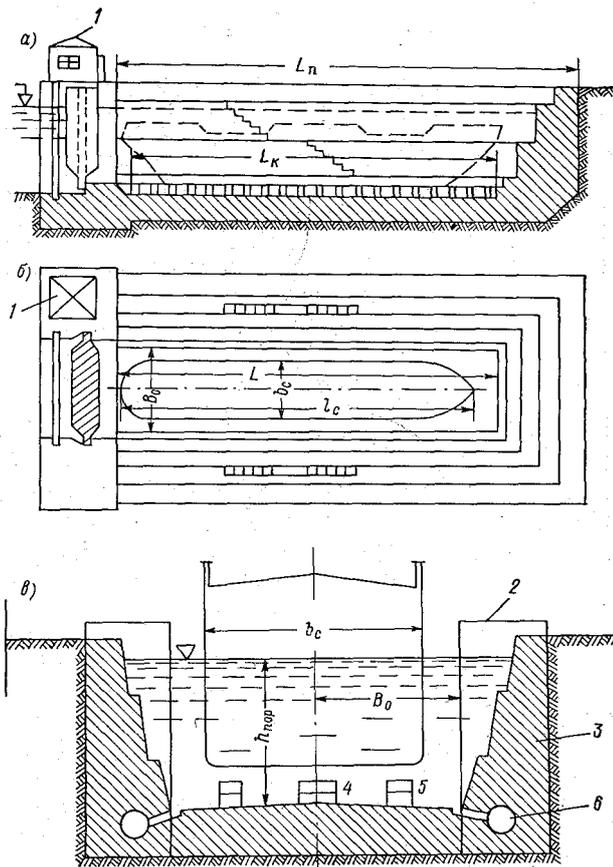


Рис. 21.6. Сухой док.

a — продольный разрез; *b* — план; *c* — поперечный разрез; 1 — насосная станция; 2 — стенка головы; 3 — стенка камеры; 4 — кильблоки; 5 — боковая опора; 6 — водопроводная система.

Недостатками плавучих причалов является необходимость отвода их на зиму в затоны, трудность механизации погрузочно-разгрузочных работ, большие эксплуатационные расходы.

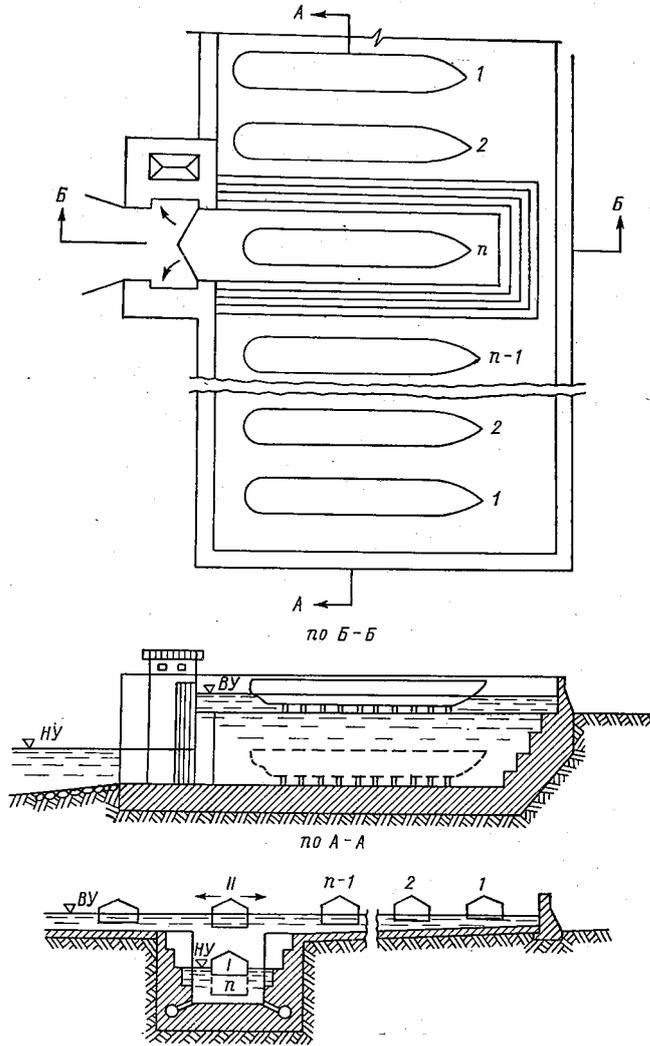


Рис. 21.7. Схема наливного дока.

1, 2, ..., n-1, n — суда в порядке их установки на ремонт.

Тип стационарного причального сооружения определяется в основном расположением его относительно территории порта и поперечным профилем причального фронта, от которого зависят условия стоянки судов у причала и условия производства перегрузочных работ.

В портах на внутренних водных путях наибольшее распространение получили причальные набережные, примыкающие по всей их длине к береговой территории порта. Характерные поперечные профили береговых причалов показаны на рис. 21.5. Из них чаще стараются возводить вертикальные причалы, так как к ним суда могут подходить вплотную в течение всей навигации. При этом обслуживающие их перегрузочные механизмы имеют наименьший вылет.

К судоремонтным гидротехническим сооружениям относятся сухие и наливные доки.

Схема сухого дока приведена на рис. 21.6. Из него видно, что торцовая стенка камеры дока, обращенная к портовой акватории, закрывается воротами — плавучим затвором (батопорт) — или воротами другого типа. Камера дока наполняется водой через боковые галереи в продольных стенках и освобождается от воды через насосную станцию. На дне камеры заранее устанавливаются опоры (кильблоки) для докируемого судна. Непосредственно рядом с доком помещают различные мастерские, а продольные стенки его оборудуют передвижными кранами. Недостатком сухих доков является их малая пропускная способность. Этот недостаток устраняется в наливных доках, дающих возможность докировать несколько судов (рис. 21.7). Как видно из этого рисунка, уровень воды в доке может быть поднят (налит) насосами до высокого горизонта (ВГ), находящегося значительно выше горизонта в портовом бассейне. Ремонтный двор окружают водонепроницаемой бетонной или железобетонной подпорной стенкой.

Для докирования судов надо сравнять горизонты в портовом бассейне и в доке, открыть ворота и ввести судно в док в положение I, закрыть ворота и насосами поднять уровень воды в доке до горизонта ВГ (при этом судно переместится в положение II); передвинуть лебедками судно в положение 1, 2, считая от подпорной стенки; снизить горизонт воды и поставить судно на кильблоки. Чтобы не всплыли уже ранее установленные суда при вводе в наливной док очередного судна, ремонтному двору придают уклон в сторону камеры. Для малых судов применяют также наливные доки с тележками на ремонтном дворе.

Глава 22. Лесосплав

22.1. Условия и виды водного транспорта леса

Лесосплав представляет собой способ транспортирования круглого (не пиленного) леса по воде, использующий естественное свойство древесины — ее плавучесть — и движущую силу потока воды.

Широкому распространению лесосплава в СССР способствует то обстоятельство, что основные лесозаготовки производятся в се-

верных и восточных районах страны, богатых реками, вследствие чего транспорт леса по воде используют, начиная с мест вырубki леса и кончая доставкой его в отдаленные районы.

Водный транспорт леса тесно связан с речным флотом; в общем его грузообороте лесные грузы занимают 30 %, а в Северо-Двинском, Обь-Иртышском, Ангаро-Енисейском и Волжско-Камском речных бассейнах — 80 %. Транспортировка леса по воде примерно в 8—10 раз дешевле, чем по железной дороге, что обусловлено меньшими затратами на устройство и содержание водного пути и значительно меньшими вложениями в эксплуатацию удельных (в расчете на 1 м³ перевозимой древесины) тяговых средств.

Различают первоначальный и транзитный, или магистральный, лесосплав.

Первоначальным называется сплав, проводимый из глубины лесных массивов к магистральным путям — водным или железнодорожным. Пути первоначального сплава могут быть мелкие реки, лесосплавные лотки и каналы. Продолжительность нахождения в пути древесины, сплавляемой по этим путям, составляет 5—40 дней. В пунктах примыкания путей первоначального сплава к транзитным оборудуются лесные рейды, на которых происходит подготовка древесины к дальнейшему перемещению по воде или по суше. *Магистральным* называется сплав по крупным рекам. Протяженность магистральных сплавных путей достигает тысяч километров.

В лесосплавной практике СССР существуют следующие основные способы сплава леса: молевой, кошельный, плотовый и перевозка леса на судах.

При *молевом* сплаве древесина сплавляется по реке отдельными бревнами — россыпью. Это характерная особенность первоначального сплава и на транзитном (магистральном) сплаве этот способ не применяется. Каким же способом попадает древесина на молевой сплав?

Лес, разработанный в лесосеках, подвозят сухопутным транспортом (автомобилями, узкоколейными железными дорогами, тракторными тракторами) к сплавным складам, расположенным на мелких водотоках. На складах лес подготавливают к сплаву (очищают от остатков веток и пилят на бревна определенной длины) и укладывают штабелями на берегу реки. После прохода весеннего паводка эти штабеля сбрасывают в реку. Основные недостатки молевого сплава: а) утоп древесины, особенно лиственных пород; б) потери древесины на берегах и на отмелях; в) засорение реки топьяками, что препятствует дальнейшему проведению сплава, кроме того нарушает нормальные условия жизни ихтиофауны, вплоть до полной гибели ее наиболее ценных представителей; г) ограничение только несудоходными реками; д) неэкономичное использование воды в связи с невозможностью сплава на паводке, так как при снижении горизонта воды лес оседает на берегах и увеличиваются его потери. В настоящее время на многих

реках, где водятся ценные породы рыб, молевой сплав запрещен, а скопившийся в русле топляк подлежит полному удалению.

При необходимости сплава леса через относительно небольшие озера, где течения незначительны, молевой сплав оказывается невозможным; поэтому транспорт леса через такие водоемы производят в буксируемых кошелях (рис. 22.1). Кошель представляет собой раму, называемую оплетником, или обноской, составленную из бревен, связанных между собой в цепочку канатами, тросами

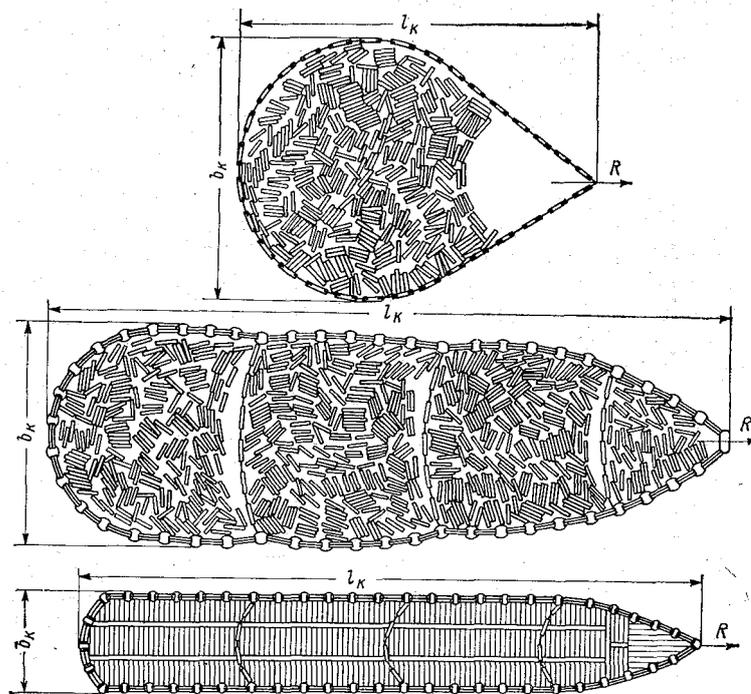


Рис. 22.1. Кошели.

или цепями: внутри кошеля в один ряд свободно плавают бревна. Так как сопротивление кошеля движению очень велико, то для его проводки часто применяют специальный прием, называемый *перетяжкой*, или *варпованием*. Варповальный буксир отходит от кошеля в направлении движения, травя тяговый трос, становится на якорь и подтягивает к себе кошель, наматывая тяговый трос на барабан лебедки (рис. 22.2).

В пункте, где расположен лесной рейд, сплавляемую молью древесину задерживают *запаныю* (рис. 22.3), перед которой образуется *молехранилище*, или *пыж*. Ширина пыжа равна ширине реки, а длина его может достигать нескольких километров.

Несущей частью запани является так называемый *лежень*, состоящий из двух рядов стальных тросов — верхнего и нижнего

(рис. 22.4). Тросы связывают между собой стальными стропами или деревянными спицами и поддерживают на воде поплавками в виде плиток или сплотов из нескольких рядов бревен. В сред-

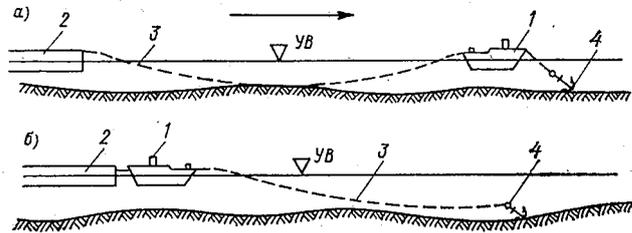


Рис. 22.2. Способы перемещения кошеля.

а — к катеру, установленному на якорю; б — к якорю; 1 — варповальный катер; 2 — кошеля; 3 — стальной канат; 4 — якорь.

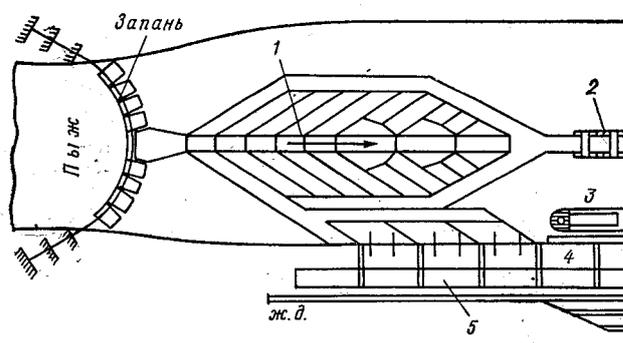


Рис. 22.3. Схема лесного рейда.

1 — сортировочный рейд; 2 — сплоточная машина; 3 — судно; 4 — причал; 5 — склад.

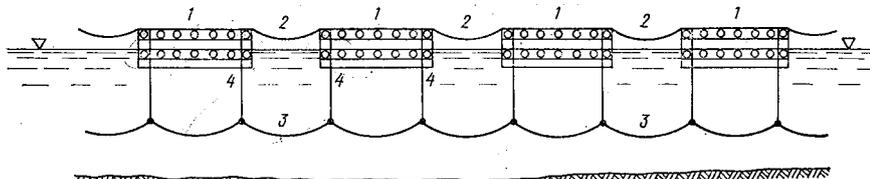


Рис. 22.4. Запань.

1 — плитки из бревен; 2 — верхний лежень-трос; 3 — нижний лежень-трос; 4 — стропы.

ней части запани пропускают одну или две плитки, вследствие чего здесь образуется свободный участок — ворота, через которые разбирают пых по бревнам и направляют их на лесосортировочный рейд. Такой рейд представляет собой специально оборудованную акваторию, на которой производят сортировку, сплотку и частично выгрузку леса. Сортировочный рейд оборудован системой

установленных на якорях плавучих бревенчатых бон, образующих пешеходные дорожки (см. рис. 22.3). Главный коридор рейда начинается непосредственно от ворот запани. К нему примыкают под углом боковые коридорчики и дворики. Рабочие, стоя на бонах, баграми направляют бревна из пыжа в ворота запани и далее сортируют, направляя в соответствующий дворик. Из глав-

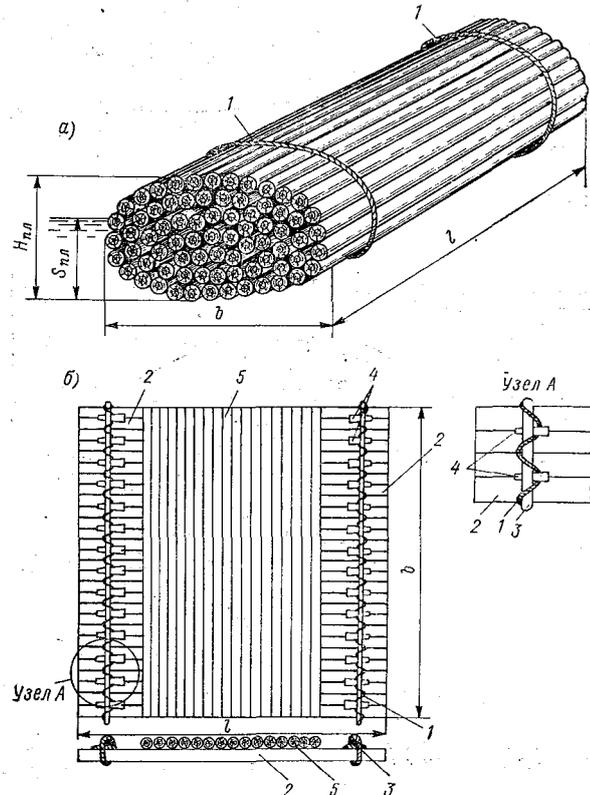


Рис. 22.5. Слоточные единицы.

a — пучок; *b* — плитка; *1* — обвязка; *2* — нижний ряд бревен;
3 — рамник; *4* — клинья; *5* — второй ряд бревен.

ного сортировочного коридора и дворики лес направляют на слоточные машины, где лес вяжут в слоточные единицы. Слоточные единицы счаливают тросами или цепями, собирая в *плоты*.

Существуют два основных вида слоточных единиц — пучки и плитки, или кошмы (рис. 22.5). *Пучок* представляет собой связку бревен, образующих в поперечном сечении овальное тело. Процесс вязки пучков на слоточных машинах полностью механизирован и это является их большим преимуществом перед кошмами. *Кошма* — квадратная в плане клетка из бревен, уложенных в двух взаимно перпендикулярных направлениях в два-четыре ряда.

Плот представляет собой транспортную единицу, совершающую только один рейс. По прибытии на место плот разбирают и лес используют по назначению. В основном различают два типа плотов: самосплавные управляемые и буксируемые. Самосплав плотов, как и молевой сплав, на судоходных реках запрещен.

В зависимости от условий реки, по которой сплавляется небуксируемый плот, главным образом от скорости течения и ширины сплавной трассы, изменяется размер плота и способ управления им. На бурных узких реках плоты короткие; на носу плота устраивают два-три рулевых весла, называемых гребями, с помощью которых гребцы удерживают плот на нужном расстоянии от берегов и прочих препятствий. На широких реках со спокойным течением плоты достигают длины 500 м и ширины 40 м. Управление таким плотом достаточно пассивное и состоит в притормаживании его кормы, для чего используются опускаемые на дно с заднего конца плота чугунные грузы-лоты. Останавливают плот с помощью якорей.

При буксируемых плотах также применяют лоты и якоря, так как даже сравнительно мощные буксиры не могут удержать хвостовую часть плота на курсе, а тем более остановить плот, т. е. фактически буксировщик в значительной степени выполняет функцию руля, удерживая нос плота в нужном направлении.

На крупных водоемах (морях, озерах, водохранилищах), где возможно большое волнение, сплав леса осуществляется в так называемых сигарах, представляющих собой сплотку в виде укрупненного пучка бревен, суженного к концам и крепко перевязанного в поперечном и продольном направлениях тросами или цепями.

На судах перевозят главным образом переработанный лес. Если перевозка осуществляется по внутренним водным путям, то для нее может быть использовано любое грузовое самоходное и тем более несамоходное судно. По морям лесоматериалы транспортируются преимущественно в специальных судах — лесовозах.

22.2. Организация лесосплавных путей

Сплавопропускная способность водного пути характеризуется количеством лесоматериалов (в кубических метрах), которое может быть сплавлено в единицу времени (час, сутки, сезон) по данному пути. Эта способность зависит от морфометрических, гидрологических и гидравлических особенностей конкретных рек, что создает разные условия проведения на них сплава и существенно влияет на организацию сплавных работ, их стоимость и производительность труда.

В практике лесосплава реки в зависимости от скорости течения воды и уклонов делят на три типа: равнинные, полугорные и горные.

К равнинным рекам относят реки с уклонами 0,0005 и менее, со скоростями течения до 1,25 м/с. Для них характерны отмели

(побочни), перекаты, осередки, неславные рукава, староречья и другие препятствия сплаву, широкие часто затопляемые поймы, высокие половодья и сравнительно низкие паводки.

Полугорные реки имеют уклоны 0,0005—0,0009, резко изменяющиеся на отдельных участках; скорости течения в период сплава 1,25—2,0 м/с и больше. Для них тоже характерны высокие половодья и сравнительно невысокие паводки.

К горным относятся реки с уклонами более 0,001; средние скорости течения в период сплава значительно превышают 2 м/с. Для них характерны порожистые участки, водопады, высокие и частые паводки.

В зависимости от ширины сплавные реки делят на пять категорий (табл. 22.1).

Таблица 22.1

Категории сплавных рек в зависимости от ширины

Категория рек	Ширина реки, м	
	равнинная полугорная	горная
I — очень малые (ручьи)	До 6	До 6
II — малые	6—13	6—15
III — средние	13—25	15—45
IV — большие	25—55	45—100
V — крупные (судоходные или временно судоходные)	55	100

По степени приспособленности к сплаву реки каждой категории делят на три группы (А, Б и В).

Группа А — реки, на которых проведены простейшие мелиоративные работы в наиболее трудных для сплава местах.

Группа Б — реки, улучшенные на большей части своей протяженности: русло очищено, лесосплавные протоки и затопляемые поймы ограждены лесонаправляющими сооружениями, построены сооружения для регулирования порогов, перекатов и т. п.

Группа В — реки, на которых проведены все мелиоративные работы, необходимые для беспрепятственного продвижения лесоматериалов, в том числе и регулирование стока плотинами.

В лесосплавной практике применительно к каждому типу, категории и группе рек разработаны единые нормы выработки.

Лесопропускную способность реки определяют по расчетным створам, для чего сплавную часть реки разбивают на участки каждый из которых характерен морфометрическими, гидравлическими и гидрологическими особенностями. На однообразных плесах, благоприятных для сплава, длина участков принимается 10—30 км, на перекатах и порогах — 1—2 км. В пределах каждого расчетного участка устанавливают расчетные створы, наиболее неблагоприятные на участке, по которым устанавливают все

транспортные характеристики: расчетную продолжительность лесосплавного периода, лесопропускную способность и минимальный сплавный расход воды в реке.

При молевом сплаве суточную сплавопропускную способность (m^3) в расчетном створе реки определяют по формуле

$$N_{\text{сут}} = 3600 t b_c v_a q \beta k, \quad (22.1)$$

где t — количество рабочих часов в сутках; b_c — ширина сплавного хода, принимаемая при предварительных расчетах равной 0,8 ширины реки, м; v_a — средняя поверхностная эксплуатационная скорость течения в выбранном створе, м/с; q — отношение объема сплавной единицы к занимаемой ею площади водной поверхности; при сплаве бревен это отношение равно $\pi/4d_{\text{ср}}$ (где $d_{\text{ср}}$ — средний диаметр бревен, м); β — коэффициент заполнения лесом площади сплавного хода, принимаемый для равнинных рек 0,1—0,15, для горных и полугорных — 0,05; k — коэффициент перехода от поверхностной скорости течения к технической скорости движения бревен (табл. 22.2).

Таблица 22.2

Значения коэффициента k

Вид сплава	При скоростях течения	
	< 1,5 м/с	> 1,5 м/с
Молевой	0,7	0,5
при ширине реки до 10 м	0,8	0,6
при ширине реки более 10 м	0,75	0,90
В сплоточных единицах		

Ширину реки и скорость течения определяют по графикам зависимости расхода воды и ширины реки в среднем сечении (или поверхностной скорости) от уровней воды в реке. Такие графики строят в каждом расчетном створе участков.

Расчет сплавопропускной способности реки ведется по маловодному году, т. е. 75 и 90 %-ной обеспеченности. Причем, по году водностью, обеспеченностью 75 %, сплавопропускная способность определяется при сроке эксплуатации реки менее 5 лет.

Сплавопропускная способность реки за сплавной период ($m^3/\text{сезон}$) в данном створе определяется по формуле

$$N_{\text{сез}} = \sum_0^t N_{\text{сут}} \Delta t, \quad (22.2)$$

где Δt — интервалы времени, для которых определялась сплавопропускная способность реки в лимитирующем (с ограниченной сплавопропускной способностью) створе.

При лесосплаве в сплоточных единицах сплавопропускную способность (m^3) определяют по формуле

$$N_{\text{сут}} = (T/t) V, \quad (22.3)$$

где T — продолжительность рабочего времени в сутках, мин; t — интервал времени пуска в сплав сплоченных единиц, мин; V — объем сплоченной единицы, м³; при спуске сплоченных единиц партиями за величину V принимают объем всех одновременно пускаемых в сплав сплоченных единиц.

Большинство лесных рек, служащих путями первоначального сплава, в естественном состоянии обычно далеко не полностью удовлетворяют требованиям лесосплава. Поэтому они приводятся в пригодное для этой цели состояние с помощью мелиоративных работ (от латинского *melioratio*, что значит улучшение).

Мелиорация сплавных путей включает: 1) расчистку русла от топляков, корчей, остатков сооружений, камней и пр.; 2) спрямление извилин речного пути прокопами; 3) дноуглубление на перекатах; 4) обоновка реки; 5) укрепление берегов; 6) шлюзование рек; 7) регулирование стока.

Обоновка, т. е. установка бонов, требуется на всех реках, на которых производят молевой сплав. Обоновка направляет моль по

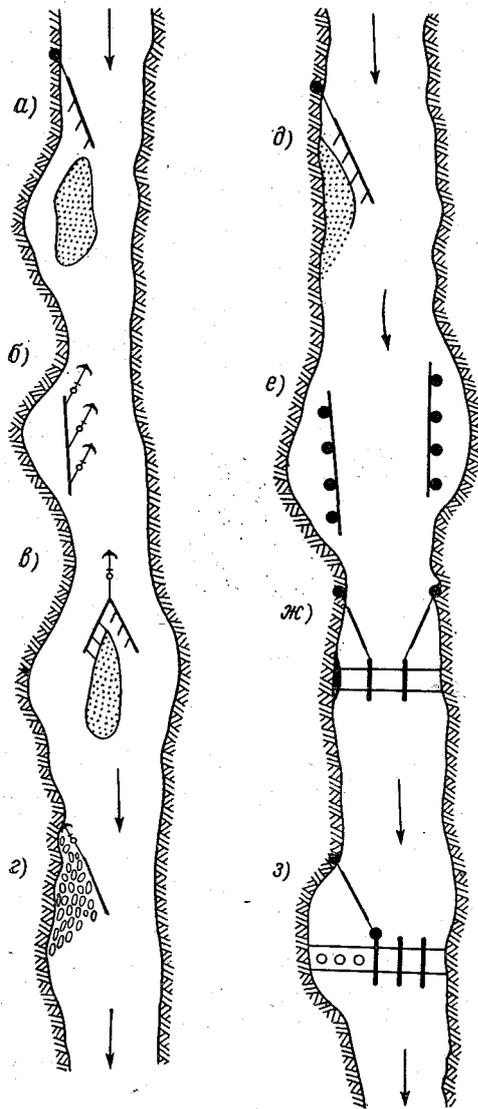


Рис. 22.6. Схема обоновки реки.

a — староречье, рукав; b — расширение русла; c — песчаный остров; z — каменная гряда; d — песчаная отмель; e — широкая пойма; $ж$ — мост; $з$ — гидроэлектростанция.

сплавному пути и не допускает бревна в староречья, на мелководьях, на островах, каменные гряды и т. п. (рис. 22.6). Сам бон представляет собой одно или несколько соединенных вместе бревен, находящихся в горизонтальном положении на поверхности воды и удерживаемых при помощи свай или якорей.

Шлюзование реки может быть выполнено как только с целью улучшения лесосплава, так и с целью улучшения судоходства. В первом случае водоподъемные плотины будут значительно меньше, чем во втором, однако и в том и в другом случае в плотинах должны быть устройства для пропуска судов или леса или того и другого вместе.

Плоты могут проходить плотину и через судоходные шлюзы, однако это не целесообразно в связи со значительным расходом воды, поэтому даже при наличии шлюзов в плотинах устраивают специальные лесопропускные устройства, называемые лесоспусками, бревноспусками, плотоходами и пр. В зависимости от размеров плотины меняется и конструкция этих устройств.

Для пропуска через невысокие плотины леса, плывущего мелем, обычно применяются лесосплавные лотки (см. рис. 11.13), которые, как правило, выполняются из дерева, но могут быть и из других материалов. В зависимости от количества подаваемой в них воды такие лотки разделяются на сплавные, полусплавные и мокрые, или смачиваемые.

На более высоких плотинах устраивают плотоходы, представляющие собой наклонные лотки прямоугольного сечения из дерева, бетона или железобетона шириной 5—20 м. В головной части плотохода, располагаемой в створе плотины, имеется быстро действующий затвор, обычно сегментного типа, прекращающий сброс воды из верхнего бьефа, когда сплав не производится.

При глухих плотинах со значительным напором иногда бывает выгодно вообще отказаться от бревноспуска и устроить механическую перевалку леса из верхнего в нижний бьеф через гребень плотины при помощи механических лесотасок.

Кроме водоподъемных плотин, предназначенных для шлюзования лесосплавных рек, иногда на притоках этих рек создают зодохранилищные плотины без лесопропускных устройств. Такие плотины создают запасы воды обычно несколько сотен тысяч кубических метров для попусков в период мелководья:



Раздел пятый

МЕЛИОРАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ¹

Глава 23. Задачи и виды мелиораций

Под мелиорацией понимается система технических мероприятий, направленных на коренное улучшение неблагоприятных природных условий используемых земель.

Различают три основные задачи мелиорации:

а) улучшение земель, находящихся в неблагоприятных условиях водного режима, выражающихся либо в избытке влаги, либо в ее недостатке по сравнению с тем количеством, которое считается необходимым для эффективного хозяйственного использования территории;

б) улучшение земель, обладающих неблагоприятными физическими и химическими свойствами почв (тяжелых глинистых и иловатых почв, засоленных, с повышенной кислотностью и пр.);

в) улучшение земель, подверженных вредному механическому воздействию, т. е. водной и ветровой эрозии, выражающейся в образовании оврагов, оползней, развевании почвы и пр.

В зависимости от конкретной задачи применяются и различные виды мелиораций.

Мелиорация, направленная на удаление с территории избыточной влаги, носит название осушительной. Она находит применение, кроме сельского хозяйства, в коммунальном, промышленном и дорожном строительстве, торфодобыче, при проведении оздоровительных мероприятий на заболоченных территориях и других видах освоения земель.

Мелиорация, направленная на ликвидацию недостатка воды в почвогрунтах сельскохозяйственных полей, носит название орошения.

Мелиорация земель с неблагоприятными физическими свойствами почв направлена на усиление аэрации, увеличение скважности и водопроницаемости почв. Для этого вводятся правильные севообороты, применяется пескование иловатых почв и кротовый дренаж, способствующий увеличению воздухо- и водопроницаемости глубоких слоев почв. Мелиорация земель с неблагоприятными

¹ Здесь рассматриваются в основном сооружения и устройства, используемые в мелиорации. Все остальные вопросы мелиорации земель студенты-гидрологи изучают в курсах «Мелиоративная гидрология» и «Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты».

ными химическими свойствами почв заключается в удалении вредных солей путем промывки, уменьшения кислотности почв внесением извести, повышении питательных свойств почв удобрениями и введении правильных севооборотов с повышенным удельным весом трав.

Мелиорация земель, подверженных водной и ветровой эрозии, обычно включает мероприятия, направленные на уменьшение количества и скорости стекающих поверхностных вод, увеличение сопротивляемости почв размыву и развеиванию. Эти мероприятия базируются на применении широкого комплекса лесокультурных, агротехнических и гидротехнических средств.

В современных условиях на большинстве территорий, подверженных мелиоративным работам, как правило осуществляется не один из рассмотренных выше видов мелиорации, а несколько, в зависимости от сочетания природных и хозяйственных условий. Так, одновременно с орошением территории на ней создаются лесные полосы, на орошаемых полях вводятся севообороты, применяются удобрения, осуществляются промывки засоленных участков и пр. Все это, особенно при огромных масштабах мелиоративного строительства в нашей стране, делает мелиорацию одним из ведущих антропогенных факторов преобразования природы в целом и гидрологического режима в частности.

Из отмеченных выше различных видов мелиоративных работ очевидно, что многие из них вовсе не относятся к компетенции гидротехники. Среди них, например, лесомелиорации, агро-мелиорации и др. Поэтому в дальнейшем будут рассмотрены только те мелиоративные работы, которые принято объединять в группу так называемых водных мелиораций, это: орошение, осушение и борьба с водной эрозией.

Глава 24. Орошение сельскохозяйственных угодий

24.1. Виды и способы орошения

Орошение — это искусственное увлажнение почвы. Применяется оно там, где естественное увлажнение почвы атмосферными осадками недостаточно для получения высоких устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Орошение обеспечивает наиболее благоприятные для растений водный и связанные с ним питательный, воздушный, тепловой, солевой и микробиологические режимы почв.

Необходимый водный режим почвы на орошаемых полях создается и регулируется оросительной системой, т. е. совокупностью гидротехнических и других сооружений для орошения земель. Основными задачами этого комплекса сооружений являются: регулирование источника орошения и забор из него удовлетворительной по качеству воды в требуемом количестве; транспортировка воды от водозабора до полей, перевод воды на полях

из состояния сосредоточенного водного потока в состояние почвенной влаги; отвод за пределы орошаемого района избыточных поверхностных и грунтовых вод.

