

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

И.А. Эгизов, Б.С. Ордобаев

**ОСНОВЫ КУРСА
«ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ
СООРУЖЕНИЯ»**

**Учебное пособие
для студентов технических
специальностей направления
«Гидротехнические сооружения»
профиля «ЗЧС»**

Бишкек 2018

УДК 626(075.8)
Э 17

Рецензенты:

Г.И. Логинов, д-р техн. наук, профессор,
Б.К. Кошматов, канд. техн. наук, доцент

Рекомендовано к изданию
кафедрой «Защита в чрезвычайных ситуациях»
КРСУ и МЧС КР и Советом ФАДиС КРСУ

Эгизов И.А., Ордобаев Б.С.

Э 17 **ОСНОВЫ КУРСА «ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ»:** учеб. пос. для ст. техн. спец. направл. «Гидротехнические сооружения» профиля «ЗЧС». Бишкек: Изд-во КРСУ, 2018. 162 с.

Рассматриваются основные положения курса «Гидротехнические сооружения», изложены их характеристики и угрозы, которые они несут для безопасной жизнедеятельности.

Для студентов, обучающихся по специальности «Защита в чрезвычайных ситуациях».

© ГОУВПО КРСУ, 2018
© Эгизов И.А., Ордобаев Б.С., 2018

ВВЕДЕНИЕ

Вода – основной компонент, как живой, так и неживой природы. Ничто 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. Люди, как правило, использовали воду исключительно там, где она находилась 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 продуктов питания, требовали осуществления территориального перераспределения водных ресурсов и изъятия большого количества воды из водных источников вначале на нужды сельского хозяйства (для орошения), а затем и на промышленные нужды. Накопленные знания и развитие технической мысли позволили создать гидротехнические сооружения, без которых удовлетворение запросов человечества в воде было бы невозможным.

Отрасль науки и техники, охватывающая изучение вопросов 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 с помощью гидромеханики и гидравлики.

Чтобы увязать гидротехническое сооружение с природными возможностями водного объекта, а также с уже существующим использованием этого объекта, необходимо произвести так назы-

ваемые водохозяйственные расчеты, основанные на материалах гидрометрии и результатах наблюдений специализированных, в частности, водобалансовых станций.

Строительство гидротехнических сооружений требует определенных расчетов, которые, в свою очередь требуют определенных знаний в области строительной механики, сопротивления материалов, механики грунтов, инженерной геологии, строительных материалов и конструкций.

Для размещения сооружений на местности, т. е. привязки их к местным условиям не обойтись без геодезии, топографии, геологии, гидрогеологии. К осуществлению отдельных гидротехнических проектов могут привлекаться и 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, мелиорацию, водоснабжение и канализацию, использование минеральных вод, а также организацию водных видов спорта, создание рыбных и зверовых хозяйств и пр.

Таким образом, использование водных ресурсов образуют важную отрасль экономики, получившую название водного хозяйства. Использование водных ресурсов и гидротехническое строительство в любом государстве осуществляются в плановом порядке и в интересах максимального удовлетворения потребностей общества. Порядок использования и охраны рек, морей, озер, водохранилищ, других поверхностных и подземных водных объектов в большинстве стран устанавливается государственным законодательством.

Краткая история развития гидротехнического строительства

Территории, прилегающие к рекам, озерам, морям всегда были местами поселения человека еще в первобытное время, что и понятно, поскольку реки, озера и моря удовлетворяли его потребности в воде и пище и служили естественными путями сообщения.

С развитием земледелия в рабовладельческих государствах Юго-Востока и Востока появилась необходимость в орошении засушливых земель, удовлетворение которой требовало сооружения каналов. Известны системы орошения 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 территории бывшего СССР в древних государствах Хорезм и Урарту оросительные каналы строились ещё в VIII–VI вв. до н. э.

В феодальный период развитие торговли и ремесел требовало улучшения путей сообщения и использования энергии воды. В XIII и XIV вв. в Западной Европе стали появляться более совершенные водяные мельницы, строились 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 развития мануфактур почти все отрасли промышленности базировались, в основном, на гидравлических установках. Получили большое развитие водные пути. Было построено много судоходных каналов во Франции, Германии, в Англии и т. д.

В России, при Петре I было осуществлено соединение р. Оки с верховьями р. Дон Иванковским каналом, соединение Волги с Балтийским морем Вышневолоцкой системой через реки Тверц, Цна, Мета, оз. Ильмень и р. Волхов (1703–1722 гг.), были 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 1870-х гг., Пельтона – в 1880 г.). Электричество начало широко внедряться во все отрасли жизни. Рост крупных городов требовал снабжения их огромным количеством воды и необходимости удаления сточных вод.

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. был 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. был построен канал им. Москвы длиной 128 км, соединивший реки Волгу и Москву. Значительно увеличились площади орошаемых и осушаемых земель.

Особенно грандиозные гидротехнические проекты стали осуществляться вскоре после Великой Отечественной войны. Примером 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 – 6 млн кВт, Саяно-Шушенская – 6,4 млн кВт и др.

На территории современного Кыргызстана первые ирригационные сооружения появились более двух тысячелетий назад. Естественно, что в условиях аридного климата развитие земледелия было невозможно без обеспечения регулярного полива возделываемых земель. Первоначально это были примитивные арыки, прокопанные от ближайших ручьев и рек до обрабатываемых полей. Со временем ирригационные системы усложнялись, появились первые водозаборные устройства, такие как сипай (сипай). Также для водозабора стали применять одно из первых гидротехнических устройств на земле – водяное колесо. Более того, при раскопках древних городищ сако-усуньского периода близ г. Токмок были найдены остатки глиняных труб, служивших для городского водоснабжения. В конце средних веков начали появляться небольшие водяные мельницы.

Вхождение Кыргызстана в состав Российской империи способствовало появлению небольших заводов – лесопилок, маслобоек, сыроделен, мукомольных, кожевенных, перерабатывающих и других предприятий. На некоторых из них применялись водяные колеса различных конструкций. Глядя на русских промышленников, кыргызские баи и манапы также начали использовать энергию воды для зарождающихся мелкотоварных предприятий.

В свою очередь, местное население обучало русских крестьян особенностям поливного земледелия, а с наплывом переселенцев в Чуйской, Иссык-Кульской, Ферганской и Таласской долинах стали стремительно развиваться ирригационные сети.

Первую гидроэлектростанцию на территории Кыргызстана соорудили в 1910 г. в селе Ивановка Чуйской волости. Привезенная из Парижа динамомашинка с помощью энергии водяного колеса вырабатывала электричество для освещения мельницы и ближайших домов.

Первая же промышленная гидроэлектростанция была построена в г. Ош в 1913 г. и приводила в действие двигатели мукомольной мельницы.

С приходом Советской власти, в Кыргызстане, как и во всем Советском Союзе, в 1920–1950 гг. происходило повсеместное сооружение гидроэлектростанций. Первая гидроэлектростанция согласно плану ГОЭЛРО в республике – Аламединская ГЭС мощностью 410 кВт, была построена к январю 1920 г. В последующие десятилетия были построены гидроэлектростанции в городах Ош, Пржевальск, Джалал-Абад и др. Интенсивно строились как промышленные, так и сельские ГЭС. К 1958 г. в Кыргызстане действовало 98 малых ГЭС общей мощностью 15504 кВт, вырабатывающих ежегодно до 40 млн кВт часов электроэнергии.

Интенсивно развивалась и ирригационная сеть. В конце 1920 гг. был построен первый в республике крупный магистральный канал – Атбашинский оросительный, проходящий в нижней части Чуйской долины. На юге республики был построен Большой Ферганский канал, а на севере – Большой Чуйский канал. На каждом из них, как и на более мелких магистральных и межхозяйственных каналах, было множество различных гидротехнических сооружений – водозаборов, плотин, шлюзов, водосбросов, акведуков и др.

В середине и конце прошлого столетия в Советском Кыргызстане был реализован ряд крупных гидротехнических проектов. Кроме оросительных и дренажных сетей, стали сооружаться различные ирригационные водохранилища, в том числе и ряд крупных, таких как Орто-Токойское, Кировское, Папанское, Найманское, Торт-Кульское, Базар-Коргонское, Ала-Арчинские, Соку-

лукское, Спартак и др. Появились объекты коммунального и промышленного водоснабжения и канализации и т. д. Особенно бурно развивалась гидроэнергетика – были возведены крупные ГЭС – Учкоргонская, Ат-Башинская, Токтогульская, Күрпсайская, Ташкөмүрская.

После обретения независимости в Кыргызской Республике были построены Шамалдысайская ГЭС и Камбар-Ата-2. В перспективе завершение проектов строительства гидроэлектростанций Камбар-Ата-1, Средне-Нарынского, Верхне-Нарынского каскада и других. Началась реализация проектов восстановления и строительства сети малых ГЭС.

В настоящее время во всем мире идет масштабное строительство различных гидротехнических сооружений – водохранилищ и каналов, гидростанций и водных портов, причалов и плотин, водозаборов и шлюзов и множества других объектов. Есть планы по масштабной переброске речного стока в аридные зоны из водообеспеченных областей. Возрастает 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 росту объемов гидротехнического строительства во всем мире.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Наука об использовании водных ресурсов на благо человека и о мерах борьбы с опасными и нежелательными проявлениями водной стихии называется гидротехникой. Так же называется и соответственная отрасль техники.

Гидротехника рассматривает широкий круг вопросов: водные ресурсы водотоков и водоемов и их режим, строение почвогрунтов какместилища подземных вод и основания для строительных сооружений, а также проектирование, строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений.

Если рассматривать указанный комплекс вопросов более конкретно, то проблемами водных ресурсов и их режима занимается *гидрология*. В неё входят следующие подразделы.

Гидрография – описание водных объектов, их пространственное расположение и учет (водный кадастр).

Гидрометрия – раздел гидрологии, исследующий способы наблюдения и измерения явлений, характеризующих этот режим (замеры скорости водного потока, его уровня, глубины и т. п.).

Теория динамики русловых процессов рассматривает закономерности движения водных потоков, речных наносов и формирования русел, берегов и дна водных объектов.

Учение о речном стоке устанавливает зависимости стока воды (его уровней и расходов) от различных физико-географических факторов – геологических (рельеф местности, высота и орография склонов), гидрогеологических (просачиваемость почвогрунтов, режим подземных вод, карстовые процессы), климатических (режим осадков, температура воздуха и почвы, солнечное сияние, влажность, снеговой покров), гляциологических и других.

Гидрологические расчеты или инженерная гидрология служат для разработки методов, позволяющих рассчитать величины, характеризующие гидрологический режим, расчёты стока воды, в том числе нормы годового стока, максимальных расходов паводков и паводков, внутригодового распределения стока, минимальных расходов воды, продолжительности бессточного периода (перемерзания и пересыхания рек), гидрографов паводков и паводков.

Гидрологические прогнозы обосновывают целесообразные режимы работы гидротехнических сооружений, в частности режимы сработки запасов воды из водохранилищ. 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**.

Необходимые данные о геологическом строении местности, где строится гидросооружение, о возникающих процессах инфильтрации воды, подтопления, заболачивания, подпора, подъема в верхнем бьефе и снижения в нижнем бьефе уровней подземных вод и других геологических и гидрогеологических процессах, мы получаем при исследовании **геологии** и **гидрогеологии** территории.

Прогноз поведения грунтов и пород на исследуемой территории после постройки гидротехнических сооружений подскажут нам **инженерная геология** и **инженерная гидрогеология**, а также **механика грунтов и горных пород**.

Теория гидротехнических сооружений – как наука о проектировании, строительстве и эксплуатации ГТС базируется, кроме указанных выше гидрологии и геологии, на ещё целом ряде прикладных дисциплин. Расчеты движения воды и ее воздействие на грунты и сооружения опираются на **гидравлику** и **гидромеханику**. На основе таких предметов как **теория упругости, сопротивление материалов, строительная механика** решаются проблемы напряженного состояния, устойчивости и надежности гидросооружений. При их проектировании, конструировании и строительстве используются данные таких дисциплин, как **геодезия, топография, технология строительных материалов, инженерные конструкции, строительное производство, экономика строительства**.

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

Группа хозяйственных отраслей, изучающих природные водные ресурсы и возможности их использования для нужд потребителей, составляет группу отраслей под названием **водное хозяйство**.

Основными отраслями водного хозяйства в Кыргызстане являются:

1. Гидромелиорация – в основном это ирригация (полив) пахотных земель и обводнение пастбищ, а также отвод избыточной влаги с переувлажненных (подтопляемых) земель, то есть дренаж, осушение.

2. Гидроэнергетика – использование энергии горных рек для выработки электрической энергии.

3. Водоснабжение коммунальное и промышленное, а также водоотведение (канализация) сточных вод с их очисткой.

4. Другие виды использования водных ресурсов – рекреация, рыбоводство, водный транспорт и т.п.

Добавим, что в ряде стран довольно значимой отраслью является судоходство, а в некоторых странах и лесосплав.

В задачи водного хозяйства входит также охрана водных ресурсов страны от загрязнения и истощения, а также борьба с опасными гидрологическими явлениями – наводнениями, селями, подтоплениями, эрозией плодородных почв, оврагообразованием, меандрированием, размывом берегов, заилением, отложением наносов и т. д. Сюда же относятся мероприятия по водному благоустройству городов, зон отдыха, водноспортивных объектов.

Важной особенностью водопользования является законодательно закрепленное в водных кодексах многих государств требование рационального и комплексного использования вод.

Рациональное использование водных ресурсов – 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 законодательно 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 водных ресурсов – такое использование, при котором находят экономически оправданное при-

менение 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 любой крупной ГЭС это не только получение электроэнергии, но и накопление воды для использования её в целях орошения сельскохозяйственных угодий, для коммунального и промышленного водоснабжения, рыбоводства, рекреации, судоходства.

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

Разные отрасли водного хозяйства используют водные ресурсы различным образом. Некоторые водопользователи забирают часть воды из водоисточников (рек, каналов, озер, прудов, водохранилищ, поземных скважин) практически безвозвратно, то есть расходуют её почти полностью. Это, к примеру, ирригация, коммунальное и промышленное водоснабжение и называют их водопотребителями. Другие отрасли используют воду, не потребляя её, если они и забирают часть стока, в различные установки, то тут же и возвращают её обратно в тот же водоем.

При комплексном использовании водных ресурсов необходимо согласование действий различных водопользователей и водопотребителей ввиду некоторой противоречивости их требований к режиму использования воды. Иногда потребности водопотребителей в определенной местности превышают возможности природных ресурсов воды, и тогда возникает необходимость территориального их перераспределения путем переброски стока из районов с достаточной водообеспеченностью в водефицитные районы. Обычно это достигается путем строительства каналов.

1.1. Основные задачи гидротехнических сооружений и гидротехники

Для использования водных ресурсов необходимо строить инженерные сооружения с соответствующим механическим оборудованием. Такие инженерные сооружения и называют гидротехническими.

Основная задача гидротехнических сооружений и гидротехники заключается в том, чтобы преобразовать существующий естественный водный режим водотока или водоема для целесообразного и экономичного водохозяйственного использования потребителями, а также для защиты от опасного воздействия водной стихии.

Вторая задача гидротехнических сооружений и гидротехники – создание искусственных водотоков (каналы, арыки), когда имеется дефицит естественных водных ресурсов, а также строительство искусственных водоемов (пруды, БСР, БДР, водохранилища) в случае, если естественный водный режим не соответствует режиму водопотребления и водопользования.

Третья задача – создание установок и сооружений для специальных нужд отдельных отраслей водного хозяйства (зданий ГЭС, деривационных каналов, насосных станций, водозаборов и т. п.).

Гидротехнические сооружения, выполняющие первую и вторую задачи, являются общими для всех водопотребителей и водопользователей. Специальными называют гидротехнические сооружения, обслуживающие только отдельные отрасли водного хозяйства, например, гидроэнергетику, ирригацию, судоходство, водоснабжение и т. д.

Гидротехнические сооружения, строящиеся на реках и использующие речной сток, называют речными гидротехническими сооружениями, на озерах – озерными, морях – морскими.

1.2. Классификация гидротехнических сооружений по их воздействию на водоток

Каждый речной поток характеризуется следующими основными параметрами:

- уровнем водной поверхности;
- глубиной;
- скоростью течения;
- расходом воды;
- содержанием влекомых и взвешенных наносов.

Все эти характеристики изменяются во времени, то есть имеют свой режим – суточный, сезонный, годовой, многолетний. С водным режимом поверхностного водотока (реки, канала) тесно связан и режим подземных грунтовых вод под руслом и в долине реки.

Большое значение имеет состав грунтов, слагающих ложе и берега потока. Русло водотока имеет свойство изменяться со временем (меняет свое местоположение, размер, форму) под действием *водной эрозии*, связанной с размывающей способностью водного потока.

Таким образом, в зависимости от характера воздействия на водный объект, гидротехнические сооружения делят на:

- водоподпорные и регуляционные (руслорегулирующие), то есть те, которые изменяют естественный водный режим водотока или водоема;
- водопроводящие – создающие искусственные водотоки.

Основным типом *водоподпорных сооружений* является плотина (дамба), то есть гидротехническое сооружение, перегораживающее русло водного потока и создающее водный подпор – разность уровней водной поверхности (рисунок 1.1). Материалом для возведения плотин служат бетон и железобетон, а также различные грунтовые материалы – глина, суглинки, супеси, песок, щебень, гравий, камень и их разнообразные смеси. Плотины могут быть глухими, если они не пропускают воду в нижний бьеф, и водопропускными, если они оборудованы водосбросными устройствами.

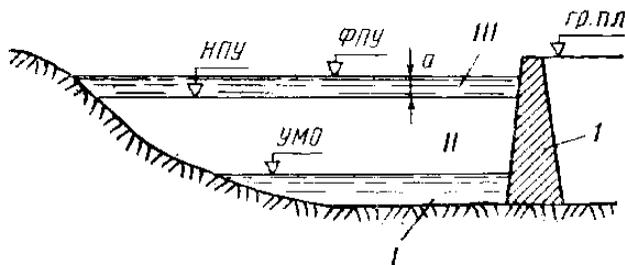


Рисунок 1.1 – Характерные уровни воды в верхнем бьефе плотины: I – мертвый объем; II – полезный объем; III – резервный объем

Зона подпора – часть потока выше (по течению) плотины называется верхним бьефом, а ниже её – нижним бьефом.

Подпор, то есть подъем уровня воды в верхнем бьефе, распространяется вверх по течению, постепенно уменьшаясь, и на определенном расстоянии исчезает полностью. На всем участке распространения подпора происходит изменение уровня и глубины воды, а также скорости течения. Причем глубина и уровень возрастают по мере приближения к плотины, а скорость потока снижается.

В результате повышения уровня водной поверхности в верхнем бьефе происходит затопление прилегающей территории. Затопливаемая зона, также, обычно имеет наибольшую ширину вблизи плотины, постепенно уменьшаясь вверх по течению. Однако неровности рельефа местности могут серьезно изменить данную картину.

Подпор воды после строительства плотины изменяет также и режим подземных вод. В целом, изменения происходят в сторону подъема уровня грунтовых вод вплоть до подтопления и заболачивания прилегающих низин. Движение подземных вод со стороны верхнего бьефа по направлению к нижнему бьефу значительно ускоряется. Особенно усиливается фильтрация воды в основании плотины и в обход её. Таким образом, подземный сток воды из верхнего бьефа в нижний значительно возрастает.

В режиме твердого стока также происходят существенные изменения. В результате снижения скорости течения в верхнем

бьефе транспортирующая способность потока уменьшается и начинается процесс отложения речных наносов, как влекомых, так и взвешенных. Причем, согласно динамике скоростей потока, крупность отложений уменьшается с приближением к подпорному сооружению. Далее, осветленная вода, попадая в нижний бьеф (обычно на большой скорости), насыщается твердым стоком. Это вызывает размыв дна и берегов реки сразу же за плотиной и вплоть до определенного участка вниз по течению, где наступает равновесие между размывающей способностью потока и сопротивлением размыву грунтов, слагающих дно и берега русла.

Таким образом, водоподпорное сооружение влияет на водный поток, все его параметры и его русло, а также на подземные воды. Ещё больший эффект воздействия достигается при регулировании пропуска воды в нижний бьеф. Если плотина оборудована водопропускными устройствами с затворами, позволяющими регулировать объем воды, выпускаемой из верхнего бьефа в нижний, то можно в периоды избыточного естественного стока в реке (половодье, паводки) задерживать его часть в верхнем бьефе (при наличии в нем достаточного свободного объема). Затем, запасенный объем стока используется водопотребителями согласно графика потребления в маловодный период года, при сезонном регулировании стока или даже в маловодные годы, при многолетнем регулировании стока. В этом случае верхний бьеф является водохранилищем.