Орошение может быть *регулярным*, или *правильным*, когда вода на поля подается непрерывно или несколько раз в течение вегетационного периода, и *однократно действующим*, при котором вода подается только один раз в году — во время весенних или летних паводков (паводковое или лиманное орошение). Для условий нашей страны значительно более важным является регулярное орошение, рассмотрению которого и посвящаются большинство подразделов настоящей главы. (Лиманное орошение см. в п. 24.6.)

При регулярном орошении увлажнение почвы на полях и снабжение растений водой производят разными способами, в соответствии с которыми различают: самотечное поверхностное орошение, дождевание, подпочвенное и капельное орошение.

Наиболее распространен в настоящее время первый из указанных способов орошения, хотя более совершенным является дождевание; в нашей стране доля поливных площадей, на которых применяется дождевание, постоянно возрастает. Внутрпочвенное орошение используется редко и на небольшой площади, а капельное орошение в СССР пока еще находится в стадии опытов.

Количество воды, используемой в орошаемом земледелии, характеризуется своими специфическими единицами измерения. Это оросительная норма M , поливная норма m и гидромодуль q .

Оросительной нормой называют количество воды, которое необходимо подать на 1 га поливной площади, занятой данной культурой, за весь оросительный период, чтобы получить заданный урожай. Следовательно, единица измерения оросительной нормы $m^3/\text{га}$.

Вода с полей расходуется непрерывно, но на поля она таким образом подается только при орошении риса способом затопления (см. п. 24.2), импульсном дождевании (см. п. 24.3) и капельном орошении (см. п. 24.4.2). Во всех же других случаях по условиям техники полива почва увлажняется периодически. Оросительная норма при периодическом увлажнении разделяется на отдельные порции, называемые поливными нормами. Следовательно, *поливная норма* — это количество воды, которое подается на 1 га площади, занятой данной культурой, за один полив. Единица измерения поливной нормы также $m^3/\text{га}$.

Полivная норма выдается на орошаемое поле не мгновенно, а в течение некоторого периода времени, называемого растяжимостью полива T . Его продолжительность в зависимости от местных условий колеблется от нескольких суток до 30 дней.

При проектировании оросительных систем надо также знать секундные расходы воды, подаваемые на сельхозугодья. Эти расходы выражают через *гидромодули*.

Пусть, например, культурой A засеяна часть n_1 общей орошаемой площади F и пусть поливная норма для этой культуры M

м³/га подается круглосуточно в течение T_A дней. Тогда требуемый секундный расход воды в литрах для полива одного гектара, называемый гидромодулем, составит (л/с·га)

$$q_A = (M_A 1000) / (T_A \cdot 24 \cdot 3600) = M_A / 86,4 T_A. \quad (24.1)$$

Для культуры B , высеваемой на части n_2 общей орошаемой площади F , получим аналогично следующее выражение для гидромодуля:

$$q_B = M_B / 86,4 T_B \quad (24.2)$$

и т. д.

В те дни, когда в пределах одной оросительной системы поливы различных культур производят одновременно, значения гидромодулей суммируют.

С помощью гидромодуля удобно производить сравнительную оценку водопотребления системы.

Суммарный расход воды Q л/с для всей орошаемой площади получим, складывая выражения (24.1) и (24.2) для всех культур, предварительно умножив их на соответствующие площади орошения:

$$Q = (M_A n_1 F) / 86,4 T_A + (M_B n_2 F) / 86,4 T_B + \dots \quad (24.3)$$

Поливная норма культуры в большинстве случаев не остается постоянной даже в течение одного сезона, а изменяется от полива к поливу. Это является одной из причин изменения значений n и Q .

Наибольший интерес, в частности для проектных целей, представляют минимальное и максимальное значения суммарного расхода; эти величины используют при расчете каналов и других гидротехнических сооружений оросительной системы.

Количеству воды, необходимому для производства поливов, должна соответствовать водность источника орошения, которым могут быть реки, озера и грунтовые воды. Однако следует иметь в виду, что к воде, используемой для орошения, предъявляются требования не только в отношении ее количества, но и соответствующего качества.

14.2. Самотечное поверхностное орошение

Система поверхностного орошения (рис. 24.1) состоит из следующих частей: а) источника орошения, б) головного водозабора, в) каналов оросительной сети, г) каналов водосборно-сбросной и дренажной сети, д) гидротехнических сооружений на каналах. Проектирование такой системы осуществляют в соответствии рекомендациями СНиП II-52-74 «Сооружения мелиоративных систем. Нормы проектирования».

Если источником используемой для поливов воды служит река, то при поверхностном орошении встречается наиболее часто, то для подачи воды в оросительную систему на реке сооружается

один из типов водозаборов, рассмотренных в гл. 9, а именно: это может быть самотечный бесплотинный или плотинный водозабор или же машинный водозабор, т. е. насосная станция.

При необходимости очистки речной воды от наносов за водозабором устанавливают отстойник (см. гл. 10), из которого осветленная вода поступает в оросительную сеть.

Оросительная сеть состоит из системы каналов, которые можно разбить на две группы: постоянные и временные. В состав постоянных каналов входят магистральный канал и его ветви, межхозяйственные каналы и внутривладельческие распределители

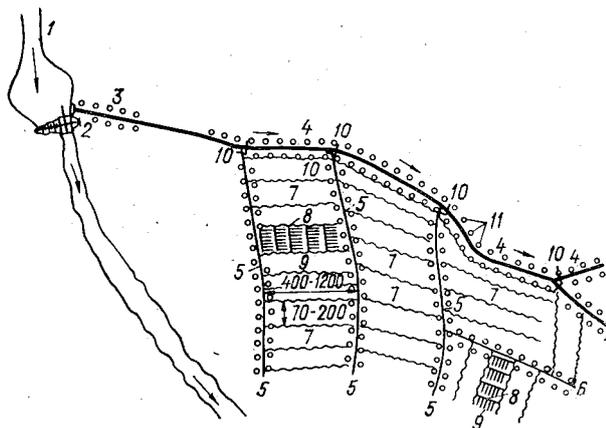


Рис. 24.1. Схема поверхностного орошения.

1 — источник орошения; 2 — головной узел; 3 — холостая часть магистрального канала; 4 — рабочая часть магистрального канала; 5 — распределитель первого порядка; 6 — распределитель второго порядка; 7 — временный ороситель; 8 — выводящая канава (борозда); 9 — поливные борозды; 10 — регуляторы; 11 — деревянные насаждения.

первого, второго, третьего порядков и т. д. (высших порядков). К временной сети относятся оросители и выводные борозды, которые нарезают и заравнивают ежегодно (нередко несколько раз в году).

Магистральный канал является первым звеном системы каналов на орошаемой площади и чаще всего состоит из двух частей — холостой и рабочей (см. рис. 24.1). Границей между этими частями канала служит точка присоединения первого распределителя. Рабочая часть магистрального канала должна господствовать над всей орошаемой площадью и питать водой все остальные каналы оросительной сети.

В целях лучшей организации орошаемого хозяйства орошаемая площадь делится на так называемые *поливные участки*, которые в зависимости от сложности рельефа и вида возделываемой культуры имеют размеры 10—60 га и более. К поливным участкам воду подводят по системе межхозяйственных распределителей

лей, а в пределы участков вода поступает через временную оросительную сеть.

Для равномерного увлажнения почвы на всей площади поливного участка воду по его поверхности во время полива пускают по *поливным бороздам* (рис. 24.2) или по *поливным полосам* (рис. 24.3). Последние образуют путем устройства на поле временных земляных валиков небольшой высоты на расстоянии 3,6—4,2 м друг от друга. И борозды, и полосы нарезают специальными машинами перед или одновременно с посевом.

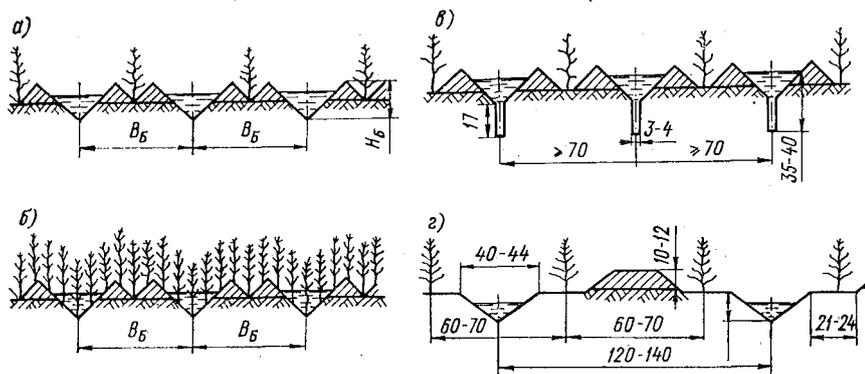


Рис. 24.2. Поливные борозды.

а — при поливе пропашных культур; б — засеваемые; в — борозды-щели; г — террасковые.
(Размеры в сантиметрах).

При выращивании риса поливной участок должен быть затоплен водой слоем примерно 15 см в течение почти всего вегетационного периода, поэтому на рисовых системах поля разбивают земляными валиками на площадки затопления — *чеки* (рис. 24.4), обычно имеющие площадь от 6 до 45 га.

Форма поперечного сечения постоянных каналов оросительной сети выбирается в зависимости от их размеров, характера грунтов основания и способа производства работ. Наиболее распространенные из этих форм приведены на рис. 11.1.

При трассировании рабочей части магистрального канала и сех других младших каналов отдается предпочтение устройству их в полувыемке-полунасыпи или даже в насыпи (рис. 11.2 д, е), как как при этом значительно упрощается подача воды на орошаемые поля. Расход воды по длине любого оросительного канала даже при отсутствии разбора в младшие каналы уменьшается з-за потерь на фильтрацию, испарение и утечки через сооружения. Расход в конце участка канала принято называть расходом нетто, а в голове участка — расходом брутто, который равен

$$Q_{бр} = Q_{нт} + Q_{потери} \quad (24.4)$$

При проектировании каналов устанавливают расчетные расходы: нормальный $Q_{норм. бр}$, минимальный $Q_{мин. бр}$, форсированный

$Q_{\text{форс. бр.}}$ По этим расходам определяют размеры поперечного сечения каналов на разных участках.

Основной расчетный расход — нормальный. По нему подбирают все гидравлические элементы канала. По форсированному

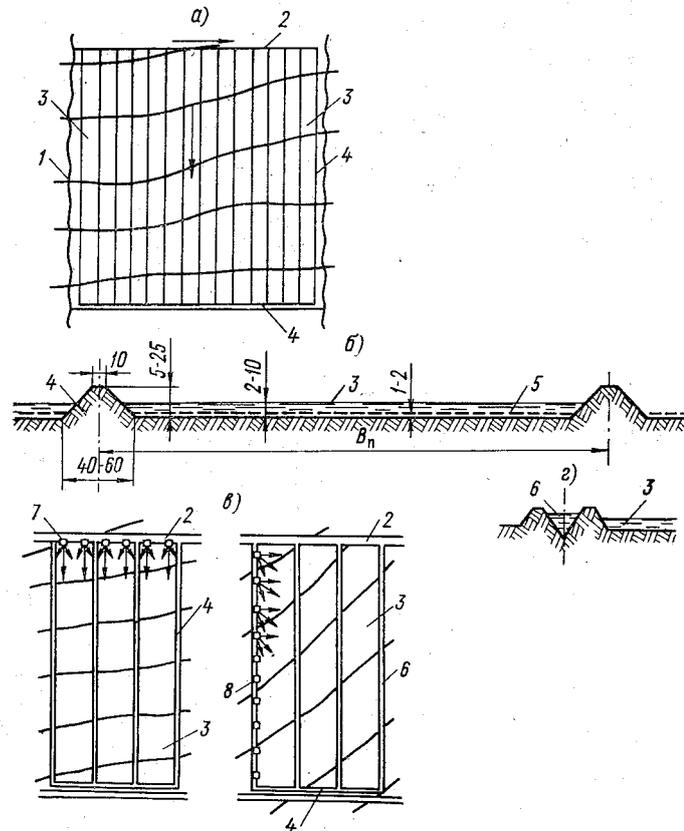


Рис. 24.3. Схемы полива по полосам.

а — расположение полос; *б* — поперечное сечение полосы, устраиваемой полосообразователем; *в* — схемы подачи воды на полосы; 1 — поперечное сечение распределительной борозды; 2 — временный ороситель; 2 — выводная борозда; 3 — поливная полоса; 4 — земляной валик; 5 — поверхность земли; 6 — распределительная борозда; 7 — головные выпуски; 8 — боковые выпуски. (Размеры в сантиметрах).

расходу находят отметки верха дамб и отметки берм, а по минимальному — местоположение водоподпорных сооружений.

Принципы определения размеров поперечного сечения каналов скорости течения и борьбы с потерями воды из каналов изложены в п. 11.2. В дополнение к сказанному обратим внимание на сложность и важность правильного выбора скорости течения, так как от нее зависят не только размеры сечения канала и, следова-

тельно, стоимость его строительства, но и состояние заиления и зарастания канала, а следовательно эксплуатационные расходы на поддержание канала в рабочем состоянии.

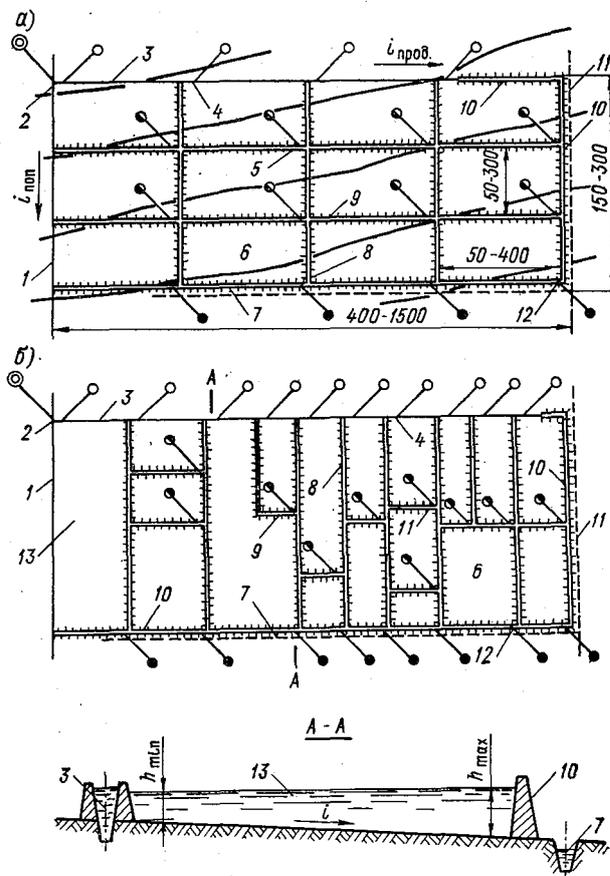


Рис. 24.4. Схемы разбивки поливных участков на чеки.

a — при однообразном уклоне местности и спокойном микрорельефе; *б* — при сложном микрорельефе; 1 — внутрихозяйственный распределитель; 2 — водовыпуск в участковый распределитель; 3 — участковый распределитель; 4 — водовыпуск в чек; 5 — водовыпуск из чека в чек; 6 — чек; 7 — участковый сбросной канал; 8 — поперечный валик; 9 — продольный чековый валик; 10 — периферийный валик; 11 — водосборный канал; 12 — водовыпуск для сброса воды из чека в сбросной канал; 13 — сквозной чек. (Размеры в метрах).

Несмотря на наличие в составе оросительных систем различных отстойников, в СССР из каналов ежегодно удаляется более 100 млн. м³ наносов. Очистка каналов от наносов относится к наиболее трудоемким эксплуатационным работам. С целью уменьшения отложения наносов в оросительных каналах мини-

мальные скорости течения воды в них рекомендуется принимать не менее 0,3 м/с и только при заборе осветленной воды из водохранилищ они могут быть снижены до 0,2 м/с.

На зарастание каналов влаголюбивой растительностью оказывает влияние ряд факторов. Скорость течения проявляется таким образом: при $v < 0,45$ м/с водная растительность развивается сильно; при $v = 0,45 \div 0,6$ м/с — средне и при $v > 0,6$ м/с — незначительно. При глубине воды более 0,8—0,9 м большая часть сорных растений не развивается. Степень зарастания зависит также от мутности воды ρ : на Амударьинских системах каналы зарастают

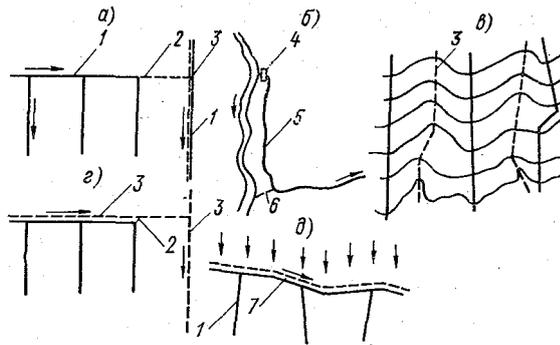


Рис. 24.5. Расположение сбросных и водосборных каналов (а—д).

1 — оросительный канал; 2 — концевой сброс; 3 — водосборный канал; 4 — головное сооружение; 5 — магистральный канал; 6 — аварийный сброс; 7 — нагорный канал.

сильно при $\rho < 0,6—0,7$ кг/м³ и очень мало при $\rho > 1—1,5$ кг/м³. Зарастание каналов в зависимости от густоты, высоты стояния и вида растений уменьшает пропускную способность каналов в 2—4 раза.

Водосборно-сбросная сеть предназначается для сбора и отвода избыточных поверхностных вод и для сброса воды из оросительных каналов. Она состоит из:

— предохранительных (аварийных) и концевых сбросов, устраиваемых для сброса избыточных вод из оросительных каналов а также для промывки оросительных каналов от наносов;

— водосборных каналов различных порядков, которые принимают воду из сбросных каналов и поверхностный сток с орошаемых земель и сбрасывают эти воды в водоприемники;

— нагорных каналов, предохраняющих орошаемые земли от поступления на них поверхностных вод с вышележащего водосбора.

Концевые сбросы устраивают в конце всех постоянных оросительных каналов с расходом $Q \geq 0,25$ м³/с. Каждый оросительный канал переходит в сбросной в той же точке, где от него отходит последний младший оросительный канал (рис. 24.5 а).

Предохранительные, или катастрофические, сбросы размещают перед наиболее ответственными сооружениями или участками каналов, в крупных узлах сооружений и по возможности у естественных понижений местности. В большинстве случаев первый предохранительный сброс делают в конце холостой части магистрального канала (рис. 24.5 б). Главные водосборные каналы располагают обычно по естественным понижениям местности: тальвегам, лощинам, оврагам. Водосборные каналы младших порядков, как правило, также проходят по наиболее пониженным местам, но при их трассировке учитывается расположение оросительных и сбросных каналов, так как они принимают воду из сбросных каналов. Если оросительные каналы одностороннего командования, то водосборные каналы проходят рядом с оросительными и выше их (рис. 24.5 а, г).

Нагорные каналы прокладывают по самым высоким отметкам орошаемой территории, обычно выше оросительных каналов (рис. 24.5 д).

Дренажная сеть служит для отвода избыточных грунтовых вод с территории оросительной системы. Необходимость сооружения дренажной сети диктуется следующими обстоятельствами.

В засушливых районах грунты нередко содержат значительное количество растворимых солей. При орошении таких территорий соли из верхних слоев грунта сначала вымываются поливными водами и излишки этой воды, не использованные растениями, идут на пополнение грунтовых вод, постепенно вызывая подъем их уровня. С течением времени капиллярная зона минерализованных грунтовых вод подходит достаточно близко к поверхности земли, что создает условия для интенсивного испарения воды, а содержащиеся в ней соли накапливаются в почве, вызывая вторичное засоление, крайне губельно действующее на сельскохозяйственные растения. Глубину залегания минерализованных грунтовых вод, при которой начинается интенсивное засоление почв, принято считать критической. Она зависит от характера почвогрунтов и минерализации грунтовых вод; на оросительных системах нашей страны эта глубина находится в пределах 1—4 м.

Борьба с засолением — одна из основных проблем орошаемого земледелия. Существует ряд способов, позволяющих замедлить подъем уровня грунтовых вод и уменьшить вынос солей в корнеобитаемый слой почвы, но коренным образом изменить водный режим, а тем более солевой режим всей толщи почвогрунтов можно только при помощи дренажа.

Дренаж на орошаемых землях — это совокупность гидротехнических сооружений (труб, каналов, скважин, насосных станций и р.), с помощью которых обеспечивается понижение уровня и точность почвенно-грунтовых вод и отвод их за пределы орошаемой территории. Существует два основных вида дренажа: горизонтальный и вертикальный, причем первый разделяется на открытый и закрытый. *Горизонтальный дренаж* состоит из системы дрен-собираателей в виде каналов (открытые дрены) или

подземных трубопроводов из гончарных, асбоцементных, пластмассовых и других труб (закрытые дрены) и коллекторов различного порядка, представляющих собой каналы, по которым дренажные воды транспортируются в водоприемники. *Вертикальный дренаж* — это группа закрепленных скважин (колодцев), из которых насосами постоянно или периодически откачивается вода.

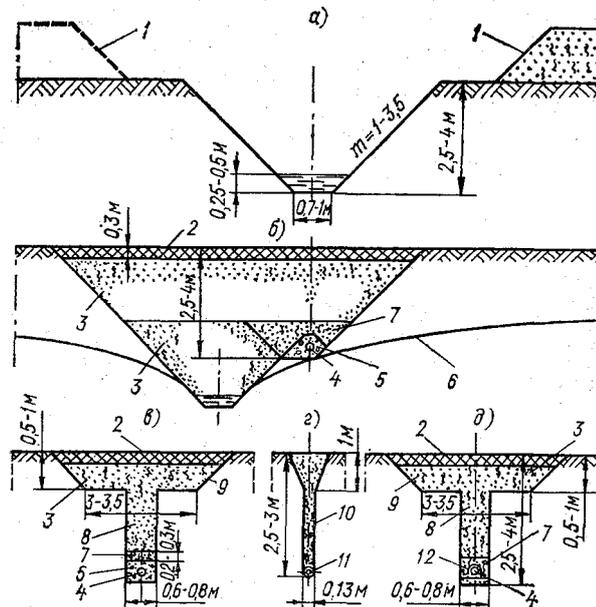


Рис. 24.6. Поперечные сечения дрен.

а — открытой; б — закрытой, устраиваемой по методу «попки» (в водонасыщенных грунтах); в — закрытой с песчано-гравийным фильтром; г — закрытой с бестраншейной пластмассовой; д — закрытой с минерально-волокнистым фильтром; е — закрытой с минерально-волокнистым фильтром; ж — закрытой с минерально-волокнистым фильтром; з — закрытой с минерально-волокнистым фильтром; и — закрытой с минерально-волокнистым фильтром; 1 — кавальер; 2 — отсыпка плодородного слоя почвы; 3 — обратная засыпка при помощи механизмов; 4 — гончарная, асбоцементная или пластмассовая труба диаметром 100—200 мм; 5 — песчано-гравийный фильтр; 6 — кривая депрессии в период закладки дрен; 7 — обратная засыпка вручную; 8 — траншеи; 9 — корыто; 10 — щель; 11 — пластмассовая труба диаметром 80—100 мм с фильтром из стеклоткани; 12 — стеклохолст.

В орошаемых районах СССР в настоящее время наиболее широко применяется горизонтальный дренаж. Схемы закрытых открытых дрен приведены на рис. 24.6. Глубину заложения дрены $H_{др}$ и расстояние между соседними дренами B рекомендуется начинать, исходя из условия, чтобы уровень грунтовых вод посередине между дренами в период наиболее интенсивного испарения находился на глубине, равной или несколько большей критической. Для выбора конкретных значений указанных параметров дренажной системы, т. е. $H_{др}$ и B , надо знать, кроме критической глубины грунтовых вод, коэффициент фильтрации грунта и пол-

жение кривой свободной поверхности (депресссионной кривой) грунтовых вод, которые определяются методами, изучаемыми в гидрогеологии. Ниже приводятся следующие ориентировочные значения B при $H_{др}=3$ м; для тяжелых суглинков ($k_{ф} < 0,5$ м/сут) 300 м, для суглинков и тяжелых супесей — 300—500 м и для легких суглинков и супесей — 500—800 м.

При вертикальном дренаже расстояние между скважинами (колодцами) более или менее точно можно установить только путем пробных откачек и наблюдений за изменением уровня грунтовых вод. По ряду запроектированных и построенных в последние годы систем площадь осушения одним колодцем изменяется от 24 до 128 га (радиус депрессионной воронки 275—640 м), глубина скважин от 32 до 100 м, а дебит от 25 до 120 л/с.

Сооружения на каналах. Каждая оросительная система помимо каналов и отмеченных выше головных водозаборов

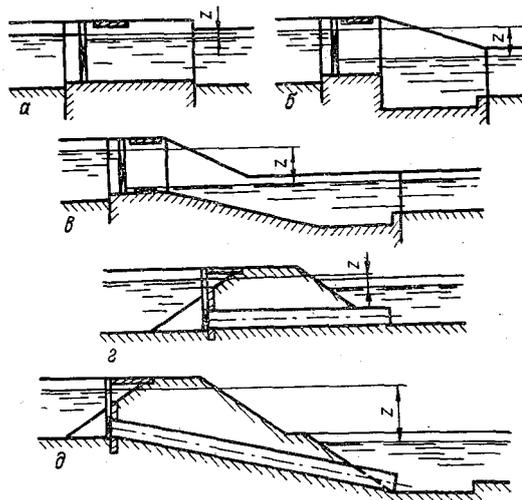


Рис. 24.7. Схемы водовыпусков. а — открытый; б — открытый с перепадом; в — открытый с быстротоком; г — трубчатый; д — трубчатый, совмещенный с перепадом.

имеет большое число других гидротехнических сооружений, расположенных преимущественно на оросительной, водосборно-сбросной и дренажной сети. Назначение и конструкция некоторых из этих сооружений, например, водопроводящих (лотков, акведуков, дюкеров), сопрягающих (быстротоков, перепадов), дорожных и других не зависят от направления водохозяйственного использования канала. О таких сооружениях шла речь в п. 11.24. Ниже будут рассмотрены некоторые сооружения, являющиеся специфическими для каналов оросительных систем, а именно: водовыпуски (регуляторы) и водоподпорные (перегораживающие) сооружения.

Наиболее распространены на оросительных системах *водовыпуски*. Их располагают в головах не только всех постоянных оросительных каналов, но и временных оросителей. Водовыпуски строят с переездом и без переезда. При больших уклонах местности по трассам каналов их часто совмещают с перепадами и быстротоками. Водовыпуски оборудуют плоскими или сегментными рабочими затворами. Трубчатые водовыпуски могут иметь прямоугольное или круглое сечение. Схемы водовыпусков показаны на рис. 24.7.

Размеры и число отверстий или число труб выбирают в соответствии с гидравлическими и технико-экономическими расчетами в зависимости от расхода и значения перепада уровней, который в большинстве случаев составляет 0,05—0,5 м. Лишь при совмещении водовыпусков с сопрягающими сооружениями перепады могут достигать нескольких метров.

Водоподпорные сооружения строят на постоянных каналах оросительной сети для поддержания в каналах необходимых командных уровней. Конструктивно водоподпорные сооружения выполняются так же, как водовыпуски. Роль водоподпорных сооружений могут выполнять шлюзы-регуляторы (см. рис. 11.11), а также регулируемые сопрягающие, проводящие и сбросные сооружения.

Местоположение водоподпорного сооружения определяется путем построения кривой подпора. Расчет проводится в предположении, что в створе сооружения проходит расход $Q < Q_{\text{норм. бр}}$, а за счет подпора должны обеспечиваться у вышележащих водовыпусков такие уровни, которые позволили бы подавать в отводы нормальные расходы воды.

В заключение отметим о существовании так называемых закрытых систем.

В закрытых системах для подачи и распределения воды применяют не каналы, а подземные или наземные напорные трубопроводы. Различают полностью закрытые системы и комбинированные. В последних вода подается и по каналам, и по трубопроводам. В большинстве случаев трубопроводами заменяют сравнительно небольшие каналы — в основном каналы внутрихозяйственной сети. Закрытую сеть разделяют также на постоянную (стационарные подземные и наземные трубопроводы) и передвижную, или переносную (наземные трубопроводы, перемещаемые по мере надобности с одной позиции на другую).

Постоянная трубчатая оросительная сеть систем состоит из магистрального, распределительных (различных порядков) и участковых трубопроводов. Последние подают воду во временную оросительную сеть, поливные трубопроводы, в поливные борозды или на поливные полосы.

Напор в трубах создается с помощью стационарных, передвижных или плавучих насосных станций или получается за счет уклона местности, когда гидравлический уклон меньше уклона местности по трассе трубопровода (в самотечно-напорных системах).

Закрытые системы характеризуются почти полным отсутствием потерь на утечки и сбросы и высоким коэффициентом использования земель. С переходом от открытых систем к закрытым облегчается распределение воды по площади в условиях сложного рельефа и создаются условия для автоматизации поливов. К недостаткам закрытых систем относят их высокую строительную стоимость (в 1,5—2 раза больше, чем для открытых систем), значительную потребность в трубах, необходимость механической энергии при малых уклонах местности.

Наиболее широко закрытые системы применяют при орошении дождеванием.

24.3. Орошение дождеванием

Оросительные системы, в которых почву увлажняют с помощью дождевальных машин или установок, называют *дождевальными*.

Дождевальные системы могут быть *стационарными, полустационарными* и *передвижными*. В последних вся оросительная сеть, включая подводящие и водозаборные устройства, во время поливов перемещается с одного места на другое, т. е. такие системы представляют собой не инженерные сооружения, а комплекты специально подобранного механического оборудования и поэтому в данной книге они не рассматриваются. В полустационарных системах перемещаются только дождевальные устройства или еще какие-либо элементы подводящей сети. В стационарных системах положение всех элементов неизменно.

При орошении дождеванием вода к полям может подаваться по закрытой (трубам) или открытой (каналам, лоткам) сети. В последнем случае система орошения состоит из тех же частей, что и при поверхностном орошении (см. рис. 24.1), причем эта идентичность сохраняется вплоть до временных оросителей. Из оросителей вода забирается дождевальными машинами и разбрызгивается по площади поливного участка в виде искусственного дождя. В процессе производства полива машина может или медленно двигаться вдоль временного оросителя, или работать позиционно, т. е. полив некоторую площадь из одной точки, затем переместиться в другую и т. д., пока не будет произведено орошение всей необходимой территории. Дождевальные машины, работающие на открытой сети, в конструктивном отношении отличаются большим разнообразием, но наибольшее распространение имеют агрегаты, состоящие из гусеничного трактора со смонтированными на нем насосом и дождевальной установкой того или иного типа, непосредственно разбрызгивающей воду.

Если вода на оросительную систему подается по закрытой сети, то для возможности подключения к ней соответствующих дождевальных машин на трубах сети, расположенных в пределах поливных участков, устраиваются *гидранты* (рис. 24.8). При этом в случае полустационарной оросительной системы одну и ту же дождевальную машину перемещают по орошаемому полю, поочередно подключая ее к разным гидрантам и поливая каждый раз участки площади, находящиеся в зоне действия машины. В случае же стационарной системы каждый гидрант снабжается дождевальной насадкой, через которую и производится полив примыкающей к гидранту территории (часто такие насадки делают вращающимися вокруг вертикальной оси и тогда поливаемая одной насадкой территория имеет форму круга с гидрантом в центре).

Несмотря на то, что применение дождевальных машин позволяет более точно дозировать и экономнее расходовать воду, чем

при поверхностном орошении, на дождевальных оросительных системах также приходится устраивать водосборно-сбросную, а иногда и дренажную сеть, функции и устройства которых были рас-

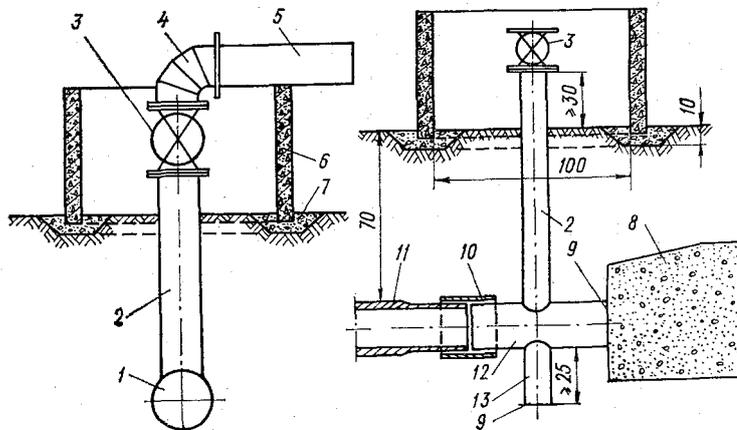


Рис. 24.8. Конструкции наземных гидрантов.

1 — трубопровод; 2 — стояк; 3 — задвижка; 4 — колено; 5 — соединительный патрубок; 6 — оградительное кольцо; 7 — песчано-гравийная подготовка; 8 — бетонный упор; 9 — заглушка; 10 — муфта; 11 — асбестоцементная труба; 12 — тройник с поддоном; 13 — поддон. (Размеры в сантиметрах).