Итак, водоподпорные сооружения (плотины) обладают чрезвычайно важной для водохозяйственных отраслей способностью изменять естественный режим стока реки согласно потребностям водопользователей. Поэтому сооружение плотин очень широко распространено во всех регионах и применяется во всех отраслях водного хозяйства.

Кроме плотин, водоподпорными сооружениями являются также дамбы и валы, отгораживающие (защищающие) территории от затопления паводками или ограждающие эти территории или акватории (в портах) от вредного воздействия океанических приливов, ветровых нагонов.

Регуляционные сооружения (руслорегулирующие), в отличие от водоподпорных, как правило не создают подпора воды, но воздействуют на направление и скорость потока, перераспределяя их и воздействуя на формирование русла – его глубину, размеры и форму в плане. Регуляционные сооружения представляют собой дамбы, то есть стенки, преграды из различных материалов – обычно грунтовых (камень, галька, гравий, песок, глина и их комбинации), иногда из бетонных и железобетонных элементов, и даже из металлических (габионы). Дамбы эти, как правило, не перегораживают всей ширины реки, Они обычно возводятся в продольном направлении в руслах рек и защищают берега от размыва. Иногда они представляют собой ступенчатые пороги на дне русла (их можно видеть, например, на реках Аламудун и Ала-Арча в пределах г. Бишкек), и служат для защиты от размыва дна русла.

Кроме защиты от размыва, руслорегулирующие сооружения обслуживают различные отрасли водного хозяйства: могут обеспечивать необходимые глубины, скорости течения и форму русла для судоходства и лесосплава, обеспечивать другие потребности водопользователей.

Водопроводящие сооружения – это искусственные русла, которые устраивают в грунте и из грунта (каналы, туннели) или из бетона, железобетона, металла (лотки, трубопроводы).

Каналы – это искусственные русла, образуемые в выемках грунтов или в насыпях, или в полувыемках-полунасыпях, поперечное сечение их обычно трапецеидальное, но бывает и более сложное – полигональное.

Лотки – это искусственные русла, располагаемые на поверхности земли или даже выше, на специальных опорах и выполняемые обычно из железобетона, реже металла.

Туннели гидротехнические – это русла замкнутого сечения, устраиваемые в грунте подземными методами работ без вскрыши вышележащей породы, их устраивают, когда канал требует глубокой выемки, больших объемов и сложных земляных работ, например при пересечении возвышенностей, при направлении водовода вдоль косогоров, склонных к оползанию и т. д.

Специальные сооружения применяют в отдельных отраслях водного хозяйства. К ним относят:

- гидроэнергетические сооружения – здания ГЭС, аванкамеры, напорные бассейны и т. п.;
- гидротехнические сооружения водного транспорта – судоходные каналы и шлюзы, судоподъемники, причальные сооружения, пристани, портовые набережные, судоремонтные и судостроительные устройства (эллинги, доки), лесосплавные и лесопропускные сооружения;
- гидромелиоративные сооружения – это оросительные, обводнительные и осушительные каналы и водоводы, водозаборы, шлюзы-регуляторы, отстойники, лренажные устройства, коллекторы и др.;
- гидротехнические сооружения для водоснабжения и водоотведения (канализации) – это водозаборы специального типа, каптажные сооружения, насосные станции, пруды-охладители, очистные устройства, коллекторы, ливнеспуски и т. д.;
- гидротехнические сооружения для рыбного хозяйства – рыбоходы, рыбоподъемники, рыбоводы, рыбоспуски, рыбоводные пруды и бассейны;
- гидротехнические сооружения для лесосплава и др.

По характеру воздействия на водный поток эти сооружения могут быть как водоподпорными (здания ГЭС, судоходные шлюзы, рыбоходы и т. д.), так и руслорегулирующими, и даже водопроводящими.

Водопроводящие сооружения – искусственные русла, выполненные в грунте – каналы, подземные туннели, а на поверхности земли – лотки и трубы из различных материалов (прежде всего из железобетона и металла). Это третий вид общих гидротехнических сооружений, которые служат для транспортировки воды для различных целей: подают воду на орошение и обводнение, в системы водоснабжения коммунального и промышленного назначения, к турбинам ГЭС. Или же, наоборот, отводят бытовые и производственные – отработанные сточные воды по канализационным системам, а также излишки воды с осушаемых террито-

рий. Сюда же относят водосбросы, служащие для сброса воды из верхних бьефов в нижние через специальные отверстия в плотинах или же в обход плотин в береговых сооружениях. Кроме того, водопроводящие сооружения используются в качестве водных путей для судоходства и лесосплава.

Гидроузлы и гидросистемы. В зависимости от целей и задач водохозяйственного назначения, обычно проектируется и строится комплекс различных гидротехнических сооружений, как общих, так и специальных. Такой комплекс гидротехнических сооружений и устройств, объединенных общей водохозяйственной задачей, и расположенных территориально в одном определенном месте, называется узел гидротехнических сооружений, или гидротехнический узел. Если в составе гидроузла есть водоподпорные сооружения, создающие подпор на реке или в канале, то такой гидротехнический узел называют напорным (подпорным). Если подпорного сооружения нет, тогда это безнапорный гидроузел.

По величине создаваемого напора гидроузлы бывают:

- *низконапорные*, или русловые, в которых НПУ (нормальный подпорный уровень) не превышает либо не сильно превышает естественные уровни высокого половодья, при этом затопливается только пойма реки или её часть;
- *средненапорные* с величиной создаваемого напора от 5–10 м до 30–40 метров;
- *высоконапорные*, величина напора более 40 метров.

В зависимости от водохозяйственных целей строительства напорного гидротехнического узла их делят на: гидроэнергетические, ирригационные, водотранспортные, водоснабжающие, водосохраняющие или регулирующие сток.

В большинстве случаев водохозяйственные гидроузлы имеют комплексное назначение, то есть служат для удовлетворения потребностей сразу нескольких отраслей водного хозяйства.

В состав гидротехнических узлов обычно входят сооружения как общие, так и специальные, причем они делятся ещё и на основные, вспомогательные и временные.

Основные сооружения обеспечивают нормальную работу гидроузла, создавая необходимый напор и емкость в верхнем бьефе, а также требуемые гидравлические условия при перетоке воды через сооружения гидроузла и выполнение специальных водохозяйственных функций, для которых он и строится.

Вспомогательные сооружения не являются гидротехническими. Они необходимы для эксплуатации основных гидротехнических сооружений. Это жилые и хозяйственно-административные здания (эксплуатационный поселок), коммуникационные сооружения и устройства, такие как системы водоснабжения и канализации, связи и энергоснабжения, мастерские, подъездные и эксплуатационные дороги на территории гидротехнического узла и др.

Временные сооружения создают на период строительства гидроузла, они служат также и для целей производства строительных работ. В их состав входят сооружения, обеспечивающие пропуск вод реки 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.).

Комплекс гидротехнических сооружений, размещенный на значительных территориях, включающий в себя ряд гидроузлов, объединенных общностью задач, называют также водохозяйственной системой или гидросистемой. В качестве примера можно привести водохозяйственную систему БЧК (Большой Чуйский канал) и другие. Также существуют гидроэнергетические системы, например каскад Аламединских ГЭС, Токтогульский каскад.

Процесс создания и дальнейшего использования гидротехнических сооружений состоит из четырех этапов:

1. *Изыскательский* – сбор данных о природных условиях района строительства – рельефе, геологическом и гидрогеологическом строении, почвах, растительности, гидрологических условиях, хозяйственной деятельности, климате и т. д.

2. *Проектировочный* – установление на основе полученных данных и поставленных водохозяйственных задач будущего водного режима объекта, основных размеров сооружения, ис-

пользуемых материалов, составлении схем и конструктивных чертежей, установление способов и методов строительства, необходимого оборудования, получение экономических показателей объекта и многое другое.

3. *Строительный* – организация и ведение строительных работ по реализации проекта включает подготовку территории и оборудования, выполнение строительных работ, демонтаж строительного оборудования и временных устройств и сооружений, сдача объекта в эксплуатацию.

4. *Эксплуатационный* – использование построенного сооружения, управление его работой, надзор за соблюдением требований проекта, и состоянием сооружений и оборудования, текущий и капитальный ремонт и т. д.

В состав изыскательских работ входят:

1. Топографические работы – геодезическая съемка, нивелировка и другие работы для получения плана местности в горизонталях, для составления разнообразных профилей и разрезов местности в районе строительства, в зоне распространения подпора, по линиям дорог и т. п.

2. Геологические (инженерно-геологические) и гидрогеологические изыскания – для получения картины геологического строения района строительства, зоны затопления и подтопления земель, их гидрогеологических условий, выявления физико-механических свойств горных пород, слагающих территорию, нахождения ближайших месторождений для устройства карьеров по добыче песка, гравия, щебня, валунов, глины, применяемых при строительстве.

3. Гидрологические изыскания – для изучения гидрологического режима используемых водных объектов – определение объемов стока воды и его изменений, режима уровней и расходов в реке во внутригодовом и многолетнем разрезах, зимнего режима, режима твердого стока, ледовых явлений, русловых процессов.

4. Метеорологические изыскания – для получения сведений об атмосферных осадках, температуре воздуха и почвы, направлении и скорости ветра, солнечной активности, влажности воздуха и т. д.

5. Строительно-технические изыскания – для получения данных, необходимых при производстве строительных работ, в том числе об условиях привязки места строительства к существующим в районе коммуникационным сетям (дороги, электрические сети, сети связи, водопроводные и канализационные сети), возможности использования имеющихся в районе предприятий строительной индустрии и кадровых ресурсах, условиях расселений рабочих и служащих и т. д.

6. *Прочие изыскания и исследования*, выявляющие степень водохозяйственного использования имеющихся водных объектов (уже существующие гидросооружения, установки и др.), рыбохозяйственные, рекреационные условия, почвенные и растительные ресурсы, на которые может оказывать воздействие строящееся гидротехническое сооружение, а также социально-экономические объекты в зоне его влияния.

1.3. Водохранилища Кыргызстана

Нехватка пресной воды ощущается во многих странах мира. В Кыргызстане при общем избытке водных ресурсов в земледельческой зоне, в отдельные периоды вегетационного сезона, местами ощущается недостаток поливной воды, что существенно ограничивает развитие растениеводства. В таких условиях оптимальным способом удовлетворения растущих потребностей сельского хозяйства в своевременной подаче воды на поля, является строительство искусственных водоемов, то есть водохранилищ. Это позволяет накапливать воду в период половодий и паводков, а затем подавать её на полив во время вегетации, либо на промышленное и коммунальное водоснабжение, или на турбины ГЭС и т. д. С этой целью водохозяйственные службы регулируют и постоянно контролируют уровневый режим водохранилища на основе гидрологических прогнозов о поступлении воды, а также требований на водоподачу от водопотребителей и водопользователей.

Для создания водохранилищ строят плотину, подпирающую реку. В зависимости от её высоты и, соответственно, объема водохранилища подразделяют по степени регулирования на водо-

хранилища многолетнего, сезонного, недельного и суточного регулирования. А по своему назначению водохранилища используются для целей ирригации, энергетики, водоснабжения, рыбного хозяйства, рекреации и т. д.

В Кыргызстане водохранилища, относясь к категории горных, характеризуются рядом особенностей:

- относительно небольшой площадью зеркала (поверхности);
- меньшими затопляемыми площадями;
- сравнительно большими глубинами;
- значительной глубиной сработки;
- меньшим, чем на равнинах, изменением площади при сработке;
- отсутствием волновой и ветровой переработки берегов;
- меньшим масштабом подтопления прилегающих территорий;
- интенсивным заполнением наносами (заилением) в связи со значительным твердым стоком горных рек.

В настоящее время в Кыргызстане построено более 40 ирригационных водохранилищ с суммарным объемом более 2500 млн м³. Среди показателей, характеризующих водохранилища, наиболее важны объем воды, площадь водного зеркала, глубина и т. д. (таблица 1.1).

Помимо этого в республике действуют порядка 200 бассейнов декадного (БДР) и суточного (БСР) регулирования общим объемом около 40 млн м³.

Огромное водохозяйственное и даже общенародное значение имеют водохранилища, построенные при гидроэлектростанциях. Причем, помимо выработки электроэнергии они широко используются для целей ирригации, водоснабжения, рыбного хозяйства, рекреации и т. д. (таблица 1.2).

Таблица 1.1 – Характеристики некоторых водохранилищ Кыргызстана

Название водохранилища	Водный источник (река, канал)	Вид регулирования	Высота плотины, м	Дли на плотины, м	Полн объем, млн м ³	Площадь зеркала, км ²	Ср. год. приток, м ³ /с
Кировское	Талас	Многолет.	84	260	550	26,5	30,5
Ортосайское	Чуй	Сезонный	57	365	470	25	39,3
Папанское	Ак-Буура	Многолет.	100	94	260	7,1	23,5
Касансайское	Касансай	Сезонный	52	230	165,3	8	
Торткюльское	Исфара	Многолет.	34	292	90	6,6	3,6
Кёгартское	Кёгарт	Сезонный	50	1480	76	4,54	4,8
Спартак	Сокулук	Сезонный	15	2400	22	5,9	2,9
Нижне-Алаарчинское	Чуй	Сезонный	24,5	3159	52	5,5	4,5
Караункурское	Кара-Ункур	Сезонный	45	1050	48	6,3	3
Найманское	Чилисай	Сезонный	40,5	265	38	3,2	2,44
Базаркоргонское	Кара-Ункур	Сезонный	25	2420	22,5	2,7	4,2
Жингилское	Жингил-Сай		23,5	425	16,5	2,45	
Кара-Тюпе	Зап. БЧК	Сезонный	13,6	2250	12,8	1,77	1,27
Сокулукское	Сокулук		22,5	3000	11,5		
Большая плотина	Тюп	Декадный	19	125	5,8	0,72	0,35
Карабалтинское	Кара-Балта	Сезонный	11,7	197	4,3	0,49	1,34
Панфиловское 2	Джарды-Каинды	Сезонный	16,3	2420	2,4	0,62	,17
Рисороб-1	Зап. БЧК	Сезонный	10	125	1,5	0,32	0,38
Степнинское-1	Зап. БЧК	Сезонный	9,7	120	1,079	3,44	1,1

По способу образования водохранилища Кыргызстана относят к разным типам; большинство из них долинные, но имеются и

наливные; в некоторых случаях емкость их увеличивается сооружением дамб обвалования. Преобладают водохранилища простой формы – узкие, длинные, иногда извилистые с небольшими заливами в устьях рек и ручьев, например, Курпсайское, Ташкумырское. Есть водохранилища озерной формы – ОртоТокойское, Сокулукское, Спартак и др. Сложной формой характеризуется Токтогулское водохранилище, которое состоит из узкого долинного участка непосредственно выше плотины и озеровидного расширения (до 12 км) в Кетменьтюбинской долине.

Таблица 1.2 – Водоохранилища Кыргызстана ирригационно-энергетического назначения

Название водохранилища	Река, канал	Высота плотины, м	Объем, млн м ³	Площадь зеркала, км ²
Токтогулское	Нарын	215	19500	284,3
Курпсайское	Нарын	113	370	12
Ташкумырское	Нарын	73	140	7,8
Шамалдысайское	Нарын	37	40,9	–
Учкоргонское	Нарын	56	53	4
Атбашинское	Ат-Башы	79	9,6	1
Аламединская-5	БЧК	–	0,7	–

ГЛАВА 2. ПЛОТИНЫ

2.1. Классификация плотин

Как отмечалось в предыдущей главе, плотины являются общими гидросооружениями, по целевому назначению относятся к наиболее важным водоподпорным сооружениям.

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 уровней 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 (по сравнению 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. 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, нескальных) 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.

Наконец, плотины могут различаться по конструктивным признакам, о чем более подробно будет сказано далее.

2.2. Характерные уровни воды в верхнем бьефе плотины

В общем случае различают три характерных уровня воды в верхнем (подпертом) бьефе плотины (рисунок 2.1): уровень мертвого объема (УМО), нормальный подпорный уровень (НПУ), форсированный подпорный уровень (ФПУ), который, как правило, возвышается 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.

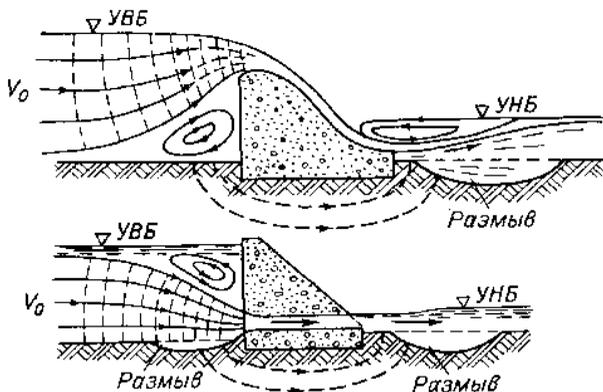


Рисунок 2.1 – Характерные уровни воды в верхнем бьефе плотины 1: I – мертвый объем; II – полезный объем; III – резервный объем

Нормальный подпорный уровень (НПУ) – это наивысший уровень воды, на который рассчитаны подпорные и другие сооружения водохранилища, и при котором возможно обеспечить устойчивую, сколь угодно длительную, нормальную работу всех устройств и сооружений гидроузла.

Уровень мертвого объема (УМО) – это минимальный уровень, до которого можно сработать воду в водохранилище.

Мертвый объем является запасной емкостью, расположенной ниже отметки УМО, рассчитанной на постепенное заполнение наносами вследствие заиливания водохранилища, а также на прочие надобности: зимовку рыбы, обеспечение нормальных санитарных условий, пожаротушение и др.

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. Расположен между отметками НПУ и УМО. Сумма полезного и мертвого объема составляет полный объем водохранилища при НПУ.

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 расчеты». При проектировании плотины отметка НПУ считается заданной.

Резервный объем, располагающийся между НПУ и ФПУ, целиком определяется (при заданной отметке НПУ) отметкой ФПУ и используется обычно для трансформации половодий и паводков. Форсированный подпорный уровень – это такой уровень, при котором через полностью открытые водосбросные отверстия плотины (и имеющиеся береговые водосбросы) проходит максимальный расчетный расход воды. Таким образом, ещё одной функцией водохранилищ является защита от наводнений и селей.

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.

2.3. Действие речного потока на плотину

Кроме тех видов воздействия, которые вода оказывает на любое гидросооружение, 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 (рисунок 2.2).

Для защиты русла от размыва перед плотиной устанавливается специальное покрытие, носящее название понур. Другое назначение понура – борьба с фильтрацией воды под сооружением (рисунок 2.3).

В пределах плотины вода движется с очень большими скоростями (иногда более 20 м/с), оказывая на сооружение динамическое воздействие ввиду возникающих пульсаций потока, его из-

гиба 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.

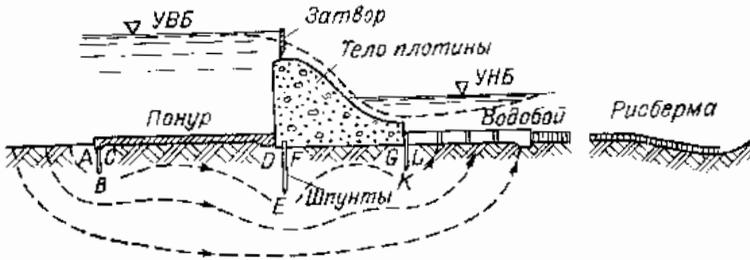


Рисунок 2.2 – Воздействие речного потока на подпорное сооружение и русло

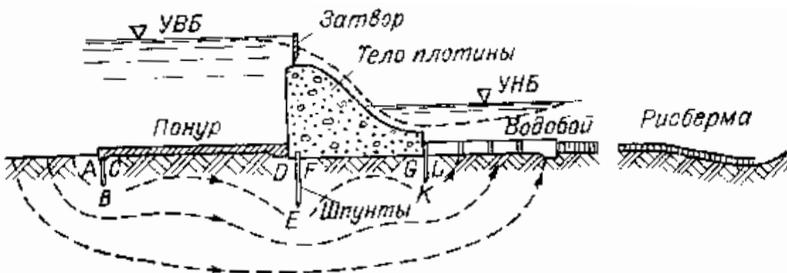


Рисунок 2.3 – Схема защиты плотины от воздействия на нее водного потока

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 благодаря 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 (рисунок 2.3).

2.4. Действие плотины на речной поток

Плотины, образующие водохранилища, особенно крупные, приводят к коренным преобразованиям водного режима, увлажненности и микроклимата прилегающих к ним территорий, вызывая изменение их флоры и фауны. Остановимся на основных изменениях, происходящих выше и ниже плотины в реке и речном русле (рисунок 2.4).

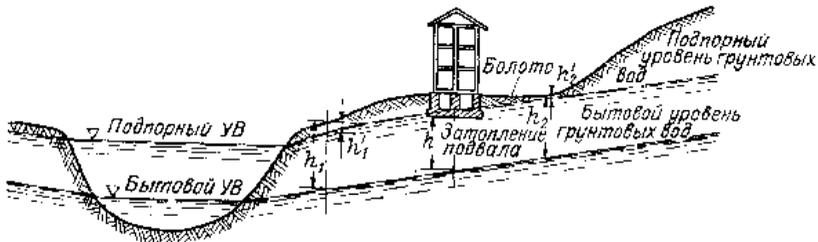


Рисунок 2.4 – Схема подъема уровня грунтовых вод и подтопления земель

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, всплытием торфяников и др.

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, оползней, осыпей и обвалов крутых берегов. Все эти процессы приводят к так называемому перестроению 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 заиливается за относительно короткий срок – за несколько лет; например, подпорный бьеф Земно-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 было почти полностью занесено за 13 лет.

Вместе с тем в литературе приводятся примеры водохранилищ, которые почти не заиливаются; 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 крупных водохранилищ на Волге, Дону и других равнинных реках идет 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 учитывать вопросы 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». Причем 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 ледово-термический 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 строительства 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, поступающее с водой в нижний бьеф, вместе с высокими скоростями потока зимой замедляет формирование за плотиной 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.).

2.5. Фильтрация воды под плотинами

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, после поднятия плотиной 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.

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 называемое обычно противодавлением 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 плотиной водонепроницаемого покрытия, называемого *понуrom*, а под понуrom 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 гидроузла необходимо уметь рассчитывать значения основных параметров фильтрационного потока: его скорости, расходы и противодействия.

2.6. Бетонные и железобетонные плотины

Конструктивные особенности

Плотины по конструктивным признакам и условиям статической работы различают:

- *гравитационные массивные* (рисунок 2.5, а), т. е. плотины, устойчивость которых обеспечивается их собственным весом – горизонтальному 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* (рисунок 2.5, 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* (рисунок 2.5, в), работающие как свод, «положенный на бок» и упирающийся своими пятами в берега;
- *гравитационные облегченные*, т. е. такие плотины, в которых предпринят ряд конструктивных мер с целью экономии дорогостоящего бетона, разумеется, при сохранении необходимой устойчивости сооружения.

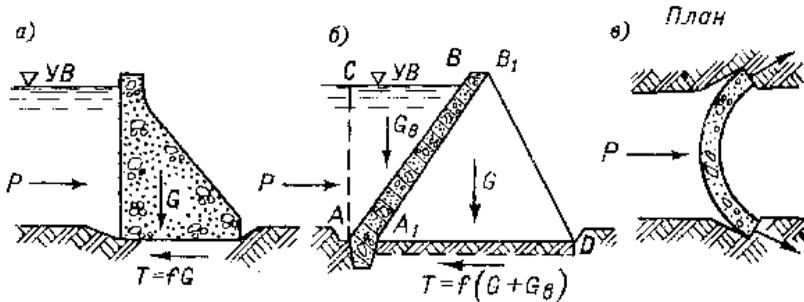


Рисунок 2.5 – Гравитационная (а),
контрфорсная (б) и арочная (в) плотины

Массивные гравитационные плотины

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 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 балласта.

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 таблицах 2.3 и 2.4 приведены характеристики нескольких наиболее известных плотин.

Таблица 2.3 – Некоторые бетонные гравитационные плотины на скальном основании

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

Таблица 2.4 – Некоторые бетонные гравитационные плотины на нескальном основании

Плотина	Год окончания строительства	Наибольший напор на плотине, м
Волжская ГЭС им. В.И. Ленина	1957	29,0
Волжская ГЭС им. XXII съезда КПСС	1961	27,0
Цимлянская на р. Дон	1952	26,5
Верхне-Свирская на р. Свирь	1952	17,0
Днепродзержинская на р. Днепр	1965	15,5
Каховская на р. Днепр	1957	16,5
Нижне-Свирская на р. Свирь	1934	13,5

В заключение отметим, что глухие гравитационные плотины, как правило, строят не на мягких основаниях, а на скальных. 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.

2.7. Силы, действующие на плотины

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 методикам, причем некоторые из них элементарно просты, как, например, расчет гидростатического давления на вертикальную стенку, другие же, как например, определение 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; 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, расположенному 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»).

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.

2.8. Устройство плотин

Форма в плане. Форма плотины в плане может быть прямолинейной или криволинейной. Прямолинейная плотина требует минимальных затрат 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. В этом случае сооружение удовлетворяет трем необходимым техническим условиям, а именно:

- 1) плотина устойчива на сдвиг;
- 2) в теле плотины отсутствуют растягивающие напряжения, которые очень плохо воспринимаются бетоном;

3) максимальное нормальное напряжение в бетоне не превышает допустимого сжимающего напряжения.

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

Расчет размеров теоретического профиля конкретной плотины выполняется для заданных условий, которыми являются высота плотины, коэффициент трения по основанию и коэффициент устойчивости плотины на сдвиг.

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 наносов, сейсмические силы и т. п.).

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, шелемеров, 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 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. 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.

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

2.9. 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 фильтрации (рисунок 2.6). Так, вместо инъекционной завесы здесь забивают шпунты (деревянные или металлические стенки, непроницаемые для воды), которых может быть один 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.

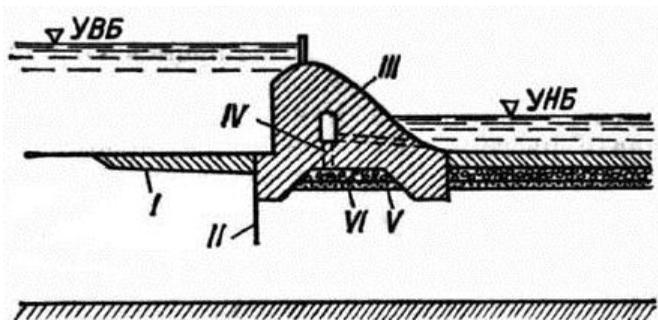


Рисунок 2.6 – Бетонная плотина на мягком основании:
 I – понур; II – шпунт; III – дренажная галерея; IV – дренажный колодец высотой 1–2 м; V – обратный фильтр; VI – дренаж

Железобетонные понуры обычно имеют смысл только при условии, если плотина будет привязана арматурой к понуру, т. е. понур будет анкерным. В этом случае вес воды, лежащей над понуром, будет прижимать его к основанию, причем устойчивость плотины на сдвиг соответственно повысится.

2.10. Облегченные гравитационные плотины

Облегченные бетонные плотины применяют с целью уменьшения объема бетонных работ и удешевления строительства; основные типы этих плотин представлены на рисунке 2.7. Здесь показана плотина с расширенными швами (а), плотина с полостью у основания (б) и плотина с заполнением пустот камнем (в).

Такие плотины могут быть глухими и водосливными, как показано пунктиром на рисунке 2.7. 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 рисунке 7 а, б, получается в основном за счет уменьшения противодавления, передающегося на уменьшенную площадь основания плотины, а в плотине, представленной на рисунке 2.7, в, за счет замены части бетонной кладки камнем.

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

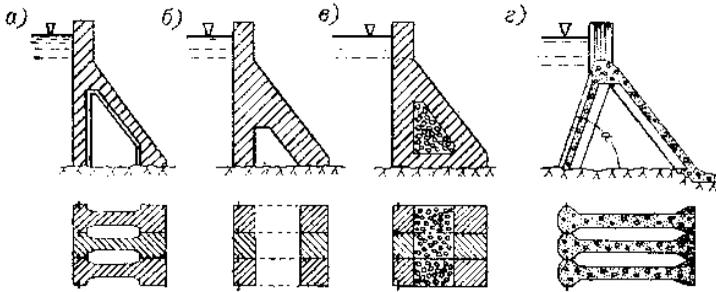


Рисунок 2.7 – Облегченные бетонные плотины:
а – с расширенными швами; *б* – с полостью у основания;
в – с пазухой, заполненной камнем; *г* – массивно-контрфорсная

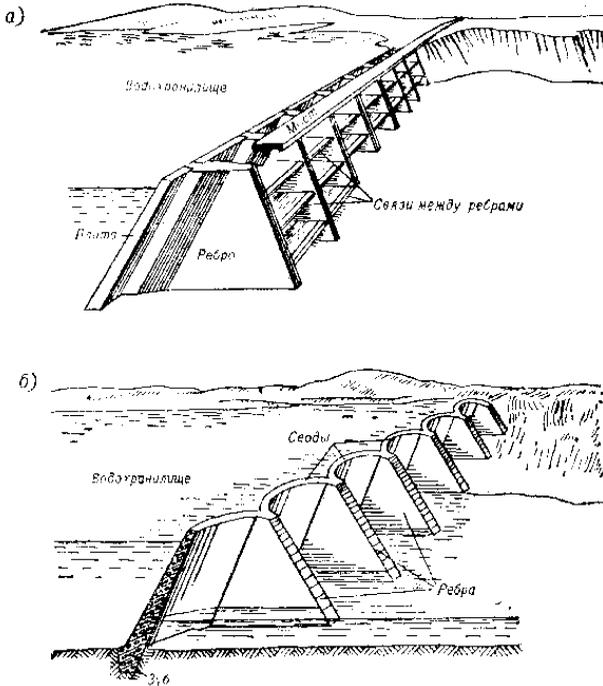


Рисунок 2.8 – Железобетонные контрфорсные плотины:
а – с плоской напорной гранью; *б* – многоарочная

Железобетонные контрфорсные плотины. 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* (рисунок 2.8).

2.11. Арочные плотины

Арочные плотины сооружают исключительно на скальном основании. Как отмечалось в п. 2.1, арочная плотина представляет собой свод, упирающийся своими пятнами в скальные берега. Естественно, что устойчивость такой плотины обеспечивается не силой трения T (см. рисунок 2.5), 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. рисунок 2.5, *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 (рисунок 2.9) 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 по низу (в вертикальном поперечном ее сечении) к высоте плотины H (b/H).

Несколько условно арочные плотины подразделяются на два типа:

а) собственно арочные плотины или тонкие арочные плотины (рисунок 2.9, *а*), в этом случае большая часть гидростатического давления верхнего бьефа передается на берега; такие плотины до последнего времени строились обычно при ширине створа плотины;

б) арочно-гравитационные плотины, когда большая часть гидростатического давления верхнего бьефа передается на скальное основание плотины; такие плотины до последнего времени строились при ширине створа плотины, удовлетворяющей условию.

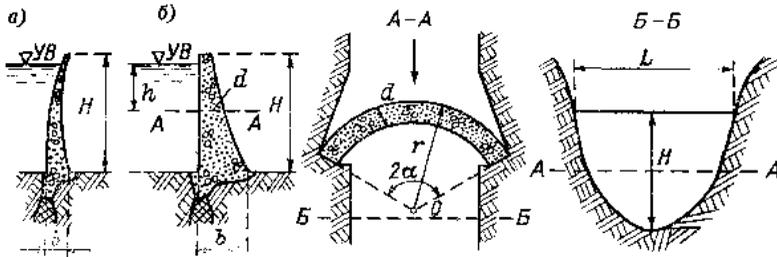


Рисунок 2.9 – Схема арочной плотины: *a* – собственно арочная плотина (тонкая арочная плотина);
б – арочно-гравитационная плотина

По сравнению с гравитационными плотинами арочные имеют меньший объем бетонной кладки. Переходя от варианта гравитационной 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 м бетона в случае арочной плотины получается на 10–15 % выше, чем в случае гравитационной плотины.

В настоящее время высота арочных плотин достигает 235 м (плотина Моувазен в Швейцарии), на р. Ингури – высотой около 273 м и на р. Сулак – Чиркейская плотина высотой 238 м; на Енисее – Саяно-Шушенская плотина высотой 242 м.

Рассматривая примеры построенных плотин, можно отметить, 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.

2.12. Плотины с низким порогом

Во многих случаях при строительстве водоподъемных плотин, предназначенных для улучшения условий водозабора или судоходства, не возникает требований 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* (рисунок 2.10).

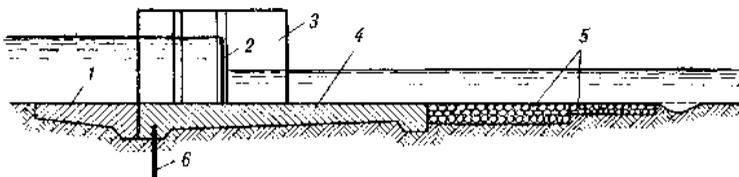


Рисунок 2.10– Схема плотины с флютбетом: 1 – понур; 2 – затвор; 3 – бык; 4 – флютбет; 5 – рисберма; 6 – шпунт

Во избежание истирания флютбета влекомыми наносами, его часто покрывают защитной облицовкой из гранитных камней, чугунных или стальных плит. При проектировании плотин с низким порогом на не скальных основаниях особое внимание надо уделять ограничению размыва в нижнем бьефе. Конструктивные мероприятия, применяемые для этого, определяют на основе расчета, по экспериментам в лабораториях на моделях плотин, с учетом опыта эксплуатации возведенных сооружений.

2.13. Водопускные устройства в теле плотин

Классификация водопускных устройств

По назначению различают следующие водопускные устройства:

1) в о д о с б р о с ы, 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 подать потребителю необходимое количество воды; хозяйственный водоспуск именуют иногда рабочим водоспуском, 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 водопропускные устройства являются постоянными, их называют *эксплуатационными*.

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

Помимо эксплуатационных водопропускных устройств, рассмотренных 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.

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; это отверстие работает как водослив, его иногда именуют также отверстием водосливным, 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 водосливного, т. е. поверхностного отверстия, являющегося в большинстве случаев водосбросом, и водоспускного, т. е. глубинного отверстия, которое может иметь практически любое из указанных выше назначений.

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.

2.14. Устройства нижнего бьефа водосбросных плотин

Русловые и гидравлические процессы в нижнем бьефе

При пропуске воды через плотину вблизи нее в нижнем бьефе поток воды характеризуется большими скоростями. Этот по-

ток, обладая повышенной кинетической энергией, имеет большую размывающую способность.

В случае даже невысокой плотины на нескальном основании, не защищенном каким-нибудь креплением (покрытием), непосредственно за плотиной может образоваться глубокая воронка размыва (рисунок 2.11).

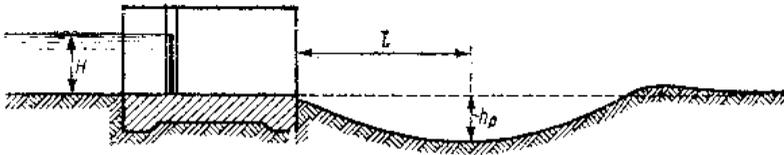


Рисунок 2.11 – Воронка размыва за плотиной

Данные практики показывают, что глубина такой воронки может достигать, например, величины $h_p = (2-3)H$, где H – напор на плотине.

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 плотиной, как правило, покрывают надлежащим креплением, а также иногда углубляют. Чтобы уменьшить стоимость работ по укреплению русла за плотиной, 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 плотиной зависят от типа сопряжения ниспадающей струи с нижним бьефом,

которое может происходить при помощи *отогнутого* 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, случаи отогнутого прыжка рассматривать не будем.

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);

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 рисунке 2.12.

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 или стенки, цель которых состоит не только в механической защите русла от размыва, но и в затоплении прыжка.

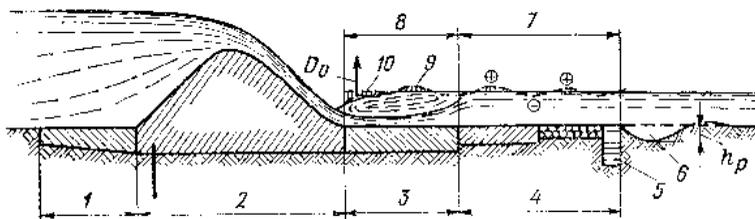


Рисунок 2.12 – Схема поперечного сечения плотины на нескальном основании: 1 – понур; 2 – плотина; 3 – водобой; 4 – рисберма; 5 – концевое устройство рисбермы; 6 – воронка размыва; 7 – послепрыжковый участок; 8 – затопленный прыжок

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. Поток, обтекая эти преграды, распадается на отдельные струи, которые могут соударяться, при этом кинетическая энергия потока будет снижаться.

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

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. Всегда можно ожидать, что в процессе эксплуатации сооружения конец рисбермы будет претерпевать некоторые деформации в связи с вымывом из-под нее грунта основания 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 концевое устройства. Жесткую часть рисбермы делают из бетонных плит, гибкую – из фашинных тьюфяков, каменной наброски и т. п.

2.15. Плотины из грунтовых материалов

Виды грунтовых материалов

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

Плотины из грунтовых материалов почти всегда бывают глухими: 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 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.

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 таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Земляные плотины

Наименование плотины	Год окончания строительства	Наибольшая высота, м	Страна
Андерсон Рэнч	1950	139	США
Плотина ГАЭС	1959	129	Люксембург
Сер-Понсон	1961	122	Франция
Барири	1967	112	Бразилия
Грин Маунтин	1943	94	США
Грэнби	1950	91	США
Винзор	1940	90	США
Сионская	1962	85	Грузия
Качума	1953	84	США
Алькова	1938	81	.
Мингечаурская	1953	80	Грузия
Дир Крик	1941	72	США
Серебрянская № 2	1972	64	Россия
Капчагайская	1972	51	Казахстан
Иркутская	1958	41	Россия

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 (рисунок 2.13):

Как видно из приведенных на рисунке 2.13 схем, поперечное сечение земляной плотины представляет собой обычно трапецию.

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.

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 проницаем 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 *депресссионной 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.

Противофильтрационные устройства (рисунок 2.13) в теле земляных насыпных плотин (экраны, ядра, диафрагмы) выполняются с целью:

- 1) уменьшить фильтрационный расход;
- 2) уменьшить пьезометрические уклоны фильтрационного потока в теле плотины и тем самым повысить ее фильтрационную прочность;
- 3) снизить кривую депрессии в низовой части плотины и тем самым увеличить устойчивость низового откоса плотины, а также избавиться от опасности пучения грунта зимой.

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, тромбованием, вибрированием);

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 брендспойтов» (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:

- о д н о р о д н ы е плотины – песчаные, супесчаные или суглинистые (в том числе лёссовые) ;
- н е о д н о р о д н ы е гравийно-песчаные плотины с ядерной (центральной) зоной, выполненной или глинистым, или песчаным грунтом.

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

- н о р м а л ь н о г о поперечного профиля (с принудительным формированием откоса при помощи дамб обвалования;
- р а с п л а с т а н н о г о поперечного профиля, когда верховой откос формируется в результате свободного растекания пульпы.

Дополнительно различают еще намывные плотины, у которых та или другая часть образована насыпкой грунта или наброской камня намывную плотину с боковыми каменно-набросными призмами – банкетами).

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.

Плотины из каменной наброски и сухой кладки

Различают следующие основные типы этих плотин:

- 1) каменно-набросные плотины с экраном;
- 2) каменно-набросные плотины с диафрагмой;
- 3) плотины из сухой кладки.

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 материала, так же как и каменно-набросные плотины, требуют обязательного создания противифльтрационного устройства.

Перечень некоторых каменно-набросных плотин приведен в таблице 2.6.

Наиболее крупные камни стремятся укладывать у линии откосов. Сухую кладку камня выполняют без раствора, 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.

Таблица 2.6 – Каменно-набросные плотины

Название плотины	Год окончания строительства	Наибольшая высота, м	Страна
Парадела	1956	110	Португалия
Солт Спрингс	1931	101	США
Кортрайт	1958	97	США
Уишон	1958	90	США
Дикс Ривер	1925	84	США
Сан Габриэл № 2	1937	78	США
Лауэр Бэр Ривер	1952	76	США
Коготи	1931	75	Чили
Фад	1968	68	Франция
Караун	1965	66	Ливан
Орто-Токойская	1953	59	Кыргызстан

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; 2) плотины с ядром; 3) плотины с верховой земляной (грунтовой) призмой; 4) плотины с центральной земляной (грунтовой) призмой.