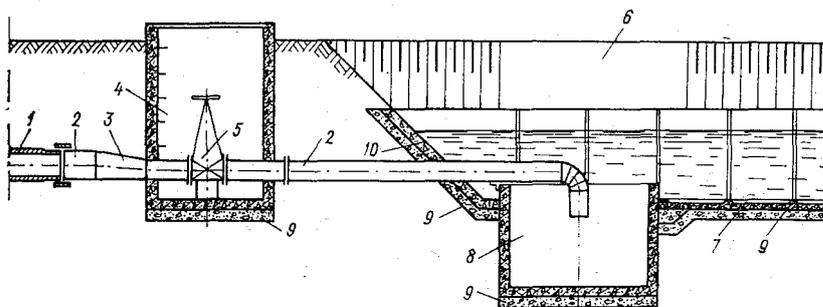


Рис. 24.9. Конструкция концевого сброса.

1 — асбестоцементная труба; 2 — стальная труба; 3 — переход; 4 — регулирующий колодец; 5 — задвижка; 6 — сбросной канал; 7 — крепление железобетонными плитами; 8 — успокоительный колодец; 9 — песчано-гравийная подготовка; 10 — бетонное крепление.

смотрены в п. 24.2. Однако следует иметь в виду, что при закрытой сети (характерной для дождевальных систем) ее отдельные элементы в конструктивном отношении имеют отличия от соответствующих элементов открытой сети. Так, например, конечной сброс на открытой сети представляет собой просто канал, а на закрытой он выглядит так, как это изображено на рис. 24.9.

Закрытые дождевальные оросительные системы могут быть полностью автоматизированы, что позволяет с их помощью систе-

матически регулировать не только увлажнение почвы, но и воздуха, создавая оптимальные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур и повышения урожая.

Достаточная степень регулирования микроклимата на полях при дождевании достигается при проведении частых поливов малыми поливными нормами, когда увлажняются только растения и поверхность почвы. При таком орошении увеличивается влажность воздуха и снижается его температура за счет испарения воды с влажной поверхности растений и почвы. Чтобы растения и почва в течение всего вегетационного периода в жаркое время находились во влажном состоянии, частота поливов должна определяться интервалами времени, за которые вода испаряется с поверхности растений. В некоторых случаях эти интервалы могут составлять только 15—20 мин. Число поливов при этом составляет 20 раз и более в сутки и 1000—2000 раз за сезон при суточном расходе воды до 80—100 м³/га. При таком дождевании не образуется поверхностного стока даже при поливах на тяжелых почвах.

Дождевание, проводимое с целью создания на полях оптимального микроклимата для растений, принято называть *прерывистым*, или *импульсным*. Однако этот способ пока еще недостаточно изучен: неясной является необходимость и экономическая целесообразность применения его для орошения различных культур в разных климатических условиях, отсутствуют рекомендации по выбору оптимальных поливных режимов и др.

Практически строительство автоматизированных систем в настоящее время ограничивается постройкой только сравнительно небольших опытно-производственных участков. Объясняется это главным образом их большой строительной стоимостью (в 1,5—2 раза больше стоимости систем с передвижными дождевальными установками), малым опытом эксплуатации и несовершенством средств автоматизации (клапанов, датчиков и др.).

24.4. Подпочвенное и капельное орошение

24.4.1. Подпочвенное орошение

Если при поверхностных способах полива и дождевании вода подается на поверхность почвы и затем впитывается в нее, то при подпочвенном орошении она вводится непосредственно в корнеобитаемый слой. Для этого на определенной глубине от поверхности земли закладывают трубы типа дренажных и в них подают под напором воду, которая через стыки или отверстия выходит из труб и впитывается в почву. При этом вокруг труб образуется увлажненная зона, имеющая вид овалов, вытянутых книзу. Ширина сферы действия одной трубы в зависимости от капиллярных свойств почвы изменяется от 1 до 1,5 м.

Для устройства труб-увлажнителей обычно применяют гончарные трубы диаметром 5—7,5 см. Чтобы обеспечить хорошее ув-

лажнение верхних слоев почвы, глубина закладки труб должна быть порядка 0,2—0,3 м. Но на этой глубине они могут разрушаться при обработке почвы, поэтому их закладывают на глубину 0,4—0,45 м. Расстояния между трубами принимают равными ширине действия одной трубы плюс 0,2—0,5 м. Вода в трубы-увлажнители подается из открытых или закрытых оросителей под напором 0,1—0,5 м (рис. 24.10). При больших напорах много воды

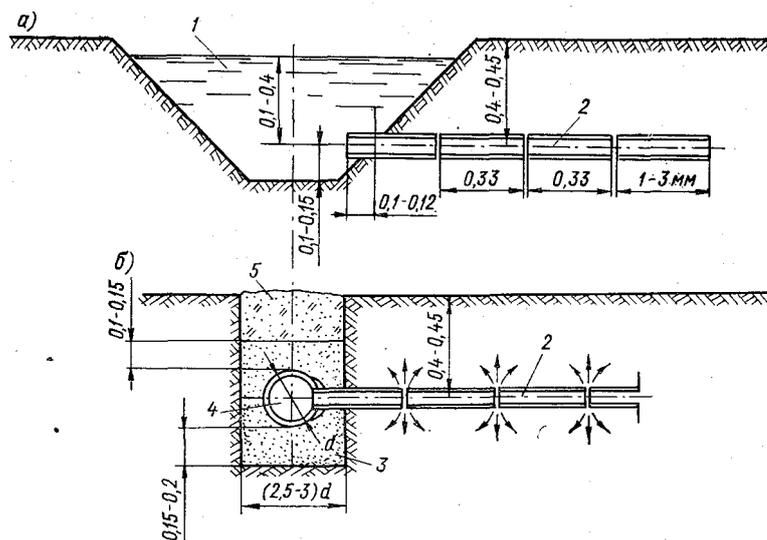


Рис. 24.10. Соединение труб-увлажнителей с открытым (а) и закрытым (б) оросителями.

1 — открытый ороситель; 2 — трубы-увлажнители из гончарных дренажных труб диаметром 5—7,5 см; 3 — песчаная засыпка; 4 — закрытый ороситель из асбестоцементных труб; 5 — засыпка местным грунтом. (Размеры в метрах).

уходит за пределы корнеобитаемого слоя, а при безнапорном режиме недостаточно увлажняется пахотный горизонт.

Достаточно равномерное увлажнение почвы по длине увлажнителей получается при длине труб не более 100—300 м. Концы труб выводятся в сбросные каналы или нижележащие оросители, что позволяет периодически промывать трубы от наносов.

Вместо труб вода в корнеобитаемый слой может подаваться по кротовинам (рис. 24.11), прокладываемым при помощи специальных кротователей или кротовых плугов.

Кротовины делают на глубине 0,35—0,6 м при расстояниях между ними от 0,5 до 1,5 м. Длина кротовин принимается равной от 50 до 200 м, а диаметр — от 5 до 15 см (чаще всего 10 см). Вода в кротовины подается из открытых каналов. Кротовины с незакрепленными стенками можно делать только в устойчивых грунтах (глинах и тяжелых суглинках), не способных оплывать

при намокании, но даже и в этих грунтах срок службы кротовин не превышает 1—3 лет. Особенно быстро кротовины разрушаются, когда они работают полным сечением.

В литературе приводятся результаты многих опытов по креплению кротовин различными материалами, но достаточно надежных и эффективных методов по закреплению кротовин, которые можно было бы рекомендовать для практического применения, пока еще не имеется. Неуверенность в том, что кротовины будут

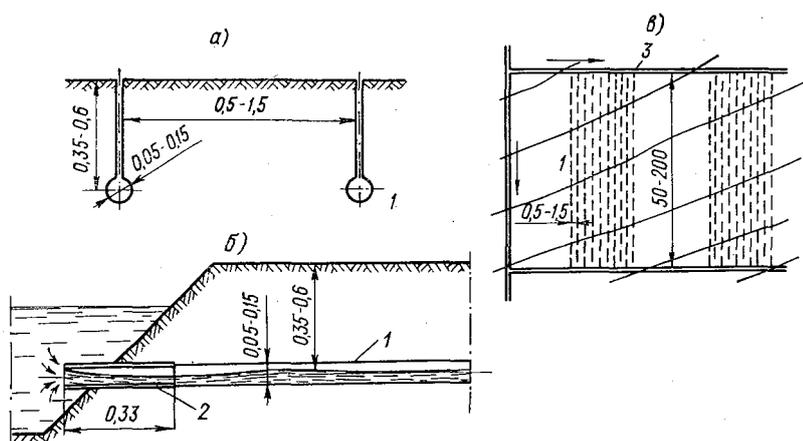


Рис. 24.11. Подпочвенное орошение по кротовым дренам.

a — поперечное сечение кротовых дрена; *б* — головная часть дрена; *в* — плановое расположение дрена; 1 — кротовые трубы-увлажнители; 2 — гончарная труба; 3 — оросители. (Размеры в метрах.)

закреплены на всем протяжении и что облицовки их будут надежно воспринимать все действующие на них усилия, не позволяет рекомендовать их для устройства постоянных систем. Поэтому системы с незакрепленными кротовинами следует все же рассматривать только как временные. Наиболее целесообразно их применять лишь при одноразовом влагозарядковом орошении.

24.4.2. Понятие о капельном орошении

Под капельным орошением понимают медленную (как бы капля за каплей) и длительную подачу воды в корнеобитаемую зону растений при поддержании в ней оптимальной влажности в течение всего вегетационного периода. Вода под напором по сети трубопроводов подается под каждое растение или ряд растений, поэтому получается точечное или линейное увлажнение почвы (только под растениями). Из трубопроводов вода поступает в почву через специальные водовыпуски-капельницы. Одновременно с водой в почву подается и раствор удобрений. Такой вид орошения также называют локальным.

Капельное орошение в основном применяется в странах с сухим и жарким климатом — в Австралии, США, Новой Зеландии, Мексике, Тунисе и других при поливе садов, виноградников, овощных и полевых культур с широкими междурядьями.

При этом способе орошения экономно используется оросительная вода, получают высокие урожаи, затрудняется развитие сорной растительности, уменьшается потребность в рабочей силе на проведение поливов и обработку почвы.

В Советском Союзе в последние годы опытно-производственные участки капельного орошения построены в Крыму, Молдавии, на Украине и в некоторых других районах страны.

Оросительная норма при капельном орошении в среднем снижается на 20—50 % по сравнению с другими способами полива, а в некоторых случаях экономия воды достигает 75—90 %.

Капельное орошение обеспечивает наиболее высокий урожай на единицу затраченной воды.

При таком орошении в почве поддерживаются наиболее благоприятные водно-воздушный и питательный режимы растений; благодаря этому урожайность всех культур даже по сравнению с обычным дождеванием повышается на 20—60 % и более. Особенно значительный прирост урожайности наблюдается при орошении овощных и бахчевых культур (томатов, огурцов, дынь).

Системы капельного орошения экономически эффективны в аридных зонах, где стоимость воды очень высока, и особенно при орошении садов и виноградников. По мере усовершенствования систем, а также с увеличением цен на воду и снижением стоимости трубопроводов капельное орошение будет находить все более широкое применение.

Пока системы капельного орошения строятся только для орошения сравнительно небольших участков (площадью 20—30 га). В Австралии планируется строительство системы на площади 180 га для орошения садов и виноградников.

Система капельного орошения состоит из следующих основных элементов: насоса, фильтра, устройства для подачи удобрений, подводящих, распределительных и поливных трубопроводов, водовыпусков-капельниц (рис. 24.12). Системы оборудуются водомерами и манометрами; в некоторых случаях используются клапаны для регулирования давлений и расходов.

Применяются различные способы укладки труб: на поверхности земли, в мелких бороздах, в почве на глубине наибольшего распространения корневой системы растений. В некоторых случаях подводящие трубопроводы укладывают в почву, а поливные размещают на поверхности; в других случаях все трубопроводы располагают под землей, а на поверхность выводят только капельницы.

Поливные трубопроводы соединяют с подводящими путем плотной посадки в отверстия стенок.

В садах и виноградниках системы капельного орошения могут быть стационарными или передвижными. На полях при проведении

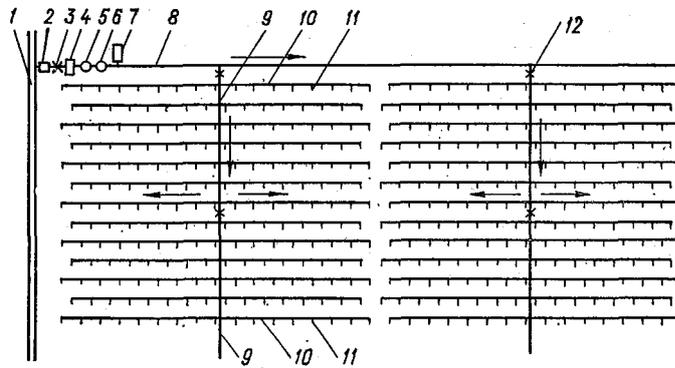


Рис. 24.12. Схема системы капельного орошения.

1 — подводящий канал; 2 — насос; 3 — задвижка; 4 — фильтр; 5 — водомер; 6 — манометр; 7 — устройство для смешения и подачи удобрений; 8 — магистральный трубопровод; 9 — распределительный трубопровод; 10 — поливной трубопровод; 11 — водовыпуск-капельница; 12 — клапан для регулирования давления и расхода.

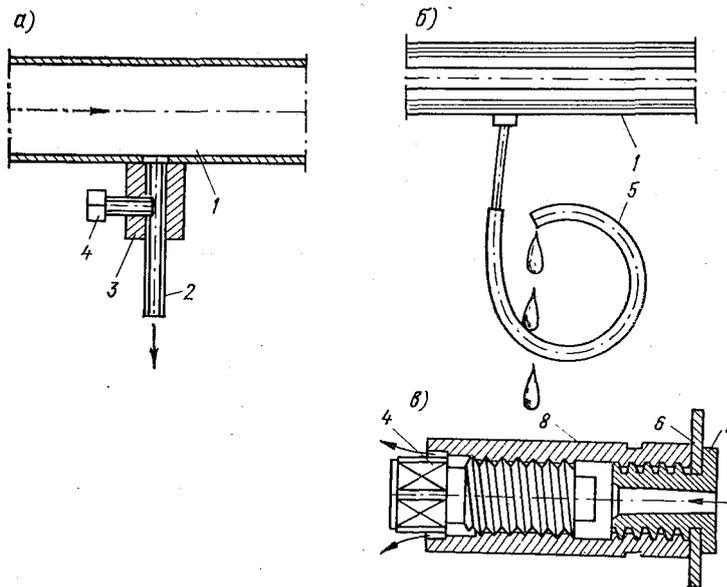


Рис. 24.13. Схемы водовыпусков капельниц.

а — микротрубка с пробкой и винтом для регулирования расхода; б — капельница «Диамант»; в — капельница «Насадка с винтом»; 1 — поливной трубопровод; 2 — микротрубка; 3 — пробка; 4 — винт; 5 — трубка-завиток; 6 — стенка поливного трубопровода; 7 — втулка; 8 — цилиндр.

вспашки и других механизированных работ трубопроводы должны разбираться.

Водовыпуски-капельницы размещают на поливных трубопроводах. Частота расположения капельниц определяется расходом воды, типом почвы и видом культур. В садах для подачи воды под одно дерево устанавливают обычно 2—4 капельницы. Капельницы в виноградниках могут размещаться на шпалерах, а при орошении садов, полевых или овощных культур — на поверхности земли или в почве на небольшой глубине. Чтобы капельницы не закупоривались различного рода загрязнениями и не забивались корнями растений, а также чтобы можно было наблюдать за работой и быстро их заменять, капельницы стараются размещать на поверхности почвы. Расход капельниц изменяется примерно от 0,9 до 1,5 л/ч.

Разработано большое число конструкций капельниц, схемы некоторых из них показаны на рис. 24.13.

Однако обеспечение более надежной работы капельниц, в частности защиты их от засорения наносами, водорослями, отложениями солей и т. п., является важнейшей проблемой, стоящей на пути дальнейшего развития капельного орошения.

24.5. Использование для орошения сточных вод

Сточные воды используются для орошения на специальных участках — *земледельческих полях орошения* (ЗПО). Под последними понимаются водохозяйственные объекты, оборудованные для непрерывного приема определенного количества сточных вод в течение всего года с целью их очистки или доочистки и использования для орошения.

Основой сельскохозяйственного использования и обезвреживания сточных вод на ЗПО служит способность почвы задерживать содержащиеся в воде загрязнения и повышать при этом свое плодородие. Применение сточных вод в сельском хозяйстве — одно из мероприятий комплексного использования и охраны водных ресурсов.

При орошении сточными водами решаются три задачи: удаление и очистка загрязненных вод; использование их на полях для искусственного увлажнения почвы; внесение в почву большого количества минеральных, органических и бактериальных удобрений.

Использование сточных вод для орошения позволяет: уменьшить сброс их в водоемы и тем самым снизить загрязнение последних; создать орошаемые зоны и базы для развития животноводства, овощеводства и плодоводства вблизи крупных городов. Особенно целесообразно развивать орошение на базе сточных вод в маловодных засушливых районах, где чистой воды недостаточно для орошения (например, в Донбассе).

На ЗПО вода может подаваться только после механической очистки или же пройдя еще и биологическую очистку. В послед

нем случае поля служат средством почвенной доочистки сточных вод.

Сточные воды являются преимущественно азотистым удобрением. В сточных водах могут содержаться и вредные для растений вещества, болезнетворные бактерии и яйца гельминтов, поэтому не разрешается поливать сточными водами овощи, используемые в пищу в сыром виде.

Для приема сточных вод в зимний период рекомендуется устраивать пруды-накопители (рис. 24.14) или производить на полях намораживание, которое допустимо без биологической очистки.

На ЗПО вода подается преимущественно по трубопроводам, и только на больших системах используются каналы.

На полях для увлажнения почвы в основном применяются самотечные способы полива и дождевание. Имеется опыт применения подпочвенного орошения. В вегетационный период пропашные культуры в основном поливаются по бороздам, а культуры сплошного сева (травы) — по по-

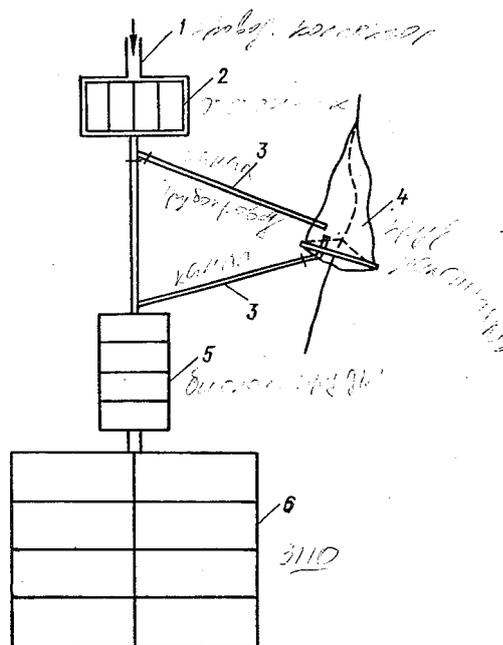


Рис. 24.14. Схема подачи сточных вод на ЗПО через пруд-накопитель и биологические пруды.

1 — подводный коллектор; 2 — отстойники; 3 — трубопровод или канал; 4 — пруд-накопитель; 5 — биологические пруды; 6 — земельные поля орошения.

лосам. Для подачи воды в борозды или на полосы применяются поливные трубопроводы: наземные (переносные) и подземные (стационарные). Зимние поливы проводят способом затопления по чекам. Перед поливом в этом случае рекомендуется производить глубокую вспашку или кротование почвы.

Поливы сточными водами в наибольшей степени должны быть механизированы и автоматизированы. Наиболее простое решение — разбивка полей на спланированные под горизонтальную плоскость чеки, как это делается на рисовых системах, и проведение поливов затоплением или по тупым бороздам, нарезанным внутри чеков. В этом случае поливы сравнительно легко автоматизируются. Автоматизация поливов обеспечивается также при устройстве на ЗПО стационарных дождевальных систем.

Совершенный способ полива сточными водами — подпочвенное орошение. Оно в наибольшей степени отвечает санитарным требованиям, допускает непрерывную подачу и прием сточных

вод на поля в течение всего года, не требует устройства сооружений для биологической очистки. Поливы при этом способе орошения могут быть полностью автоматизированы. Условия для биологической очистки при подпочвенном орошении будут более благоприятными, чем при поверхностных поливах.

Наиболее крупной из построенных в СССР систем орошения сточными водами является Бортническая (под Киевом) с площадью орошения 23,3 тыс. га. Орошаемые земли используются в основном под кормовые культуры: кукурузу, зернобобовые, корнеплоды, многолетние травы. Примерно на 10 % площади, где возможен полив по бороздам, намечено выращивать ранние овощи и фрукты.

24.6. Лиманное орошение

Лиманным называется паводковое, или влагозарядковое, орошение, при котором почва увлажняется лишь один раз в году — весной. Орошение осуществляется путем кратковременного затопления почвы слоем воды определенной глубины.

Лиманное орошение применяется в районах периодической засушливости (в Казахстане, Поволжье и др.), т. е. там, где за счет аккумуляции в почве весенней влаги можно получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур. Применение лиманного орошения в полупустынных и степных районах нашей страны позволяет значительно укрепить и расширить кормовую базу для развития животноводства. Лиманное орошение имеет большое значение с точки зрения регулирования поверхностного стока. Оно содействует усилению внутреннего влагооборота, уменьшает размеры весеннего половодья, усиливает меженное питание рек, повышает влажность почвы, уменьшает эрозию почв и рост оврагов.

Под искусственными лиманами подразумеваются участки земли, огражденные валами (дамбами), задерживающими весенние талые воды или же воды, подаваемые на участки из рек и водохранилищ. По способу заполнения водой искусственные лиманы разделяются на три основные группы: лиманы непосредственного заполнения, заполняемые водой, стекающей с вышележащих водосборов; пойменные лиманы, устраиваемые на незатопляемых и затопляемых поймах рек; лиманы с подачей воды в них по каналам при заборе ее из рек и водохранилищ.

Лиманы непосредственного заполнения (продольные, поперечные, комбинированные, кольцевые) устраивают на пологих склонах долин и балок, в естественных понижениях рельефа, на плато и в западинах (рис. 24.15). Они могут быть простыми и ярусными. Простой лиман представляет собой участок земли, огражденный одним рядом дамб, а ярусные лиманы — это ряд последовательных участков на склоне местности, отделенных друг от друга оградительными валами.

Затопление ярусных лиманов происходит последовательно: вначале заполняется талой водой верхний лиман, а затем вод

через водообходы или водовыпуски поступает в нижележащий лиман и т. д. В маловодные годы, когда для заполнения всех лиманов воды недостаточно, ее перепускают через определенное время из одного лимана в другой.

По глубине затопления они разделяются на глубоководные и мелководные. К последним относятся лиманы со средней глуби-

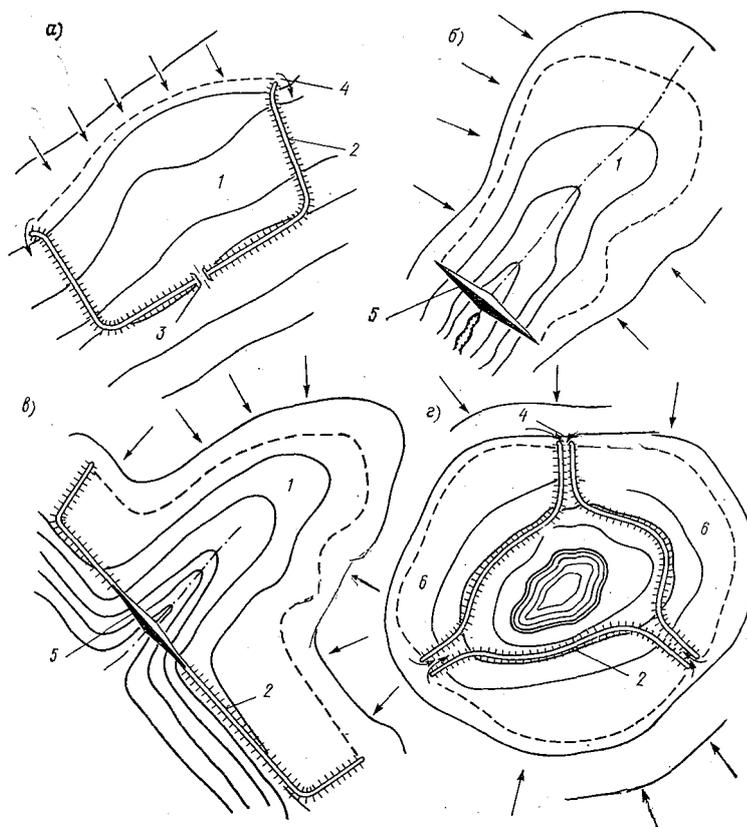


Рис. 24.15. Одноярусные простые лиманы непосредственного наполнения.

а — продольный; *б* — поперечный; *в* — комбинированный; *г* — кольцевой; 1 — лиман; 2 — оградительный вал; 3 — водовыпуск; 4 — водообход; 5 — плотина; 6 — секция лимана.

ой затопления $h_{\text{ср}}=0,25\div 0,4$, а к первым — лиманы с $h_{\text{ср}}=0,4\div 2$ м и более. Под средней глубиной затопления лимана понимается отношение

$$h_{\text{ср}} = V/F,$$

где V — объем воды в лимане, F — площадь затопления.

В лиманах мелкого наполнения лучше и эффективнее используются местные водные ресурсы и достигается более полное рав-

номерное увлажнение. Недостаток мелких лиманов — возможность устройства их лишь на очень пологих склонах (при уклонах $i \leq 0,002—0,004$), иначе участки получаются небольшими и могут затруднять механизацию сельскохозяйственных работ. Если же валики устраивать временными или постоянными, но с очень пологими откосами, то этот недостаток мелких лиманов устраняется. Мелководными обычно делаются ярусные лиманы.

К сооружениям на лиманах непосредственного наполнения относятся: плотины в руслах рек, на балках и оврагах; водосбросы при плотинах; оградительные, водосборные, распределительные и направляющие валы (дамбы); водосходы; водовыпуски; водосборно-сбросные каналы; переезды через оградительные валы.

Плотины строят только в глубоких поперечных лиманах. В большинстве случаев возводят земляные плотины; высота их редко превышает 4—6 м. Верховые откосы крепятся железобетонными плитами (моноклитными или сборными), каменной отмосткой или наброской, одерновкой и другими способами, а низовые одерновываются или залужаются. Дренаж низовых откосов в связи с кратковременной работой плотин под напором обычно не требуется. Превышение гребня плотин над уровнем в лимане принимается равным 0,5—0,75 м.

Оградительные валы устраивают проходимыми для сельскохозяйственных машин и непроходимыми. Проходимые валы имеют пологие откосы с заложением $m=4÷7$. Водосборные, распределительные и направляющие валы обычно непроходимые. Откосы валов крепятся только засевом трав.

Водовыпуски устраивают для подачи воды в секции лиманов и перепуска ее из одного яруса (секции) в другой, а сбросные сооружения — для сброса излишнего паводкового стока и опорожнения лиманов. Применяются сооружения регулируемые и автоматического действия, открытые и закрытые (трубчатые), моноклитные и сборные. В последнее время их строят преимущественно из бетона и железобетона. Сбросные сооружения для опорожнения лиманов располагают в наиболее низких местах. Пропускная способность водовыпусков устанавливается в соответствии с принятой схемой затопления лиманов.

Водосборные, или осушительные, каналы устраивают для отвода воды из понижений лиманов, чтобы исключить их заболачивание. Обычно такие каналы прокладывают в крупных поперечных или пойменных лиманах. Они подводят воду к сбросным сооружениям.

Устройство пойменных лиманов часто преследует две цели: защиту речных пойм от длительного затопления при прохождении паводков и в то же время необходимое для растений увлажнение пойм паводковыми водами. Защита поймы обеспечивается за счет возведения дамб вдоль реки, как это показано на рис. 24.1. В межень река течет в своем бытовом русле, а в паводок ее живое сечение ограждено дамбами. Собственно пойменные лиманы получают, если в дополнение к продольным дамбам устроить еи

и поперечные валы. И в дамбах, и в валах делают водоперепускные отверстия с затворами для регулирования глубины затопления поймы. В паводок на пойменные лиманы запускают необходимое количество воды, а когда уровень воды в реке упадет до горизонта ниже отметки поймы, а грунт на пойме достаточно увлажнится, излишки воды из лиманов (если они окажутся) выпускают обратно в реку.

Обвалование рек в СССР получило широкое распространение. В пойме р. Куры, в Волго-Ахтубинской пойме, вдоль рек Кубани,

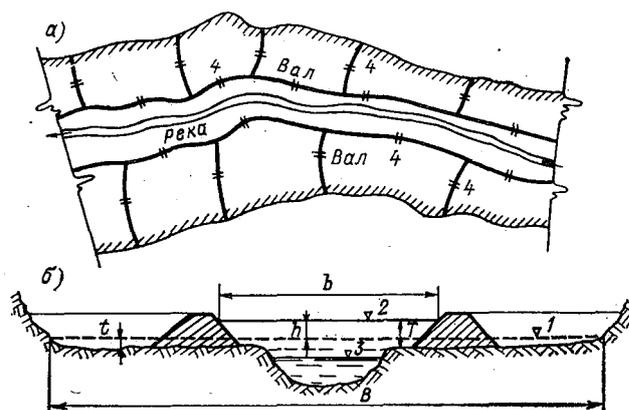


Рис. 24.16. Пойменные лиманы.

а — план ярусных лиманов-бассейнов на пойме; б — разрез; 1 — уровень паводка до постройки дамб; 2 — то же после их постройки; 3 — меженный уровень; 4 — регуляторы.

Герека, Днепра, Днестра земляные дамбы тянутся на многие километры. Не менее широко подобные гидротехнические сооружения применяются и за рубежом (в Египте, в странах Индокитая и др.).

В ряде случаев на оросительных системах одновременно с участками правильного (регулярного) орошения строят и участки лиманного орошения, причем на последние вода подается из водохранилищ по специальным каналам, так и называемым *каналам лиманного орошения*. Сочетание правильного орошения с лиманым позволяет более эффективно использовать поверхностный гок и сооружения систем, поскольку, во-первых, для орошения спользуются паводковые воды и, во-вторых, уменьшаются размеры и стоимость сбросных сооружений. Конструкция самих лиманов при этом соответствует схемам, изображенным на ис. 24.15 а, в.

Глава 25. Осушение

25.1. Способы защиты земель от переувлажнения

Осушение болот, заболоченных и переувлажненных земель выполняют:

— для повышения их биологической продуктивности, если они заняты сельскохозяйственными или лесными угодьями, или для превращения их в сельскохозяйственные угодья;

— для благоустройства территорий населенных пунктов и промышленных предприятий;

— для производства различных работ в искусственных выемках (сооружения фундаментов в котлованах, добычи полезных ископаемых в карьерах и т. п.).

Направленность осушительных мелиораций тесно связана с причинами переувлажнения территории, среди которых можно выделить следующие:

— если переувлажнение вызвано преобладанием осадков над испарением и естественным стоком при расположении переувлажненной территории выше местного базиса эрозии, то осушительные мелиорации должны быть направлены на искусственное увеличение стока с этой территории, а в некоторых случаях и на дополнительную защиту ее от притока воды со стороны вышерасположенной местности (так называемая схема горизонтального осушения);

— если переувлажнение вызвано подтоплением территории водами реки, озера, водохранилища, то осушительные мелиорации могут быть направлены как на понижение уровней воды в указанных водоемах (например путем спрямления русла реки, регулирования паводков), так и на защиту подтопляемой территории различными гидротехническими сооружениями (см. п. 24.6);

— если переувлажнение вызвано притоком воды в естественные (котловины) или искусственные (котлованы, карьеры) бессточные области, то осушительные мелиорации преимущественно сводятся к принудительной эвакуации воды путем ее механической откачки (так называемая схема вертикального осушения).

Добавим, что к осушительным мелиорациям, в широком их понимании, относятся и работы по искусственному повышению пониженных, периодически затопляемых и заболоченных территорий осушение которых перечисленными выше способами экономически нецелесообразно. В настоящее время такие работы осуществляются в основном путем искусственного намыва грунта (рефулирования).

Рассмотрим подробнее устройство наиболее распространенных и типичных схем осушения, а именно: горизонтальной и вертикальной. Предварительно отметим, что первая из них получила наибольшее распространение при осушении сельскохозяйственных угодий, чему способствовала простота устройства этой схемы, малая стоимость и легкость эксплуатации. Вторая схема прим

няется не только при осушении бессточных областей, но и при благоустройстве населенных пунктов, промышленных площадок, при строительстве и добыче полезных ископаемых.

25.2. Схема горизонтального осушения

Общая схема самотечной горизонтальной системы осушения представлена на рис. 25.1. Система состоит из следующих элементов: а) нагорной или ловчей канавы по контуру осушаемого угодья, защищающей его соответственно от поверхностного стока с бассейна и от притока грунтовых вод; б) осушительной сети канав, или дрен, непосредственно осушающих почву; в) водоотводящих канав в составе собирателей, коллекторов и магистрального канала; г) устья магистрального канала; д) водоприемника, в который сбрасывают воду с осушаемого угодья; е) сооружений на системе каналов.

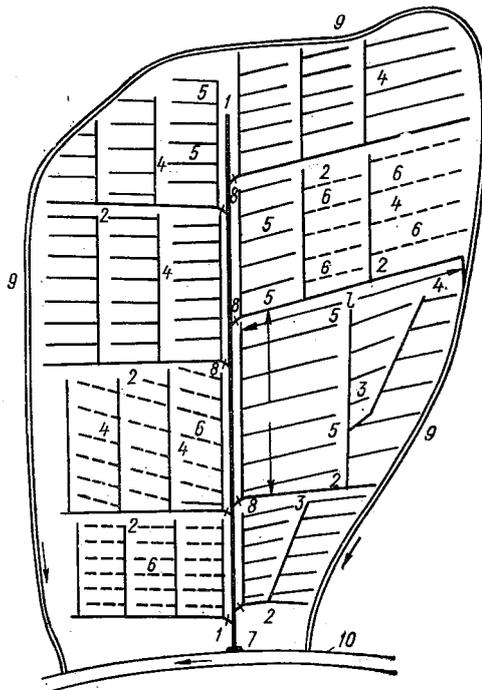


Рис. 25.1. Схема поверхностного осушения.