Главнейшей особенностью каменно-земляных плотин является сопряжение земляной ее части с каменнонабросной. В месте этого сопряжения приходится располагать особый элемент тела плотины или в виде обратного 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 (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Каменно-земляные плотины

Название плотины	Год окончания строительства	Наибольшая высота, м	Страна
Нурекская	1980	300	Таджикистан
Майка	1981	240	Канада
Оривил	1967	224	США
Беннетт	1967	183	Канада
Чарвакская	1981	168	Узбекистан
Тринити	1961	164	США
Кремаста	1966	163	Греция
Мирабо	1960	130	Япония
Виллойская	1968	75	Россия

2.16. Водопрпускные сооружения вне тела плотины

Общие положения

Размещение в плотине водопрпускных устройств – 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 водосбросы;

б) при плотинах арочных, многоарочных и контрфорсных, устройство водосбросов, в теле которых встречается некоторые конструктивные трудности;

в) при определенных топографических условиях створа гидроузла, удобных для сброса воды в соседнюю долину.

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:

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

Подходной канал делают с горизонтальным дном или дном, имеющим обратный уклон. Скорости воды в этом канале обычно 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 не превышала максимально допустимую скорость, зависящую от материала стенок канала.

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

Быстроток представляет собой канал большого уклона, значительно превышающий критический. Поток в пределах быстротока находится в бурном состоянии.

Многоступенчатый перепад, как правило, строят колодезный. Здесь, в отличие от быстротока, энергия потока по длине сбросного устройства гасится относительно равномерно. Размеры ступеней перепада определяют гидравлическим расчетом. Многоступенчатый перепад можно устраивать при определенных уклонах местности и в случае нескального грунта. Эти перепады при-

меняются только для плотин небольшой и средней высоты. Как правило, более экономичным сооружением является быстроток.

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 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 устраивают боковой отвод, направленный вдоль гребня 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. 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 в узких скальных ущельях с крутыми склонами, неблагоприятными для осуществления других типов водосбросов. При определенных условиях этот водосброс может пропускать весьма большие расходы воды.

Транзитная часть водоспускного сооружения, имеющего глубинное входное отверстие, может быть выполнена в виде

а) туннеля (напорного или безнапорного), устраиваемого в основании плотины или в берегах (обычно в скальном грунте);

б) бетонной галереи, напорной или безнапорной, построенной в открытой выемке под плотиной (до ее возведения на поверхности материкового грунта);

в) так называемой «сухой галереи» (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);

2) с затворами, расположенными в средней части водопропускного тракта в шахтах (шахтные водоспуски).

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.

2.17. Деревянные плотины и плотины из прочих строительных материалов

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 плотиностроении, являются: легкость обработки и простота конструкций, упругость, малая чувствительность к колебаниям температуры, хорошая сопротивляемость разрывающему 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 разрушению 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.

2.18. 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*, устраиваемые до напоров 2–3 м; б) *стланевые плотины*, выполняемые из свежесрубленных деревьев с ветвями и листвой; их устраивают высотой до 5,0 м; в) *габионные плотины*, они образуются из проволочных (сетчатых) «ящиков», заполненных камнем, называемых габионами; их высота достигает 5 м и более.

Разборчатые плотины используются для производства ремонтных работ на шлюзах, в доках и для создания на небольших водотоках сезонных водохранилищ с целью удовлетворения разнообразных потребностей сельского хозяйства.

1. Г и б к и е п е р е п о н ч а т ы е (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. П л о т и н ы т и п а К о р и ц к о г о (называемые также плотинами Пуаре). Их устройство таково: на бетонном флютбете на шарнирах установлены 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.

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

ГЛАВА 3. МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПЛОТИН

3.1. Общие сведения

Механическое оборудование плотин служит для открытия и закрытия устраиваемых водопропускных отверстий. Различают следующие основные виды механического оборудования плотин:

1) **з а т в о р ы**, служащие непосредственно для закрытия и открытия водопропускных отверстий плотин;

2) **з а к л а д н ы е ч а с т и з а т в о р о в**, 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) **п о д ъ е м н о - о п у с к н ы е м е х а н и з м ы** – 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) **с л у ж е б н ы е м о с т ы**, 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 соответ-

ствующей 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.

3.2. Поверхностные затворы

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 (рисунок 3.1, *а-г*); б) затворы, передающие давление воды на порог плотины (рисунок 3.2, *д-ж*); в) затворы, передающие давление и на порог, и на быки (рисунок 3.1, *з, и*).

По способу передвижения и связанным с ним конструктивным особенностям различают несколько десятков различных видов водосливных затворов. На рисунке 3.1, *а-г* 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 низовой осью вращения; при открытии отверстия затвор 1, вращаясь относительно оси 2, опускается в камеру 3;

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

ж – крышевидный затвор (Дахвер); в области 5 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 на плаву в горизонтальном положении к месту установки (к перекрываемому пролету плотины); выдвигаемые 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 тросах 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.

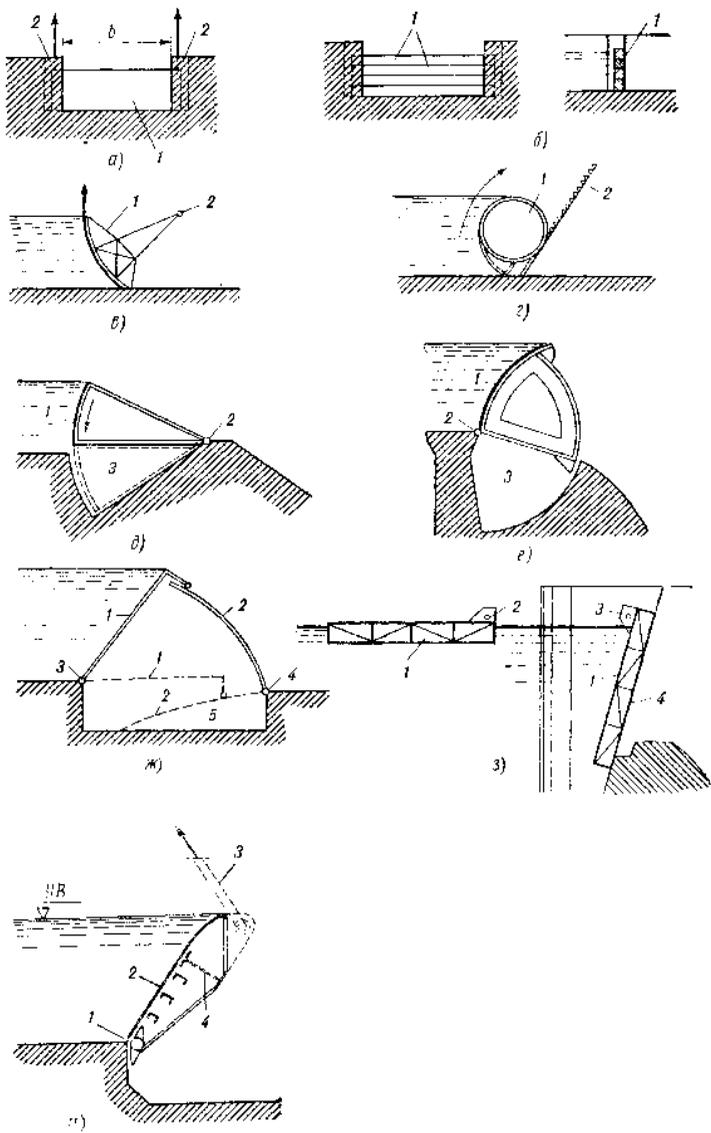


Рисунок 3.1 – Схемы некоторых поверхностных (водосливных) затворов (пояснения в тексте)

С целью улучшения условий эксплуатации затворов, их делают иногда составными, состоящими, 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 65 % случаев применяют плоские затворы и в 29 % случаев – сегментные.

3.3. 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, а иногда из арктилита или дерева.

В простейшем случае металлическая несущая конструкция представляет собой балочную клетку, состоящую:

а) из горизонтальных балок; эти балки называются *ригелями*, они являются главными балками; б) из вертикальных балок, называемых *стойками*.

З а т в о р ы с к о л ь з я щ е г о т р е н и я. Опорно-ходовые части этих затворов выполняют из дерева или металла. 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;

К о л е с н ы е з а т в о р ы. С целью уменьшения мощности подъемных механизмов к опорным стойкам прикрепляют колеса или колесные тележки, которые должны катиться (при маневрировании затвором) по рельсу (по неподвижной закладной части).

В случае колесного затвора сопротивление движению слагается:

а) из трения качения по рельсу и б) из трения скольжения между колесом и его осью; для уменьшения трения скольжения иногда устраивают роликовые подшипники.

К а т к о в ы е з а т в о р ы («щиты Стонея»). В этих затворах опорные стойки опираются в каждом из пазов на ролики (катки),

соединенные рамой, подвешенной на цепи (или тросе), концы которой 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.

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

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 заграждение 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 текучую воду перед поднятым основным затвором, если его «заело» в пазах, и поэтому аварийные затворы делают колесными, так как трение качения примерно в 5–7 раз меньше трения скольжения.

Сегментный металлический затвор 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 ригели 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 центр их вращения. Ось шарнира помещают на такой высоте, чтобы при пропуске всех расходов шарнир не был затоплен. Радиус сегментного затвора R принимают равным:

$$R = (1,2 - 2,5) H,$$

где H – высота затвора, т. е. напор.

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 шириной 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.

3.4. Подъемно-опускные устройства затворов

Различают затворы *гидравлического действия*, приводимые в движение давлением воды, поступающей из верхнего бьефа в особые камеры 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 и им подобные – для малых затворов; б) лебедки, которые могут приводиться в движение либо электродвигателем, либо вручную; в) гидравлические домкраты (гидроподъемники).

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 на плотинах устраивают редко.

Хотя эти краны и дешевле порталных, но они требуют сооружения колонн.

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 быстро нарастающих паводков; 2) при наличии этих механизмов относительно легко осуществлять дистанционное управление затворами; 3) в случае затворов, требующих принудительной посадки, 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.

3.5. 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 может быть автоматизировано, что позволяет обходиться без оперативного персонала.

Перечисленные эксплуатационные условия обеспечиваются не только самой конструкцией принятого механического оборудования, но и надлежащей его эксплуатацией, 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, что увеличивает «вес» затвора;
- д) возникновения 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;
- з) всплывающих пузырьков воздуха;
- и) 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 теплоизоля-

цию обшивки затвора; 3) обогреть отдельные части механического оборудования; 4) подготавливать специальную смазку для оборудования, эксплуатация которого будет проходить при низких температурах.

3.6. 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.

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.

ГЛАВА 4. ВОДОЗАБОРЫ И ВОДОВОДЫ

4.1. Речные водозаборы

Общие сведения. Ранее 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.

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 (рисунок 4.1) и плавающими, т. е. расположенными на соответствующих понтонах.

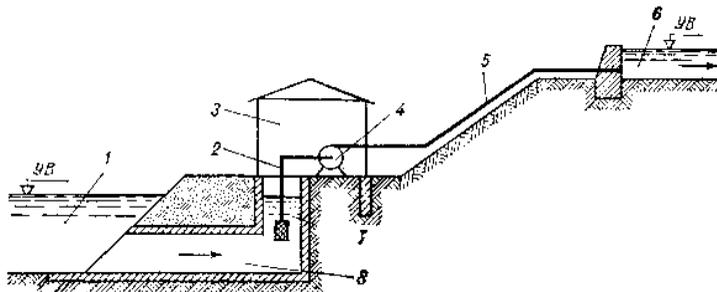


Рисунок 4.1 – Схема машинного речного водозабора:
1 – река; 2 – всасывающая труба; 3 – насосная станция;
4 – насос; 5 – напорная труба; 6 – магистральный оросительный канал; 7 – береговой колодезь; 8 – самотечная галерея

Если вода в водозабор поступает при бытовых ее уровнях 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) допускать 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, примерно параллельно течению реки; 2) водозаборы с фронтальным забором воды (фронтальные водозаборы), когда входное отверстие водозабора располагается в плоскости примерно нормально к течению реки.

4.2. 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; причем получается особый фронтальный водозабор, называемый шпорным водозабором. Шпора образует карман, в этом кармане, имеющем достаточную длину, задаются сравнительно малые уклоны свободной поверхности потока, благодаря чему уровень воды в области кармана оказывается выше уровня воды реки.

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.

Выбирая место для водозабора, необходимо также обращать внимание на устойчивость откосов берега, на его доступность и незатопляемость. Сам головной шлюз представляет собой ту же плотину с низким порогом или вовсе без нее, т. е. флютбет. 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 порогом, иногда устраивают специальные промывные галереи.

4.3. 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 сле-

довательно, иметь возможность трассировать магистральный канал оросительной системы по более высоким отметкам местности (увеличивая тем самым орошаемую площадь).

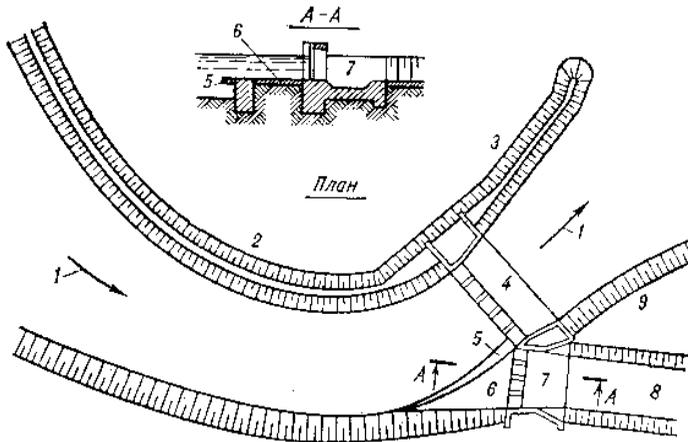


Рисунок 4.2 – Схема водозабора Ферганского типа:
 1 – река; 2 – криволинейная дамба; 3 – струенаправляющая дамба; 4 – плотина; 5 – выносной полок; 6 – криволинейный порог шлюза; 7 – головной шлюз; 8 – канал; 9 – берег

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 водопропускных отверстий, перекрываемых затворами, для регулирования количества воды, подаваемой в канал; 2) промывные устройства для удаления от порога отложившихся донных наносов; 3) отстойники для задержания взвешенных и тех донных наносов, которые не будут задержаны входным порогом; 4) решетки на входе в водозабор для защиты канала от внутриводной взвеси; 5) специальные элементы, устра-

иваемые 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.

4.4. Отстойные бассейны (отстойники)

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 небезразличны к количеству и крупности наносов. Попадая в каналы, транспортирующая способность которых обычно меньше транспортирующей способности реки, наносы начинают выпадать из воды, заливая 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 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 водовода (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 транспортирующей его способности (т. е. чтобы канал не заилился). Необходимо подчеркнуть, что и переосветление воды в отстойнике является нежелательным, так как в этом случае в нижерасположенных 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 с диаметром частиц

$$d \geq 0,10 \div 0,01 \text{ мм}$$

или даже

$$d > 0,05 \div 0,01 \text{ мм.}$$

Отстойники гидроэлектростанций в современных условиях обычно проектируют на удержание наносов крупностью $d \geq 0,25 \div 0,50$ мм.

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.

Однокамерный отстойник, соединенный с каналом последовательно (рисунок 4.3). 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.

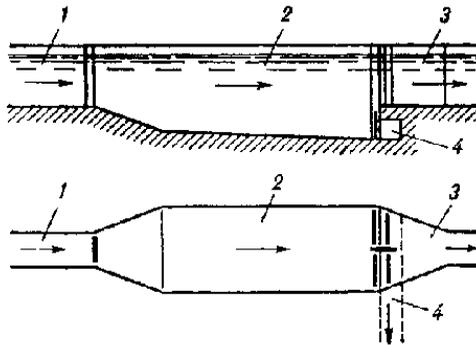


Рисунок 4.3 – Однокамерный отстойник с периодическим промывом, соединенный с каналом последовательно: 1 – подводящий канал; 2 – отстойный бассейн; 3 – отводящий канал (от отстойника); 4 – промывная галерея (пульповод)

Однокамерный отстойник, соединенный с каналом параллельно (рисунок 4.4). Здесь во время промывки отложившихся в отстойнике наносов вода из подводящего канала 1 подается в отводящий канал 6 по специально устроенному обводному каналу 4 (в обход отстойной камеры), причем во время промывки отстойника в канал 6 подается неочищенная вода.

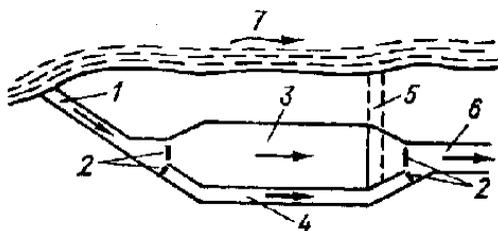


Рисунок 4.4 – План однокамерного отстойника с периодическим промывом, соединенного с каналом параллельно: 1 – подводящий канал; 2 – затворы; 3 – отстойный бассейн; 4 – обводный канал; 5 – промывная галерея; 6 – отводящий канал; 7 – река

Двухкамерный отстойник, соединенный с каналом последовательно (рисунок 4.5). В этом случае, когда одна камера выключается из работы для промыва наносов, другая работает, очищая поток от наносов.

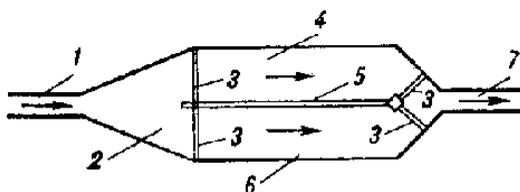


Рисунок 4.5 – Двухкамерный отстойник с периодическим промывом (промывные галереи не показаны): 1 – подводящий канал; 2 – аванкамера; 3 – затворы; 4 – первая камера; 5 – раздельная стенка; 6 – вторая камера; 7 – отводящий канал

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.

Некоторые авторы рекомендуют основные размеры горизонтального отстойника – его длину S и глубину воды h в начале

отстойника (еще не заполненного наносами) – связывать следующим соотношением:

$$S = (1,2 - 1,5) hv / w_0,$$

где гидравлическая крупность w_0 для частиц заданного размера принимается равной (в см/с), например (при $t = 15^\circ \text{C}$ и плотности материала частиц $\nu = 2,65 \text{ т/м}^3$) для фракций крупности:

$$d < 2 = 0,50 \text{ мм}, \quad w_0 = 5,24,$$

$$d = 0,30 \text{ мм}, \quad w_0 = 3,00,$$

$$d = 0,20 \text{ мм}, \quad w_0 = 1,88,$$

$$d = 0,10 \text{ мм}, \quad w_0 = 0,58.$$

Что касается скорости v движения воды в отстойной камере, еще не заполненной наносами, то часто такую скорость принимают (при осаждении фракций крупностью $d = 0,25-0,50 \text{ мм}$)

$$v = 0,20-0,50 \text{ м/с}.$$

Глубину воды в начале отстойника находят по формуле

$$h = Q_{\text{раб}} / vB,$$

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 этому соотношению в некоторых пределах можно изменять и скорость движения воды в отстойнике. Очевидно, что при заданном h , принимая большую скорость v , будем получать более длинные и более узкие отстойники.

Задаваясь различными сочетаниями v , B , h , удовлетворяющими условию

$$vBh = Q_{\text{раб}},$$

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 (рисунок 4.6) 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, 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.

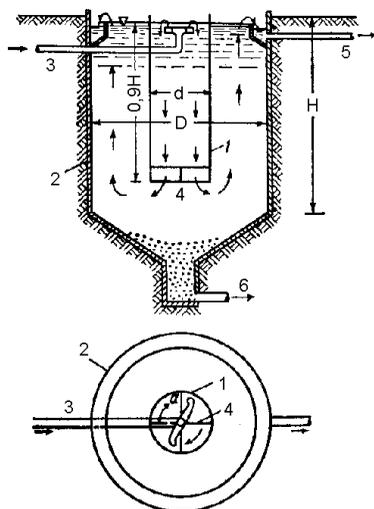


Рисунок 4.6 – Вертикальный отстойник: 1 – внутренний бак; 2 – наружный бак; 3 – подводящая труба; 4 – успокоитель; 5 – отводящая труба чистой воды; 6 – грязеспуск

В некоторых случаях для ускорения осаждения взвеси в отстойниках, а также для осаждения коллоидных частиц, которые в обычных отстойниках не могут осадиться, применяют коагулирование. 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 5. ВОДОПРОВОДЯЩИЕ СООРУЖЕНИЯ

5.1. 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.

5.2. Каналы и лотки

Классификация. По назначению каналы делятся на: 1) *энергетические*, или гидросиловые – подводят воду из реки, водохранилища, озера к гидроэлектростанциям или отводят от них отработавшую воду; 2) *оросительные* – обычно образуют оросительную систему, состоящую из разветвленной сети каналов, выполняющих различные хозяйственные функции и поэтому имеющие 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; 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.

Лотки могут иметь любое из указанных выше назначений, кроме судоходного и осушительного.

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.

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.

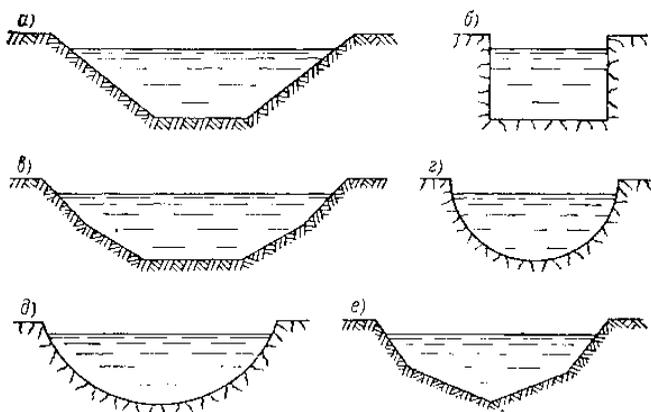


Рисунок 5.1 – Формы живых сечений каналов:
 а – трапецидальная; б – прямоугольная; в – полигональная;
 г – полукруглая; д – параболическая; е – ложбинообразная

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 разных уровнях по отношению к поверхности земли: каналы, устроенные в выемке различной глубины, в полувыемке-полунасыпи и полностью в насыпи.

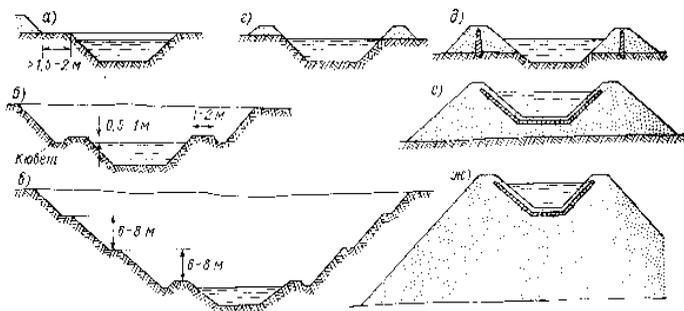


Рисунок 5.2 – Расположение сечения канала по отношению к поверхности земли (а – ж)

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.

5.3. 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 климатических 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.

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; нефтевание – в виде поливки грунта нефтью или смесью нефти с известковым молоком; упрочнение грунта применением цемента, 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 и дну каналов. Для защиты от механических повреждений и температурных влияний экраны покрывают защитным слоем.

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.

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.

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 дрена с выпусками воды из них в понижения местности.

5.4. 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; неурегулированный режим наносов реки или ручья приводит к отложению наносов в канале в месте пересечения его с рекой и нарушает условия его эксплуатации.

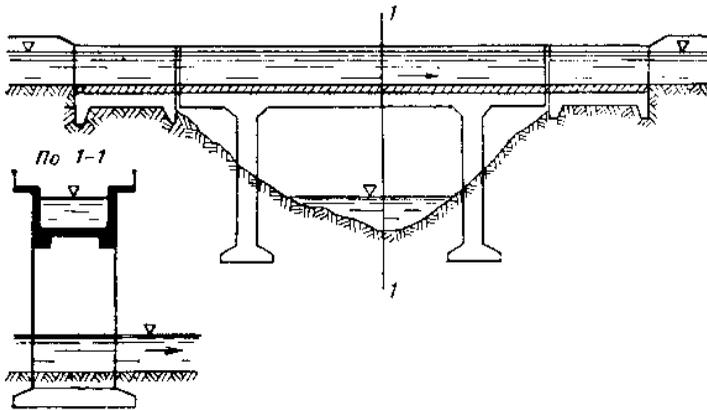


Рисунок 5.3 – Мост-канал (акведук)

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 (рисунок 5.3); 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 (рисунок 5.4).

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 (рисунки 5.3, 5.4).

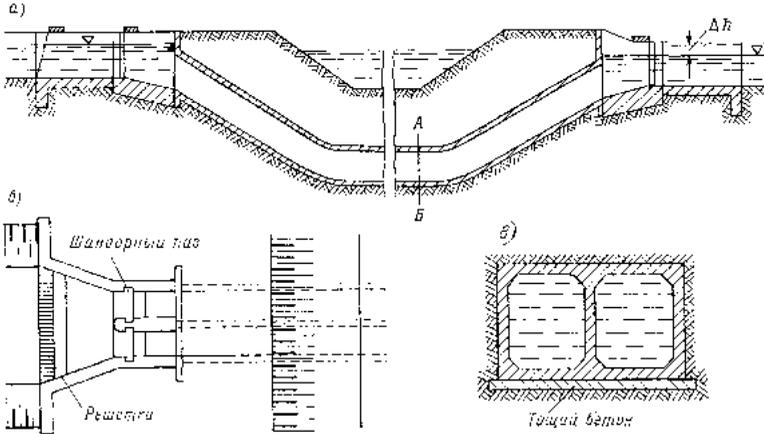


Рисунок 5.4 – Дюкер

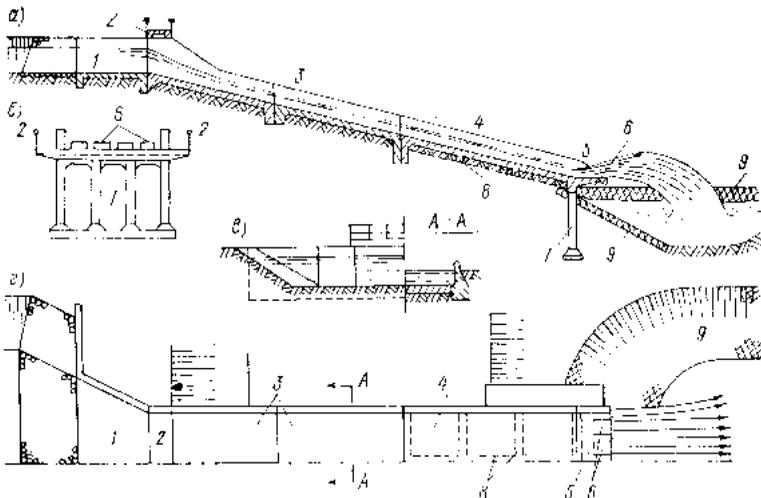


Рисунок 5.5 – Быстроток с консольным перепадом

В местах резкого изменения продольного уклона канала, вызванного перепадом отметок местности, устраивают сопрягающие сооружения, которые выполняют в виде быстротоков или ступенчатых перепадов согласно схемам, показанным на рисунке 5.5. Разумеется, на судоходных каналах таких сооружений не делают.

Важнейшими видами сооружений, необходимых для эксплуатации, главным образом, оросительных и водопроводных каналов, являются шлюзы регуляторы и вододелители, которые направляют в местах разветвления канала на отдельные водоводы. Шлюз-регулятор конструктивно представляет собой низконапорную плотину с затворами и порогом обычно на отметке дна ложа канала, т. е. флютбет, он позволяет регулировать расходы воды в канале и в ответвлениях от него, а также полностью закрывать его (рисунок 5.6).

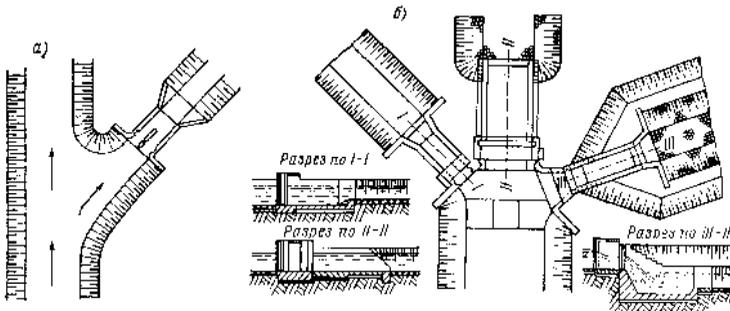


Рисунок 5.6 – Схемы шлюзов-регуляторов

Вододелители представляют собой упрощенные регуляторы без затворов, но с фиксированным отношением расходов, пропускаемых по главному каналу и ответвлению, например, в соотношении 2: 1; 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.

Лотки устраивают вместо небольших каналов там, где рельеф сложен, сильно пересечен, геологические условия неблаго-

приятны для канала и где устройство канала требует крупных земляных работ и обходится дороже, чем устройство лотка.

Таблица 5.1 – Параметры некоторых крупных каналов Кыргызстана

Название канала	Река	Год ввода	Длин, км	Уклон дна, ‰	Расход, м ³ /с
Западный БЧК	Чуй	1954	147	0,1–0,3	57
Восточный БЧК	Чуй	1957	97	0,14	58
БТК	Талас	1966	60	0,35	23
Краснореченский	Красная	1927	37	0,2–0,7	12
Чоң	Ашмара	1931	29	0,3–0,4	5
Кара-Ой	Кызарт	1973	27	10–50	2,1
Ногой	Кюркюрёо	1936	23	2–8	9
Араван-Акбуура	Ак-Буура	1968	22	3–15	15
Туш	Ала-Арча	1967	19		5
Кызыл-Жылдыз	Оттук	1967	16		1
Чоң	Кара-Балта	1972	16	3–1	8
Кайырма	Тугөл-Сай	1980	15	20–8	4,5
Кум-Арык	Жарды-Каинды	1960	14	5–20	5
Жоон	Чоң-Каинды	1936	13		4
Калининский	Кара-Кече	1955	13		2,5
Кайырма	Жоон-Арык	1976	12	10–30	10,6
Топан-Арык	Өттүк	1976	12	4,2–6,7	7
Первое мая	Талас	1974	12	6–20	2,5
Казан-Куйган	Кегети	1967	12		0,7
Увам	Талас		12	4–12	18
Ден	Кегети	1978	10		4,5
Кадыраалы	Кель-Укёк	1978	9	32,5–36	6,7
Калмак	Талас	1980	8,4	04–0,5	2,5

Туннели устраивают в тех случаях, когда водовод должен быть проложен так глубоко под земной поверхностью, что открытая выемка или какой-либо обход данного места значительно дороже туннеля, а также когда трасса водовода должна пройти по

осыпающемуся или оползающему крутому склону или по склону, подверженному действию лавин в горных районах. По водохозяйственному назначению гидротехнические туннели, как и другие водоводы, подразделяются на: 1) энергетические, подводящие к гидроэлектростанции воду или отводящие её; 2) оросительные и обводнительные; 3) водопроводные; 4) судоходные и лесосплавные; 5) водосбросные (в гидроузлах); 6) строительные, устраиваемые для временного отвода реки от места постройки гидроузла, 7) комплексного назначения.

В Кыргызстане, как и в любой другой стране с аридным климатом, широко развито орошаемое земледелие, и потому, естественно, весьма большое значение имеет искусственная оросительная система, состоящая из густой сети, как крупных межбассейновых магистральных, межхозяйственных каналов, так и небольших внутрихозяйственных и поселковых каналов и арыков. Общая суммарная протяженность только каналов, без учета арыков, превышает 32 тысячи километров. На оросительные потребности в них забирается 15–20 % общего речного стока республики.

Поперечное сечение каналов выполняется различной формы в зависимости от топографических, геологических, климатических условий. В мягких грунтах каналы обычно выполняют трапецеидального сечения. Для снижения потерь воды на фильтрацию в грунт многие каналы облицовывают, либо выполняют из бетона. Параметры некоторых крупных каналов Кыргызстана приведены в таблице 5.1.

5.5. 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 её; 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 наиболее выгодным.

Для энергетических трубопроводов экономичные скорости находятся обычно в пределах 2–6 м/с.

5.6. Учет воды на водозаборах

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. Сырдарьи теперь практически не доходят до Аральского моря; полностью разбираются в основном на орошение и другие, менее крупные реки Центральной 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.

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 гидрометри-

ческой 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 воды 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, 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 сооружения.

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–Офицерова, пропускную способность сооружения следует определять по зависимости

$$Q = \varepsilon \varphi a b \sqrt{2g(H - a/2)},$$

а при подтопленном истечении можно воспользоваться уравнением

$$Q = \mu ab \sqrt{2gz},$$

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, справочные данные и даже испытания на моделях не всегда позволяют учесть все особенности и факторы, влияющие на пропускную способность сооружений.

ГЛАВА 6. ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НА ГЭС

6.1. Мощность и энергия речного потока

Масса воды, проходящей по руслу 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 падение (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 перекатывании 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 имеет падение H_p м, расход Q_p м³/с, среднюю скорость v , м/с и постоянную площадь живого сечения ω , м². В этом случае

$$Q_p = \omega v \text{ м}^3/\text{с}.$$

Мощность речного потока в кВт будет равна

$$N_p = 1000 Q_p H_p / 102 = 9,81 Q_p H_p.$$

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. 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 вводят дополнительные множители, выражающие собой КПД водоподводящих сооружений η_c , водяной турбины η_m , и электрического генератора η_e . При этом формула мощности гидроэлектростанции принимает вид

$$N_{гэс} = 9,81 Q_{гэс} \eta_c \eta_m \eta_e.$$

Произведение $H_p \eta_c$ является напором ГЭС $H_{гэс}$ (сосредоточенным падением реки, используемым ГЭС); он всегда меньше H_p (падение используемого участка реки). Средние значения КПД электрического генератора ГЭС 0,95–0,97. Средние значения КПД крупных водяных турбин 0,86–0,88.

В предварительных расчетах общий КПД $\eta_m \eta_e$ принимают равным 0,75, и формула мощности ГЭС записывается следующим образом:

$$N_{гэс} = 9,81 Q_{гэс} H_{гэс} 0,75 = 7,3 Q_{гэс} H_{гэс}.$$

Мощность крупных ГЭС, где КПД $\eta_t \eta_r$ имеют обычно более высокие значения, определяется по формуле

$$N_{гэс} = (8,3 \div 8,5) Q_{гэс} H_{гэс}.$$

Суммарную мощность установленных на ГЭС гидроагрегатов называют установленной мощностью. Выработка энергии ГЭС за период времени T при переменной мощности $N_{гэс}$ определяется формулой

$$Э_{ГЭС} = \int_0^T N_{ГЭС} dt$$

или

$$Э_{ГЭС} = \sum_0^T N_{ГЭС} \Delta T,$$

где $N_{гэс}$ – 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 $W_{гэс}$, м³, прошедшего за год через турбины ГЭС:

$$\mathcal{E}_{ГЭС} = W_{ГЭС} H_{ГЭС} \eta_T \eta_G / 367,2$$

6.2. 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, распределенных по значительной длине водотока, прибегают к искусственному сосредоточению перепада. Такое сосредоточение может быть осуществлено различными способами.

Плотинная схема (рисунок 6.1, 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 в качестве регулирующей емкости, позволяющей периодически создавать запасы воды и более полно использовать энергию водотока.

Деривационная схема (рисунок 6.1, 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.

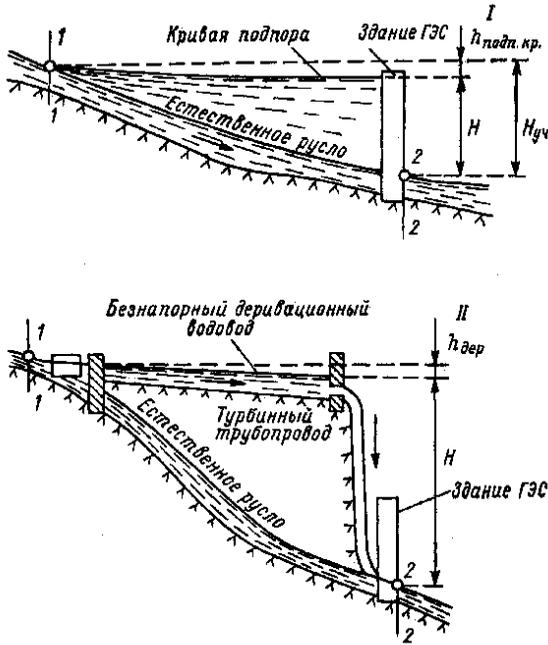


Рисунок 6.1 – Принципиальные схемы гидроэлектростанций: I – приплотинная; II – деривационная

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 также более выгодны, так как каналы больших сечений оказываются дороже плотин.

Расходы воды, используемые в плотинных ГЭС, в настоящее время достигают $14000 \text{ м}^3/\text{с}$ (Волжская ГЭС на р. Волга). 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 Райссек 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 достигает 600 м, а самый большой расход 700 м³/с на Нарвской ГЭС.

Выбор схемы использования водотока – один из сложных вопросов гидроэнергетики, и выполняется на основе технического и экономического сопоставлений ряда возможных вариантов. В таблице 6.1 представлены основные характеристики ГЭС республики.

Таблица 6.1 – Характеристики некоторых ГЭС Кыргызстана

Показатель	Токто-гульская	Курпсайская	Ташкентская	Шамалдысай	Учкоргонская
Дата пуска в эксплуатацию, гг.	1975–1976	1981–1982	1985–1987	1992–1995	1961–1962
Установленная мощность, МВт	1200	800	450	240	180
Среднегодовой выработка эл/эн млн кВт.ч	4100	2630	1555	902	820
Напоры, Н м					
максимальный	180	106	58,5	31	36
минимальный	110	90,5	40	25,2	18,5
расчетный	140	91,5	50	26	29
Площадь зеркала водохранилища, при НПУ, км ²	284,3	12,0	7,8	2,4	4,0
Полный объем водохранилища при НПУ, млн м ³	19500	370	140	39,4	52,5

Продолжение таблицы 6.1

Полезный объем водохр., млн м ³	14000	35	10	5,42	20,9
Высота плотины, м	215	113	75	27	56
Длина плотины по гребню, м	292,5	360	336,5	250	2882 з 118бт
Характер регулирования	Много-летнее	Недельное	Недельное	Суточное	Суточное
Тип плотины	Гравитационно-бетонная	Гравитационно-бетонная	Гравитационно-бетонная	Грунто-вая	Бетонно-земляная

Продолжение таблицы 6.1

Показатель	Камбар-Ата 1	Камбар-Ата 2	Атбашин-ская	Лебединов-ская
Дата пуска в эксплуатацию	В проекте	2011-	1970	1943
Установленная мощность, МВт	1900	360	40	7,6
Среднеголет. выработка эл/эн млн кВт.ч	5114	1148	350	65
Напоры, Н м максимальный минимальный расчетный	235 136,8 166,5	54,8 45 47,5	74 62,3 70,4	26,8
Площадь зеркала водохранилища, при НПУ, км ²	56,0	3,3	1,0	Деривационная
Полный объем водохранилища при НПУ, млн м ³	4650	70	9,6	-//-
Полезный объем водохр., млн м ³	3430	8	6,5	-//-
Высота плотины, м	275	60	79	-//-
Длина плотины по гребню, м	280	190	55	Дерив. 1360 м
Характер регулирования	Суточное	Недельное	Недельное	-//-
Тип плотины	Взрывона-бросная	Взрыво-набросная	Грунтовая насыпная	Деривационный канал

6.3. Оборудование гидроэлектростанций

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, 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 выше оборудования, рассмотрим более подробно конструкции турбин.

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.

Активные турбины. Общая схема активной водяной турбины такова. 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.

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 поворотнo-лопастные (ПЛ). Реже применяются пропеллерные турбины (ПР) (рисунок 6.2). У турбин РО лопасти рабочего колеса неподвижно закреплены на ободке, а у турбин ПР – на втулке. У турбин ПР лопасти

могут вращаться в цапфах и в зависимости от напора и расхода занимать положение, обеспечивающее наибольший коэффициент полезного действия турбины. Разновидностью поворотнo-лопастной турбины являются: двухперовая турбина, у которой к одной цапфе прикреплены две лопасти, и диагональная поворотнo-лопастная турбина.