1 — магистральный канал; 2 — коллекторы 1-го порядка; 3 — коллектор 2-го порядка; 4 — собиратели; 5 — открытые осушители; 6 — дрены; 7 — устье магистрального канала; 8 — регуляторы; 9 — нагорная канава; 10 — водоприемник.

Различают три вида горизонтальной системы осушения: открытую, закрытую и смешанную. В открытой системе все каналы (осушители и водоотводящие каналы, включая магистральный) выполняются в виде открытых выработок. Такая система является наиболее распространенной в сельском хозяйстве. В закрытой системе все каналы закрыты сверху, включая и магистральный канал. Такую систему применяют редко и главным образом при осушении территорий городов и промышленных площадок. В смешанной системе часть каналов, в основном осушители-дрены, а иногда и собиратели низших порядков, делают закрытыми, а водоотводящую сеть оставляют открытой. На рис. 25.1 закрытые каналы показаны пунктиром.

Каждому виду горизонтального осушения присущи свои достоинства и недостатки. Открытая система отводит и поверхност-

ную, и грунтовую воду, весной раньше вступает в действие, стоит дешево, проста в эксплуатации, но вызывает потери площади под каналы, затрудняет работу сельскохозяйственных машин, опасна для выпаса домашнего скота.

Закрытая система отводит только грунтовую воду, для стока же поверхностной воды необходима дополнительная сеть поверхностных канав, весной позже вступает в работу, стоит дорого, сложна в эксплуатации, но не сопровождается потерей площадей, не стесняет работу машин и поэтому ей часто отдается предпочтение.

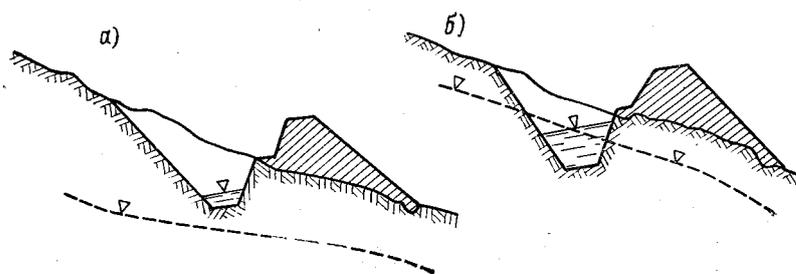


Рис. 25.2. Нагорная (а) и ловчая (б) каналы.

Смешанная система характеризуется менее выраженными достоинствами и недостатками закрытой и открытой систем. В смешанной системе грунтовые воды отводят дренами, а поверхностные воды открытыми канавами.

Нагорная и ловчая каналы представлены на рис. 25.2. Ловчей называют нагорную канаву, если она вскрывает и отводит грунтовые воды. Эти каналы всегда делают открытыми и без валика с нагорной стороны. Нагорную канаву рассчитывают на отвод воды со всей вышерасположенной водосборной площади.

Открытые осушители выполняют в виде канав минимальной технической возможной ширины по дну около 20 см и трассируют под малым углом к горизонталям местности с уклоном около 0,0005 с тем, чтобы скорости в них были не меньше 0,2 м/с во избежание заиления. *Собиратели*, т. е. каналы, к которым примыкают осушители, должны иметь больший уклон, чтобы быстро отводить воду, однако не более 0,005 для избежания размывающих скоростей.

Площадь поля, ограниченную двумя осушителями, называют *осушительной картой* и принимают размером 10—15 га. Осушители практически почти всегда стоят пустыми, так как они быстро отводят воду с полей. Поэтому осушителям придают крутые откосы, учитывая, что их легко очищать и ремонтировать.

Более крупные каналы, в которых обычно всегда течет вода (собиратели и коллекторы), проектируют по расчету на поступающий в них расход воды в виде открытых канав трапецеидального профиля с пологими откосами; в слабых оплывающих грун

тах их необходимо крепить деревянной или бетонной облицовкой. Примерно такую же конструкцию имеет и магистральный канал в небольших осушительных системах. Крупные магистральные каналы и коллекторы часто используют для судоходства. Таким каналам придают обычно трапециевидный профиль с пологими откосами.

Большое внимание надо уделять устьям магистральных каналов, особенно в тех случаях, когда водоприемником служит река с большой амплитудой колебания горизонтов. В этом случае в магистральном канале может образоваться подпор при высоком стоянии воды в реке, вследствие чего сток воды из магистрального канала будет затруднен. Если дно магистрального канала в устье находится выше горизонта высоких вод реки в паводок, то подпора в канале не будет, но усложнится сопряжение канала с рекой в межень. Здесь может быть устроен многоступенчатый перепад, который легко увязать с любым горизонтом воды в реке. Если дно магистрального канала находится ниже горизонта высоких вод в реке, то необходимо отгородить канал от реки дамбой с водопропускным отверстием, закрываемым затвором, и насосной станцией. В паводок воду из канала перекачивают через дамбу, а в межень сбрасывают ее в реку через отверстие, например по многоступенчатому перепаду.

Если магистральный канал является судоходным, в устье его должен быть устроен шлюз для пропуска судов и при нем водосброс той или иной конструкции.

В закрытой и смешанной осушительных системах осушители (дрены) выполняют различных конструкций из подручных материалов. Дрены бывают каменными, деревянными, гончарными, бетонными, кротовыми и других видов (рис. 25.3).

При проектировании горизонтальной системы осушения надо определить глубину заложения дренажа или глубину открытых осушителей, размеры их, расстояние между осушителями, а также размеры и уклоны каналов водоотводящей сети и расстояния между ними. На рис. 25.4 показано осушающее влияние открытых осушителей; такими же будет и влияние дрен (рис. 25.5). На рис. 25.4 сплошными линиями показано положение депрессионных кривых при глубоком, но редком расположении осушителей, а пунктиром — положение депрессионных кривых при мелком, но частом их расположении. В обоих случаях наименьшая толщина осушенного слоя z , называемая *нормой осушения*, является одинаковой, но в первом случае осушенный слой будет очень неравномерным. Поэтому с точки зрения сельского хозяйства желательно частое, но мелкое расположение осушителей. Норма осушения зависит в основном от сельскохозяйственной культуры, почвы, агротехники, климата и в среднем принимается в пределах аннх табл. 25.1.

Открытые осушители конструктивно получают обычно такого размера, что они всегда отведут с полей поверхностный сток, и поэтому их надо рассчитать только на понижение уровня грунто-

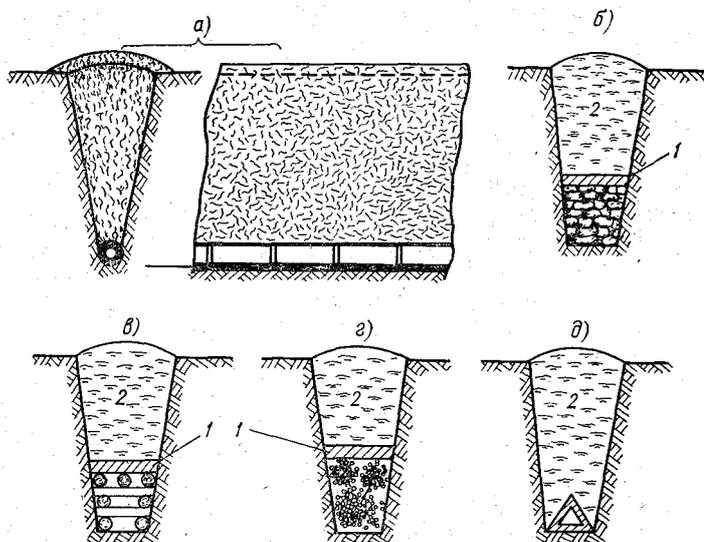


Рис. 25.3. Типы дрен.

а — трубчатая; б — каменная; в — жердевая; г — хворостяная; д — досчатая; 1 — дерн травой вниз; 2 — обратная засыпка.

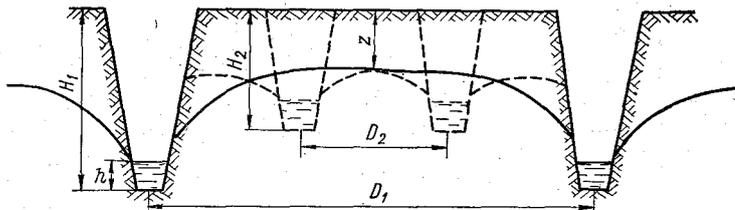


Рис. 25.4. Осушение открытыми канавами.

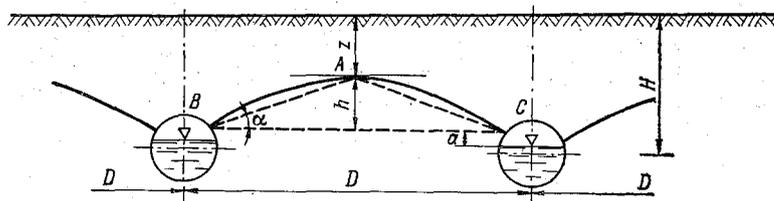


Рис. 25.5. Осушение дренами.

Таблица 25.1

Средние нормы осушения, см

Культура	Предпосевной период	Первый месяц вегетации	Весь период вегетации
Зерновые яровые	45—50	70—80	70—90
Зерновые озимые	70—80	70—80	70—90
Конопля	50—60	70—85	85—105
Картофель, сахарная и кормовая свекла	70—80	85—100	90—100
Овощи, подсолнечник, кукуруза на силос	50—60	70—80	80—100
Трава на сено	40—50	50—60	60—75
Трава на выпас	50—60	65—70	70—80

вых вод на заданную норму осушения. Для предварительного определения глубины H заложения дрен (и канав) и расстояния между ними D можно пользоваться расчетной схемой по рис. 25.5. Ввиду того что кривая депрессий очень полого, ее заменяют прямыми BA и CA . Угол наклона α этих прямых зависит от почвы и может быть принят согласно табл. 25.2.

Таблица 25.2

Угол наклона кривой депрессии

Грунт (почва)	$\text{tg } \alpha$	Грунт (почва)	$\text{tg } \alpha$
Песчаный	0,005—0,025	Глинистый	0,05—0,10
Супесчаный	0,02—0,05	Тяжелые глины	0,05—0,12
Буглинистый	0,03—0,07	Низинный торф	0,03—0,10

Глубину заложения дрены H получим по формуле

$$H = (z + 0,5D \text{tg } \alpha + a)/(1 - \beta), \quad (25.1)$$

где $0,5 D \text{tg } \alpha = h$; α — расстояние между поверхностью воды в дрене точкой выклинивания кривой депрессии (так называемый остаточный напор); $1 - \beta$ — поправочный коэффициент на уплотнение сушеного грунта. Величина a колеблется в пределах от 3—4 см легких почвах до 10—12 см в тяжелых. Значение β изменяется от 0,05 для супеси до 0,2—0,25 для торфа. Из выражения (25.1) видно, что H и D взаимно связаны. Поэтому задачу решают в различных вариантах. Расстояние D между дренами принимают в пределах 20—60 м. Глубина H должна быть больше нормы осушения z практически на 20—40 см.

Приток грунтовой воды в дренаж является неустановившимся, затухающим во времени. Ориентировочно его можно определить по формуле

$$Q_{др} = q_{гр} \Omega_{др}, \quad (25.2)$$

где $q_{гр}$ — модуль грунтового стока (табл. 25.3), $\Omega_{др}$ — площадь водосбора дренажа.

Таблица 25.3

Ориентировочные значения модуля $q_{гр}$ л/с га

Очень тяжелые почвы	0,3—0,4	Средние почвы	0,5—0,6
Тяжелые почвы	0,4—0,5	Легкие почвы	0,6—0,7

Точный расчет дренажей и открытых осушителей производят согласно теории движения грунтовых вод.

После того как найден расход дренажа, сечение его может быть определено по уравнениям гидравлики. Для того чтобы гарантировать безнапорное движение в трубчатых дренажах, не следует задавать наполнение их больше $0,8 d$.

Расчет открытых собирателей, коллекторов и магистрального канала производят на поверхностный и грунтовый сток в замыкающем створе. Если известна площадь водосбора до рассматриваемого створа, модуль грунтового стока $q_{гр}$ и модуль поверхностного стока $q_{п}$, то расход воды в замыкающем створе можно выразить следующей формулой:

$$q_k = q_{гр} \Omega_{гр} + q_{п} \Omega_{п}, \quad (25.3)$$

где $\Omega_{гр}$ и $\Omega_{п}$ — соответственно площади грунтового и поверхностного водосборов; чаще всего принимают $\Omega_{гр} = \Omega_{п}$. Для предварительных расчетов можно пренебречь грунтовым стоком к открытым проводящим каналам, так как модуль грунтового стока обычно в десятки раз меньше модуля поверхностного стока. Для вычисления модуля поверхностного стока предложено большое количество различных эмпирических формул. Чаще всего в мелиорации пользуются формулами для модуля поверхностного стока разработанными А. Н. Костяковым, которые можно найти в курсах по мелиорации.

На каналах осушительных систем устраивают кроме сооружений обычных для такого типа водоводов (см. п. 11.2.4), еще и ряд специальных сооружений.

На дренажной сети устраивают устья, смотровые отстойники, колодцы, перепадные колодцы и колодцы-регуляторы.

Устье представляет собой устройство, предназначенное для выпуска дренажных вод из дренажного коллектора или собирателя в открытый канал или водоприемник (рис. 25.6 а). В крупных современных системах оно обычно выполняется в виде подпорной стенки, в которую заделывают концевой участок дренажной трубы. За стенкой дно канала (водоприемника) укрепляют для

предохранения от размыва струей воды, вытекающей из трубы.

Все виды колодцев на дренажной сети делают обычно из бетонных колец. *Смотровые колодцы* предназначены для регулярного наблюдения за действием дренажной сети и ее промывки. *Перепадные колодцы* устраивают в местах сосредоточенного падения воды. *Колодцы-регуляторы* (рис. 25.6 б) служат для регулирования дренажного стока и уровня стояния грунтовых вод на осушенной территории. Все колодцы периодически подвергают очистке.

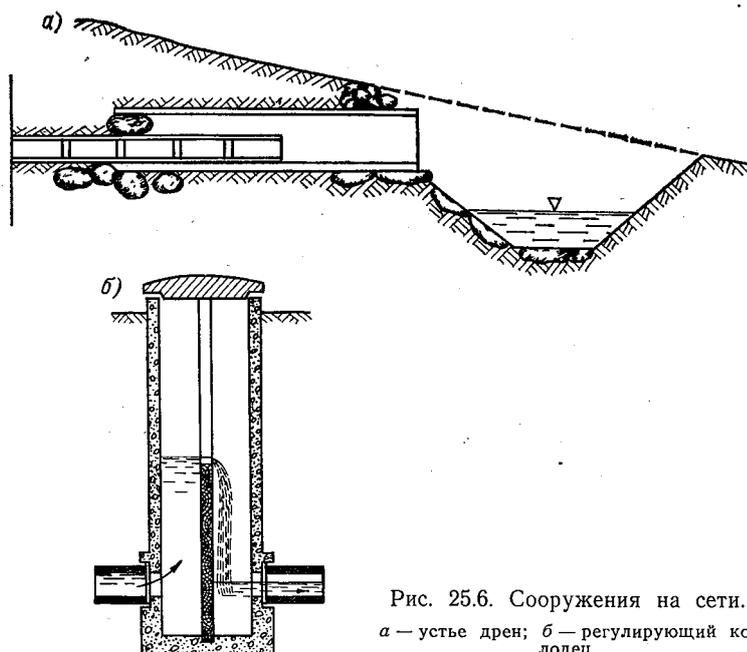


Рис. 25.6. Сооружения на сети.
а — устье дрен; б — регулирующий колодец.

На крупных каналах системы горизонтального осушения (магистральном и коллекторах различных порядков) устраивают плузы-регуляторы (см. рис. 11.11), с помощью которых поддерживают на заданных отметках уровни воды в каналах и соответственно уровни грунтовых вод на осушаемой территории.

5.3. Вертикальная и смешанная системы осушения

Вертикальная схема осушения может быть реализована в нескольких вариантах в зависимости от необходимой глубины понижения уровня грунтовых вод и местных, главным образом гидрогеологических условий.

При осушении строительных и промышленных площадок колодцы располагают или равномерно по всей площадке, или рядами по замкнутому контуру (рис. 25.7). Колодцы выполняют

в виде буровых скважин в обсадных стальных трубах, в которые опускают меньшего диаметра трубу-фильтр. Такой колодец называют *иглофильтром*.

При работе иглофильтров радиус их влияния обычно невелик и равен 4—6 м, поэтому иглофильтры ставят на расстояние около 10—12 м друг от друга. На поверхности земли иглофильтры сое-

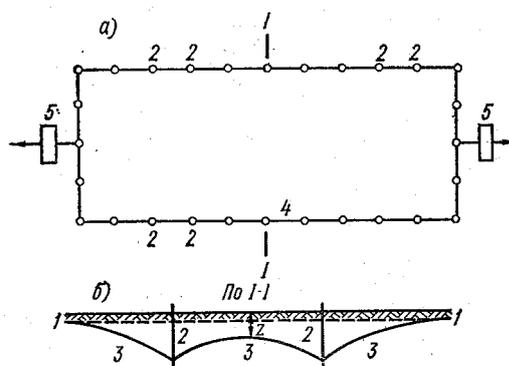


Рис. 25.7. Схема осушения промышленной площадки.

a — план; *б* — разрез; 1 — первоначальный уровень грунтовых вод; 2 — иглофильтры; 3 — депрессионные кривые при откачке; 4 — кольцо всасывающих труб; 5 — насосные.

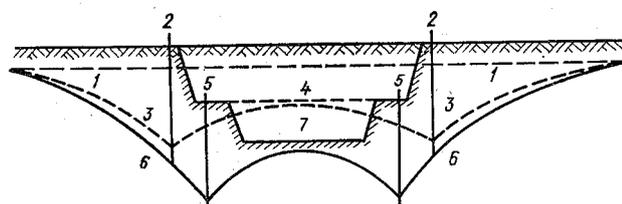


Рис. 25.8. Схема осушения глубокого котлована.

1 — первоначальный уровень грунтовых вод; 2 — иглофильтры первой очереди; 3 — понижение грунтовых вод первой очереди; 4 — дно котлована первой очереди; 5 — иглофильтры второй очереди; 6 — понижение грунтовых вод второй очереди; 7 — проектное дно котлована.

диняют общей всасывающей трубой, подключенной к насосам, от качивающим воду из фильтров и подающим ее в какой-либо водоприемник.

На рис. 25.8 показано осушение глубокого котлована двумя рядами иглофильтров. Такую систему часто применяют в крупном гидротехническом строительстве.

В случае необходимости значительного понижения уровня грунтовых вод (иногда на сотни метров) откачку воды из колодцев производят при посредстве глубоких или погружных насосов, непосредственно опускаемых в каждую скважину. Для этой скважины выполняют большего диаметра и устанавливают на более значительных расстояниях друг от друга, так как их радиус влияния существенно больше, чем у иглофильтров.

Устройство вертикального дренажа при помощи *поглощающих колодцев* не требует насосного оборудования, но может прим

няться только в соответствующих гидрогеологических условиях (рис. 25.9). Как видно из этого рисунка, водоупорный слой прорезают рядом буровых скважин в обсадных перфорированных трубах и через эти трубы сбрасывают воду из верхнего водонос-

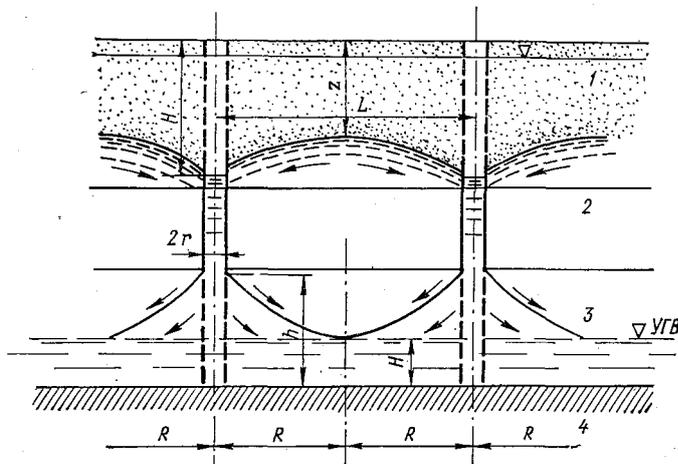


Рис. 25.9. Схема осушения поглощающими колодцами-скважинами.

1 — осушаемый слой; 2 — промежуточный водоупорный слой; 3 — водопоглощающий слой; 4 — водоупор.

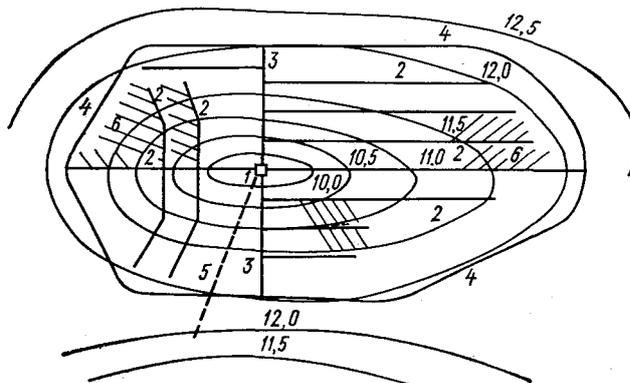


Рис. 25.10. Схема осушения бессточной котловины.

1 — колодец; 2 — коллекторы; 3 — магистральный канал; 4 — нагорная канава; 5 — нагнетающая труба насоса; 6 — осушители.

ого слоя в более глубоко залегающие водовмещающие породы. едостатком рассматриваемой системы дренажа является трудность регулирования нормы осушения z .

В тех случаях, когда необходимо осушить бессточную впадину, может быть применена смешанная система осушения (рис. 25.10). По этой системе обычная горизонтальная осушитель-

ная сеть собирает воду с территории впадины и подает ее в колодец, устраиваемый в наиболее низком месте. Из этого колодца вода или откачивается насосами, или, если позволяют гидрогеологические условия, сбрасывается в более глубокие водоносные горизонты.

25.4. Понятие о системах двухстороннего регулирования влажности почвы

Системы двухстороннего регулирования влажности почвы, или осушительно-увлажнительные системы, создаются на мелиорируемых сельскохозяйственных полях зоны избыточного и неустойчивого увлажнения. Необходимость их устройства объясняется следующими обстоятельствами.

Расчет осушительной сети обычно выполняют, ориентируясь на некоторый средний сток (например 75—80 %-ной повторяемости). Поэтому в многоводные годы осушение сельскохозяйственных полей бывает недостаточным, а в маловодные может быть чрезмерным.

С переувлажнением полей в многоводные годы приходится мириться, так как осуществление осушительной сети по расчету на максимальный сток было бы очень дорого и такая сеть не удовлетворяла бы потребителей в средние по влажности годы, повторяемость которых больше. Борьбу же с чрезмерным осушением в маловодные годы ведут прежде всего задержкой стока с мелиорируемой площади различными гидротехническими сооружениями имеющимися в составе осушительной сети (см. п. 25.2). Однако эта мера часто оказывается недостаточно эффективной и гибкой, поскольку в засушливые годы воды в осушительной сети вообще может не быть, а, кроме того, по условиям сельскохозяйственного производства две или несколько рядом расположенных культур могут одновременно требовать различной степени увлажнения почвы, что технически трудно, а часто и невозможно обеспечить только за счет создания подпора в осушительной сети. Поэтому в целях повышения продуктивности осушенных сельскохозяйственных угодий их рекомендуется в засушливые периоды поливать.

В настоящее время признаны наиболее эффективными осушительно-увлажнительные системы, в которых орошение осуществляется дождеванием, так как именно этот способ позволяет оперативно откликаться на изменение погодных условий, влагозапасов почвы и в конечном счете текущей потребности растений в воде. Здесь хорошо зарекомендовали себя как полустационарные, так и передвижные или переносные дождевальные оросительные системы, основу водоводов которых составляют легкие металлические трубы.

Важным звеном рассматриваемых систем является источник воды, используемой для орошения. Конечно, таким источником всегда мог бы быть тот водоприемник, куда сбрасывается сток с осушаемой территории. Но этот водоприемник обычно находится

достаточно низко по отношению к полям, требующим орошения, поэтому подача воды к ним самотеком по осушительной сети исключается, а механический подъем (насосами) на такую высоту обходится дорого. Данная проблема имеет несколько решений.

Во-первых, воду все же можно подать на осушительную систему самотеком из реки-водоприемника, если ее забрать в створе, расположенном значительно выше по течению, и привести к системе по специальному достаточно длинному каналу. Но есть и другое решение. На наиболее возвышенных участках осушительно-увлажнительной системы возводят так называемые *наливные водохранилища*. Их особенность состоит в том, что они делаются не в выемках (котлованах), а в ограничивающих по периметру водонепроницаемых насыпях. Поэтому уровень воды в таких водохранилищах всегда выше окружающей территории и, следовательно, вода к полям для их орошения может поступать самотеком.

Наполнение водохранилищ осуществляют весной, закачивая туда воду насосами из расположенных рядом элементов осушительной сети (собирателей, коллекторов и др.). Учитывая, что на осушительно-увлажнительных системах поливная и оросительная нормы относительно невелики, объем наливных водохранилищ также небольшой. В нашей стране рассматриваемые системы получают распространение в нечерноземной зоне РСФСР, в Белоруссии, Прибалтике и ряде других районов.

Глава 26. Борьба с эрозией почв и оврагообразованием

Под эрозией понимают перенос частиц земной коры ветром и водой. Если иметь в виду только водную эрозию, то следует отметить, что эрозия может происходить как в руслах рек, так и на склонах бассейнов.

Эрозия в руслах рек выражается в обрушении берегов, блуждании русел, отложении наносов и др. Борьба с этими отрицательными проявлениями режима естественных потоков ведется путем регулирования рек. Некоторые технические приемы, с помощью которых ведется регулирование, например в целях улучшения судоходных условий, рассматривались выше (см. п. 19.2), т. е. эти приемы фактически направлены на борьбу с эрозией в руслах рек.

Разрушения склонов речного бассейна бывают двух видов: 1) эрозия поверхности склона, происходящая под действием стекающей по нему атмосферной воды (смыв почвы, образование оврагов); 2) обрушение земляных масс на склонах — оползни, свалы, происходящие главным образом вследствие действия рунтовых вод и подмыва подножья склона речными водами,

а также под влиянием атмосферных осадков и процесса выветривания.

Продукты разрушения склонов попадают в речные русла и уносятся затем водой в виде донных и взвешенных наносов. Борьба с разрушениями склонов приводит поэтому к уменьшению засорения реки наносами и обеспечивает возможность использования самих склонов в хозяйственных целях.

Причинами смыва почвы являются: значительные уклоны поверхности ($>0,025$), длинные склоны, отсутствие прочной комковатой структуры почвы, значительные массы одновременно стекающей по поверхности воды, нерациональная хозяйственная деятельность (продольная вспашка, вырубка лесов), способствующая более активному проявлению некоторых из вышеперечисленных факторов.

В нашей стране территории, подверженные водной эрозии, занимают весьма значительные площади. Только на Европейской части СССР смыв почвы наблюдается на нескольких десятках миллионов гектар, а площадь, занятая оврагами, составляет около 2 млн. га.

Условия, вызывающие смыв почвы, подсказывают и меры борьбы с этим явлением, которые можно разбить на два вида: агролесомелиоративные и гидротехнические.

В первые из них входят: введение правильных севооборотов, восстанавливающих комковатую структуру почвы и защищающих ее хорошим покровом культурных растений; создание защитных лесных полос поперек склона для перевода поверхностного стока в подземный и др. Гидротехнические мероприятия сводятся к регулированию стока, а также к переводу поверхностного стока в подземный. Как правило, агролесомелиоративные и гидротехнические мероприятия проводятся совместно, дополняя друг друга.

Конструктивно гидротехнические мероприятия против смыва почвы осуществляются путем создания прудов-водохранилищ, лиманов, задерживающих сток талых и частично ливневых вод. Другим гидротехническим мероприятием является *террасирование склонов*, имеющее несколько разновидностей. Простейший вид террасирования представляет собой систему валиков и канав, идущих строго по горизонталям. Расстояние между валиками и их высоту назначают из расчета, чтобы вся стекающая с террас вода уместилась в пазухе у валика. В пазухах происходит впитывание воды в почву и частичное испарение. Если интенсивность поступления воды велика и по расчету объем пазух получается очень большим, то валики строят под острым углом к горизонталям и в этом случае вода течет вдоль валиков к хорошо защищенной от размывов водосборной канаве. Валики делают с очень пологими откосами для того, чтобы сельскохозяйственная техника легко могла переходить через них (рис. 26.1 а).

Вместо валиков могут устраиваться полисады, плетни и заборы, задерживающие размывы и движущиеся вниз частицы грунта.

За этими сооружениями образуются террасы с меньшим уклоном поверхности, чем на естественном склоне (рис. 26.1 б).

Борьба с уже образовавшимися оврагами в основном ведется в направлении прекращения их дальнейшего роста, который может происходить очень быстро. Скорость продвижения вершины (головы) оврага достигает иногда 2—3 км за 1—2 ливня. Неудивительно поэтому, что встречаются овраги длиной 25—30 км и глубиной до 100 м. Для прекращения роста оврага необходимо защитить его голову от попадания в нее талой и ливневой воды и закрепить или даже поднять базис эрозии. Наилучшим мероприятием для защиты головы оврага служит террасирование склонов. Для закрепления базиса эрозии оврага и уменьшения в нем скоростей течения воды в его русле в овраге строят поперечные запруды из каменной кладки на растворе, из габионов, плетней и т. п. или же строят пороги.

Запруды представляют собой небольшие плотинки

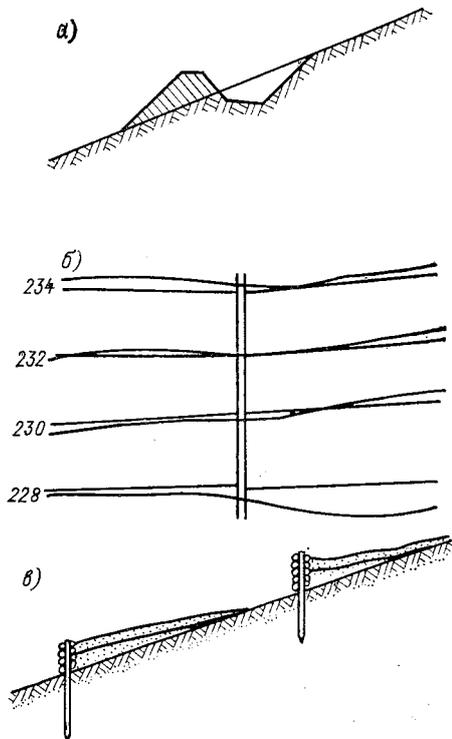


Рис. 26.1. Методы закрепления склонов.

а, б — валики и канавы на склоне долины; в — плетни для задержания смываемого грунта.

(рис. 26.2 а); а пороги — стенки, заглубленные в размываемое дно потока (рис. 26.2 б). И те, и другие изменяют бытовой продольный уклон потока I на новый I' , по возможности наименьший.

Перед построенной на овраге запрудой в короткое время оседают наносы, создающие новое, повышенное русло с уклоном I' . При наличии порогов русло понижается вследствие размыва, пока не приобретет тот же уклон I' . И в том, и в другом случае продольный профиль дна оврага приобретает ступенчатый вид.

Расстояние между запрудами определяется практически так, чтобы подпор от нижележащего сооружения перекрывал с некоторым запасом основание вышележащего. Высота запруд обычно небольшая (1,5—3 м), что позволяет выполнять их простейшим способом; высота порогов делается еще меньше.

Особо опасной может быть эрозия в горных районах, если она сопровождается периодическим возникновением селей. *Сель* — это водо-грязекаменный поток,двигающийся в виде волны по руслу и долине реки с большой скоростью и обладающий огромной разрушительной силой. Природа возникновения селей изучена еще недостаточно. Однако ясно, что для образования селя необходимо накопление определенного количества продуктов эрозионной деятельности на склонах и в русле и кратковременное повышение

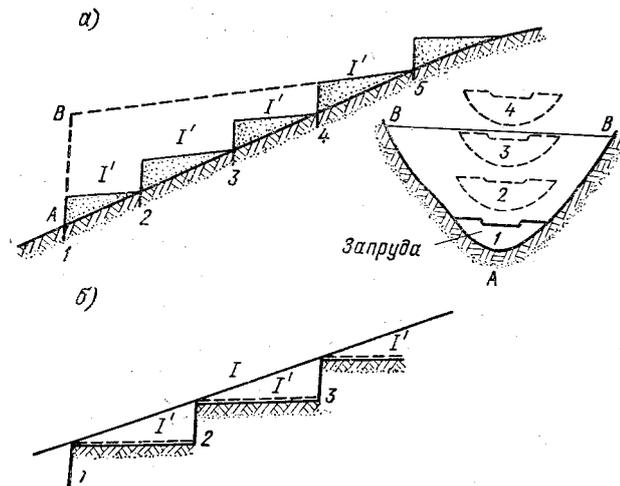


Рис. 26.2. Схема запруд и порогов на продольном профиле потока.