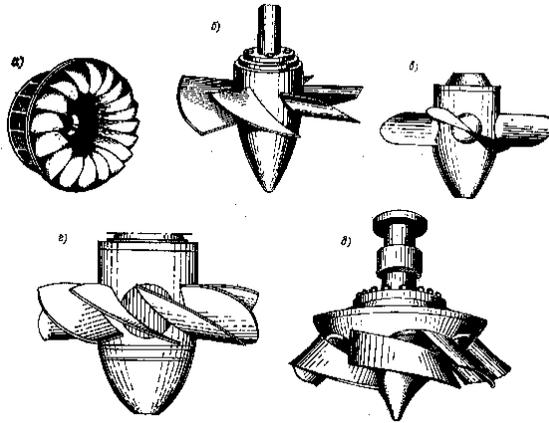


Рисунок 6.2 – Рабочие колеса реактивных турбин:
 а – радиально-осевой; б – пропеллерной; в – поворотнo-лопастной; г – двухперовой поворотнo-лопастной;
 д – диагональной поворотнo-лопастной

Гидротурбинная установка с реактивной турбиной 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 Кыргызстане и СНГ повсеместно частота переменного тока составляет 50 периодов в секунду). Поэтому число оборотов турбины в минуту не может быть произвольным, а выбирается по конструкции генера-

тора. На многих 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 %.

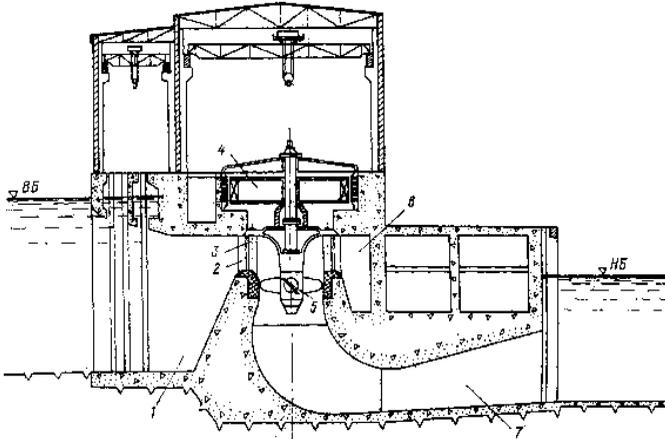


Рисунок 6.3 – Гидротурбинная установка с реактивной турбиной: 1 – камера водоприемника; 2 – статор турбины; 3 – направляющий аппарат; 4 – генератор; 5 – рабочее колесо турбины; 6 – турбинная (спиральная) камера; 7 – отсасывающая труба

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.

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 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 **закрытых** камерах, обеспечивающих равномерную подачу воды по всей окружности направляющего аппарата (см. рисунок 6.3). С этой целью сечение спиральной камеры постепенно уменьшают, например так, как это показано на рисунке. При напорах до 25 м спиральные камеры изготавливают из железобетона, а на высоконапорных ГЭС их делают металлическими в виде улитки.

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. 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 другим 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).

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:

$$n_s = n \sqrt{N/H} \sqrt[4]{H},$$

где n_s – коэффициент быстроходности; n – число оборотов турбины в минуту; N – мощность; H – напор, м.

Из формулы видно, что число оборотов турбины прямо пропорционально коэффициенту быстроходности при данном напоре и мощности:

$$n = n_s H \sqrt[4]{N} / \sqrt{N}.$$

Таким образом, для получения большого числа оборотов при одном и том же напоре необходимо применять более быстроходные турбины.

Из приведенной формулы 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 поворотно-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 поворотно-лопастные и пропеллерные турбины могут использоваться при напорах 25–30 м и ниже, причем турбины с $n_s = 700 \div 800$ приме-

няются 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 КПД во всем диапазоне изменения напора и расхода на ГЭС.

У разных типов турбин в зависимости от изменения напора и расхода ГЭС КПД меняется по-разному. Чтобы судить о том, как меняется КПД 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.

Так, из приведенных характеристик видно, что высокий КПД на боль шей части диапазона изменения мощности (расхода) сохраняется только у поворотно-лопастных реактивных и струйно-ковшовых активных турбин. Радиально-осевые турбины по своим характеристикам занимают промежуточное положение между поворотно-лопастными и пропеллерными. Все турбины на малых мощностях работают с низким КПД, поэтому работать в этой зоне не рекомендуется. У радиально-осевых и пропеллерных турбин в зоне больших мощностей КПД 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.

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 КПД.

6.4. Состав сооружений и компоновка гидроэлектростанций

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 оборудованием, пультом управления, а также открытые распределительные устройства (ОРУ).

Судоходные и лесосплавные сооружения, предназначенные для пропуска судов и плотов через гидроузел, перевалки грузов и пересадки пассажиров с водного на сухопутный транспорт и наоборот. К ним относятся шлюзы или судоподъемники с подходными каналами, плотходы или бревно-спуски 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.

6.5. Компоновка ГЭС при плотинной схеме использования водной энергии

Русловые гидроэлектростанции

В гидроузлах с русловыми ГЭС здания электростанций входят в состав напорного фронта, т. е. так же, как и плотины, являются водоподпорными сооружениями (рисунок 6.4).

Они возводятся при напоре не более 30–40 м. При выборе типа компоновки таких гидроузлов существенное влияние оказывает принимаемая схема пропуска расходов в период строительства. Выделяют четыре различные компоновки.

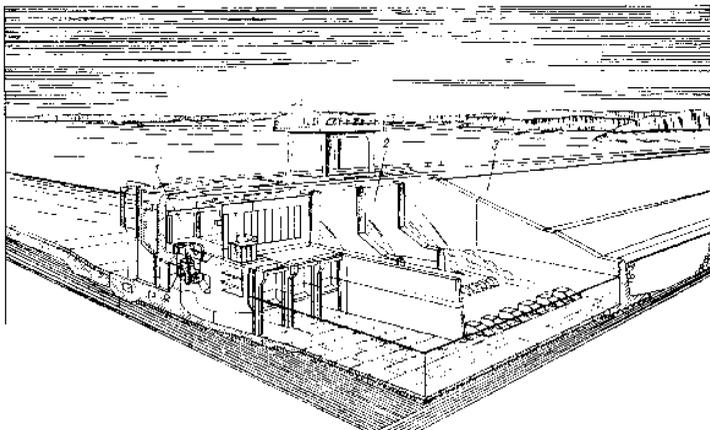


Рисунок 6.4 – Гидроузел с русловым зданием ГЭС:

1 – здание ГЭС; 2 – водосливная плотина;

3 – глухая плотина

Береговая компоновка. Основные бетонные сооружения (здание ГЭС, водосливная плотина, шлюз) располагаются либо на одном берегу – односторонняя компоновка, 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. 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. 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.

Русловая компоновка. Применяется обычно при значительной ширине створа и крутых берегах. 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 каждом случае выбор варианта компоновки сооружений определяется минимумом объема строительных работ и стоимости гидроузла.

Приплотинные гидроэлектростанции

Приплотинные здания гидроэлектростанций сооружаются при напорах от 30–40 до 200–300 м. Верхний предел напора определяется высотой плотины. Характерная особенность приплотинного здания ГЭС состоит в том, что оно не является водоподпорным сооружением и располагается за плотиной или в стороне от нее.

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.

К приплотинным зданиям ГЭС условно могут быть отнесены и так называемые встроенные здания, т. е. размещенные внутри полости в теле бетонной гравитационной плотины. 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.

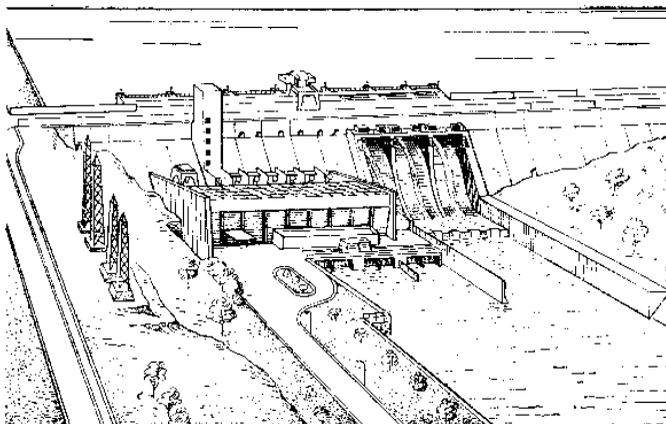


Рисунок 6.5 – Гидроузел с приплотинным зданием ГЭС

6.6. Компоновка 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 ото 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 или безнапорными – каналы, туннели, лотки. 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.

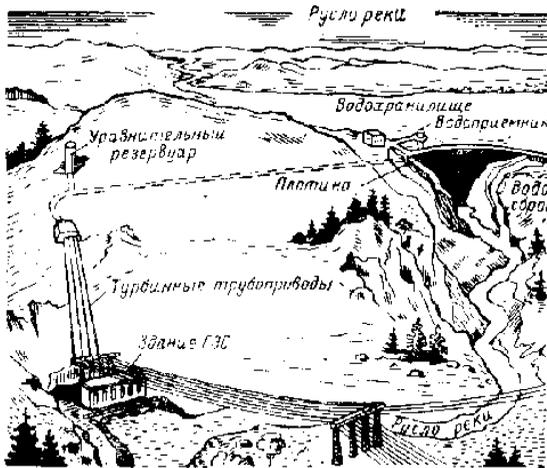


Рисунок 6.6 – Деривационная ГЭС с напорной деривацией

Станционный узел объединяет комплекс сооружений в конце деривационного тракта: напорный бассейн, аварийный водосброс, соро- и ледозащитные 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.

6.7. 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 целесооб-

разности 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 строительномонтажные 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 составляет **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 K^{y0}_N , отнесенные к единице установленной мощности ГЭС $N_{уст}$

$$K^{y0}_N = K/N_{уст}.$$

и удельные капиталовложения $K^{y0}_Э$, отнесенные на 1 кВт-ч среднегодовой выработки энергии $Э$

$$K^{y0}_Э = K/Э,$$

где K – капиталовложения, отнесенные на энергетику. Значения K^{10}_N для различных ГЭС колеблются в довольно широких пределах.

Себестоимость энергии ГЭС *бсеб* определяется из выражения

$$bсеб = I/\mathcal{E},$$

где I – ежегодные издержки; \mathcal{E} – среднегодовая выработка энергии. Обычно себестоимость ГЭС в 4–6 раз меньше, чем себестоимость энергии тепловых и атомных электростанций. Однако удельные капиталовложения в гидроэнергетику получаются 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.

6.8. 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 Средней Азии и Казахстана. 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 энергетиче-

скую 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.

Создание крупных объединенных энергосистем общенационального и международного значения является одной из наиболее характерных особенностей мировой энергетики.

Развитие энергосистем и их объединений сопровождается постоянным развитием линий электропередачи, дальнейшим увеличением их протяженности, пропускной способности и напряжений.

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, 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 рисунке 6.7. График нагрузки зимне-

го дня имеет два ярко выраженных пика и два провала. На графике видно, что колебания нагрузки в энергосистеме от минимума до максимума значительны. Минимальная нагрузка в ночные часы составляет примерно 0,65 суточной максимальной нагрузки. График нагрузки летнего дня имеет обычно три–четыре пика.

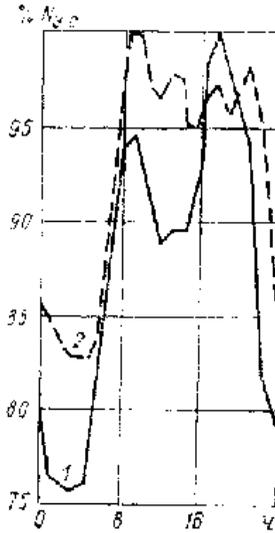


Рисунок 6.7 – Суточный график электрической нагрузки энергосистемы: 1 – зимний день; 2 – летний день

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 сельскохозяй-

ственной 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.

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 электростанций приспособлены к быстрому изменению режимов работы, покрытию кратковременных пиков нагрузок.

Наряду с суточными графиками нагрузки в практике широко применяются графики, характеризующие изменения нагрузки энергосистемы и в более длительные периоды времени.

6.9. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)

Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) перераспределяют электроэнергию, вырабатываемую другими электростан-

циями, 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 (рисунок 6.8) 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.

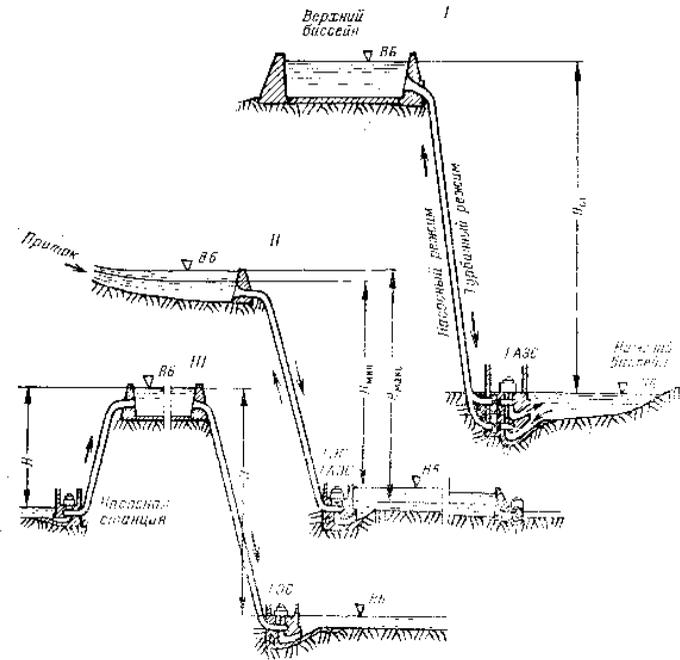


Рисунок 6.8 – Схемы работы различных типов ГАЭС

Гидроаккумулирующие электростанции можно классифицировать по следующим признакам. По схеме аккумулярования:

1) ГАЭС простого аккумулирования, иногда их называют чистыми ГАЭС (рисунок 6.8, 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 (рисунок 6.8, II);

3) ГАЭС в схеме переброски стока (рисунок 6.8, 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 аккумулирования, т. е. по периоду сработки и наполнения бассейна различают ГАЭС суточного, недельного и сезонного аккумулирования.

ГАЭС предназначены для работы в составе энергосистемы совместно с другими гидроэлектростанциями или совместно с одной–двумя ТЭС или АЭС.

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. Покрытие пиковой части графиков суточных нагрузок с помощью ГЭС уменьшает колебания мощности.

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 ТЭС и АЭС. Это улучшает условия эксплуатации ТЭС и АЭС и снижает суммарные затраты топлива в энергосистеме.

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. 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 нескольких десятков секунд и обеспечивает непрерывность энергоснабжения 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.

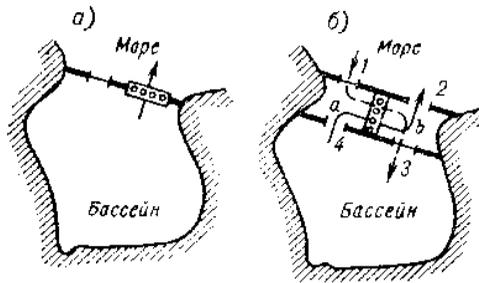


Рисунок 6.9 – Схемы приливных электростанций с односторонней (а) и с двусторонней работой (б)

Из приведенных на рисунке 6.9 схем может сложиться впечатление, что строительство ГАЭС осуществимо только на местности, 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 показано на ри-

сунке 6.9. Важная роль, которую играют ГАЭС в энергосистемах, является причиной быстрого роста количества и мощности таких станций. Во второй половине 70-х годов прошлого века в 30 странах мира насчитывалось в эксплуатации и строительстве около 250 ГАЭС суммарной мощностью более 68 млн кВт.

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 бывшем СССР – 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. Построены Загорская (под Москвой) и Кайшядорская (в Литве) ГАЭС, а также Константиновская ГЭС–ГАЭС в составе Южно-Украинского энергетического комплекса на р. Южный Буг.

6.10. 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 бывшего 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.

Весьма перспективны 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).

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.

Использование приливной энергии пока не получило широкого применения. Суммарная установленная мощность эксплуатируемых в мире приливных электростанций (ПЭС) составляет

270 МВт, в том числе ПЭС «Ранс» во Франции 240 МВт. Приливные электростанции (ПЭС) за полвека их разработки получили небольшое распространение. Количество действующих станций невелико, они расположены в Великобритании, Индии, Канаде, Китае, Российской Федерации (РФ, Россия), США, Франции и некоторых других странах. Наиболее известная ПЭС «Ля Ранс» (Франция) имеет самую большую в мире плотину 800 м, она также служит мостом, по которому проходит автотрасса. Мощность станции составляет 240 МВт. Другие известные станции: южнокорейская Сихвинская ПЭС (254 МВт), британская Сиджен, канадская ПЭС Аннаполис и норвежская ПЭС Хаммерфест. В России (бывшая РСФСР в составе СССР) с 1968 г. действует экспериментальная Кислогубская ПЭС на побережье Баренцева моря мощностью 1,7 МВт.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО КУРСУ

«Основы гидротехнических сооружений»

1. Определение понятия гидротехника.
2. Определение понятия гидротехнические сооружения.
3. Определение понятия гидрология.
4. Определение понятия река.
5. Определение понятия речная система.
6. Определение понятия водосборный бассейн.
7. Водоохранилища и каналы.
8. Определение понятия водное хозяйство.
9. Основные отрасли водного хозяйства.
10. Комплексное использование водных ресурсов.
11. Водопользователи и водопотребители.
12. Определение понятия гидроузел.
13. Определение понятия гидроэлектростанция.
14. Определение понятия плотина.
15. Классификации плотин.
16. Определение понятия верхний и нижний бьеф.
17. Определение понятия полный объем, полезный и мертвый объем.
18. Определение понятия НПУ (нормальный подпорный уровень).
19. Определение понятия УМО (уровень мертвого объема).
20. Русловые процессы в верхнем и нижнем бьефах.
21. Фильтрация воды при устройстве плотин.
22. Водосбросные сооружения.
23. Гравитационные плотины.
24. Контрфорсные плотины.
25. Арочные плотины.
26. Облегченные плотины.
27. Флютбет.
28. Санитарный расход.
29. Водобой.
30. Рисберма.
31. Плотины из грунтовых материалов.

32. Земляные плотины.
33. Каменно-набросные плотины.
34. Каменно-земляные плотины.
35. Другие виды плотин
36. Водослив.
37. Затворные сооружения.
38. Шандоры.
39. Водозаборы.
40. Отстойные бассейны (отстойники).
41. Коагулирование.
42. Водопроводящие сооружения.
43. Типы каналов.
44. Акведук и дюкер.
45. Способы учета воды на водозаборах.
46. Мощность речного потока.
47. Использование гидроэнергопотенциала рек для выработки энергии.
48. Плотинная схема ГЭС.
49. Деривационная схема использования водной энергии.
50. Схема устройства и состав оборудования ГЭС.
51. Турбины. Активные и реактивные турбины.
52. Кавитация.
53. Состав и компоновка гидроэлектростанций.
54. Водоподпорные сооружения.
55. Судоходные сооружения.
56. Лесосплавные сооружения.
57. Рыбохозяйственные сооружения.
58. Сооружения для отбора воды.
59. Транспортные гидротехнические сооружения.
60. Временные гидротехнические сооружения.
61. Русловые гидроэлектростанции.
62. Приплотинные гидроэлектростанции.
63. Капитальные вложения на ГЭС.
64. Себестоимость энергии ГЭС.
65. Объединенные электроэнергетические системы (ОЭС).
66. Графики нагрузки энергосистем.
67. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС).
68. Приливные электрические станции (ПЭС).

ТЕМЫ ДЛЯ РЕФЕРАТОВ ПО КУРСУ

«Основы гидротехнических сооружений»

1. История развития гидротехнических сооружений в мире.
2. Общая гидрология.
3. Река и речная система.
4. Определение понятия водосборный бассейн.
5. Озера и болота.
6. Ледники и вечные снега.
7. Водоохранилища, пруды и каналы.
8. Водное хозяйство и его основные отрасли.
9. Комплексное использование водных ресурсов.
10. Водопользователи и водопотребители.
11. Гидроузлы, их назначение и типы.
12. Гидроэнергетика и гидроэлектростанции.
13. Плотины, их назначение и типы.
14. Фильтрация воды при устройстве плотин и русловые процессы в верхнем и нижнем бьефах.
15. Водобросные сооружения.
16. Бетонные плотины.
17. Плотины из грунтовых материалов.
18. Затворные сооружения и водозаборы.
19. Отстойные бассейны (отстойники).
20. Водопроводящие сооружения.
21. Использование гидроэнергopotенциала рек для выработки энергии.
22. Плотинная схема ГЭС.
23. Деривационная схема использования водной энергии.
24. Схема устройства и состав оборудования ГЭС.
25. Водоподпорные сооружения.
26. Судходные сооружения.
27. Лесосплавные сооружения.
28. Рыбохозяйственные сооружения.
29. Транспортные гидротехнические сооружения.

ТЕМЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ

«Основы гидротехнических сооружений»

1. Гидротехника и гидротехнические сооружения.
2. Водные ресурсы.
3. Гидрология и её составные части.
4. Виды водных объектов.
5. Использование водных ресурсов земли человеком.
6. Водное хозяйство, его роль и место в хозяйственной деятельности.
7. Гидроузлы их назначение и виды.
8. Проектирование и строительство гидроузлов.
9. Гидроэлектростанции, их виды, значение и роль в энергетике.
10. Плотины, их назначение и виды.
11. Водозаборные и водосбросные сооружения, их назначение и виды.
12. Водопроводящие сооружения, их назначение и виды.
13. Использование рек человеком для выработки энергии.
14. Принцип работы гидроэлектростанций.
15. Экономические показатели работы ГЭС.
16. Виды и назначение гидротехнических сооружений.
17. Альтернативные виды гидроэлектростанций.
18. Водоснабжение, его задачи, виды и схемы работы.
19. Водоотведение и канализация, их задачи, виды и схемы действия.
20. Гидротехнические сооружения для орошения сельскохозяйственных угодий.
21. Гидротехнические сооружения для осушения сельскохозяйственных угодий.
22. Гидротехнические сооружения для судоходства.
23. Шлюзы.
24. Гидротехнические сооружения для портов, пристаней и причалов.
25. Гидротехнические сооружения для лесосплава.

ГЛОССАРИЙ

Акведук – сооружение в виде моста или эстакады с водоводом (трубой, лотком, каналом), подающим воду к населенным пунктам, оросительным и другим системам от расположенных выше источников.

Аккумуляция русловая – количество воды, аккумулирующееся в русле за счет повышения уровня воды. Достигает максимума, когда приток и отток становятся равными, а глубина потока достигает максимума.

Анализ водных ресурсов – анализ гидрологических и метеорологических данных по речному бассейну или объединённым речным бассейнам, проводимый для определения или прогноза водоотдачи или общего стока с бассейна (или бассейнов) от выпадения снега, дождевых осадков и подземных вод для успешного планирования, проектирования и эксплуатации водохозяйственных объектов в бассейне (или бассейнах).

Арочная плотина – криволинейная в плане плотина, прочность которой обеспечивается в основном работой её как свода с передачей горизонтального давления воды почти полностью берегам или устоям.

Артезианский бассейн – геологические структуры или комбинации их, в которых вода находится под артезианским напором.

Артезианская вода – подземные воды, находящиеся под напором, вызывающим их подъём в покровных породах подземного бассейна.

Артерия подземная – линза трубчатой формы проницаемого материала, расположенная в толще менее проницаемых или непроницаемых образований, насыщенная водой, находящейся под артезианским напором.

Бассейн реки (озера, моря) – (водосбор, водосборный бассейн) – район земной поверхности, с которого в данную реку (озеро, море) собираются все атмосферные осадки, питающие ее.

Берегоукрепление – общий термин, включающий в себя расширение, поднятие и укрепление насыпей канала, а также образование путём заиления водоёмов насыпей нового канала, проходящего по низине.

Быстроток – 1. Гидротехническое сооружение в виде открытого канала (лотка), направляющее поток воды, движущийся с большой скоростью, из верхнего участка водовода в нижний. Быстроток устраивают в гидроузлах для пропуска паводковых вод, на трактах водосбросов деривационных ГЭС, в качестве лесо- и рыбопропускных сооружений и др. 2. Наклонный перепад, в котором понижение поверхности воды достигается на сравнительно длинном отрезке канала, но где уклон достаточно крут и скорости течения велики; обычно быстроток имеет более резкое падение, чем у перепадов. В американской практике падение быстротока обычно превышает 4,5 м.

Бьеф – канал, подводящий воду к водному колесу или к гидротурбине, или же отводящий воду от них, а именно: подводящий канал, отводящий канал.

Вероятность паводков – вероятность паводка, равной или превышающей заданную величину. **Вероятность паводка**, равного или превышающего величину в 1 % – паводок возможен раз в сто лет; вероятность 10 % означает величину паводка, наибольшую за 10 лет.

Верхний бьеф – часть водотока с верховой стороны водоподпорного сооружения (плотины).

Верх плотины (в массивных плотинах) – это уровень выпуклости полотна дороги, если дорога проходит по плотине, или уровень пешеходной дороги, если проезжая дорога отсутствует. В земляных плотинах – это уровень верха насыпи.

Весы гидравлические – весы для взвешивания веществ в воде для определения их удельного веса.

Вода агрессивная – поверхностные и подземные воды, разрушающие подземные части сооружения и коммуникации из-за содержания химически активных веществ (кислот, щелочей, солей);

~ грунтовая – безнапорный наиболее близкий к поверхности, постоянно существующий горизонт вод, имеющий свободную поверхность – зеркало грунтовых вод;

~ подземная – общее название всех вод земной коры, находящихся ниже поверхности грунта;

~ подземная напорная – водоносные горизонты (слои), не имеющие свободной поверхности, и располагающиеся между слабопроницаемыми или водоупорными грунтами.

Вода артезианская – подземные воды, находящиеся под напором, вызывающим их подъём в покровных породах подземного покрова.

Водовод лотковый – водовод, в котором отрезок водобойной части канала имеет сужение.

Водовод напорный – любой вид закрытого водовода, в котром движение воды происходит по всему поперечному сечению и осуществляется под напором.

Водовыпуск внутривоздушный – сооружение в голове водотока или внутривоздушного распределителя, или полевого распределителя, которое соединяет их с распределительным каналом.

Водовыпуск высонапорной – водовыпуск можно считать высоконапорным, если он предназначается для контроля и регулирования подачи воды для различных целей от плотины, водохранилища и водовода при напорах, превышающих 75 футов (22,26 м) и максимальном расходе не менее 150 куб. футов в секунду (4,25 куб. м в сек).

Водозабор башенный – сооружение, используемое при водозаборе из водохранилищ или рек с большим диапазоном колебаний уровня, а также для забора с определённой глубины.

Водомер – устройство для измерения проходящего расхода воды.

Водообеспеченность – **1.** В реке расход воды, наблюдаемый в данный момент. **2.** В водоёме – объём воды, запасённый сверх минимально допустимого (мёртвого) объёма. **3.** В голове магистрального канала – объём поступившей из реки воды или объём воды, запасённой в водохранилище, снабжающем канал. **4.** В других кналах – расход воды в канале.

Водоотдача – способность водонасыщенных грунтов отдавать воду при свободной фильтрации при водопонижении, дренажировании или откачке.

Водоотлив – процесс откачки и удаления воды из котлованов и выемок. Может быть временным (при строительстве) или постоянным (при эксплуатации сооружения).

Водонасыщение – состояние грунта, у которого все поры заполнены водой. Оценивается величиной влажности, соответствующей полной влагоемкости.

Водоотведение – использование комплекса инженерных сооружений и оборудования с целью удаления сточных, ливневых и талых вод из населенных пунктов и промышленных объектов.

Водоподпорные и водосбросные сооружения – гидротехнические 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).

Водопотребность – потребное для орошения количество воды, определяемое временем и расходом водоподачи и отнесённое к определённым точкам оросительной системы. Отсюда термины: **водопотребность хозяйства, водопотребность водовыдела, водопотребность в голове распределительного** или **либо другого канала.**

Водопроницаемость – **1.** Способность пород пропускать через себя воду при насыщении и под действием гидростатического напора. **2.** Количественное выражение качества или состояния; синоним термина **коэффициент фильтрации.**

Водораздел. Площадь водосбора – **1.** Граница, отделяющая смежные водосборные бассейны. **2.** Площадь, с которой водоём или водоток питается поверхностным стоком, образующимся в результате выпадения осадков. В США также употребляется термин **водораздел.**

Водосброс – **1.** Канал для сброса излишней воды, водосборной канал. **2.** Водосбросное водосливное сооружение, располагаемое в плотине или закрытого водовода в одном из боковых ущелий.

Водосброс аварийный – искусственное или естественное русло, обычно удалённое на некоторое расстояние от плотины и предназначенное для сброса экстремальных паводковых

расходов сверх пропускной способности рабочего водосброса. Регулирование осуществляется редко; применяются невысокие земляные дамбы, допускающие повышение уровня воды в одохранилище над гребнем аварийного водосброса. В случае продолжительного притока воды в водохранилище произойдёт перелив воды через размываемую вставку (дамбу), последняя будет размыта, и излишняя вода будет сброшена из водохранилища без ущерба для основной плотины.

Водослив – вытянутый жёсткий, не всегда фиксированный гребень через водоток для отвода, регулирования или измерения расхода воды.

Водоупор – толща грунта с низким значением коэффициента фильтрации, практически не пропускающая воду.

Водохранилище – искусственный водоем значительной вместимости, образованный обычно в долине реки водоподпорными сооружениями для регулирования ее стока и дальнейшего использования в народном хозяйстве.

Водохранилище многолетнего регулирования – аккумулярование воды, произведённое в многоводные годы для использования в засушливые или маловодные годы.

Водная эрозия – процесс разрушения талыми и дождевыми водами горных пород и почв.

Водное хозяйство – отрасль народного хозяйства, занимающаяся учетом, планированием и управлением комплексного использования, регулированием водных ресурсов, охраной вод от загрязнения и истощения, транспортировкой их к месту назначения (потребления).

Водный транспорт – вид транспорта, осуществляющий перевозки грузов и пассажиров, как по естественным (реки, озера, моря, океаны), так и по искусственным (каналы, водохранилища) водным путям. Водный транспорт подразделяется на морской и речной. Включает в себя лодки, катера, яхты, пароходы, теплоходы, баржи, паромы, танкеры и др.

Водобой – представляет собой армированную или неармированную бетонную плиту примерно такой длины, чтобы в пределах ее мог поместиться затопленный гидравлический прыжок, получающийся за плотиной.

Водозабор – гидротехническое сооружение для забора воды из открытого водотока или водоема (реки, озера, водохранилища) либо подземных источников и подачи ее в водоводы для последующего транспортирования и использования в хозяйственных целях (орошения, водоснабжения, выработки электроэнергии и др.).

Временные гидротехнические сооружения – гидротехнические сооружения, необходимые 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.).

Габион – ящики из проволочных сеток, заполненные камнем. Укладываются в берегоукрепительные и выпрямительные сооружения. **Тарунгары (индийский термин)** – проволочные корзины, наполненные камнем, обычно укладываемые в нижнем бьефе сооружения для предотвращения размыва.

Геология – наука о составе, строении, истории развития земной коры и размещении в ней полезных ископаемых. Включает: минералогию, петрографию, геохимию, науку о полезных ископаемых, тектонику, гидрогеологию, геофизику.

Гидрогеология – наука о природной гидросфере, изучающая происхождение, распространение и движение подземных вод, наука, изучающая подземные воды, их происхождение, формирование, режим, движение, а также особенности горных пород, обуславливающие режим подземных вод, методы исследования и использования подземных вод.

Гидрология – наука о природных водах и протекающих в них процессах. Исследует все виды вод гидросферы (океаны, моря, реки, озера, водохранилища, болота; почвенные и приповерхностные подземные воды). Гидрология разделяется на океанологию и гидрологию суши.

Гидромелиорация – система хозяйственных и технических мероприятий, направленная на улучшение земель путём их осушения, орошения и т. п.

Гидрометрия – раздел гидрологии, в котором разрабатываются главным образом методики изучения режима морей, рек и

озер, каналов и водохранилищ, а также способы наблюдения явлений, характеризующих этот режим (измерение скорости водного потока, его уровня, глубины и т. п.).

Гидротехника – отрасль науки и техники, занимающаяся изучением водных ресурсов, их использованием для нужд народного хозяйства и борьбой с разрушительным действием вод, путем строительства инженерных гидротехнических сооружений (плотин, каналов и т. д.)

Гидротехнические сооружения – инженерные сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов человеком или предотвращения вредного воздействия воды на окружающую среду, например, плотина, канал, причал, водохранилище.

Гидроузел – комплекс гидротехнических сооружений (плотины, дамбы, каналы, насосные станции, шлюзы, судоподъемники и др.), объединенных по расположению и условиям их совместной работы. В зависимости от назначения гидроузлы делятся на энергетические, воднотранспортные, водозаборные и комплексные (выполняющие несколько водохозяйственных функций).

Гидроэлектростанция (ГЭС) – гидравлическая электрическая станция, преобразующая механическую энергию потока воды в электрическую энергию посредством гидравлических турбин, приводящих во вращение электрические генераторы.

Гидроэнергетика – отрасль энергетики, основанная на использовании энергии воды для выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях.

Гистограмма – 1. Графическое изображение средней интенсивности и объема избыточных осадков над площадью земной поверхности во времени за период ливня. 2. **Дождемерная станция** – оборудованная площадка, на которой установлен дождемер. 3. **Плювиограф:** а) прибор, позволяющий записывать количество выпадающих жидких и твердых осадков как функцию времени; б) теоретический гидрограф при стоке, равном 100 % выпавших осадков, и наблюдением за их распределением. Он является пределом гидрографа, который может быть при данном ливне.

Голова канала – место водозабора в канал из водохранилища, реки или старшего канала.

Гравитационные плотины – плотины, устойчивость которых обеспечивается их собственным весом – горизонтальному сдвигающему гидростатическому давлению воды в данном случае противостоит сила трения (а иногда и сила сцепления), действующая по подошве плотины, которая зависит от веса плотины.

Грунт – горные породы, почвы, техногенные образования, являющиеся объектом инженерной деятельности человека:

вечномерзлый – грунт, находящийся в мерзлом состоянии в течение многих лет. Встречается в природе в виде сплошного, кружевного и островного залегания в плане. По глубине залегания может достигать сотен метров;

водонасыщенный – грунт, в котором все поры заполнены водой;

глинистый – грунт, состоящий из отдельных минеральных частиц (зерен) разного размера, слабо связаны друг с другом; образуется в результате выветривания скальных пород;

крупнообломочный – несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером крупнее 2 мм составляет более 50 %;

лессовый – основным признаком этих грунтов является их макропористость. Маловлажные грунты могут размокать и размываться.

Дамба. Раздельная стенка. Обвалование – **1.** Продольная стенка или дамба, отделяющая карман промыного шлюза от другой части плотины. **2.** Искусственно наращенный берег вдоль реки с целью защиты прилегающих земель от затопления паводками.

Дамба, противопаводковая – дамба, возводимая для защиты от паводков.

Дренаж. Осушение – **1.** Удаление избыточных поверхностных или грунтовых вод с определённой площади. **2.** Сток поверхностных вод в естественные водотоки. **3.** Удаление избыточных грунтовых или поверхностных вод при помощи закрытых или открытых каналов (искусственных или естественных): система таких каналов. **4.** Естественные

понижения на площади, благодаря которым ливневые воды сбегают в природные водотоки.

Дюкер – напорный или сифонный изогнутый участок трубопровода, прокладываемый под руслом реки или канала, по склонам или дну глубокой долины, оврага или под дорогой для пропуска пересекающего их водотока; сооружение с закрытым водоводом, предназначенное для полного заполнения и работы под напором, чтобы транспортировать воду канала под железными дорогами, шоссейными дорогами, насыпями и т. д. При пересечении русел и водопроводящих каналов этот термин указывает на то, что канал проходит под дренирующим руслом или естественным потоком. В этих случаях сооружение называют **ирригационным дюкером** или **дюкером канала**.

Заиление – отложение взвешенных и влекомых наносов в оросительных каналах, водохранилищах и др. водных объектах с застойной или медленно текущей водой.

Затворы – инженерные сооружения и механизмы, которые служат непосредственно для закрытия и открытия водопропускных отверстий плотин.

Земляные работы – комплекс строительных работ, включающий разработку (выемку) грунта, его перемещение, укладку и уплотнение для целей подготовки основания, устройства инженерных сооружений и др.

Изогипсы – линии на карте, соединяющие точки с одинаковыми высотными отметками земной поверхности, характеризующие рельеф территории.

Инженерная гидрология (гидрологические расчёты) – раздел гидрологии суши, занимающийся разработкой методов, позволяющих рассчитать величины, характеризующие гидрологический режим, расчёты стока воды, в том числе нормы годового стока, максимальных расходов половодий и паводков, внутригодового распределения стока, минимальных расходов воды, продолжительности бессточного периода (перемерзания и пересыхания рек), гидрографов половодий и паводков.

Инфильтрация – движение воды в зоне аэрации от поверхности грунта к зеркалу подземных вод под действием гравитационных сил.

Источник – 1. Место, в котором вода в естественном состоянии вытекает из породы или почвы на поверхности земли

или в водоём. **2.** Термин относится к приливам, которые увеличивают амплитуду в периоды смены лунных фаз. Приливы происходят ежемесячно (лунный месяц). **3.** Место пересечения водосносного пласта с поверхностью земли. **4.** Ключ или родник, который служит началом ручья. **5.** Главный, или основной исток; место начала или место выхода подземного потока на поверхность.

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.

Каналы – искусственные открытые земляные русла с поперечным сечением правильного геометрического очертания; движение воды в них всегда безнапорное, используемое для судоходства, транспортирования воды, орошения, коммунального и промышленного водоснабжения, а также для других целей.

Карьер – **1.** Площадь, являющаяся источником строительного материала, требуемого для возведения земляной плотины. **2.** Место забора материала для заполнения выемки или возведения насыпи.

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 $Al_2(SO_4)_3$.

Кольматаж – представляет собой процесс заполнения пор грунта – ложа канала мелкими частицами грунта, искусственно вводимыми в воду канала.

Комплексное использование водных ресурсов – использование водных ресурсов для удовлетворения нужд населения и различных отраслей народного хозяйства, при котором находят экономически оправданное применение все полезные свойства того или иного водного объекта. Например, строится плотина, образующая водохранилище, которое служит сразу нескольким целям: выработка электроэнергии на ГЭС, подача воды на оро-

шение и водоснабжение, рекреация, рыбоводство, затопление порогов в целях улучшения судоходства и т. п.

Контрфорсные плотины – плотины, в которых давление воды со стороны верхнего бьефа водохранилища передается напорным перекрытиям – контрфорсам, которые, в свою очередь, перенаправляют его на основание плотины.

Лавины – движущиеся по горному склону с большой скоростью массы снега, а иногда и горные обвалы. Различают три формы лавин по виду смещения снежных масс в долины: сухая лавина, снежная доска, мокрая лавина.

Лесосплавные сооружения – гидротехнические сооружения, предназначенные для пропуска сплавляемого леса (бревен) через гидроузел, перевалки их с водного на сухопутный транспорт и наоборот. К ним относятся шлюзы с подходными каналами, плотоходы или бревноспуски и пр.

Ливень, сильный – осадки большой интенсивности, сравнительно короткой продолжительности, выпадающие обычно над небольшой территорией.

Линия тока воды – траектория движения отдельных частиц воды в потоке в течение определённого периода.

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.

Мелиорация – процесс улучшения заболоченных, истощённых, пустынных и целинных земель с целью приведения их в состояние пригодности для возделывания и заселения; превращение затапливаемых береговых полос в дренируемые используемые земли в результате обвалования и дренажа, либо путём повышения высотных отметок в результате подсыпки земли.

Мерзлота, вечная – постоянно находящиеся в мёрзлом состоянии почво-грунты.

Мертвый объем – часть полного объема водохранилища, которая в нормальных условиях работы не используется для регулирования стока, ограниченная сверху горизонтом (уровнем) мертвого объема (УМО). Мертвый объем не участвует

в регулировании стока, но имеет большое практическое значение. Величина мертвого объема определяется расчетами заиливания, санитарно-техническими требованиями и другими водохозяйственными соображениями.

Наводнение – это разрушительное явление, затопление местности, вызванное подъемом уровня воды в водотоке или водоеме, вызванное необычайно интенсивным половодьем или паводком, ветровым нагоном, ледовым или иным подпором.

Наносы – аллювиальный материал разрушенных горных пород, транспортируемый водой в реке и канале. Этот термин эквивалентен термину **осевшие наносы**, но иногда считают, что наносы представляют собой весь материал (крупные и мелкие фракции), переносимый потоком, в то время как **осевшие наносы** – более крупный материал.

Напорные воды – то же, что артезианские воды, т. е. подземные воды, перемещающиеся под давлением, превышающим атмосферное. Приурочены к водоносным горизонтам, залегающим между водоупорными пластами; при вскрытии их уровень устанавливается выше водоупорной кровли.

Нижний бьеф – часть водотока, примыкающая к водоподпорному сооружению (плотине, шлюзу) ниже его по течению.