а — запруды; б — пороги.

водности реки, способное привести в движение эрозионный материал.

Наиболее эффективным средством борьбы с селями является строительство крупных плотин, способных аккумулировать в верхнем бьефе объем нескольких селевых паводков. Отдельные сооружения, расположенные на селеопасных реках, как например, водозаборы, ГЭС и другие, могут быть защищены специальными дамбами, которые отклоняют селевой поток от этих объектов. В бассейнах селеопасных рек должен проводиться рассмотренный выше комплекс агролесомелиоративных и гидротехнических мероприятий, направленных на борьбу с эрозией склонов.

Раздел шестой

ВОДОСНАБЖЕНИЕ И КАНАЛИЗАЦИЯ



Глава 27. Водоснабжение

27.1. Основные задачи

Комплекс инженерных сооружений, предназначенных для получения воды из природных источников, улучшения ее качества и передачи к местам потребления называют *системой водоснабжения*, или *водопроводом*.

Водоснабжение является одной из важнейших отраслей водного хозяйства, направленной на повышение уровня жизни людей, благоустройства населенных мест и развития промышленности. Снабжение населения чистой, доброкачественной водой в достаточном количестве имеет важное санитарно-гигиеническое значение, предохраняет людей от всевозможных эпидемических заболеваний, распространяемых через воду.

Все многообразие встречающихся на практике систем водоснабжения можно классифицировать по следующим признакам:

1) по потребителям различают системы водоснабжения (водопроводы) коммунальные (городов, поселков), сельскохозяйственные и промышленные, среди которых в свою очередь имеется деление по отраслям промышленности (водопроводы тепловых электростанций, металлургических заводов, железнодорожного транспорта и т. д.);

2) по целевому назначению воды различают следующие системы водоснабжения: хозяйственно-питьевые, хозяйственно-противопожарные, хозяйственно-производственные, поливочные, противопожарные;

3) по виду использования природных источников различают водопроводы, получающие воду из поверхностных источников (речные, озерные и т. д.), водопроводы, базирующиеся на подземных водах (артезианские, родниковые и т. п.), смешанного питания — при использовании различных видов источников;

4) по способам подачи воды различают водопроводы самотечные (гравитационные) и с механической подачей воды (перекачкой воды насосами).

Важнейшими показателями работы водопровода являются качество воды и ее количество с точки зрения удовлетворения запросов потребителей.

Требования, предъявляемые к качеству хозяйственно-питьевой воды, диктуются заботой об охране здоровья трудящихся и регламентируются ГОСТом 2874—73. Само же качество природной

воды характеризуется ее физическими и химическими свойствами и бактериальным загрязнением. К физическим свойствам относят температуру воды, мутность (или прозрачность), цветность, вкус и запах. Химические свойства обуславливаются содержанием в ней различных растворенных веществ. Бактериальное загрязнение воды зависит от количества вносимых в источник загрязнений со сточными и стекающими дождевыми и тальными водами и других факторов. Бактериальная загрязненность воды характеризуется числом бактерий, содержащихся в 1 мл воды, и коли-титром. Коли-титром называют наименьшее количество воды, в котором обнаруживается одна индикаторная бактерия, носящая название кишечной палочки. Сама по себе она безвредна, но наличие ее в воде свидетельствует о загрязнении воды выделениями людей и животных и, следовательно, возможности попадания среди других и патогенных бактерий.

Требования, предъявляемые к качеству воды, используемой для производственных целей, разнообразны, так как зависят от вида производства и его технологии.

При проектировании системы водоснабжения определение требуемого потребителю количества воды является ответственной задачей. Суммарное водопотребление в городе складывается из расходов на хозяйственно-питьевые нужды населения, поливку улиц и зеленых насаждений, хозяйственно-питьевые цели и приемку душей рабочими во время пребывания на предприятии, технологические нужды промышленных предприятий и для нужд пожаротушения. В зависимости от требований, предъявляемых потребителями к качеству воды, а также от экономических условий для всех указанных целей вода может подаваться одним водопроводом или же для отдельных категорий водопотребления могут быть устроены самостоятельные водопроводы.

В нашей стране количество воды, которое может быть израсходовано на разные цели, регламентировано по СНиП II—31—74. Следует подчеркнуть, что, например, наши нормы хозяйственно-питьевого водопотребления одни из самых высоких в мире (табл. 27.1).

При расчете хозяйственно-питьевого водопровода приходится учитывать суточную и часовую неравномерность в потреблении

Таблица 27.1

Норма хозяйственно-питьевого потребления на одного жителя

Степень благоустройства района жилой застройки	Среднесуточное водопотребление, л/сут
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией без ванн	125—160
То же с ваннами и местными водонагревателями	160—230
То же с централизованным горячим водоснабжением	250—350

воды, что достигается введением специальных коэффициентов, численные значения которых приведены в указанном СНиПе. Тогда расчетный секундный расход на хозяйственно-питьевые нужды в населенном пункте составит

$$q_{\text{рас}} = (q_{\text{ж}} N K_{\text{ч макс}} K_{\text{сут макс}}) / 86\,400, \quad (27.1)$$

где $q_{\text{ж}}$ — норма водопотребления (по табл. 27.1), N — расчетное число жителей.

Нормы водопотребления на производственные нужды должны, согласно п. 2.4 СНиП II-31-74, определяться на основании имеющихся проектов, аналогов или укрупненных норм. Часто они устанавливаются на единицу выпускаемой продукции или на один агрегат и по своей величине нередко во много раз превосходят массу продукции. Так, на выплавку 1 т никеля требуется 800—850 т воды, на выплавку 1 т алюминия — 1500 т воды, для получения 1 т аммиака — 800—1000 т воды, на отбелку 1 т хлопка — 280 т, на 1 т каустической соды — 250—300 т воды, на 1 т азотной кислоты — 200—250 т воды.

Представление о расходе воды на пожаротушение дает табл. 27.2.

Таблица 27.2

Расчетный расход воды на наружное пожаротушение в населенных пунктах

Число жителей в населенном пункте, тыс. человек	Расчетное количество одновременных пожаров	Расход воды, л/с	
		застройка зданиями высотой до двух этажей включительно независимо от степени их огнестойкости	застройка зданиями высотой три этажа и выше независимо от степени их огнестойкости
До 5	1	10	10
10	1	10	15
25	2	10	15
50	2	20	25
100	2	25	35
500	3	—	80
1000	3	—	100
2000	4	—	100

В целях повышения надежности при проектировании водопроводов их рассчитывают в предположении, что пожар происходит в часы максимального водопотребления, т. е. в период наиболее напряженной работы системы. Поэтому полный расчетный секундный расход на пожар, определенный по нормам, должен быть прибавлен к максимальному хозяйственному (или производственному) расходу.

27.2. Техническая схема хозяйственно-питьевого водопровода

Система водоснабжения населенного места должна обеспечивать получение воды из природных источников, ее очистку, если это необходимо, и передачу к месту потребления. Для выполнения этих задач служат следующие сооружения, входящие обычно в состав системы: а) водозаборные сооружения, при помощи которых осуществляется захват воды из природных источников; б) водоподъемные сооружения, т. е. насосные станции, подающие воду к местам ее очистки, хранения и потребления; в) сооруже-

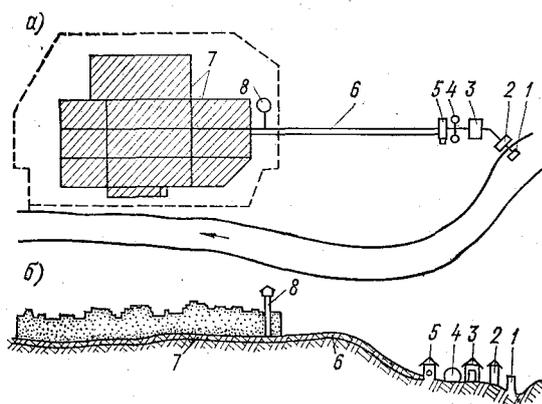


Рис. 27.1. Общая схема водоснабжения населенного места.

а — план; б — профиль. 1 — водозаборное сооружение; 2 — насосная станция I подъема; 3 — очистные сооружения; 4 — резервуары чистой воды; 5 — насосная станция II подъема; 6 — водоводы; 7 — водопроводная сеть; 8 — водонапорная башня.

ния для улучшения качества воды; г) водопроводные сети, служащие для транспортировки воды к местам ее потребления и распределения; д) башни и резервуары, играющие роль регулирующих и запасных емкостей.

Взаимное расположение основных водопроводных сооружений видно из общей схемы водоснабжения, показанной на рис. 27.1.

В зависимости от местных природных условий (в частности источника водоснабжения) и характера водопотребления воды а также от экономических соображений схема водоснабжения составляющие ее элементы могут сильно изменяться. Так, водонапорная башня может быть расположена в начале сети (см. рис. 27.1), в конце ее или в какой-либо промежуточной точке сети, что чаще всего определяется рельефом местности. В тех случаях, когда очистку воды производить не требуется, систем водоснабжения сильно упрощается: отпадает необходимость н

только в очистных сооружениях, но часто и в связанных с ними резервуарах чистой воды и насосной станции второго подъема.

Рассмотрим подробнее назначение и устройство важнейших составных частей системы хозяйственно-питьевого водопровода.

Водозаборные сооружения. Тип водозаборного сооружения зависит прежде всего от источника водоснабжения.

Для забора воды из поверхностных источников могут применяться самотечные глубинные (см. пп. 5.6.4 и 6.5.3) и открытые (см. пп. 9.2 и 9.3) водозаборы, однако в современных водопроводных системах предпочтение отдается закрытым сетям (трубопроводам) с машинными водозаборами (насосными станциями),

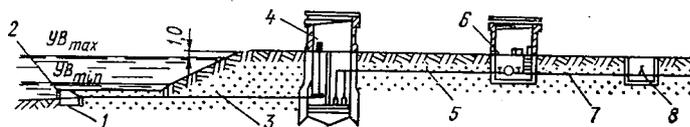


Рис. 27.2. Русловое водозаборное сооружение раздельного типа.

1 — водоприемный оголовок; 2 — решетка; 3 — самотечные линии; 4 — сеточный колодец; 5 — всасывающая линия; 6 — насосная станция; 7 — напорная линия; 8 — камера переключения и расходомеров.

как наиболее отвечающими требованиям гигиены и позволяющими оперативно передавать воду практически в любые пункты независимо от их высотного положения по отношению к водисточнику. Напомним, что в зависимости от водности источника и количества забираемой воды машинные водозаборы могут устраиваться как на свободных реках, так и в подпертых бьефах.

В зависимости от топографических, гидрологических и геологических условий стационарный машинный водозабор на реке сооружают по русловой или береговой схеме.

Русловой водозабор устраивают на реках, имеющих пологие берега, сложенные из мягких пород. В состав водозабора входят следующие сооружения (рис. 27.2): 1) водоприемник предназначен для приема (захвата) воды из водоема через входные окна; 2) решетки — обычно съемные, плоские, защищающие входные отверстия от всякого рода мусора и рыбы; 3) самотечные линии (они могут быть самотечно-сифонными), назначение их — транспортировать воду от места захвата к сеточному колодецу; 4) сеточное помещение чаще называют береговым колодцем, предназначено для предварительной очистки воды путем процеживания через сетки; 5) всасывающие трубопроводы, с помощью которых вода подводится к насосам; 6) насосная станция I подъема обеспечивает подачу воды на очистные сооружения или к потребителю в требуемом количестве под необходимым напором (если в схеме нет очистных сооружений); 7) напорные водоводы; 8) камера расходомеров.

Береговой водозабор устраивают при наличии достаточно крутого берега (при заложении 1:3 или 1:2), а глубина

у берега должна быть достаточна для расположения приемных окон водоприемника. При этом прием воды осуществляется непосредственно в береговой колодец, который называют береговым сеточным помещением.

Береговое сеточное помещение может объединяться с насосной станцией и тогда водозабор называют береговым совмещенного типа.

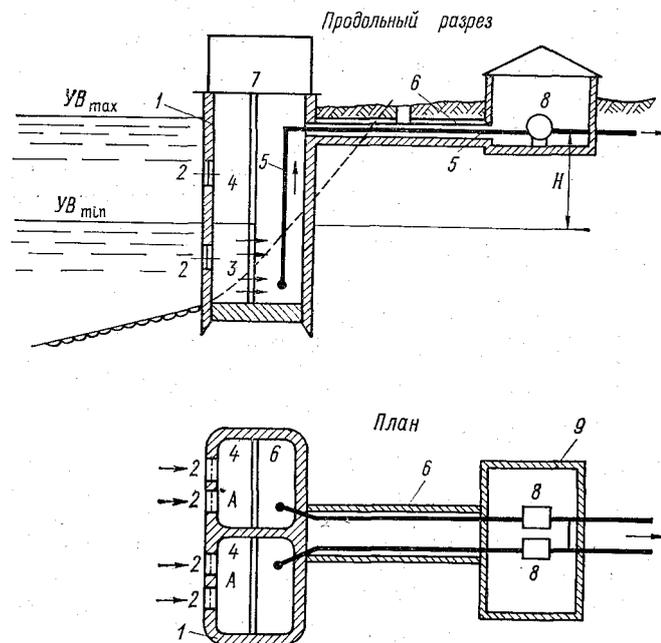


Рис. 27.3. Схема берегового водозабора раздельного типа.

1 — водоприемная камера; 2 — входные окна; 3 — сетки плоские; 4 — перегородка; 5 — всасывающие трубы; 6 — галерея; 7 — помещение управления арматурой берегового колодца; 8 — насосы.

Если сеточное помещение расположено отдельно от насосной станции, водозабор именуется береговым раздельного типа (рис. 27.3). При наличии в створе водозабора мягких просадочных грунтов всасывающие трубы прокладывают в проходной или полупроходной галерее.

Для забора подземных вод в современных водопроводах обычно используют скважины. Если скважина самоизливающаяся то ее оголовок оборудуют только аппаратурой управления в составе задвижек, манометров, расходомеров. Если же вода из скважины самостоятельно не изливается, то ее оснащают еще и водоподъемным устройством того или иного типа (центробежным насосом или воздушным подъемником — э р л и ф т о м).

Вода, забранная из поверхностных источников, обычно содержит различные загрязнения и в естественном состоянии не удовлетворяет всем требованиям ГОСТа на качество питьевой воды, поэтому такую воду из водозабора направляют на очистные сооружения. Подземные воды бывают значительно более чистыми, чем поверхностные, и их часто можно подавать потребителям без дополнительной обработки и подготовки.

Водоочистные сооружения. Степень и способы улучшения качества воды и состав водоочистных сооружений зависят от свойств природной воды и от требований, которые предъявляет потребитель к качеству воды. Основными методами очистки воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения являются: осветление, обесцвечивание и обеззараживание.

Осветление воды — удаление из нее взвешенных веществ. В зависимости от требуемой степени осветления применяют: отстаивание воды в отстойниках, в гидроциклонах, осветление воды путем пропуска ее через слой ранее образованного взвешенного осадка в так называемых осветлителях со взвешенным осадком, фильтрование воды через слой зернистого или поршкообразного фильтрующего материала в фильтрах или фильтрование через сетки и ткани.

Для достижения требуемого эффекта осветления воды в отстойниках, осветлителях и на фильтровальных аппаратах с зернистой фильтрующей загрузкой примеси воды следует подвергнуть коагулированию в целях интенсификации процесса, т. е. воздействию солей многовалентных металлов. Попутно вода при этом значительно обесцвечивается.

Обесцвечивание воды — устранение или обесцвечивание различных окрашенных коллоидов или истинно растворенных веществ. Для этой цели воду подвергают коагулированию, применяют различные окислители (хлор, озон, перманганат калия) и сорбенты (активный уголь).

Обеззараживание воды проводят для уничтожения содержащихся в ней болезнетворных бактерий и вирусов. Чаще всего применяют хлорирование воды, а также и другие способы обеззараживания (озонирование, бактерицидное облучение и др.).

Используют также специальные способы обработки как хозяйственно-питьевой, так и производственной воды, например дезодорацию — удаление привкусов и запахов. Если исходная вода содержит большое количество железа (или фтора), может потребоваться ее обезжелезивание (или обесфторивание). Обычно одновременно с обезжелезиванием проводят удаление марганца.

Для водоснабжения электростанций, предприятий химической, текстильной промышленности и других объектов снимают жесткость (умягчают) воды.

Сочетание необходимых технологических процессов и сооружений составляет технологическую схему улучшения качества воды. Используемые в практике водоподготовки технологические схемы можно подразделить следующим образом: реагентные и

безреагентные; по эффекту осветления; по числу технологических процессов и числу ступеней каждого из них; напорные и безнапорные.

Реагентные и безреагентные технологические схемы применяют при подготовке воды для хозяйственно-питьевых целей и для нужд промышленности. Указанные технологические схемы существенно отличаются друг от друга по размерам водоочистных сооружений и условиям их эксплуатации.

Процессы обработки воды с применением реагентов (рис. 27.4) протекают интенсивнее и значительно эффективнее. Так, для

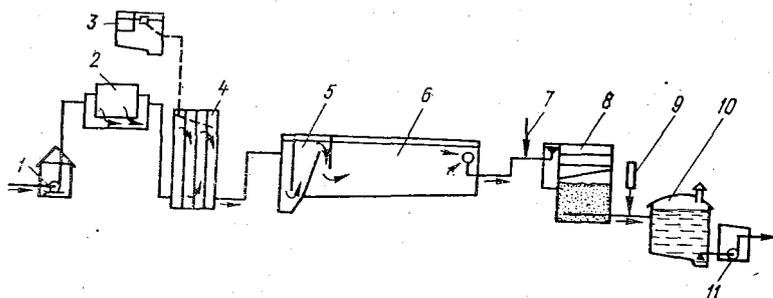


Рис. 27.4. Основная технологическая схема водоподготовки (реагентная).

1 — насосная станция I подъема; 2 — барабанные сетки (вариант); 3 — реагентное хозяйство; 4 — перегородчатый смеситель; 5 — вихревая камера хлопьеобразования; 6 — горизонтальный отстойник; 7 — ввод реагентов для дезодорации или интенсификации процесса фильтрования; 8 — скорый фильтр; 9 — установка для обеззараживания воды; 10 — резервуар чистой воды; 11 — насосная станция II подъема.

осаждения основной массы взвешенных веществ с применением реагентов необходимо 2—4 ч, а без реагентов — несколько суток. С использованием реагентов фильтрование осуществляется со скоростью 5—12 м/ч (и более), а без реагентов (медленное фильтрование) — 0,1—0,3 м/ч. При обработке воды с применением реагентов водоочистные сооружения значительно меньше по объему, компактнее и дешевле, но сложнее в эксплуатации.

Безреагентные технологические схемы, как правило, применяют для водоснабжения небольших водопотребителей при цветности исходной воды до 50 град¹, для грубого осветления воды, для водоснабжения ряда промышленных объектов. В этом случае достаточно одно отстаивание или одно фильтрование на грубозернистых фильтрах (рис. 27.5).

По эффекту осветления различают технологические схемы для полного (или глубокого) и неполного (или грубого) осветления воды. При полном осветлении очищенная вода соответствует требованиям питьевой, при неполном — содержание

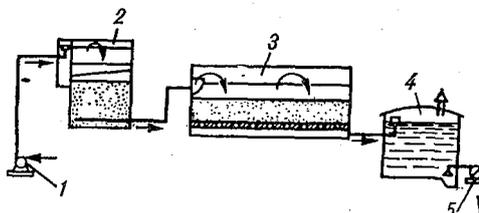
¹ Цветность воды выражают в специальных единицах, называемых градусами платиново-кобальтовой шкалы.

взвеси в очищенной воде во много раз больше (до 50—100 мг/л).

Технологические схемы для глубокого осветления воды применяют для хозяйственно-питьевых и для многих промышленных водопроводов, где к качеству технической воды предъявляют высо-

Рис. 27.5. Технологическая схема водоподготовки с медленными фильтрами (безреагентная).

1 — насосная станция I подъема; 2 — предварительный скорый фильтр; 3 — медленный фильтр; 4 — резервуар чистой воды; 5 — насосная станция II подъема.



кие требования. Схемы для неполного осветления обычно используют при подготовке технической воды.

По числу технологических процессов и по числу ступеней каждого из них технологические схемы разделяют на одно-, двух-, и многопроцессные. На рис. 27.6 показана усовершенствованная двухпроцессная технологическая схема, состоящая из обработки воды в слое взвешенного осадка и фильтрования,

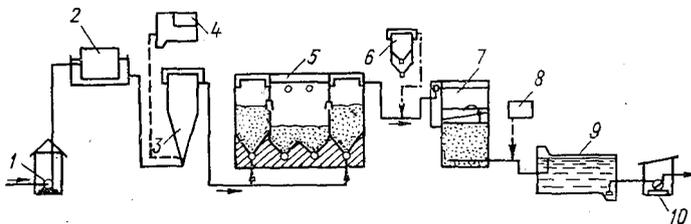


Рис. 27.6. Двухпроцессная (усовершенствованная) технологическая схема водоподготовки.

1 — насосная станция I подъема; 2 — барабанные сетки (вариант); 3 — вертикальный смеситель; 4 — реагентное хозяйство; 5 — осветлитель со взвешенным осадком; 6 — установка для фторирования воды; 7 — скорый фильтр; 8 — установка для обеззараживания воды; 9 — резервуар чистой воды; 10 — насосная станция II подъема.

которые проводят последовательно и однократно (в одну ступень).

Если один из технологических процессов осуществляется два или большее число раз, технологическая схема называется двух-, трех- или многоступенной.

На рис. 27.7 показана однопроцессная двухступенная технологическая схема с контактными осветлителями. Основной технологический процесс — фильтрование — здесь осуществляется дважды.

По характеру движения обрабатываемой воды технологические схемы делят на самотечные (безнапорные) и напорные. На городских и крупных промышленных водопроводных станциях исходная вода движется по сооружениям самотеком.

При этом уровень воды в каждом последующем сооружении ниже уровня в предыдущем. Разность уровней определяет напор, требуемый для преодоления гидравлических сопротивлений внутри сооружения и в коммуникациях от одного сооружения к другому. Поэтому особое значение имеет увязка взаимного расположения отдельных очистных сооружений технологической схемы (т. е. построение высотной схемы).

При напорной технологической схеме обрабатываемая вода движется от сооружения к сооружению под давлением выше атмосферного, поэтому отдельные сооружения можно расположить на одной отметке. Напорные очистные сооружения должны быть

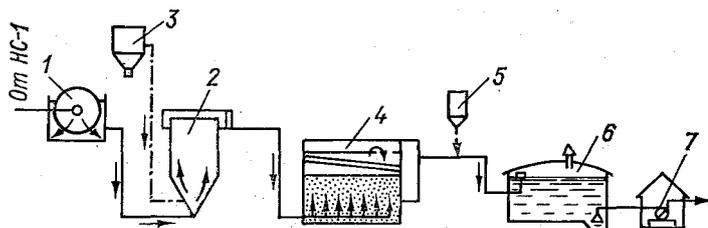


Рис. 27.7. Двухступенчатая технологическая схема водоподготовки с контактными осветлителями и микрофильтрами.

1 — микрофильтр; 2 — вертикальный смеситель; 3 — реакгентное хозяйство; 4 — контактный осветлитель; 5 — установка для обеззараживания воды; 6 — резервуар чистой воды; 7 — насосная станция II подъема.

герметично закрыты и рассчитаны на давление, развиваемое насосами.

При использовании напорных технологических схем иногда можно не устраивать резервуары чистой воды и насосную станцию II подъема. В отдельных случаях очищенная вода под напором насосов I подъема передается непосредственно в сеть потребителей. При безнапорном движении воды по очистным сооружениям необходимы две насосные станции и резервуары чистой воды.

Как видно из приведенных выше схем обработки воды, все они содержат те или иные сооружения и устройства для удаления взвешенных веществ. Принцип работы и конструкция используемых для указанной цели отстойников рассматривались в п. 10.2. Другой тип сооружений аналогичного назначения, давно применяемый на водопроводных станциях, это *фильтры с зернистой загрузкой*, представляющие собой резервуары, заполненные, например, крупнозернистым песком, через который и фильтруется вода. Но за последнюю четверть века в мировой практике для удаления из воды взвеси и планктона нашли широкое применение *микрофильтры*, выполняемые в виде механизмов с вращающимися барабанами, оборудованными фильтрующими элементами из тонкой металлической или пластмассовой сетки с размером ячеек 20—60 мк (рис. 27.8).

Конструкция осветлителей со взвешенным осадком и других устройств, используемых для улучшения качества воды, рассматривается в специальных курсах по водоснабжению.

Распределение воды. Вода, подготовленная на очистных сооружениях, накапливается в баках чистой воды и забирается из них насосной станцией II подъема для подачи потребителям. Эта станция должна обеспечивать подачу воды не только в требуемом количестве, но и под определенным напором, поскольку разбор воды большинством потребителей происходит на некото-

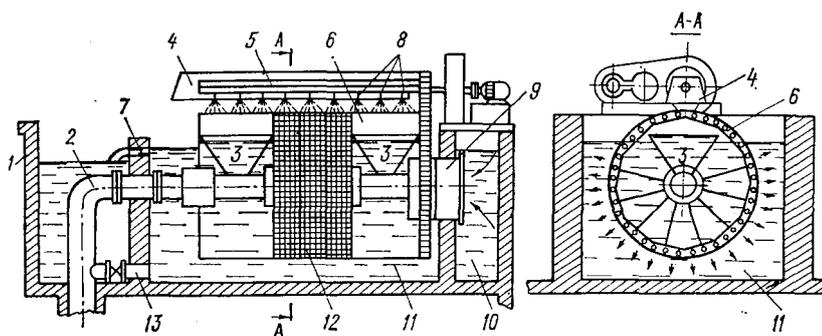


Рис. 27.8. Микрофильтр.

1, 10 — соответственно каналы отвода и подачи; 2 — сточная труба; 3 — воронка для сбора промывной воды; 4 — защитный кожух; 5 — коллектор промывной воды; 6 — барабан; 7 — водослив; 8 — пластинчатые разбрызгиватели; 9 — входная труба; 11 — камера микрофильтра; 12 — фильтрующие элементы; 13 — труба для полного опорожнения камеры.

рой высоте над поверхностью земли и поэтому в водопроводной сети должно быть обеспечено давление, необходимое для подъема воды на эту высоту.

Так, для подачи воды в верхние этажи здания в городской водопроводной сети необходимо иметь внутреннее давление, достаточное для подъема и соответствующего излива воды в наивысшей водоразборной точке, т. е. пьезометрическая высота в точке ответвления от городской сети должна равняться сумме геометрической высоты подъема воды и суммарной потери напора на пути движения воды. Пьезометрическая высота, требуемая для нормальной хозяйственной работы водопровода, обычно называется *свободным хозяйственным напором*, который равен

$$H_{св} = H_0 + h_{и} + h, \quad (27.2)$$

где H_0 — геометрическая высота расположения над поверхностью земли наивысшей водоразборной точки, м; $h_{и}$ — свободный напор излива, который необходимо обеспечить у водоразборных приборов, м; h — потери напора в трубах, фасонных частях и арматуре на участке от точки присоединения к линии городской сети до водоразборной точки, м.

Путем гидравлического расчета можно найти h и h_n и определить свободный напор $H_{св}$, требуемый в данной точке сети наружного водопровода.

При расчете водопровода $H_{св}$ принимают различной для отдельных районов в зависимости от расчетной этажности их застройки. Так, СНиП рекомендует следующие значения требуемого свободного напора в сети водопровода населенных мест: $H_{св}=10$ м при одноэтажной застройке, $H_{св}=12$ м — при двухэтажной застройке, а при большей этажности необходимо прибавлять по 4 м на каждый следующий этаж.

Расчет системы водопровода на работу во время пожара производят в предположении возникновения пожара в наиболее высоких и в наиболее удаленных от источников питания точках территории, обслуживаемой водопроводом.

По способу тушения пожара водопроводы разделяют на водопроводы высокого и низкого давления. Первая система (обычно применяется на промышленных объектах) предусматривает подачу к месту пожара установленного нормами пожарного расхода воды и повышение давления в водопроводной сети до значений, достаточных для создания пожарных струй непосредственно от гидрантов. Обычно в водопроводах высокого давления повышение напора производится лишь на время тушения пожара. В исключительных случаях устраивают водопроводы постоянного высокого давления.

Схема низкого давления (обычно в населенных местах) предусматривает лишь подачу увеличенного в связи с пожаром расхода воды. Напор для получения пожарных струй создается передвижными пожарными насосами, подвозимыми к месту пожара и собирающими воду из водопроводной сети через уличные гидранты.

Выше отмечалось, что потребление воды в большинстве населенных пунктов характеризуется суточной неравномерностью. Следовательно, для удовлетворения запросов водопользователей такой же неравномерной должна быть и подача воды в водопроводную сеть. А это требует оснащения насосных станций II подема разнообразным по производительности водоподъемным оборудованием. Чтобы избежать этого и сгладить график водоподдачи не ущемляя одновременно интересов водопользователей, в системах водоснабжения вводят *водонапорные башни* или располагаемые на поверхности земли, но на возвышенных местах, *водонапорные резервуары*. Роль такой башни (резервуара) сводится к следующему. В часы, когда подача воды насосами превышает потребление ее городом, избыток воды подается в башню. В часы, когда потребление превышает подачу, недостающее количество воды пополняется самотеком из башни. Однако в водопроводах с большими расходами воды компенсирующая роль башни при тех размерах, которые ей в настоящее время можно реально придать оказывается незначительной и поэтому в настоящее время в крупных городах от строительства башен отказываются, полностью

регулируя подачу воды в водопроводную сеть с помощью оборудования, имеющегося на насосных станциях.

Водопроводная сеть представляет собой совокупность трубопроводов, по которым вода транспортируется потребителям. Она состоит из водоводов, магистральной сети и распределительных трубопроводов.

Водоводы служат для транспортирования воды от водозабора к очистным сооружениям и от них к магистральной сети.

Магистральными называют линии, которые предназначены в основном для транспортирования воды по территории населенного пункта. В зависимости от очертания в плане они могут быть

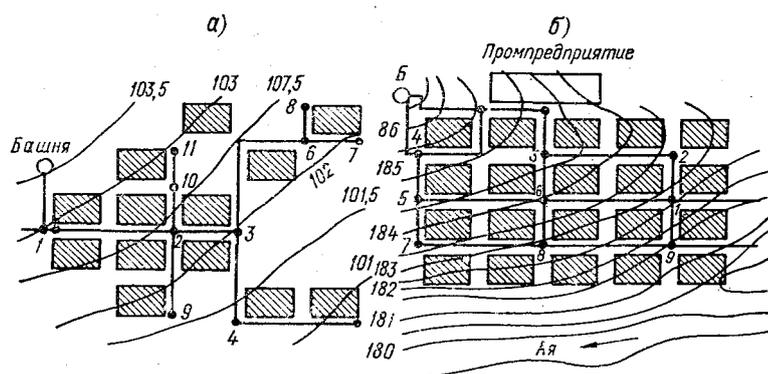


Рис. 27.9. Схемы водопроводной сети.

а — тупиковой; б — кольцевой.

тупиковыми (рис. 27.9 а) и кольцевыми (рис. 27.9 б). Тупиковые сети в оптимальном варианте обеспечивают подачу воды к потребителю по кратчайшему пути, но не полностью удовлетворяют требованию бесперебойности водоснабжения. Поэтому, как правило, в городах и на промышленных предприятиях проектируют кольцевые водопроводные сети.

Распределительными называют линии, которые получают воду из магистральных линий и подают ее потребителям через центральные пункты или домовые вводы.

Для строительства рассмотренных элементов водопроводной сети используют стальные, чугунные, асбестоцементные, железобетонные и пластмассовые трубы.

7.3. Способы и схемы водоснабжения промышленных предприятий

Вода используется в большинстве производственных процессов. Многочисленное и разнообразное использование воды в производстве может быть сведено к следующим основным группам:

охлаждение, промывка, парообразование, гидротранспорт, использование в составе выпускаемой продукции.

Водопотребление первой группы имеет весьма значительные масштабы и во много раз превосходит все остальные виды потребления воды. К этой группе относят расходование воды на охлаждение конденсаторов паровых турбин тепловых электростанций, охлаждение доменных и сталеплавильных печей и различных аппаратов в нефтеперерабатывающей и химической промышленности. Ко второй группе относят расходы на нужды бумажной, целлюлозной, текстильной промышленности и др. Третья группа включает нужды паросиловых установок. Четвертая группа охватывает расходы воды на гидротранспорт различных материалов (в том числе шлакозолоудаление на тепловых станциях отходов обогатительных фабрик). К пятой группе относится расход воды, входящий в состав вырабатываемого продукта: пищевой промышленности, частично в химической промышленности.

К качеству воды указанных групп водопотребления предъявляют самые разнообразные требования. Вода, используемая для охлаждения, должна быть маложесткой, маломутной (ниже 50 мг/л), не обладать коррозионными свойствами; для питания паровых котлов высокого давления должна быть полностью обессоленной; для промывных целей не должна содержать солей, влияющих на качества продукта. Режим расходования воды на производственные нужды определяется режимом работы промышленного предприятия.

Изложенные выше схемы водоснабжения городов могут быть применены и к водопроводам промышленных предприятий. Однако промышленное водоснабжение имеет ряд особенностей. Основная особенность заключается в том, что использованная вода, если она не загрязняется или может быть легко очищена от загрязнений, во многих случаях не сбрасывается в водоем, а снова используется в производстве.

В соответствии с этим на промышленных предприятиях может быть применена прямоточная, последовательная или оборотная система водоснабжения.

Прямоточное водоснабжение (рис. 27.10 б) предусматривает подачу воды к потребителям и сброс ее в водоем после использования. При этом, если вода загрязняется в производстве то перед выпуском в водоем она очищается на очистных сооружениях.

Прямоточное водоснабжение применяется в тех случаях, когда источник воды достаточно мощный, расположен вблизи предприятия (не более 2—3 км) и высота расположения площадки промышленного предприятия над уровнем воды в источнике невелика (15—20 м).

Последовательное водоснабжение такое, когда вода, использованная в одном цехе, используется повторно в другом, а в отдельных случаях еще и в третьем цехе.

При этой системе водоснабжения уменьшается количество воды, подаваемой из источника, по сравнению с прямоточным водоснабжением.

При обратном водоснабжении (рис. 27.10 а) вода, нагретая в производстве, охлаждается на охлаждающих сооружениях и вновь используется для тех же целей. Если вода в процессе производства загрязняется, то ее очищают. В производственном процессе при очистке и охлаждении воды некоторое количество ее теряется. Потери при оборотной системе составляют 3—5 %

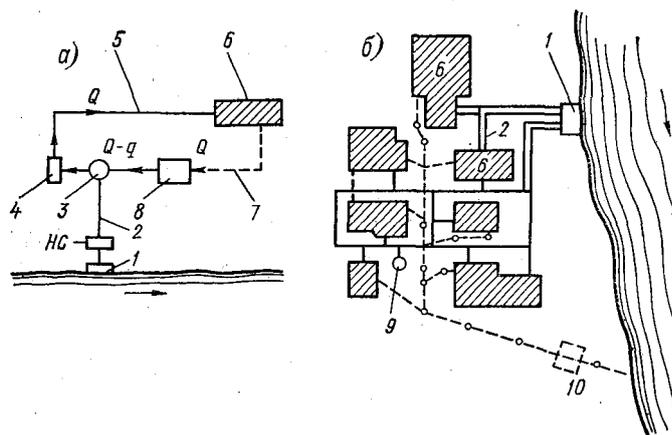


Рис. 27.10. Схемы промышленного водоснабжения.

а — оборотная; б — прямоточная; 1 — водоприемник, совмещенный с насосной станцией I подъема; 2 — водоводы; 3 — сборный колодезь; 4 — циркуляционная насосная станция; 5 — внутризаводской водовод; 6 — цех, где вода используется для охлаждения; 7 — сбросной трубопровод; 8 — охладитель; 9 — водонапорная башня; 10 — канализационные очистные сооружения.

от общего количества используемой воды в оборотной системе. Эти потери восполняются из источника водоснабжения. Свежая вода обычно подается в бассейн, в котором собирается охлажденная вода.

Оборотная система водоснабжения применяется при ограниченной мощности источника водоснабжения. Однако и при достаточной мощности источника такая система может быть экономически выгодной при значительной удаленности источника (более 4 км) от предприятия и при высоком расположении промышленной площадки над уровнем воды в источнике (выше 25 м).

Благодаря устройству оборотных систем водоснабжения можно значительно уменьшить спуск в водоем загрязненных промышленных сточных вод и тем самым уменьшить загрязнение водоемов.

Ряд передовых предприятий, применяя комбинированные схемы водоснабжения (прямоточно-последовательные, оборотные и обо-

ротно-последовательные), совершенно прекратили спуск в водоем загрязненных сточных вод.

Основными гидротехническими сооружениями, используемыми для охлаждения воды в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий, являются брызгальные бассейны, градирни и пруды-охладители.

Брызгальный бассейн представляет собой устройство, в котором охлаждаемая вода разбрызгивается на мелкие капли, омывается ветром и охлаждается. Основную часть брызгательного бассейна составляет вытянутый прямоугольный водонепроницаемый котлован, расположенный поперек господствующего ветра, и система труб над ним, на которых в правильном порядке расположены насадки-брызгалки, образующие фонтанчики (рис. 27.11).

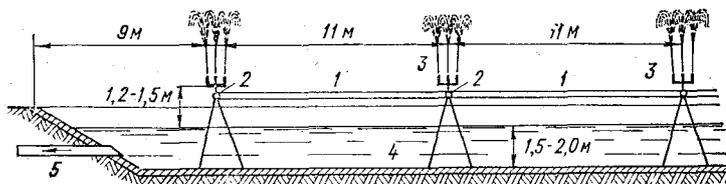


Рис. 27.11. Брызгальный бассейн.

1 — трубопровод с горячей водой; 2 — поперечные трубы с брызгалками; 3 — брызгалки; 4 — бассейн; 5 — выпуск охлажденной воды.

Вода из брызгалок, охладившись в воздухе, падает в бассейн, наполняет его и через насосную подается обратно на производство.

Градирни бывают капельные и пленочные. Капельная градирня представляет собой сквозную решетчатую башню с горизонтальными решетками. Вода подается в верхнюю часть башни, разбрызгивается здесь специальными устройствами и стекает, падая с решетки на решетку. При этом капли воды омываются ветром и охлаждаются. Охлажденная вода наполняет водонепроницаемый подвал башни и насосами возвращается на производство (рис. 27.12). Башенные градирни строят круглыми, квадратными или вытянутой прямоугольной формы. Высота градирнь достигает 100 м и больше. Градирни чаще всего строят из дерева или из железобетона. В пленочных градирнях вода стекает тонкой пленкой с вертикальных деревянных щитов из досок, поставленных на ребро с промежутками 40—50 мм. Очень хорошо работают градирни с искусственной вентиляцией, так как такие градирни меньше зависят от ветра. Вентиляторы устанавливают горизонтально в нижнем этаже градирни. Диаметр вентилятора составляет 10—15 м.

Термический расчет градирнь очень сложен, и поэтому на практике часто пользуются специально составленными приближенными расчетными графиками и таблицами, которые можно найти в соответствующих курсах и справочниках. В брызгальных бассейнах

и в градирнях происходит потеря воды на испарение и на вынос ветром. Летом потери на испарение составляют 3,5 %, зимой они, естественно, меньше.

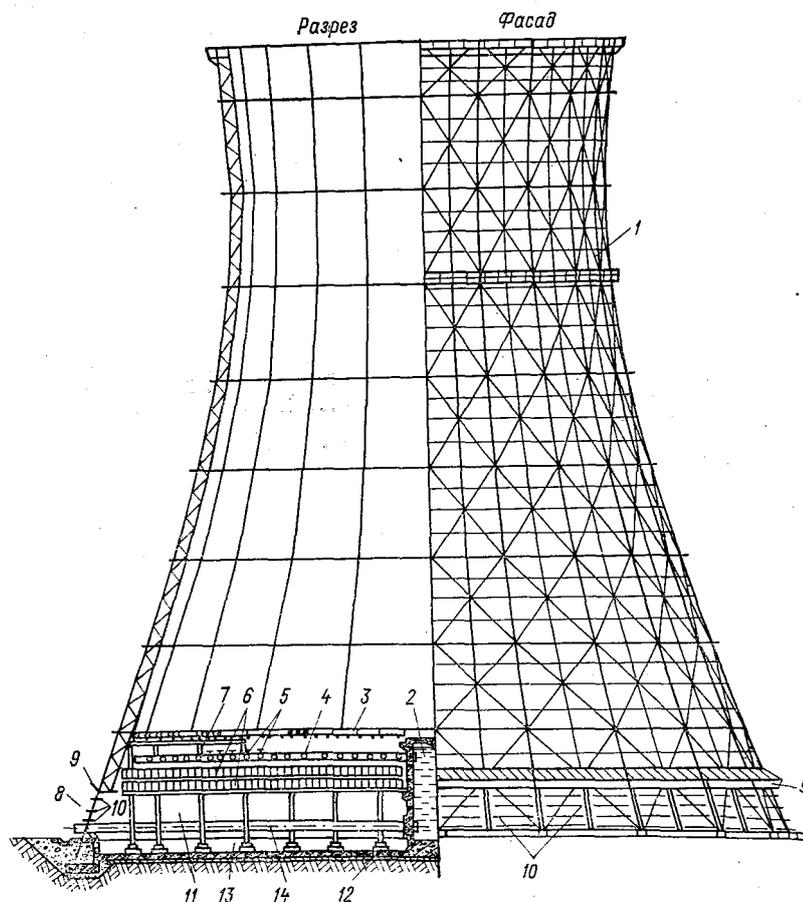


Рис. 27.12. Башенная противоточная градирня.

1 — вытяжная башня; 2 — водораспределительный стояк; 3 — водоуловитель; 4 — водораспределительная система; 5 — разбрызгивающие устройства; 6 — оросительное устройство; 7 — опорный каркас оросительного и водораспределительного устройства, а также водоуловителя; 8 — воздухоходные окна; 9 — воздугонаправляющий козырек; 10 — зимние поворотные щиты; 11 — воздухораспределительное пространство; 12 — колонны; 13 — водосборный бассейн; 14 — подводящие воды.

В последнее время начинают строить так называемые «сухие» градирни, в которых охлаждаемая вода циркулирует по системе руб-змеевиков. В сухих градирнях отсутствуют потери воды, что чень существенно.

Пруды-охладители представляют собой искусственные водоемы большой площадью водного зеркала. Они могут предназна-

чаться или только для охлаждения воды, или одновременно служить и водохранилищем для накопления воды (тогда их называют водохранилища-охладители).

Температура воды в пруде-охладителе в среднем выше температуры воды водоема в естественном состоянии. Это обстоятельство приводит к более усиленному испарению, что по законам физики влечет за собой охлаждение испаряющей жидкости, кроме того, происходит переход тепла от более нагретой среды — воды — к менее нагретой среде — воздуху. Очевидно, что для отъема от охлаждающейся воды всего тепла, полученного от промышленных предприятий, необходимо иметь зеркало пруда достаточных размеров, так как каждый 1 м^2 пруда при определенной разности

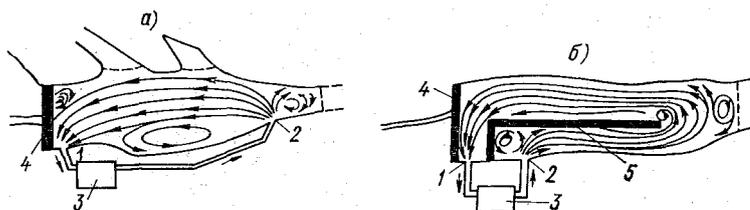


Рис. 27.13. Схема обратного водоснабжения с прудом-охладителем.
1 — забор воды; 2 — выпуск (сброс) горячей воды; 3 — место нагрева воды;
4 — плотина; 5 — раздельная дамба.

температур воды и воздуха и при определенных климатических условиях (влажности воздуха и скорости ветра) может отдать в единицу времени (например, в 1 мин или 1 ч) только вполне определенное количество тепла.

Объем пруда в суточном регулировании его тепла также играет большую роль. Мелкие пруды весьма чувствительны к суточному ходу солнечной радиации и поэтому в них могут иметь место недопустимые повышения температуры днем и в летнее время.

Водозабор воды из пруда-охладила и выпуск ее могут осуществляться в разных точках (рис. 27.13 а), расположенных в значительном удалении друг от друга, или рядом (рис. 27.13 б). В последнем случае между ними устанавливают раздельную дамбу, направляющую воду в конец пруда, откуда она затем растекается по всей его площади. Та часть площади зеркала пруда-охладила, которую охватывают течения, вызываемые выпуском и забором воды, называется рабочей площадью; остальная ее поверхность — мертвая зона и в охлаждающей работе пруда участия не принимает.

Расчет прудов-охладителей — сложная инженерная задача, при решении которой основную трудность представляет построение плана течений, определяющего рабочую зону пруда. Не меньшая трудность заключается в установлении закономерностей между охлаждением и определяющими его метеорологическими факто

рами и др. Глубина прудов-охладителей во избежание их прогрева лучистой энергией солнца должна быть не менее 2,0—2,5 м.

Глава 28. Канализация

28.1 Системы канализации

Канализацией населенного пункта называется комплекс инженерных сооружений, предназначенных для сбора, удаления и очистки сточных вод и отходов, образующихся в результате жизнедеятельности людей и на промышленных предприятиях. Канализация является наиболее современным устройством как в санитарно-техническом, так и в экономическом отношении, наилучшим образом обеспечивающим сбор, отвод и обработку сточных вод.

По происхождению все сточные воды населенного пункта и промышленного предприятия можно разделить на три группы: бытовые (хозяйственно-фекальные), производственные, атмосферные (дождевые).

Бытовые сточные воды образуются из вод, поступающих из раковин, умывальников, ванн, кранов, а также из бань, прачечных, душевых и воды от мытья полов (хозяйственные воды). Кроме того, в эту группу входят воды, поступающие от уборных, т. е. загрязненных физиологическими отбросами жизнедеятельности человека (фекальные воды). Бытовые сточные воды относят к группе наиболее загрязненных. Они содержат минеральные, органические загрязнения, а также большое количество микроорганизмов, в том числе и болезнетворных.

Производственные сточные воды крайне многообразны по составу и концентрации загрязнений. Загрязнителями производственных сточных вод являются отходы и потери производства. Концентрация и качество загрязнителей в сточной воде находятся в тесной зависимости от вида производства, исходного сырья и всякого рода реагентов, участвующих в технологическом процессе. Ввиду указанных причин состав сточных вод различен даже для одного и того же вида производства.

Дождевые воды образуются от выпадения дождей (или таяния снега) и загрязняются отбросами, имеющимися на поверхности территории города или промышленного предприятия. Эти воды относятся к условночистым, и санитарный надзор допускает пуск их в природные водоемы в пределах города без очистки.

В зависимости от способа отвода сточной жидкости системы канализации подразделяют на следующие.

Общесплавная система канализации предусматривает отвод всех видов сточной жидкости к очистным сооружениям единой канализационной сети.

Раздельная система канализации предусматривает отвод различных сточных вод по самостоятельным канализационным сетям. В этом случае устраивается не менее двух сетей:

одна — для приема и отвода бытовых сточных вод, называемая *бытовой*, другая — для ливневых и условно чистых производственных вод, называется *дождевой* или *водосточной*. Бытовые сточные воды отводятся на очистные сооружения, а ливневые сточные сбрасываются в водоемы без всякой очистки.

В нашей стране наибольшее распространение получила раздельная система канализации.

Канализационная система города или промышленного предприятия состоит из следующих основных элементов:

1) внутренних домовых или внутрицеховых канализационных устройств, предназначенных для приема сточных вод и отведения их за пределы помещений. При этом в жилых и общественных зданиях приемниками сточных вод являются санитарные приборы, а на промышленных предприятиях — специальные приемники в виде воронок, трапов, лотков, которые устанавливают непосредственно у аппаратов и машин;

2) наружной канализационной сети (дворовой, заводской, внутриквартальной, уличной и т. п.), состоящей из канализационных трубопроводов, а также сборных коллекторов (собирающих сточную жидкость из уличных линий) и главного коллектора.

При благоприятном рельефе местности сточные воды отводятся самотеком. В противном случае в пониженных участках канализуемой территории устраивают насосные станции, которые перекачивают сточные воды на очистные сооружения или в вышерасположенный коллектор, откуда они самотеком транспортируются к месту очистки;

3) очистных сооружений, предназначенных для полной или частичной очистки сточных вод перед сбросом их в водоем или использования на сельскохозяйственных полях орошения (ЗПО).

Технологическая схема очистных сооружений зависит от состава загрязнений, среди которых в бытовых сточных водах принято выделять минеральные, органические, бактериальные и биологические. К *минеральным* относят песок, глинистые частицы, минеральные масла, растворы минеральных солей, кислот и щелочей и др. *Органические* загрязнения бывают животного и растительного происхождения. К ним относят физиологические выделения людей и животных, остатки жировых и мускульных тканей животных, различные клеящие вещества, остатки растений, плодов, овощей, растительные масла, бумага и др. *Биологические* и *бактериальные* загрязнения представляют собой многочисленные микроорганизмы: плесневые и дрожжевые грибки, мелкие водоросли и различные бактерии и вирусы (в том числе патогенные).

В отличие от бытовых производственные сточные воды отличаются разнообразным составом, который зависит от технологии производства. В некоторых производственных сточных водах содержатся кислоты, щелочи, красители, ядовитые вещества.

Органические вещества сточных вод в присутствии кислорода подвержены окислению с последующей минерализацией под действием микроорганизмов. Эти процессы широко используют для

очистки сточных вод. Минерализация органических веществ может происходить и при участии анаэробных бактерий (живущих и развивающихся без доступа кислорода).

По количеству кислорода, необходимому для окисления органических веществ, можно судить о загрязненности сточной жидкости органическими веществами. Эту величину называют биохимической потребностью в кислороде, она обозначается сокращенно БПК и выражается количеством кислорода в миллиграммах на литр. Биохимическая потребность в кислороде 20-суточной пробы при температуре 20 °С рекомендуется правилами технической эксплуатации как стандартное определение. Полное окисление органического вещества происходит в течение более 100 суток при температуре жидкости 20 °С. На практике часто руководствуются данными 5-суточной БПК, так как количество потребного кислорода в течение первых пяти дней составляет 68 % полной его потребности, а в бытовых сточных водах — 87,5 %.

Для более полной оценки количества органического вещества в сточной жидкости, особенно если она представляет собой смесь бытовых и производственных сточных вод, в последнее время определяют, кроме БПК, химическую потребность кислорода — ХПК.

Наряду с определением БПК и ХПК в сточной жидкости посредством соответствующих анализов определяют состав и количество других загрязнений.

Общие условия выпуска сточных вод любой категории в поверхностные водоемы (реки, озера, водохранилища, моря) определяются народнохозяйственной значимостью последних. В соответствии с этими условиями допустимо некоторое ухудшение воды после попадания в нее стоков, но не настолько, чтобы это заметно сказывалось на жизни водоема — он должен быть пригодным для использования в культурно-бытовых и рыбохозяйственных целях.

Критерием оценки допустимости загрузки водных источников веществами загрязнения являются *предельные допустимые концентрации* (ПДК) вредных веществ в водных объектах, а также их общесанитарная характеристика. Требования, предъявляемые к качеству воды рек, озер и морей, разработаны в виде ПДК для источников водоснабжения, водоемов, расположенных в пределах населенных пунктов и зон отдыха, а также для водных объектов рыбохозяйственного значения. Соответствующими нормативными документами установлены ПДК для большого количества вредных веществ (более 500).

Исходя из изложенной системы оценки качества вод (принятой нашей стране), сбросы сточных вод непосредственно (на вышке) не нормируются. Предельные допустимые выбросы (ПДВ) определяются по ПДК индивидуально в каждом конкретном случае, т. е. теоретически в некоторых створах сточные воды можно было бы сбрасывать и без предварительной очистки, но учитывая, что в настоящее время большинство крупных рек в населенных и экономически развитых районах уже загрязнено различными сто-

ками и поэтому самоочищающаяся способность их сильно ограничена, очистные сооружения необходимы на всех канализационных системах.

28.2. Методы очистки сточных вод

Сточные воды бытового происхождения подвергают механической, химической и биохимической (или биологической) очистке а для ликвидации бактериального загрязнения их обеззараживают (дезинфицируют).

Механическую очистку производят для выделения из сточной воды находящихся в ней нерастворенных загрязнений путем процеживания, отстаивания и фильтрования.

Для задержания крупных плавающих загрязнений и частично взвешенных веществ применяют процеживание воды через различные решетки и сита. Выделение из сточных вод основной массы мелкой взвеси, преимущественно органического характера, производится в отстойниках. Удаление взвешенных частиц минерального происхождения, главным образом песка, осуществляется путем осаждения в сооружениях, называемых песколовками, которые предшествуют отстойникам.

Вещества, более легкие, чем вода,— жиры, масла, нефть, смолы и вообще всякого рода всплывающие на поверхность вещества выделяются в сооружениях, называемых жироловками, маслоуловителями, нефтеловушками и смолоуловителями. Эти сооружения обычно применяют для очистки производственных сточных вод.

Наконец, для освобождения сточных вод от частиц очень мелкой суспензии, находящейся во взвешенном состоянии и коллоидов, применяют фильтрование сточных вод через специальные ткани (сетки) или слой зернистого материала, на поверхности в толще которого задерживаются выделяемые из сточных вод примеси. Фильтрование применяют при механической очистке главным образом производственных сточных вод или при доочистке хозяйственно-фекальных сточных вод. Механическую очистку как самостоятельный метод применяют в тех случаях, когда достигаемое при ее применении освобождение сточных вод от загрязнения позволяет (по местным условиям и в соответствии с санитарными правилами) использовать осветленную воду для тех или иных производственных целей или спускать эти воды в водоем. Во всех других случаях механическая очистка служит предварительной стадией перед биохимической (биологической) очисткой.

Биохимические методы очистки сточных вод основаны на жизнедеятельности микроорганизмов, способствующих окислению и минерализации органических веществ, находящихся в сточных водах в виде тонких суспензий, коллоидов и в растворе. Применяемые при этом сооружения носят общее название биологических окислителей.

Существующие в настоящее время сооружения для биохимической очистки сточных вод могут быть разделены на два основных типа: сооружения, в которых очистка происходит в условиях, близких к естественным; сооружения, в которых очистка происходит в искусственно созданных условиях.

Сооружения для биохимической очистки в естественных условиях в свою очередь могут быть разделены на сооружения, в которых происходит фильтрование очищаемых сточных вод (земельные поля орошения и поля фильтрации), и на сооружения, представляющие собой естественные бассейны (пруды). Для биохимической очистки сточных вод в искусственных условиях применяют биологические фильтры и аэротенки. В этих сооружениях процесс очистки протекает более интенсивно, чем в естественных условиях.

Для уничтожения бактериальных загрязнений сточную воду перед спуском в водоемы подвергают обеззараживанию.

Химические методы очистки заключаются в том, что очищаемую воду вводят реагенты (коагулянт, известь и т. п.). Вступая в химическую реакцию с находящимися в воде примесями, реагент способствует более полному выделению нерастворенных веществ, коллоидов и части растворенных веществ и тем самым способствует уменьшению их концентрации в сточной воде, переводит растворимые соединения в нерастворимые или частично растворимые, но безвредные; изменяет реакцию сточных вод, частности, нейтрализует их; обесцвечивает окрашенную воду и т. п.

При очистке сточных вод любым описанным выше методом образуется осадок вследствие выпадения нерастворенных веществ в первичных отстойниках. Кроме того, в результате биохимической очистки образуется большое количество осадка, который выводится во вторичных отстойниках.

Осадок состоит из твердых веществ сильно разбавленной водой. В сыром состоянии при очистке бытовых и некоторых производственных вод этот осадок имеет неприятный запах и является опасным в санитарном отношении, так как содержит огромное количество бактерий и яиц гельминтов.

Для уменьшения количества органических веществ в осадке и придания ему лучших санитарных показателей осадок подвергают воздействию анаэробных микроорганизмов (сбраживанию) в соответствующих сооружениях. К таким сооружениям относят септики, двухъярусные отстойники и метантенки.

Первые два типа сооружений выполняют одновременно две задачи: выделение из сточных вод нерастворенных веществ путем отстаивания и сбраживания образующегося осадка. Метантенки предназначены только для сбраживания осадка.

Для уменьшения влажности осадка сточных вод и его объема применяют иловые пруды (для небольших станций), иловые площадки и установки для термического или механического обезвоживания (вакуум-фильтры).

На очистку промышленных стоков распространяются все известные методы и сооружения механической, химической и биохимической очистки бытовых стоков. Однако большое разнообразие состава и часто исключительно высокая опасность для окружающей среды некоторых производственных сточных вод требуют специфических, в основном физико-химических методов их очистки к которым относятся: сорбция, экстракция, коагуляция, флотация, электролиз, эвапорация, ионный обмен, кристаллизация и др. Для реализации этих методов созданы соответствующие сооружения.

Ниже будут рассмотрены технологические схемы и важнейшие сооружения, используемые преимущественно для очистки сточных вод бытового происхождения.

28.3. Схемы станций для очистки сточных вод

Станции для очистки сточных вод состоят из комплекса отдельных сооружений, которые располагают таким образом, что вода проходит их последовательно одно за другим, постепенно

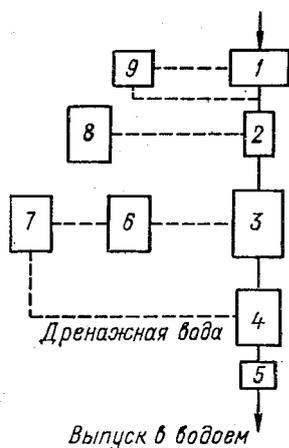


Рис. 28.1. Схема станции с механической очисткой сточных вод.

1 — решетка; 2 — песколовка; 3 — отстойник; 4 — хлоратная; 5 — контактный резервуар; 6 — метантенк; 7 — иловый; 8 — песковые площадки; 9 — дробилка.

очищаясь сначала от крупных, а затем от все более и более мелких загрязнений, находящихся в нерастворенном состоянии.

Выбор метода очистки и назначение состава сооружений — сложная технико-экономическая задача, на которую влияет ряд условий, например: необходимая степень очистки сточных вод, рельеф местности, энергетические факторы, характер грунтов, размер площади для очистных сооружений, расход очищенной воды, объем водоема, расход водотока и др.

Если сточная вода спускается в крупный водоприемник и в местных условиях можно ограничиться только механической очисткой сточных вод, состав сооружений обычно принимают по схеме, приведенной на рис. 28.1.

Первоначально сточная жидкость проходит через решетку 1, устанавливаемую для задержания крупных веществ органического и минерального происхождения, далее — через песколовку 2 для выделения тяжелых примесей, главным образом минерального происхождения, отстойники 3 для выделения осаждающихся и всплывающих преимущественно органических веществ, через хлопчатую 4 с контактным резервуаром 5 для обезвреживания воды и контакта хлора с водой.

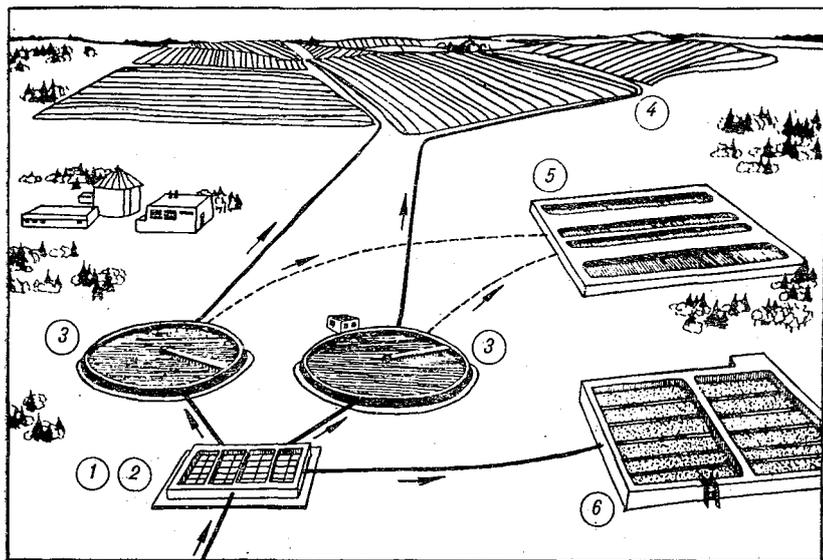


Рис. 28.2. Схема станции с биологической очисткой сточных вод на полях орошения или фильтрации.

1 — решетка; 2 — песколовка; 3 — двухъярусный отстойник; 4 — поля для орошения или поля фильтрации; 5 — иловые площадки; 6 — песковые площадки.

Для обработки ила установлены метантенки 6 с иловыми площадками 7 для подсушивания перегнившего ила.

Если для выполнения требования о соблюдении ПДК в водоприемнике необходима полная биологическая очистка сточных вод, то, исходя из местных условий, заключающихся, например, в наличии сельхозугодий, нуждающихся в орошении, может быть использована схема очистки, показанная на рис. 28.2. По этой схеме механическую очистку проводят на решетках, песколовках и двухъярусных отстойниках, где нерастворенные вещества не только осаждаются, но и перегнивают. Биологическая очистка осуществляется на ЗПО (см. п. 24.5) или на полях фильтрации, отличающихся от ЗПО тем, что они не используются в сельскохозяйственном отношении и служат только для очистки стоков за

счет запасов кислорода в почве, а также вследствие жизнедеятельности микроорганизмов — минерализаторов, окисляющих попадающие в почву органические загрязнения.

Отметим, что в районах со среднегодовой температурой более 0°C для полной биологической очистки стоков в естественных условиях могут быть использованы биологические пруды, т. е. искусственно созданные неглубокие (1—2 м) водоемы, в которых сточ

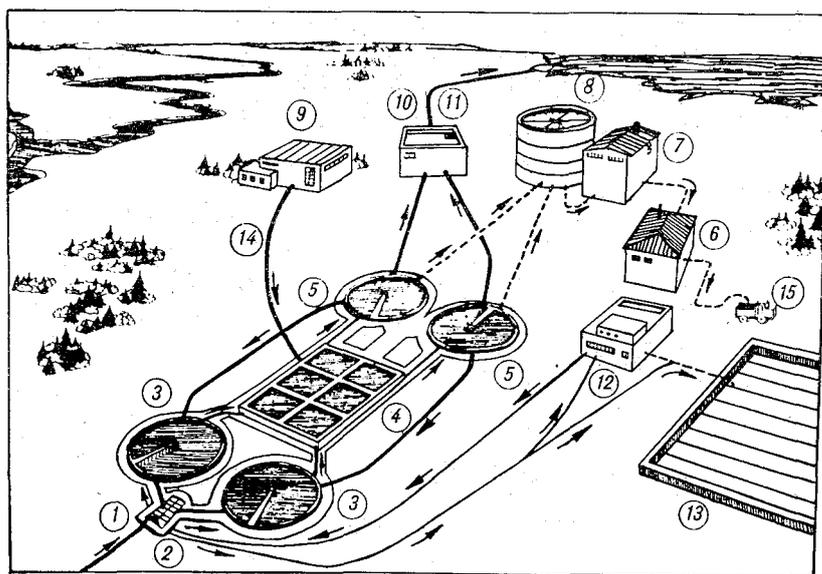


Рис. 28.3. Схема станции с биологической очисткой сточных вод.

1 — решетка; 2 — песколовка; 3 — отстойники; 4 — аэротенки; 5 — вторичные отстойники; 6 — термическая сушка осадка; 7 — вакуум-фильтры; 8 — метантенки; 9 — машинное здание; 10 — хлораторная; 11 — контактный резервуар; 12 — дробилка; 13 — песковые площадки; 14 — воздуховод; 15 — транспорт сухеного ила.

ная жидкость, прошедшая механическую очистку, держится перед сбросом в водоприемник 10—20 сут, очищаясь при этом за счет тех же процессов, которые происходят при самоочищении водоемов.

При больших расходах очищаемых сточных вод целесообразнее и в настоящее время наиболее распространена схема очистки приведенная на рис. 28.3. Полная биологическая очистка по этой схеме осуществляется в аэротенках.

Механическая очистка сточных вод в рассматриваемой схеме проходит на решетках 1, в песколовках 2 и в отстойниках 3. Обросы с решеток направляют на дробилку 12, а дробильные обросы в виде пульпы сбрасывают в канал перед песколовками

Осадок из отстойника поступает в метантенк 8, где с помощью анаэробных микроорганизмов происходит распад или сбраживание органического вещества осадка, т. е. его минерализация. После отстойника сточные воды попадают в аэротенк 4, куда подается активный ил — колонии аэробных микроорганизмов, способные окислять органическое вещество. Содержимое аэротенков постоянно перемешивается воздухом, подаваемым воздуходувками, установленными в машинном здании 9. Смесь сточной жидкости и активного ила из аэротенка поступает во вторичный отстойник 5, в котором активный ил выделяется из сточной жидкости и основная его масса возвращается в аэротенк. В аэротенке масса активного ила увеличивается, поэтому часть его (избыточный активный ил) подается в илоуплотнитель, где объем его уменьшается в 4—5 раз за счет отделения воды от ила и уплотненный ил перекачивают в метантенк для сбраживания. Очищенную сточную жидкость обеззараживают (обычно хлорируют) в контактном резервуаре 11 и сбрасывают в водоем. Сброженный осадок и активный ил из метантенков направляют на обезвоживание на вакуум-фильтр 7 и затем на термическую сушилку 6, откуда он выходит в виде порошка или небольших гранул.

Такие схемы станций наиболее распространены как в отечественной, так и в зарубежной практике. В настоящее время существуют и другие схемы станций (например, станции без первичных отстойников), по которым вода поступает непосредственно в аэротенки и затем продолжительное время отстаивается во вторичных отстойниках. Такая схема возможна только при слабоконцентрированных сточных водах. В других схемах станций вместо отстойников применяют биокоагуляторы, или осветлители, двухступенчатые аэротенки или биофильтры.

Как следует из приведенных выше схем станций, для очистки сточных вод применяется большое количество разнообразных сооружений. Конструкция некоторых из них или достаточно проста поэтому не требует дополнительных пояснений (например, рететки, биологические пруды), или уже в общем рассматривалась (например, отстойники). Далее приводится краткое описание еще двух сооружений, наиболее часто используемых на крупных станциях очистки сточных вод, это аэротенк и метантенк.

Аэротенк представляет собой заглубленный в землю длинный железобетонный резервуар, разделенный перегородками на коридоры, в которых медленно протекает смесь активного ила и очищаемой сточной жидкости (рис. 28.4). В целях лучшего и непрерывного контакта того и другого производят их постоянное перемешивание при помощи сжатого воздуха или специальных мешалок. В отечественной практике наиболее широко распространены получили аэротенки с пневматической аэрацией, успешно решающие две задачи: перемешивание активного ила и сточной жидкости и поддержание необходимого кислородного режима в аэротенке.

Глубину аэротенков H чаще всего принимают от 3 до 5 м, ши-

рину $B > 2H$; длину аэротенков рекомендуется назначать не менее десятикратной ширины.

Необходимое количество активного ила и подаваемого воздуха а также продолжительность пребывания сточной жидкости в аэротенке зависят от загрязненности сточной воды и той степени очистки, которая требуется по местным условиям. Бытовые стоки обычно аэрируются не более 12 ч, чаще же в пределах 6—8 ч.

Метантенк представляет собой цилиндрический или прямоугольный железобетонный резервуар с коническим дном, предназначенный для сбраживания осадка (рис. 28.5). Перекрытие метантенка герметическое и имеет в центральной части колпак для сбора образующегося в этом сооружении газа, откуда он отводится для использования.

Чтобы ускорить в метантенке процессы брожения, используют различные приемы, например, подогрев осадка и его перемешивание.

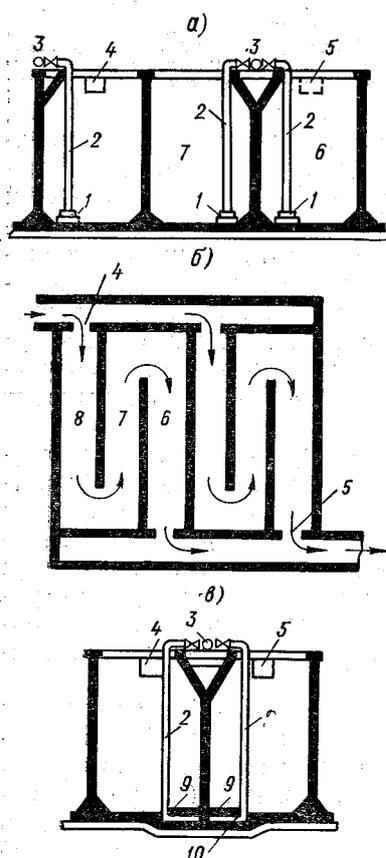


Рис. 28.4. Схема устройства аэротенка. а, б — разрез и план трехкоридорного аэротенка; в — разрез двухкоридорного аэротенка; 1 — перфорированные или пористые воздухопроводящие трубы; 2, 3 — разводящие воздухопроводящие стояки; 4, 5 — впуск и выпуск сточной жидкости; 6, 7, 8 — коридоры аэротенка; 9 — фильтровальные пластины; 10 — воздухопроводящие каналы.

Осадок подогревают обычно до температуры 33—53 °С, вводят в метантенк пар посредством эжектирующих струй. Перемешивают осадок либо при помощи насосов, забирающих его из нижней части камеры и подающих в верхнюю часть, либо гидровальцами или же специальными мешалками.

На современных очистных станциях в метантенк на сбраживание поступает не только осадок из первичных отстойников, но и избыточный активный ил.

Сброженный осадок периодически удаляется из метантенка и перемещается на вакуум-фильтры или иловые площадки, представляющие собой спланированные участки земли (карты), окруженные со всех сторон земляными валиками, для подсыхания последующего использования в качестве удобрений.

Глава 29. Обводнение местности

Под обводнением местности понимается совокупность гидротехнических мероприятий по обеспечению водой безводных и маловодных районов для культурно-бытовых и хозяйственных целей.

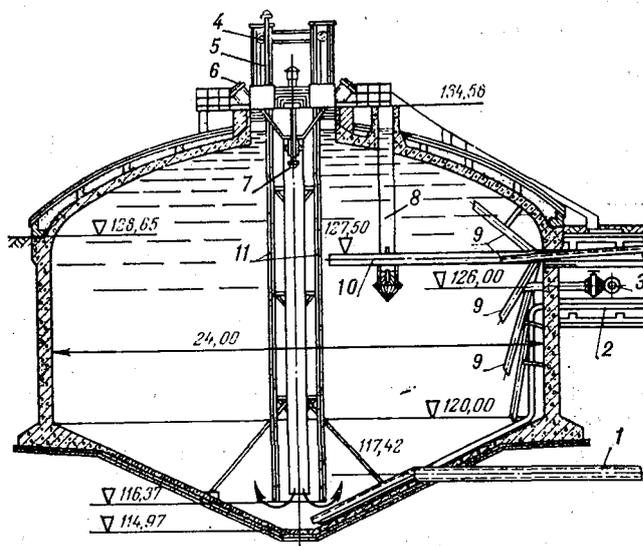


Рис. 28.5. Метантенк.

1 — трубопровод для опорожнения метантенка; 2 — трубопровод для выгрузки сброженного осадка; 3 — паровой инжектор; 4 — газопровод; 5 — труба для выпуска газа в атмосферу; 6 — смотровой люк; 7 — пропеллерная мешалка; 8 — переливная труба; 9 — трубопроводы для удаления иловой воды; 10 — трубопровод для загрузки свежего осадка и активного ила; 11 — паропроводы.

Во многих засушливых районах обводнение является основой эльскохозяйственного водоснабжения, удовлетворяющего не только неотложные потребности людей в питьевой воде, но и служащего для водопоя скота на пастбищах, полива приусадебных участков и прочих нужд.

В состав мероприятий по обводнению местности входят: использование грунтовых вод; использование ограниченных ресурсов местного стока; подача воды на засушливую территорию из дальних водных источников специальными водоводами.

Использование грунтовых вод состоит в устройстве искусственных источников водоснабжения в виде шахтных и буровых колодцев, горизонтальных водозаборов (кяризов) и каптажа родников.

Шахтными (рис. 29.1 а) называются колодцы, имеющие достаточно большой диаметр (порядка 1—1,5 м). Для устройства их последнее время используют специальные машины-колодезкопатели. Стенки колодцев закрепляют, как правило, железобетонными кольцами, реже бетонными, деревянными, кирпичными и

каменными креплениями. Обычно глубина колодцев составляет 10—30 м, но нередко она достигает 40—50 м и более. Чаще устраивают трубчатые колодцы — буровые скважины, закрепленные трубами. Трубчатый колодец (рис. 29.1 б) состоит из скважины водоприемной части с фильтром и устья с оголовком. Глубина скважин зависит от глубины залегания водоносного слоя и изменяется от 20 до 200 м и более. Диаметр скважин выбирается:

в зависимости от диаметра фильтра и насоса, как правило, $d_{скв} = 529 - 624$ мм (20—24"). Глубокие скважины закрепляют стальными трубами, а мелкие — стальными или асбестоцементными.

Самоизливающиеся скважины встречаются сравнительно редко, поэтому в большинстве случаев осуществляют механический подъем воды из скважины. Для откачки воды из них используют главным образом вертикальные центробежные многоколесные насосы, опу-

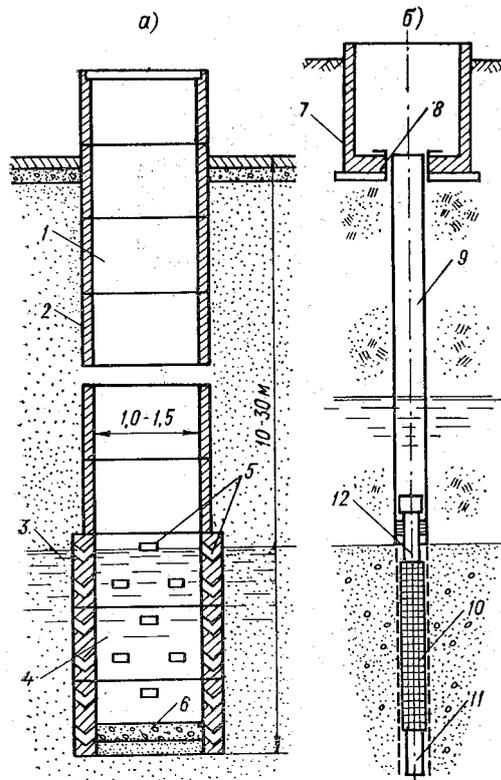


Рис. 29.1. Схемы шахтного (а) трубчатого (б) колодцев.

1 — шахта; 2 — крепление шахты; 3 — водоносный слой; 4 — водоприемная часть; 5 — водоприемные отверстия; 6 — донный фильтр; 7 — оголовок; 8 — устье колодца; 9 — эксплуатационная колонна; 10 — фильтр (рабочая часть); 11 — отстойник; 12 — надфильтровальная труба с сальником.

скаемые в скважины на нагнетательных трубах. Внутри труб проходит длинный вал, с помощью которого насос приводится в действие от двигателя, расположенного на поверхности земли или в неглубокой шахте. Применяют также погружные насосы, которые спускают в скважины под уровень воды вместе с электромоторами. Дебит колодцев изменяется от 20 до 200 л/с и более, а геометрическая высота подъема обычно не превышает 20—30 м.

Помимо вертикальных водозаборов при использовании грунтовых вод, применяют и горизонтальные — трубчатые и галерейные. Галерейные водозаборы, как правило, устраивают в предгорьях и используют для забора воды из достаточно глубоких водоносных

пластов с самотечным выводом ее на дневную поверхность. Они состоят из водосборной и водоотводной галерей и смотровых колодцев (рис. 29.2) и располагаются на склоне обычно в несколько рядов. Длина их может достигать нескольких километров, а глубина заложения достигает 60—80 м. Дебит изменяется от 25 до 250 л/с. Размеры галерей: ширина 0,5—0,7 м, высота 1—1,4 м, уклон от 0,003 до 0,005. Колодцы располагают через 20—50 м, диаметр их равен 1 м.

Родниковые воды представляют собой выход подземных вод на поверхность. *Каптаж* родников заключается во вскрытии водоносного слоя и устройстве сооружений, обеспечивающих наиболее

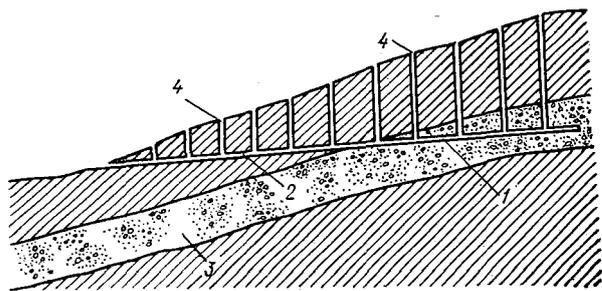


Рис. 29.2. Схема горизонтального водозабора грунтовых вод.

1 — водосборная галерея; 2 — водоотводная галерея; 3 — водоносный пласт; 4 — смотровой колодец.

полное использование источника и предохранение его от загрязнения с поверхности земли. Конструкция каптажного сооружения зависит от вида потока (нисходящий или восходящий). Например, для захвата восходящего потока применяют сооружения, обеспечивающие поступление воды через днище колодца (рис. 29.3).

Использование ресурсов местного стока основано на создании искусственных водоемов в виде прудов, копаней и лиманов, заполняемых весной талыми или дождевыми водами. *Пруд* образуется обычно простейшей земляной плотиной на реке, ручье, балке, овраге. *Копань* представляет собой котлован, вырытый в пониженных местах рельефа для сбора в нем небольших количеств воды. В лиманах было сказано в п. 24.6.

Подача воды водоводами (каналами или трубопроводами) является наиболее эффективным современным средством обводнения местности. В нашей стране получили широкое распространение так называемые групповые сельскохозяйственные водопроводы межхозяйственного, межрайонного и межобластного значения, снабжающие водой большие группы населенных пунктов, совхозов колхозов, удаленных на сотни километров от поверхностных водных источников. К концу 70-х годов было построено более 5 тыс. км таких трубопроводов, много насосных станций, очист-

ных сооружений и установок по улучшению качества воды. Наиболее крупные групповые водопроводы для сельскохозяйственного водоснабжения построены и строятся в северной и центральной части Казахстана: Ишимский, Булаевский, Нуринский, Селетинский и ряд других. Самым крупным будет Пресновский групповой водопровод, общая длина линий которого превысит 3300 км. Себестоимость 1 м³ питьевой воды в условиях РСФСР и Казахстана

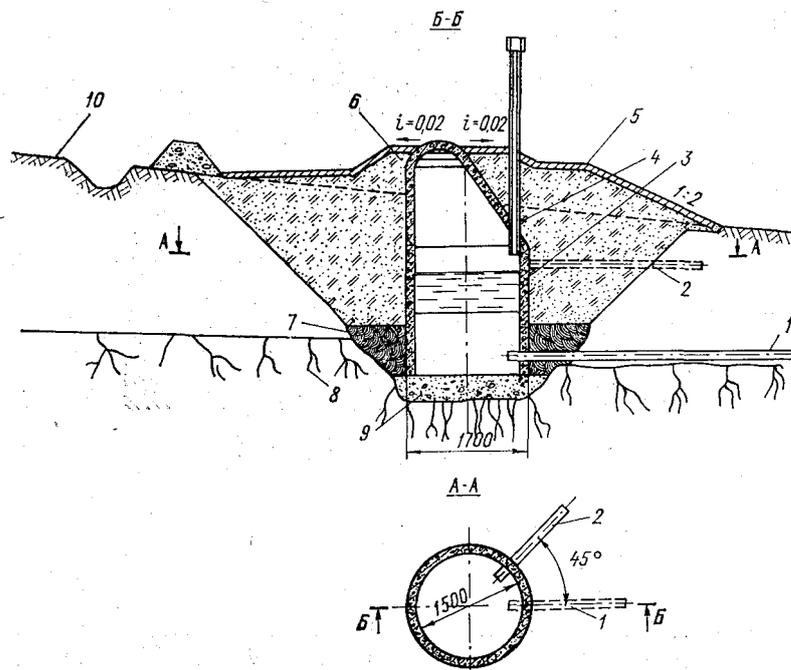


Рис. 29.3. Каптаж восходящего потока.

1 — расходная труба; 2 — переливная труба; 3 — колодец; 4 — вентиляционная труба; 5 — растительный слой; 6 — глиняно-щебеночная отмостка; 7 — плотно утрамбованный глиняный грунт; 8 — скальный грунт; 9 — слой гравия; 10 — нагорная канава.

колеблется от 7 до 20 коп. Большие системы сельскохозяйственного водоснабжения эксплуатируются в Поволжье, на Украине на Северном Кавказе и в других районах. Многие из них предназначены для удовлетворения нужд различных водопользователей. Так, канал Иртыш—Караганда наряду с обеспечением потребностей промышленных центров подает воду для населения сельских районов, орошения и обводнения территорий. Аналогичные функции выполняют обводнительно-оросительные системы Терско-Кумская, Краснознаменская, Право-Егорлыкская, Невинномысская и др.



Глава 30. Влияние гидростроительства
на рыбное хозяйство

Рыбное хозяйство СССР является важной отраслью народного хозяйства; оно дает значительное количество ценных продуктов питания и сырье для промышленности. Среди этих продуктов первое место принадлежит различным рыбам.

В зависимости от образа жизни рыбы делятся на морские, полупроходные, проходные и пресноводные (местные).

Морские рыбы всю жизнь проводят в море, где они мечут икру (нерестятся) и воспроизводят потомство. К этой группе относятся: треска, большинство сельдевых, камбала, бычки, морской окунь и др.

Полупроходные рыбы обитают в прибрежных районах моря, для зимовки и нереста входят в устьевые участки рек. Область их распространения в реках различна, но сравнительно невелика. К этой группе относятся: лещ, сазан, судак, чехонь, корюшка, са-ака и др.

Проходные рыбы — наиболее ценные из всех видов рыб — обитают в морях, а для нереста поднимаются в реки иногда на дно, две тысячи километров. Некоторые из этой группы рыб после нереста погибают (камчатский лосось — горбуша), другие катываются обратно в море и повторно входят на нерест в реку. К этой категории относятся: осетровые, лососевые, белорыбица, сельма, усач, сизи, некоторые сельдевые и др. К этой же группе рыб относят и тех, которые, наоборот, живут в пресных водах, для нереста уходят в море, как, например, угри, кефаль.

Местные рыбы (туводные) обитают и нерестятся в реках и мигрируют лишь на сравнительно незначительных участках рек в поисках пищи и мест икрометания. К этому виду рыб относятся форель, стерлядь, щука и др.

В продолжение многих тысячелетий своего существования каждый вид рыб приспособился для воспроизводства своего потомства к определенным экологическим условиям как для нереста, так и для выкармливания мальков. Эти условия для крупных проходных рыб более строги, чем для местных рыб, поэтому подходящих мест для нереста, например, лососевых или осетровых значительно меньше, чем для судака или щуки.

Порча нерестилища, а также преграждение рыбам пути к своим нерестилищам ведут к гибели рыбы.

Среди различных гидротехнических сооружений, способных нарушить естественные условия среды обитания, мест воспроизводства и путей миграции, на первом месте безусловно стоят плотины, а также различные водозаборы. Влияние этих сооружений выражается в следующем:

а) преграждаются пути миграции или периодических передвижений рыб, вследствие чего отсекаются от моря места нереста рыб, расположенные в верхнем бьефе, и соответственно сокращается воспроизводство рыбного стада; это сказывается главным образом на проходных рыбах и в некоторой мере на пресноводных;

б) уничтожаются места нереста в верхнем бьефе в местах бывших проточных участков рек и пойм, которые превращаются практически в стоячие водоемы, где размножение рыб, проводящих икрометание в текучей воде, становится невозможным; это сказывается на проходных рыбах, если они пройдут через плотину;

в) ухудшаются условия обратного ската молоди в мор вследствие возможности гибели их у решеток гидроэлектростанций, попадания в ирригационные каналы, берущие начало в верхнем бьефе, и затем на орошаемые поля и пр.;

г) сокращаются площади нереста и корма рыбы ниже плотин в частности в устьевых участках рек, если плотина регулирует сток, задерживает паводки и снижает их пики, если часть воды изымается на орошение и пр.; уменьшение затоплений поймы, являющейся часто местом нереста полупроходных рыб (например в устьях Волги), также ведет к снижению воспроизводства запасов рыбы;

д) изменяются гидрологические и гидробиологические условия реки в верхнем и нижнем бьефах в случае образования на реке регулирующего водохранилища: меняются сроки паводков, температура воды, скорости течения, солевой состав, перенос органических элементов и пр.; это сказывается на условиях жизни полупроходных рыб в устьях рек и пресноводных заливах (например в заливах Каспия).

Вместе с тем в водохранилище создаются специфические условия для жизни рыб, присущие озерам и водоемам с полустоячей водой; это может содействовать развитию самостоятельного рыбного хозяйства в новых местах (верхний бьеф).

Таким образом, постройка плотин и водохранилищ вредно сказывается на проходных и полупроходных рыбах, мало на пресноводных (туводных) и практически совсем не сказывается на морских.

Поскольку проходные и полупроходные рыбы составляют наиболее ценную и питательную часть рыбной продукции, для предупреждения вредных последствий от строительства подпорных сооружений необходимо проведение специальных мероприятий в состав которых входят:

а) рыбохозяйственное освоение созданных водохранилищ путем заселения (зарыбления) их ценными породами рыб озерного типа и освоение новых нерестилищ в верхнем бьефе;

б) регулирование рыбного промысла установлением запретных зон лова рыбы, согласованием с рыбохозяйственными организациями режима работы гидроэлектростанций и водохранилищ, проведением различных охранных мер;

в) искусственное разведение рыбы путем вылова производителей и выращивания из их икры молоди;

г) мелиорация рыбных угодий в виде искусственного опреснения морских заливов (лиманов), устройства новых нерестилищ;

д) обеспечение для рыбы прохода из нижнего в верхний бьеф и обратно путем строительства рыбопропускных сооружений.

В настоящем курсе рассматриваются только рыбопропускные сооружения, являющиеся основным инженерным мероприятием для сохранения рыбных запасов в тех случаях, когда выше створа гидроузла имеются (и сохраняются) нерестилища. К основным рыбопропускным сооружениям относятся: рыбоходы, рыбоходные шлюзы, рыбоподъемники и некоторые другие.

Глава 31. Рыбопропускные сооружения

Рыбоходы представляют собой лотки или небольшие каналы, по которым из верхнего бьефа в нижний течет вода, а в обратном направлении поднимается рыба. Для того чтобы рыба могла преодолеть встречное течение, его скорости в лотке назначают в определенных пределах, проверенных опытным путем. Данные об этих скоростях приведены в табл. 31.1.

Таблица 31.1

Скорость течения воды, преодолеваемая рыбами

Порода рыб	Скорость воды, м/с	
	в равномерном потоке	во вливаемых отверстиях
Карповые	0,5—1,0	0,8—1,2
Осетровые	0,8—1,2	1,0—1,5
Лососевые	1,5—2,5	2,0—3,0

В зависимости от конструктивных особенностей рыбоходы подразделяются на лотковые, прудковые и лестничные.

Лотковые рыбоходы бывают свободные, с неполными перегородками и с повышенной шероховатостью.

Свободные лотковые рыбоходы имеют гладкие (без искусственной шероховатости) дно и стенки лотка и представляют собой существо быстротоки (рис. 31.1) с уклонами не более 0,05.

Свободные рыбоходы применяют очень редко и только при небольших гидроузлах с напором до 2—3 м.

Лотковые рыбоходы с неполными перегородками (рис. 31.2) позволяют снизить скорости течения воды до 0,8—2,0 м/с. Они более экономичны, чем свободные лотковые рыбоходы, но бурный режим потока с водоворотами вызывает повреждения проходящей рыбы. Поэтому такие лотки применяют тоже редко.

Лотковые рыбоходы повышенной шероховатости выполняют путем устройства по дну и стенам лотка порогов, брусков. В таких рыбоходах допускают уклоны в пределах от 1 : 10 до 1 : 1,7 и

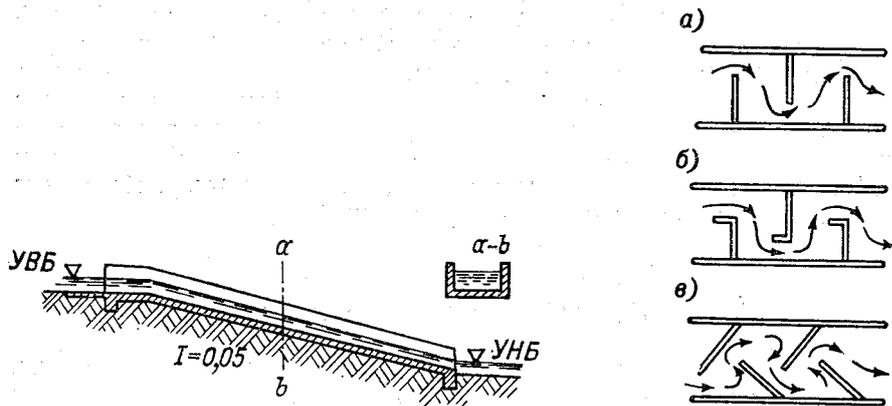


Рис. 31.1. Схема свободного лоткового рыбохода (без перегородок).

Рис. 31.2. Схемы лотковых рыбоходов с неполными перегородками (а—в).

напоры до 5—7 м, однако средние скорости воды не превышают 2—2,5 м/с.

Рыбоходы с шероховатостью в виде специальных зубьев (рис. 31.3), распространенные за рубежом, в нашей отечественной практике оказались неэффективными (например, на Волховской плотине).

Прудковые рыбоходы устраивают в естественном грунте берега в обход плотины или по откосу земляной плотины. Они представляют собой ряд бассейнов — прудков, соединенных между собой короткими каналами или лотками (рис. 31.4). Прудки делают длиной по 3—5 м и глубиной 0,6—0,8 м; уровни воды в смежных прудках разнятся на 0,5—1,5 м.

Прудковые рыбоходы обычно работают эффективно, так как в них создаются привычные для рыбы природные условия и она имеет возможность отдыхать в прудках. Однако для устройств таких рыбоходов необходимы соответствующие грунты и рельеф берега, что ограничивает их применение.

Прудковые рыбоходы дают возможность рыбам преодолевать напоры до 15 м (для лососевых рыб).

Лестничные рыбоходы представляют собой лотки со ступенчатым дном и с поперечными перегородками, в которых для прохода рыбы устроены впływные отверстия (рис. 31.5). В целях лучшего гашения энергии потока воды впływные отверстия располагают (вдоль рыбохода) в шахматном порядке и в зависимости от по-

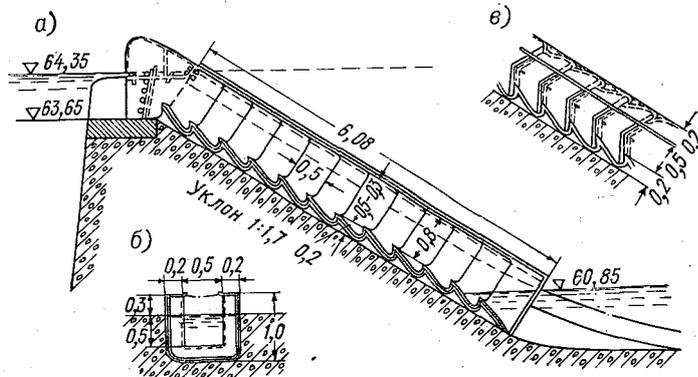


Рис. 31.3. Рыбоход повышенной шероховатости.

а — продольный разрез; б — поперечный разрез; в — план.

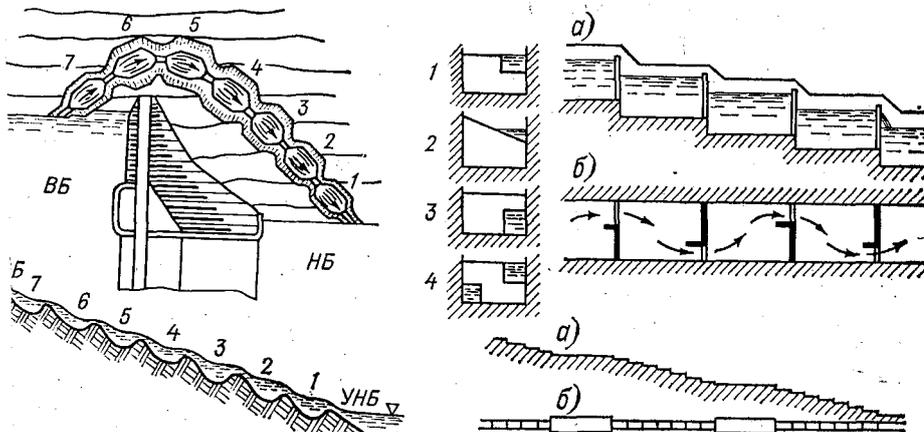


Рис. 31.4. Прудковый рыбоход.

Рис. 31.5. Лестничный рыбоход.

1-4 — поперечные разрезы; а — продольные разрезы; б — планы.

оды рыб делают поверхностными (например, для сельдей) и онными (для осетровых рыб).

Лестничные рыбоходы обычно имеют по несколько маршей высотой подъема 2,5—4 м в каждом, а между маршами для отдыха рыб устраивают удлиненные бассейны (рис. 31.5 б). Потроенные рыбоходы имеют уклоны от 1:7 до 1:12.

Из всех существующих типов рыбоходов лестничные являются наиболее распространенными, пригодными для различных пород рыб. Их строят на гидроузлах с напором до 30 м, применяя различные материалы; в них можно создавать привычные для рыб природные условия реки, в том числе и искусственное освещение. Поэтому лестничные рыбоходы (вместе с прудковыми) практически вытеснили все другие типы.

Рыбоходные шлюзы во многом подобны судоходным шлюзам. В рыбоходном шлюзе имеются одна или две параллельные камеры и в каждой по два затвора — нижний и верхний, отделяющие камеры от нижнего и верхнего бьефов.

На рис. 31.6 изображена схема рыбоходного шлюза, компоновка которого во многом сходна с шахтным судоходным шлюзом. Процесс шлюзования рыбы через такое сооружение происходит в следующем порядке.

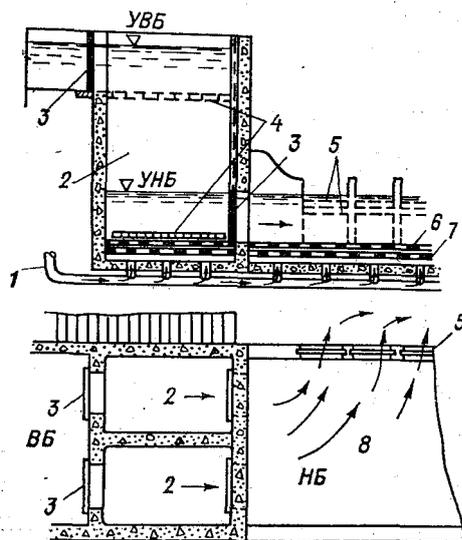


Рис. 31.6. Схемы рыбоходного шлюза.

1 — питающий трубопровод; 2 — камера; 3 — затвор; 4 — подвижной пол; 5 — шандоры; 6 — деревянный решетчатый пол; 7 — железобетонный решетчатый пол; 8 — подходный канал (коллектор).

После того как рыба из нижнего бьефа через подходный канал (коллектор) зайдет в камеру, закрывают нижний затвор и камеру наполняют водой из верхнего бьефа, подавая ее по специальному трубопроводу к отверстиям в железобетонном полу. По заполнении камеры водой до уровня верхнего бьефа открывают верхний затвор и начинают постепенный подъем деревянного решетчатого пола, что принуждает всю зашедшую в камеру рыбу подняться и выйти из камеры в верхний бьеф. Далее верхний затвор закрывают и камеру опорожняют в подходный канал нижнего бьефа через особые трубопроводы. В это время начинают шлюзование рыбы через вторую камеру, а в первой происходит накопление рыбы.

Для привлечения рыбы в камеры шлюза и в подводящий канал из последнего все время подают воду в реку. Кроме того, в подводящем канале устанавливают подвижные побудительные решетки.

На Волгоградском гидроузле построен рыбоходный шлюз с двумя камерами в плане $8,5 \times 8,5$ м каждая, вода для привлечения рыбы с расходом $25 \text{ м}^3/\text{с}$ пропускается предварительно чере

гидроагрегат мощностью 11,0 тыс. кВт. Полный рабочий цикл пропуска рыбы через обе нитки рыбоходного шлюза составляет около двух часов.

Рыбоподъемные лифты осуществляют подъем рыбы из нижнего в верхний бьеф в наполненных водой камерах или насухо в сетях.

Известен удовлетворительно работающий «сухой» лифт на плотине гидроэлектростанции Кембс (Франция). На этом рыбоподъемнике течением воды рыба привлекается в приемную шахту, расположенную в устье плотины. По накоплению рыбы металлическая сеть, лежащая на дне камеры, поднимается краном вверх, затем перемещается по эстакаде в сторону и опускается в соединенный с верхним бьефом приемный лоток.

Пропускная способность рыбоподъемных лифтов весьма ограниченная.

Пропуск взрослой рыбы в нижний бьеф после нереста при ее движении к морю, а также выведшейся и выросшей молоди может происходить: а) через водосливы плотин (при напорах до нескольких десятков метров); б) через турбины (поворотные-лопастные, пропеллерные и радиально-осевые) только при больших диаметрах рабочего колеса, малой скорости вращения, больших зазорах между рабочим колесом и направляющим аппаратом, при напорах до 20—30 м; в) через рыбоходы, но в обратном направлении.

Некоторая часть рыбы может проходить из нижнего бьефа в верхний и обратно через судоходные шлюзы в процессе шлюзования судов.

Для эффективной работы рыбопропускных сооружений, кроме их конструктивных качеств, весьма важное значение имеют правильное расположение их в водотоке относительно берегов и сооружений в гидроузле, а также надлежащее размещение направляющих и заградительных устройств.

Необходимо прежде всего, чтобы вход в рыбопропускное устройство был расположен в зоне заметной свежей струи воды, поступающей из верхнего бьефа. Для этого требуется пропускать остаточные расходы воды, но с доступными для рыбы скоростями входа. Вход располагают обычно на расстоянии не менее 10—20 м от рисбермы водосливной плотины; от здания гидроэлектростанции это расстояние может быть несколько меньше (в зависимости от скоростей потока, выходящего из отсасывающих труб).

Входы в рыбопропускные сооружения работают хорошо, если они открыты сверху и имеют естественное освещение или хорошо освещены лампами дневного света.

Основные требования к выпуску рыбы в верхний бьеф сводятся к двум: 1) место выхода должно быть достаточно удалено от водослива плотины и водоприемников гидроэлектростанции, чтобы рыба не могла быть снесена сильным течением к этим сооружениям; 2) выходы в верхний бьеф должны работать при той амплитуде колебаний уровней водохранилища.

Направляющие и заградительные устройства в нижнем бьефе применяют для направления рыбы ко входу в рыбопропускное сооружение. Они представляют собой сети или решетки, расположенные под углом к направлению течения воды, причем их верхней конец располагают у входа в рыбоход, а у низового конца оставляют конической формы отверстие, через которое движущаяся вверх рыба пройти не может, а скатывающаяся вниз рыба проходит свободно (рис. 31.7 а).

Сеть делают из оцинкованной или медной проволоки диаметром 1,5—2,0 мм или из капрона и подвешивают на поплавках.

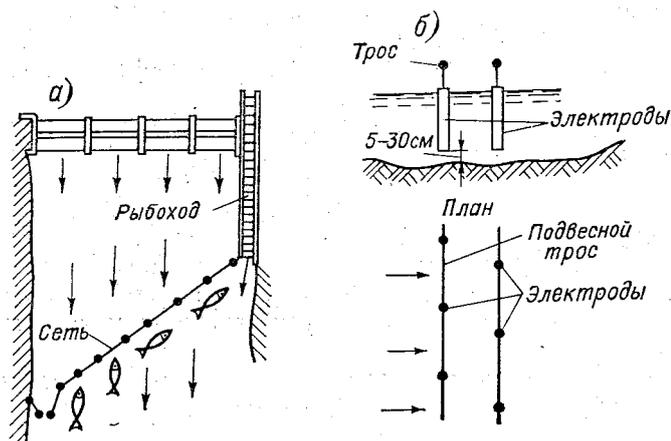


Рис. 31.7. Направляющие и заградительные устройства для рыбы.

а — схема расположения направляющей сети; б — электрозаградитель.

Недостатком сетей и решеток является то, что они нуждаются в постоянной очистке от мусора, иначе создается некоторый, нежелательный, подпор гидроэлектростанции снизу. Этого недостатка не имеют электрозаграждения, состоящие из вертикальных электродов — труб, подвешенных к стальным канатам в два ряда (рис. 31.7 б). При пропуске электрического тока между электродами создается электрическое поле, в котором рыба испытывает раздражение и пройти его не может. Имеются и другие конструктивные решения электрозаграждений.

В верхнем бьефе для заграждения рыбы в водозаборные сооружения применяют такие же устройства, как и в нижнем бьефе.



Глава 32. Основы проектирования гидроузлов

Важное народнохозяйственное значение гидроузлов, их высокая стоимость, часто огромные объемы строительных работ, а также большое влияние, оказываемое гидроузлами на режим реки и окружающую территорию требуют весьма тщательного и ответственного подхода к выбору объекта строительства. Поэтому проекты крупных гидротехнических сооружений выполняются последовательно в несколько стадий. На каждой стадии проводятся необходимые исследования и изыскательские обоснования проектных материалов, экономические и водохозяйственные расчеты, согласования с заинтересованными министерствами и ведомствами.

К первой стадии предпроектных разработок относится схема комплексного использования водных ресурсов водотока. На этой стадии разрабатывается основная идея наиболее рационального использования водных ресурсов бассейна водотока или его части. В случае необходимости на стадии схемы могут проводиться специальные исследования по изучению сейсмичности района будущего строительства, распространения многолетней мерзлоты, разрабатываются гипотезы экономического развития района.

На основании материалов схемы и технико-экономического обоснования различных вариантов выявляются оптимальная азбивка каскада гидроузлов на ступени и объект первоочередного строительства.

Более углубленные проработки и исследования выполняются на стадии технико-экономического обоснования (ТЭО) строительства. На этой основной проектной стадии обосновываются принципиальные решения по гидроузлу, устанавливаются основные параметры (подпорная отметка, полезная емкость водохранилища, установленная мощность и выработка электроэнергии, пропускная способность водоводов), соответствующие этим параметрам технико-экономические показатели объекта.

Стадия ТЭО приобрела в настоящее время особо важное значение в связи с тем, что установленный в ТЭО сметный лимит последующем не должен быть превышен, а соответствующие

ему технико-экономические показатели при дальнейшем проектировании не могут быть ухудшены.

При разработке ТЭО особое значение придается технико-экономическому анализу эффективности объекта и достоверной оценке его влияния на окружающую среду. На основании утвержденного ТЭО обычно открывается титул на строительство сооружений и выделяется финансирование.

Технические проекты гидроузлов выполняются на основании утвержденных ТЭО. На этой стадии основное внимание уделяется детальной разработке конструктивных решений гидротехнических сооружений, выполнению расчетов их прочности и устойчивости, выявлению их напряженно-деформационного состояния, тщательному выбору оптимальных решений конструкций сооружений и оборудования с необходимыми экономическими обоснованиями.

Завершающим этапом проектирования является составление рабочих чертежей. На этой стадии производятся детальные расчеты сооружений и конструкций, разработка спецификаций на оборудование, конструирование отдельных элементов сооружений.

Рабочие чертежи составляются обычно во время строительства гидроузла. В процессе строительства проектировщики осуществляют авторский надзор за соответствием выполненных сооружений проекту. Авторский надзор является одной из важных составных частей проектной работы, так как он обеспечивает предусмотренную проектом надежность возводимых сооружений.

После окончания строительства проектной организацией составляется комплект исполнительных чертежей всех сооружений, на которых размеры сооружений, их армирование и облицовка, все элементы оборудования должны быть даны в точном соответствии выполненному в натуре. При этом должны быть указаны качество уложенного бетона, марки стали, даны чертежи деталей механизмов, которые с течением времени будут требовать соответствующих ремонтных и восстановительных работ или полной замены.

При проектировании гидроузлов неизбежно приходится решать вопрос не только конструкции отдельных сооружений, но и схем их компоновки, т. е. взаимного расположения.

Компоновка гидроузлов зависит, как отмечалось выше (см. п. 15.2), от природных условий створа строительства, водохозяйственного использования реки и необходимых для этого сооружений и, наконец, от конструкции самих сооружений (ГЭС, шлюзы и др.). Сочетание указанных факторов может быть самым разнообразным. К тому же топографические и геологические условия района предполагаемого строительства в редких случаях позволяют однозначно выбрать конструкцию того или иного сооружения и почти всегда дают широкие возможности для разработки ряда вариантов, являющихся в техническом отношении осуществимыми, т. е. проектирование достаточно крупного гидротехнического сооружения, а тем более гидроузла, является работой тво

ческой, но в то же время регламентированной нормативными документами по строительству (см. п. 1.2) и некоторыми общими принципами.

При компоновке гидроузлов придерживаются следующих общих принципов.

Каждое сооружение должно наилучшим образом выполнять свои функции и не мешать работе других сооружений гидроузла. Сооружения должны быть расположены в гидроузле так, чтобы был обеспечен благоприятный гидравлический режим для их работы и бесперебойное обслуживание сооружений. В частности, величины и направления скоростей воды в подходах к водосборам и при отводе воды и льда от них не должны создавать затруднений в работе гидроэлектростанций, водозаборов, шлюзов, рыбоходов и других сооружений.

Стоимость выбранного варианта гидроузла с учетом ежегодных эксплуатационных расходов должна быть минимальной. При выборе типов сооружений и их компоновки должны учитываться геологические условия и требовать минимальных затрат труда, материалов и других ресурсов и предусматривать возможно ранний пуск гидроузла в частичную и полную эксплуатацию. Для этого в сооружениях следует максимально использовать местные строительные материалы и сборные конструкции, применять совмещенные типы сооружений.

Типы конструкций сооружений и компоновка гидроузла должны быть удобными для организации производства работ по ним в кратчайшие сроки. Компоновка узла должна обеспечивать удобный и надежный пропуск воды в период строительства, допускать частичное поднятие напора и пуск во временную эксплуатацию неоконченного сооружения, обеспечивать наиболее быстрое начало основных работ на широком фронте и компактную организацию строительного хозяйства.

Компоновка сооружений должна создавать красивый архитектурный ансамбль, причем не за счет внешнего украшения сооружений, дорогих облицовок, ненужных надстроек, а за счет разумного распределения масс материалов, необходимых по условиям прочности, устойчивости и целевого назначения.

При осуществлении указанных принципов компоновки гидроузла предполагается, конечно, что выбранный створ гидроузла является оптимальным по топографическим и особенно геологическим условиям, а также по условиям организации строительства.

При проектировании гидросооружений часто сталкиваются с весьма сложными задачами из области гидравлики, строительной механики, механики грунта и т. п. Во многих случаях теоретические методы не позволяют с необходимой точностью выявить условия работы гидротехнического сооружения и определить некоторые его размеры.

Учитывая такое положение, при проектировании достаточно ответственных гидротехнических сооружений приходится обращаться к методам лабораторного исследования моделей соору-

жения, создаваемых в особых лабораториях. Эти модели подвергаются специальным испытаниям и на основании соответствующих законов моделирования выясняют условия работы запроектированного (в первом приближении) сооружения.

В настоящее время в СССР имеется много гидротехнических лабораторий, где по заданиям отдельных проектных организаций экспериментальным путем решают те или другие вопросы проектирования.

Глава 33. Особенности строительства гидротехнических сооружений

Крупное гидротехническое сооружение может строиться несколько лет, например 2—3 года, а в некоторых случаях и значительно дольше. В течение этого периода строителям прихо-

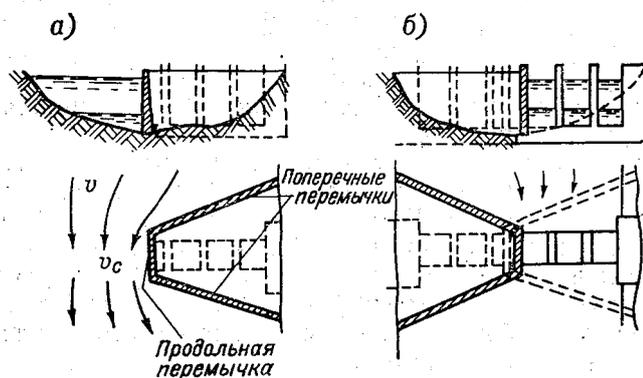


Рис. 33.1. Схема пропуска речных вод при методе без отвода реки в сторону (способ перемычек).

а — первая очередь, б — вторая очередь.

дится решать одновременно две специфические для строительной индустрии задачи: защиту стройки от вод реки и пропуск через створ гидроузла не только расходов воды, но и льда, судов, сплаваемой древесины, а также проход рыбы. Очевидно, что решение этих задач находится в тесной взаимосвязи и осуществляется практически либо при пропуске речных вод в период стройки по бытовому руслу реки без отвода ее в сторону, либо с отводом реки из ее русла каналами, туннелями, лотками. И тот, и другой методы могут реализоваться различными способами. Рассмотрим наиболее распространенные из них.

Метод без отвода реки в сторону с использованием способа перемычек. При этом способе строительства в первую очередь (рис. 33.1) около половины русла ограждают перемычками, рек

же пропускают через вторую половину русла. За перемычками после откачки воды из котлована возводят часть плотины (или здания гидроэлектростанции и др.), в основном ее фундамент и бычки (рис. 33.1 а); в случае глухой плотины оставляют незаделанными отдельные секции или донные отверстия (рис. 33.2).

Во вторую очередь разбирают перемычки первой очереди и ограждают вторую половину русла (рис. 33.1 б и 33.2), а воды реки пропускают через отверстия, оставленные в кладке сооружений первой очереди.

По окончании второй очереди перемычки разбирают и воду пропускают через отверстия сооружения. Достройку сооружения



Рис. 33.2. Схема пропуска воды через донные отверстия.

до проектных отметок производят различными способами: при донных отверстиях бетонирование ведут до проектных отметок, после чего эти отверстия заделывают или перекрывают затворами, если отверстия оставляют на период эксплуатации; если оставались недостроенные отверстия или секции плотины, бетонирование производят постепенно так называемым *методом гребенки*.

Этот метод заключается в том, что отверстия в плотине, оставленные недостроенными в период ведения работ за перемычками, бетонируют группами под прикрытием затворов со стороны верхнего бьефа, в то время как воду пропускают через остальные незакрытые отверстия. Вместе с ростом плотины в высоту постепенно поднимается и уровень верхнего бьефа.

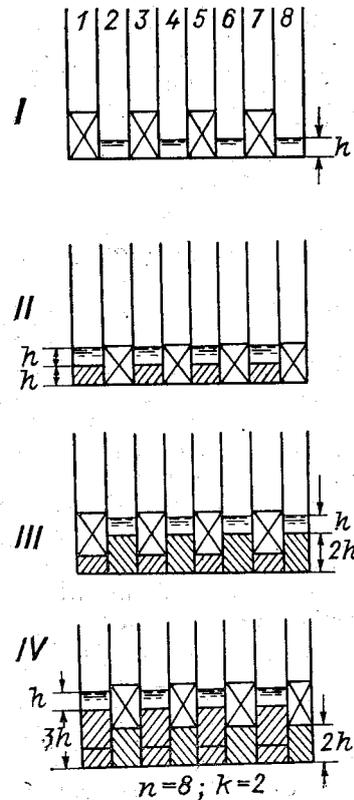
Гребенку закрывают следующим способом: из общего числа отверстий плотины n каждый раз закрывают затворами $1/k$ часть, практически $1/2$, $1/3$ или $1/4$, т. е. $k=2$ или 3 и более.

При двухступенчатой гребенке ($k=2$) вначале затворы ставят, например, в нечетные отверстия (рис. 33.3), а воду пропускают в четные отверстия слоем h над начальным порогом (положение I на рис. 33.3). После окончания бетонирования нечетных отверстий на высоту h затворы ставят в четные отверстия и в них бетон укладывают уже на высоту $2h$, вода в это время проходит через нечетные отверстия таким же слоем $\sim h$ (положение II), но на уровне $2h$ над первоначальным порогом; далее затворы опять переводят в нечетные отверстия (положение III), вода идет через четные, но уже на уровне $3h$ над первоначальным порогом, за затворами укладывают слой бетона высотой $2h$ и т. д.

Таким образом, при каждой перестановке затворов уровень верхнего бьефа поднимается на высоту h , называемую шагом гребенки. Затворы должны иметь высоту $2h$ плюс некоторый запас — около 0,5—1,0 м.

Гребенку закрывают обычно в период низких уровней воды в реке, чаще всего осенью—зимой, и применяют для этого обычно строительные затворы или шандоры, но иногда удается использовать основные затворы отверстий.

Если в период закрытия гребенки глубина нижнего бьефа велика, то помимо верхних затворов, предусматривают еще низовые затворы, защищающие бетонированные пролеты от подтопления их со стороны нижнего бьефа.



Установка в реке перемычек, под защитой которых начинается возведение сооружения, естественно приводит к сжатию живого сечения потока, что вызывает подпор в реке выше перемычки, а в пределах стесненного участка — увеличение скоростей течения и (в зависимости от рода грунта) возможный размыв его.

Допустимую степень стеснения русла устанавливают, исходя из следующих соображений: а) скорость течения v_c не должна вызывать значительных размывов русла (практически допускается углубление в несколько метров); б) стесненная часть русла должна беспрепятственно пропускать ледоход; в) для обеспечения взводного судоходства в стесненном русле необходимо, чтобы $v_c \leq 1,8 \div 2$ м/с, а для лесосплава $v_c \leq 2,5 \div 3$ м/с; в от-

Рис. 33.3. Схема двухступенчатой гребенки.

дельных случаях по согласованию с органами Министерства речного флота РСФСР может быть допущено превышение судоходной скорости до 2,5—2,8 м/с.

При стеснении русла перемычками вследствие изгиба потока могут возникнуть местные размывы берега и дна русла. Поэтому перемычке в плане полезно давать более обтекаемую форму или устраивать у перемычки направляющие дамбы.

Для борьбы с подмывом самой перемычки можно применять различные крепления русла у перемычки. На практике стеснение русла реки бывает от 30 до 65 %.

Определение отметки верха перемычки представляет ответственную технико-экономическую задачу, поскольку при заниженной перемычке может произойти затопление котлована, а необос-

нованно высокая перемычка ведет к напрасному расходованию значительных денежных, материальных и трудовых ресурсов.

Высота перемычки зависит от уровня воды в реке, соответствующего максимальному строительному расходу, и от величины подпора, образующегося из-за стеснения русла перемычками. Обычно при строительстве перемычек, являющихся временными сооружениями, ориентируются на расходы с ежегодной вероятностью превышения 10 %, но в отдельных особо ответственных случаях эту вероятность принимают равной 1 % или даже 0,5 %. Вычисление численного значения расхода заданной обеспеченности производят на основании данных гидрологических наблюдений.

Метод возведения сооружений с отводом воды из русла реализуется чаще всего или способом поперечных перемычек или пойменным способом.

При способе поперечных перемычек, применяемом обычно в случае крутых и высоких берегов и отсутствии на реке уходящего (на горных реках), русло на всю его ширину преграждают верховой и низовой перемычками (в частном случае низовая перемычка может и отсутствовать); из пространства между перемычками воду откачивают; в этом пространстве и осуществляют возведение плотины, а строительные расходы пропускают по той или иной деривации, устроенной вне русла (в обвод котлована).

Размеры деривации, чаще всего туннеля, выбирают исходя из расчетного расхода воды в строительный период и экономически целесообразного соотношения высоты перемычки и сечения туннеля. Последнее определяют таким образом: для различных вариантов высоты верховой перемычки и подпора воды перед нею определяют геометрические уклоны безнапорного или напорного туннеля, а зная их и расход воды, определяют скорости течения и расчетную площадь сечения туннеля. Беря сумму затрат на возведение перемычки и туннеля для разных возможных высот перемычки, можно найти минимум стоимости и экономически целесообразные отметки перемычки и площадь сечения туннеля.

Туннельный отвод особенно целесообразен, если он в дальнейшем будет использован под эксплуатационный водосброс или водозабор, что обычно и делается (см. п. 6.5.3).

Пойменный способ был разработан в СССР и используется при строительстве низконапорных и средненапорных гидротехнических сооружений на равнинных реках. Согласно этому способу поступают следующим образом:

- 1) в первую очередь откапывают на пойме котлован (рис. 33.4) и в осушенном котловане (на незатопленной пойме) сооружают бетонную плотину, но не полностью: создают только наброску или оставляют в теле плотины строительные водопускные отверстия;
- 2) далее откапывают подводящий 5 и отводящий 6 каналы;
- 3) затем русло реки перекрывают наброской камня 3 в текущую воду, при этом прохождение водного потока сначала ча-

стично, а потом полностью переходит на гребенку (или водоспускные отверстия);

4) наконец, осуществляют закрытие гребенки (или водоспускных отверстий).

Как видно, согласно данному способу производства работ, бетонные сооружения всегда должны размещаться на пойме.

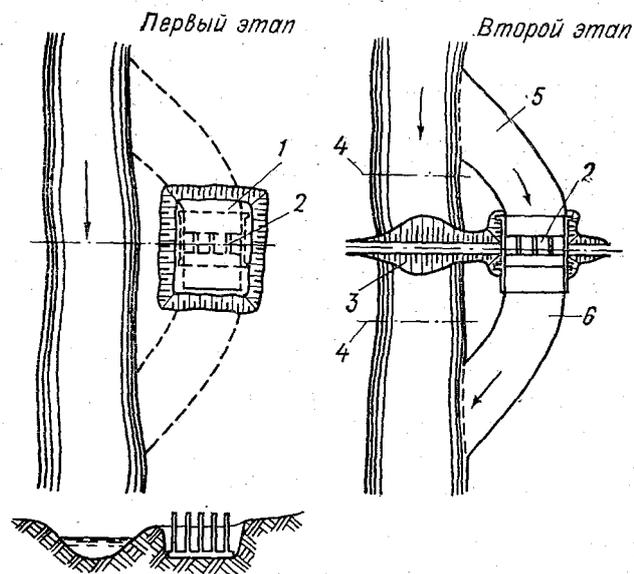


Рис. 33.4. Схема пойменного способа строительства гидроузла.

1 — котлован строящегося водосбросного сооружения; 2 — водосбросное сооружение; 3 — глухая плотина; 4 — оси перемычек; 5 — верховой канал; 6 — низовой канал.

Важно в заключение подчеркнуть, что принятый способ пропуска строительных расходов через створ гидроузла в значительной мере определяет компоновку отдельных сооружений, входящих в гидроузел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Н. Н. Водоснабжение.— М.: Стройиздат, 1974.
2. Гидроэлектрические станции/Под ред. Ф. Ф. Губина.— М.: Энергия, 1980.— 368 с.
3. Гришин М. М. Гидротехнические сооружения. Т. 1.— М.: Высшая школа, 1979.
4. Гришин М. М. Гидротехнические сооружения. Т. 2.— М.: Высшая школа, 1979.
5. Дементьев В. Г. Орошение.— М.: Колос, 1979.— 302 с.
6. Кравченко Г. И. Насосы и гидротурбины.— М.: Энергия, 1970.
7. Михайлов А. В. Внутренние водные пути.— М.: Стройиздат, 1973.— 28 с.
8. Чугаев Р. Р. Гидравлика.— Л.: Энергия, 1975.— 599 с.
9. Чугаев Р. Р. Гидротехнические сооружения. (Глухие плотины).— Л.: Высшая школа, 1975.— 328 с.
10. Чугаев Р. Р. Гидротехнические сооружения. (Водосливные плотины).— М.: Высшая школа, 1978.— 351 с.
11. Яковлев С. В., Ласков Ю. М. Канализация.— М.: Стройиздат, 1972.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аванпорт 204
Акведук 121
Аэротенк 289
- Бандажи 133, 135
Батопорт 87
Берма 67
Биологические пруды 288
Брызгальный бассейн 278
Быки 54
Быстроток 76
Бьеф 16
- Водобой 20, 60, 61
Водная энергия 145
Водозабор береговой 267
— бесплотинный 103
— машинный 102
— плотинный 103, 107
— русловой 267
— самотечный 102
— шпорный 103
Водоочистные сооружения 269
Водопровод 263
Водосборно-сбросная сеть 230
Водосброс 51
— сифонный 58
— строительный 52
Водосливные ГЭС 169
Водоспуск аварийный 51
— хозяйственный 51
Выправление русел 189
- Габионы 63, 82
Гасители энергии 59, 61
Гидравлический удар 166
Гидрант 235
Гидроагрегат 150
Гидроаккумулирующие электростанции 177
Гидродинамическая сетка 29
Гидромодуль 224
Гидросооружения общие 10
— специальные 10
Гидротехника 4
Гидроузлы 11
Гидроэлектростанции деривационные 164
— приплотинные 163
— русловые 161
Гидроэнергетические ресурсы 145
Головной водозаборный шлюз 102, 105
Градирия 278
График нагрузки энергосистем 175
- Дебаркадер 209
Депрессионная поверхность 67
Диафрагма 66, 141
Дифманометр 142
Док 212

Дренаж плотины 34, 42, 68
Дренажная сеть 231
Дюкер 121

Задачи гидрологов в области гидротехники 6
Заиление водохранилищ 22
Запаны 214
Затворы глубинные 100
— поверхностные 85
Земледельческие поля орошения 242
Зуб 39, 42

Иглофильтр 256
Индукционный расходомер 142
Инъекционная завеса 34, 42

Канализация 283
Каналы 115, 203
Капитальность сооружений 11
Каптаж родников 293
Классификация водозаборов 102
— водопроводящих сооружений 114
— внутренних водных путей 184
— гидроаккумулирующих электростанций 177
— гидротехнических сооружений 10
— отстойников 110
— плотин 16, 34, 65
— турбин 150
Коагулирование 113
Кольматаж 119
Компоновка гидроузлов 161, 304

Тесосплав 212
Тиманное орошение 244
Тиния тока 29
Тотки 126

Аетантенк 290
Аетод гребенки 307
— коэффициентов сопротивления (Р. Р. Чугаева) 28
— Лена 27
— линейной контурной фильтрации (Бляя) 24
— ЭГДА 31
Аолевой сплав 213

Ааливные водохранилища 259
Аапор 16
Ааправляющий аппарат 152
Аорма осушения 251

Абводнение местности 291
Абоновка реки 220
Аросительная норма 224
— — сеть 226
Арошение дождеванием 235
— капельное 239
— подпочвенное 237
— самотечное поверхностное 225
Аосушение 248
Аосушительная карта 250
Аосушительно-увлажнительные системы 258

Отсасывающая труба 154
Отстойники вертикальные 113
— горизонтальные 110
Очистка сточных вод 284

Парциальные расходомеры 143
Пирсы 61
Плотины арочные 35, 48
— бетонные 34
— водоподпорные 16
— водосбросные 17
— водохранилищные 16
— высоконапорные 17
— глухие 17
— гравитационные массивные 35
— гравитационные облегченные 35, 46
— деревянные 79
— заанкеренные 48
— земляные 65
— каменные 70
— контрфорсные 35, 47, 80
— низконапорные 17
— средненапорные 17
Поглощающий колодец 256
Подземная ГЭС 171
Поля фильтрации 287
Понур 19, 24, 44
Портал 128
Порты речные 204
Потерна 43
Приливные электростанции 181
Противодавление взвешивающее 25
— суммарное 27
— фильтрационное 25
Пруд-охладитель 279
Пульпа 60
Пьезометрический уклон 28, 68

Рисберма 21, 60, 62
Рыбоходы 297
Ряжи 63, 81

Санитарный расход воды 53
Совмещенные ГЭС 169
Сплав древесины 213
Способы строительства гидросооружений 306
Строительные нормы и правила 12
Струенаправляющие лопасти Потапова 107
Ступенчатый перепад 123
Судовой ход 185
Судоподъемник 199
Судоходная обстановка 188
Судоходный шлюз 195
Суффозия механическая 24
— химическая 24
Схема создания напора деривационная 148
— — — плотинная 148

Трубопроводы 132
Туннели 127
Турбина 149
Турбинная камера 154

Уплотнение затворов 90
Уравнительный резервуар 132, 166
Уровень мертвого объема 18
— нормальный подпорный 18
— форсированный подпорный 18
Установленная мощность 147
Устой 54
Учет воды на водозаборах 137

Фильтрационный контур 23
Флотбет 50, 80

Чек 227

Шандоры 91
Шашки 61
Швы температурно-усадочные 43
— рабочие 44
Шлюз-регулятор 124, 234
Шлюзование реки 193
Шпунтовая стенка 24, 44

Эквипотенциаль 29
Экран 66, 72

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	.....
Введение	.....
Глава 1. Общие сведения о гидротехнических сооружениях	.....	1
1.1. Классификация. Гидроузлы	.....	1
1.2. Нормативные документы по строительству. Капитальность сооружений	.....	1
1.3. Специфика гидротехнических сооружений	.....

Раздел первый. Плотины

Глава 2. Классификация плотин	.....	1
Глава 3. Взаимодействие плотины с рекой и речным руслом	.....	1
3.1. Характерные уровни воды в верхнем бьефе плотины	.....	1
3.2. Действие речного потока на плотину	.....	1
3.3. Действие плотины на речной поток	.....	1
Глава 4. Фильтрация воды под плотинами	.....	1
4.1. Причина фильтрации и ее последствия	.....	1
4.2. Расчет фильтрационного противодействия и длины подземного контура в мягких основаниях методом линейной контурной фильтрации	.....	1
4.3. Расчет элементов фильтрационного потока в мягких грунтах по гидродинамической сетке	.....	1
4.4. Расчет фильтрационного противодействия на плотине, построенные на скальных основаниях	.....	1
Глава 5. Бетонные и железобетонные плотины	.....	1
5.1. Конструктивные особенности	.....	1
5.2. Массивные гравитационные плотины	.....	1
5.3. Облегченные гравитационные плотины	.....	1
5.4. Арочные плотины	.....	1
5.5. Плотины с низким порогом	.....	1
5.6. Водопрпускные устройства в теле плотины	.....	1
5.7. Устройство нижнего бьефа водосбросных плотин	.....	1
Глава 6. Плотины из грунтовых материалов	.....	1
6.1. Виды грунтовых материалов	.....	1
6.2. Земляные плотины	.....	1
6.3. Плотины из каменной наброски и сухой кладки	.....	1
6.4. Каменно-земляные плотины	.....	1
6.5. Водопрпускные сооружения вне тела плотины	.....	1
Глава 7. Деревянные плотины и плотины из прочих строительных материалов	.....	1
7.1. Деревянные плотины	.....	1
7.2. Другие виды плотин	.....	1
Глава 8. Механическое оборудование плотин	.....	1
8.1. Общие сведения	.....	1
8.2. Поверхностные затворы	.....	1
8.3. Глубинные затворы	.....	1

Раздел второй. Водозаборы и водоводы

Глава 9. Речные водозаборы	.....
9.1. Общие сведения	.....
9.2. Бесплотинный самотечный водозабор	.....
9.3. Плотинный самотечный водозабор	.....
Глава 10. Отстойные бассейны (отстойники)	.....
10.1. Назначение отстойников	.....
10.2. Устройство отстойников	.....
Глава 11. Водопроводящие сооружения	.....
11.1. Назначение и классификация	.....
11.2. Каналы и лотки	.....

	11.3. Гидротехнические туннели	127
	11.4. Трубопроводы	132
Глава	12. Учет воды на водозаборах	137
	12.1. Задачи учета	—
	12.2. Способы учета воды на самотечных водозаборах	138
	12.3. Способы учета воды на машинных водозаборах (насосных станциях)	140
	12.4. Оценка величины водозабора по косвенным показателям	144
Раздел третий. Использование водной энергии		
Глава	13. Гидравлическая энергия и способы ее использования	145
	13.1. Мощность и энергия речного потока	—
	13.2. Принципиальные схемы гидроэлектростанций	147
Глава	14. Оборудование гидроэлектростанций	149
	14.1. Состав оборудования ГЭС	—
	14.2. Турбины и их установка в зданиях ГЭС	150
	14.3. Характеристики турбин	156
Глава	15. Состав сооружений и компоновка гидроэлектростанций	159
	15.1. Состав сооружений гидроузлов и их назначение	—
	15.2. Компоновка ГЭС при плотинной схеме использования водной энергии	161
	15.3. Компоновка ГЭС при деривационной схеме использования водной энергии	164
	15.4. Специальные типы зданий ГЭС	169
Глава	16. Работа гидроэлектростанций в энергосистеме	172
	16.1. Экономические показатели гидроэнергетических установок	—
	16.2. Электроэнергетические системы	174
	16.3. Графики нагрузки энергосистем	175
Глава	17. Особые схемы использования водной энергии	177
	17.1. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)	—
	17.2. Приливные электрические станции (ПЭС)	181
Раздел четвертый. Внутренние водные пути		
Глава	18. Водные пути и их роль в народном хозяйстве	184
	18.1. Общие сведения о внутренних водных путях	—
	18.2. Основные требования судоходства к водным путям	185
Глава	19. Обеспечение судоходных условий на внутренних водных путях	187
	19.1. Основные мероприятия по улучшению судоходных условий на реках	—
	19.2. Путевые работы на свободных судоходных реках	188
	19.3. Шлюзование рек	193
Глава	20. Судопропускные сооружения на внутренних водных путях	195
	20.1. Судоходные шлюзы	—
	20.2. Транспортные судоподъемники	199
	20.3. Судоходные каналы	203
Глава	21. Речные порты	204
	21.1. Классификация	—
	21.2. Портовые гидротехнические сооружения	206
Глава	22. Лесосплав	212
	22.1. Условия и виды водного транспорта леса	—
	22.2. Организация лесосплавных путей	217
Раздел пятый. Мелиорация земель		
Глава	23. Задачи и виды мелиораций	222
Глава	24. Орошение сельскохозяйственных угодий	223
	24.1. Виды и способы орошения	—
	24.2. Самотечное поверхностное орошение	225
	24.3. Орошение дождеванием	235
		317

	24.4. Подпочвенное и капельное орошение	237
	24.5. Использование для орошения сточных вод	242
	24.6. Лиманное орошение	244
Глава	25. Осушение	248
	25.1. Способы защиты земель от переувлажнения	—
	25.2. Схемы горизонтального осушения	249
	25.3. Вертикальная и смешанная системы осушения	251
	25.4. Понятие о системах двухстороннего регулирования влажности почвы	251
Глава	26. Борьба с эрозией почв и оврагообразованием	251
Раздел шестой. Водоснабжение и канализация		
Глава	27. Водоснабжение	26
	27.1. Основные задачи	—
	27.2. Техническая схема хозяйственно-питьевого водопровода	26
	27.3. Способы и схемы водоснабжения промышленных предприятий	27
Глава	28. Канализация	28
	28.1. Системы канализации	—
	28.2. Методы очистки сточных вод	28
	28.3. Схемы станций очистки сточных вод	28
Глава	29. Обводнение местности	29
Раздел седьмой. Гидротехника и рыбное хозяйство		
Глава	30. Влияние гидростроительства на рыбное хозяйство	29
Глава	31. Рыбопропускные сооружения	29
Раздел восьмой. Понятие о проектировании и строительстве гидроузлов		
Глава	32. Основы проектирования гидроузлов	30
Глава	33. Особенности строительства гидротехнических сооружений	30
	Список литературы	3
	Предметный указатель	3

ИМЕЕТСЯ В НАЛИЧИИ

в магазине № 15 Ленкниги учебное пособие для вузов
«УПРАЖНЕНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РАЗРА-
БОТКИ ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРОГНО-
ЗАМ». Авторы: Бефани Н. Ф., Калинин Г. П. Цена
1 р. 30 к.

Излагаются методы составления гидрологических прогно-
зов водного и ледового режима рек и водохранилищ, даются
практические рекомендации и примеры разработки методик
прогнозирования основных гидрологических явлений. По
сравнению с первым изданием (1965 г.) рассмотрены новые
методы прогнозирования, новые математические модели
ряда процессов, способы их реализации, составлены новые
упражнения, приведены методические разработки.

Заказы просим направлять по адресу: 197101, Ле-
нинград, Большой пр., 57, магазин № 15 Ленкниги.

Гидрометеиздат

Специализированный магазин № 15 «Ленкниги»
предлагает имеющиеся в наличии учебники
и учебные пособия для вузов и техникумов:

Баранов А. М., Солонин С. В. *Авиационная метеорология*
2-е изд., доп. и перераб. Учебник для вузов. 1981 г. 1—20
Динамика океана. Под ред. Ю. П. Доронина. Учебник для
вузов. 1980 г. 1.

Павлов Н. Ф. *Аэрология, радиометеорология и техника
безопасности.* Учебник для вузов. 1980 г. 1—30.

Григорьев В. И. *Автоматизированная обработка гидрометеорологической информации.* Учебное пособие для техникумов. 1979 г. 0—95.

Заказы на эти книги Вы можете
прислать по адресу:
197101, Ленинград,
Большой пр., 57,
магазин № 15 «Ленкниги».
Книги будут высланы в Ваш адрес
наложенным платежом.

ГИДРОМЕТЕОИЗД