Нормальный подпорный уровень (НПУ) – наивысший проектный подпорный уровень верхнего бьефа, который может поддерживаться в нормальных условиях эксплуатации подпорного сооружения (плотины).

Обвал – 1. Обвал берега, вызванный подмывом его основания текущей водой. Термин применяется также при переменной кривизне откоса. 2. **Подмыв берега** – длительное разрушение нижней части берега потоком, заканчивающееся обвалом берега.

Облесение – посадка лесов на безлесных денудированных или оголённых землях.

Объем, мёртвый – объём водохранилища, котрый физически невозможно выпустить (сбросить).

Объем плотины – пространство, занятое всеми материалами, образующими плотину. В объем плотины

включается как основные заполнение, так и отмостка, непроницаемые элементы и т. д.

Озеро – природный водоём с замедленным водообменном в углублении земной поверхности (озёрной котловине), не имеющий непосредственного сообщения с морем.

Оползень – сползание части берега в результате подмыва. Быстрое, скользящее смещение массы горных пород, грунта или их смеси. Скольжение чаще всего происходит по слою мягкого или увлажнённого материала, теряющего своё устойчивое сцепление.

Ордер на воду – см. Заявка на воду.

Орошение – искусственная подача воды на почву нормой, определяемой высотой слоя соответственно потребности растений в различные стадии их развития или для восстановления необходимого запаса влаги в почве во вневегетационный период.

Откос, крутой – более или менее сплошная линия обрывов или крутых склонов, имеющая одно общее направление, вызванное эрозией или сбросом.

Отложения аллювиальные – отложения постоянно действующих водотоков рек, крупных ручьев.

Отстойные бассейны (отстойники) – это инженерное сооружение для освобождения воды от наносов при очень малых скоростях течения. Принцип работы отстойника заключается в том, что путем уменьшения скорости течения воды, способствуют выпадению из потока твердых частиц.

Охрана вод – эффективное и экономическое сохранение, развитие и рациональное использование поверхностных и подземных водных ресурсов.

Паводок – это одномоментный (от нескольких часов до нескольких дней) резкий подъем уровня и водности рек, вызванный обильными осадками или быстрым снеготаянием в результате интенсивного потепления, либо другими чрезвычайными причинами (прорыв плотины или дамбы).

Педосфера – слой земли, в котором протекают почвообразовательные процессы.

Переброска стока – изменение природного направления части стока реки с выводом его в другой водосборный бассейн при помощи гидротехнических сооружений.

Период заполнения водохранилища. Цикл накопления – период, в начале или в конце которого объём водохранилища остаётся одним и тем же. Этот период может изменяться от нескольких лет, завися от интенсивностей притока и оттока воды из водохранилища.

Период истощения – период года, когда восстановление запаса воды в колодце происходит наиболее медленно.

Песколовка. Гравиеловка. Колодцы-отстойники – 1. Устройство в канале для задержания песка и других наносов, влекомых водой, обычно включающее средства для удаления их из системы. При наличии в наносах песка и гравия это устройства называют **песколовкой и гравиеловкой**.

Пик половодья – максимальный расход за период половодья.

Питометр – устройство, используемое для определения скорости воды в трубах или других закрытых водоводах, основанное на том же принципе, что и трубка Пито.

Плотина – водоподпорное гидротехническое сооружение, перегораживающее реку (или др. водоток) для подъема уровня воды в ней, сосредоточения напора в месте расположения сооружения или создания водохранилища.

Плотина, водосливная – плотина, служащая для пропуска расхода поверх гребня.

Подземная вода – свободная гравитационная вода в порах и трещинах горных пород, располагающихся ниже уровня земной поверхности. Уровень поверхности (зеркало П.в.) может меняться в зависимости от времени года, количества атмосферных осадков, климатических условий и т.д.

Подпор – подъем уровня воды, возникающий вследствие преграждения или стеснения русла водотока (плотиной, дамбой, шлюзом, другой преградой), ветрового нагона или изменения условий стока подземных вод. Обычно сопровождаемое уменьшением скорости течения.

Подтопление – подъем уровня грунтовых вод, вызванный повышением горизонта воды в реках при сооружении водохранилищ и плотин, затоплением русел рек, потерями воды из ирригационной, водопроводной и канализационной сетей и пр. При подтоплении заболачивается и засоляется почва, ухудшается санитарное состояние местности, разрушаются здания, дороги.

Пойма – часть речной долины, находящаяся за пределами русла реки, но примыкающая к нему; граница поймы ограничивается контуром возможного распространения паводка. Эта часть территории затопливается или может быть затоплена при больших расходах и остаётся открытой при минимальных и средних расходах.

Полезный объем водохранилища – часть полного объема водохранилища, используемая для регулирования стока, заключенная между нормальным подпорным уровнем и уровнем мертвого объема, т. е. объем воды, накапливаемый в водохранилище, и предназначенный для ее хозяйственного использования и регулирования стока реки. Равен разности между полным объемом и мертвым объемом водохранилища.

Полный объем водохранилища – объем, заключенный между нормальным подпорным уровнем воды и ложем водохранилища. Сумма полезного и мертвого объемов водохранилища.

Половодье – это регулярный (ежегодно повторяющийся), длительный (от 1 до 6 месяцев) период подъема уровней и расходов воды в реке, вызываемый климатическими факторами: весенне-летним таянием снега и льда, либо наступлением сезона дождей.

Польдер – пространство низинных земель, отгороженных от моря или другого водоёма дамбами. Сброс воды с польдера осуществляется с помощью шлюзов или наносов, а уровень грунтовых вод на польдере не зависит от уровня воды на соседних площадях.

Понур – водонепроницаемое покрытие, часть флютбета, создаваемое в верхнем бьефе для удлинения пути фильтрации грунтовых вод и предохранения от размыва поверхностным потоком участка ложа реки, примыкающего к гидротехническому сооружению.

Предупреждение о паводке – предупреждающее извещение о том, что уровни паводка или расходы могут превысить допустимые пределы, даваемое станций, расположенной выше по течению, в нижележащие пункты; такое предупреждение даёт возможность своевременно провести защитные мероприятия с целью довести до минимума ущерб, который может быть нанесён народному хозяйству, и предотвратить опасность для жизни людей.

Приток – ручей или река, впадающие в более крупную реку или озеро.

Прорыв – разрушение тела вала вследствие подмыва или размыва.

Просадка – опускание приподнятой поверхности почвы вследствие потери или усадки нижележащего материала.

Просадка снега – осадка снежной поверхности на значительную глубину.

Профиль. Сечение. Разрез – описание или представление о том, каким должен показаться объект, когда его “разрезают” какой-либо секущей плоскостью; изображение того, что остается за этой плоскостью, или того, что якобы происходит внутри объекта. Вертикальный разрез, на котором показаны отметки мест пересечения плотины с естественной поверхностью земли, скалы, границы выемки и другие проектные данные, такие как продольная ось плотины. Профиль (поперечный) обычно имеет U-образную или V-образную форму, и форму промежуточную между ними.

Профиль поверхности – вертикальный разрез поверхности участка в любом заданном направлении перед планировкой и после неё.

Пруд – искусственный водоем, созданный как источник воды для орошения, разведения рыбы и водоплавающей птицы, хранения воды, проведения спортивных и оздоровительных мероприятий и других целей. Площадь обычно не более 1 км².

Пьезометр – прибор для измерения давления в текучей жидкости, состоящий из трубки небольшого диаметра, вставленной в точке наблюдения (например, на сторонах открытых или закрытых водоводов, передней грани водослива и т. п.) и соединённой

с измерителем давления с ртутным или водяным столбом или каким-нибудь другим соответствующим устройством.

Рассекатели – блоки, устанавливаемые на водобое с обратным уклоном при переменном уровне нижнего бьефа для того чтобы усилить растекание потока и уменьшить скорость. Эти блоки имеют специальную конструкцию.

Расход – 1. Объём воды, протекающий через живое сечение потока в единицу времени. 2. Термин, используемый в некоторых странах, равноценный норме воды, выражаемой в единицах слоя воды; относится к объектам орошения, находящимся в эксплуатации. Расход устанавливается (измеряется или рассчитывается) для определённого места оросительной системы, например, расход водовыдела в хозяйство, расход водозабора, расход в голове канала второго, третьего и последующих порядков, расход в голове главного канала.

Расход и подача – расход – это поток, выходящий из водовыпуска. Подача – это поток, проходящий по каналу.

Регулирование русло реки – 1. Гидротехнические работы (включая искусственное облесение берегов) с обвалованием или без обвалования берегов с целью обеспечить течение реки по существующему или искусственному руслу. 2. Регулирование русла реки для судоходных целей, заключающееся в обеспечении водного пути заданной глубины, или путём создания комплекса искусственных сооружений (плотин и шлюзов), спрямления русла.

Река – естественный водный поток, текущий в выработанном им русле, питающийся за счет стока с его водосбора.

Речная система – совокупность рек, какой-либо территории, сливающихся вместе и выносящих свои воды с этой территории в виде общего потока (главной реки) в море или озеро. Состоит из главной реки и притоков разного порядка.

Репер, опорный – постоянная точка, зафиксированная на любом постоянном сооружении, отметка которой определена точной нивелировкой; эта точка используется как опорная при определении других отметок.

Рисберма – укрепленный участок русла реки в нижнем бьефе (за водобоем) водосбросного гидротехнического сооружения. Защищает русло от размыва, выравнивает скорость потока и др.

Рыбохозяйственные сооружения – гидротехнические сооружения – 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 рыбозаведения.

Самописец – прибор, записывающий колебания уровня, давления, глубины или скорости в водотоке или водоёме.

Санитарный расход воды – минимальный расход воды, обеспечивающий соблюдение нормативов качества воды и благоприятные условия водопользования в нижнем бьефе водохранилища.

Сапропель – наименование гумусных отложений (почв) осадочного происхождения, в которых гумус состоит из растительных и животных остатков, осажённых в стоячей воде.

Сброс воды, эксплуатационный – вода, сброшенная через водосброс и выведенная из ирригационной системы после того, как она была забрана в неё.

Сель – это вид внезапного мощного паводка, при котором водный поток несет значительное количество твердого материала в виде влекомых наносов, состоящих из продуктов разрушения горных пород.

Скорость течения – скорость течения воды в данный момент в любой точке потока. Очень часто под **скоростью течения** подразумевается средняя скорость потока.

Снегозапасы – запасы воды в водосборном бассейне в форме снега и льда.

Снегомер – прибор для измерения мощности и плотности снега.

Сооружения, водовыпускные – общий термин для всего комплекса сооружений, предусматриваемых в плотине для выпуска воды из водохранилища в соответствии с действующими нормами. Этот термин включает в себя такие элементы, как сорудерживающая решётка, водоводы, аварийные и рабочие затворы или клапаны, камера затворов или задвижки, успокоительный колодец. Водосбросы в понятие данного термина не входят.

Сооружения, водозаборные. Головные сооружения – общий термин для всех сооружений (водосливных или водозаборных пло-

тин, головных регуляторов, руслорегулирующих сооружений на реке выше и ниже водозабора со всеми относящимися к ним сооружениями), используемых при водозаборе для регулирования течения реки и подачи воды в магистральный канал. Сооружения, построенные в места забора воды у водоисточника (река, подводный канал, водохранилище), а также для отвода воды из системы. Сюда также входят дамбы, полтины, запруды, головные сооружения или головные регуляторы, сбросы и другие вспомогательные сооружения.

Сооружения, водопроводящие – сооружения, предусматриваемые на системе для транспортировки необходимого количества воды к месту её конечного использования.

Сооружения, водосбросные – гидротехнические сооружения (вспомогательные или основные), предназначенные для безопасного отвода излишней воды (не требуемой для аккумуляции в водохранилище) в нижний бьеф (в реку) или в естественные сбросные русла (одно или несколько). Излишняя вода может переливаться поверх водослива плотины или бокового водосброса или пропускаться через плотину.

Сооружения для отбора воды неэнергетическими водопотребителями – гидротехнические сооружения, обеспечивающие отбор и подачу воды в требуемом направлении; это водоприемные сооружения, отстойники, насосные станции.

Сооружения, защитные – сооружения, предназначенные для отвода ливневых, талых, или дренажных вод помимо транспортирующих и других каналов, а также обеспечивающие регулирование сброса избытка или незапланированно поданного объема воды.

Способ орошения – способ подачи и распределения воды при орошении.

Станция, гидрометрическая – гидрометрическая станция – это выбранный на водотоке участок, оборудованный гидрометрическими створом, измерительными приборами и используемый для получения систематических данных по горизонтам, расходам и наносам.

Сток – 1. Часть объема осадков, стекающая с данной территории в естественные или искусственные водотоки. 2. Суммарная

величина стока за данный период. 3. Расход воды в водотоке выше определённого створа.

Струя – поток воды, выходящий с большой скоростью из отверстия или из насадки или же другого отверстия аналогичного типа.

Судоходные сооружения – гидротехнические сооружения, предназначенные для пропуска судов и плотов через гидроузел, перевалки грузов и пересадки пассажиров с водного на сухопутный транспорт и наоборот. К ним относятся шлюзы или судоподъемники с подходными каналами и др.

Съёмка геодезическая – 1. Съёмка, в которой учитывается рельеф и размеры поверхности земли. 2. Служба геодезической съёмки – организация, занимающаяся геодезической съёмкой.

Съёмка геологическая – 1. Совокупность исследований с целью всестороннего изучения геологического строения Земли, физических изменений, которые перетерпела или претерпевает земная кора, и причин, вызывающих эти изменения. 2. В связи с развитием водных ресурсов – это съёмка или изыскания геологических условий оснований плотин, чаши водохранилищ и других важнейших сооружений, а также строительных материалов для строительства водохозяйственных объектов.

Тальвег – линия, соединяющая самые низкие отметки долины, находящиеся как под водой, так и вне ее; обычно эта линия совпадает с линией небольших глубин русла или с его серединой. Естественные водотоки в степных местностях, через которые весной после ливневых дождей поверхностные воды сбрасываются в русло реки и ручьев.

Таран, гидравлический – механизм или машина для подъёма воды за счет использования инерции воды, поступающей через трубу самотеком с интервалами. Подъем воды осуществляется на высоту, большую, чем действующий напор. Устройство для подъема воды, основанное на использовании явления гидравлического удара или импульса, возникающего при периодическом внезапном перекрытии подводящего трубопровода.

Теорема Бернулли – теорема, в соответствии которой полный напор в любой точке водотока равен сумме гидростатического напора, потенциальной энергии и скоростного напора.

Теория динамики русловых процессов – раздел науки, в котором изучается движение воды и наносов в русловых потоках.

Транспортирующая способность потока – количество наносов определённой гидравлической крупности за единицу времени, которое способен перемещать водоток через поперечное сечение без изменения типа русловых процессов.

Транспортные гидротехнические сооружения – гидротехнические сооружения, служащие 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.

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.

Турбина – двигатель, преобразующий энергию движущейся воды в механическую, носителем которой является вал рабочего колеса турбины.

Турбины активные – процесс использования энергии струи здесь происходит при атмосферном давлении, а производство энергии осуществляется только за счет кинетической энергии воды.

Турбины реактивные – водяные 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.

Угол естественного откоса – наибольший угол с горизонтальной плоскостью, образуемый откосом. Угол между горизонталью и линией максимального наклона поверхности грунта в его естественном состоянии. Для сухого сыпучего грунта влияние высоты откоса на его устойчивость незначительно; для связных грунтов влияние высоты откоса настолько велико, что термин **угол естественного откоса** не имеет смысла.

Уровень мертвого объема (УМО) – наименьший уровень воды в водохранилище, допустимый по условиям нормальной эксплуатации гидротехнического сооружения. Достигается при сработке его полезного объема.

Устье – низовые реки, переходящие в узкий морской рукав; впадение реки в море; эстуарий. 1. Концевая часть или выход реки, водотока, дренажного канала и т.п. 2. Точка, где сбросной канал сливает воду в естественный водоотвод (канал, впадину, ложбину, пустошь и т.д.).

Ущерб, косвенный – ущерб, причиняемый паводком, не связанный с непосредственным действием паводковых вод; например, потери, вызываемые перерывом производства тех или иных товаров.

Ущерб от паводка – разрушение или нанесение ущерба в результате вредного воздействия паводковых вод.

Ущерб, прямой или потери – все потери, вызванные затоплением или разрушительным действием паводковых вод.

Фильтрация – движение свободной воды через поры или трещины в грунте.

Флютбет – совокупность частей водосбросной плотины, поверх которых протекает открытый водный поток, включая понур, водосливный порог, водобой и рисберму.

Флюгер – устройство для указания направления ветра.

Шандоры – балки, укладываемые в пазах бычков одна на другую для образования водонепроницаемой стенки. Шандоры обычно применяют как ремонтное или аварийное заграждение, 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.

Шлюз – гидротехническое сооружение между водоёмами с различными уровнями воды, позволяющее переводить суда из одного водоёма в другой.

Шлюз, бассейновый – шлюз, сооруженный в том месте, где судоходный канал проходит через бассейн.

Шлюз, береговой – шлюз, построенный в береговом валу и снабженный шандорами и затворами, открываемым в период исключительно высоких паводков.

Штанга, промерная – пустотная штанга с делениями и круглым диском на конце для промеров. Для глубоких быстро текущих водотоков используют нагруженный промерный трос.

Шуга – скопление рыхлого губчатого льда в водной толще или на поверхности водоема. Образуется главным образом из кристалликов глубинного льда (внутриводного и донного). Возникает до ледостава преимущественно на горных и порожистых реках.

Эвапориметр. Атмометр – инструмент для измерения интенсивности энергии испарения в воздух.

Эжектор – насос, в цилиндре которого струей воды, пара или воздуха, пропускаемой с высокой скоростью через узкое отверстие, создается вакуум, благодаря чему вода из источника засасывается в цилиндр. Кинетическая энергия движущейся массы впоследствии превращается в энергию давления при расширении.

Эксплуатация канала – 1. Улучшение гидротехнических характеристик в естественных или искусственных каналах очисткой, углублением или другими методами для увеличения их пропускной способности. 2. Предотвращение размыва при охране почв.

Эрозия – 1. Разрушение поверхности земли и сооружений в результате действия текущей воды, ледников, ветра и волны. Эрозия делится на три стадии: корразия (подмыв), коррозия (разрушение) и транспортирование эродированного материала. Выветривание, которое также относится к эрозии, представляет собой несколько другой процесс, происходящий без перемещения эродированного материала. 2. Процесс разрушения земель или структуры под действием ветра, воды, путем стока и сноса осадков водой, волнами, ледниками и т. д.; существует три вида эрозии: **корразия, коррозия, перенос**. Иногда сюда включают и выветривание пород, что не совсем верно, поскольку в результате выветривания не происходит переноса материала.

Эрозия, водная – снос почвы с поверхности в результате ускоренного движения воды, включая сток осадков, тающего снега и льда.

Эстуарий – участок реки, где речной поток встречается с приливом; морской рукав, переходящий в низовые реки.

Эхолот – прибор для определения глубины воды в водотоках и водоемах. Принцип действия эхолота основан на регистрации промежутка времени, необходимого для прохождения ультразвукового импульса от прибора до дна и обратно, к приемнику прибора.

Перечень использованной литературы

1. Безопасность гидротехнических сооружений в Центральной Азии. Алматы, 2011. С. 40.
2. *Беляков Ю.П., Рахимов К.Р.* Гидроэнергетика Кыргызстана. Бишкек: ИЦ «Техник», 2006. 214 с.
3. Гидротехнические сооружения: учеб. пособие для вузов / под ред. Н.П. Розанова. М.: Стройиздат, 1978. 647 с.
4. Гидротехнические сооружения: справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1983.
5. *Каганов Г.М., Румянцев И.С.* Гидротехнические сооружения: учебник. Кн. 1, 2. М.: Энергоиздат, 1994. С. 350.
6. *Кошматов Б.Т.* Совершенствование конструкции водомерных сооружений на мелиоративных системах: дис. ... д-ра техн. наук / Б.Т. Кошматов. Бишкек, 2015.
7. *Логоинов Г.И.* Водозаборные сооружения // LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG 2011. 175 с.
8. *Ляпичев Ю.П.* Гидротехнические сооружения: учеб. пособие. М.: РУДН, 2008. 302 с.
9. *Рассказов Л.П. и др.* Гидротехнические сооружения: учебник для вузов. М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2008. 528 с.
10. СНиП 33-01–2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования / Госстрой РФ. М., 2003. 31 с.
11. *Рассказов Л.П. и др.* Гидротехнические сооружения: учебник. Ч. 1. М.: Энергоиздат, 1996.
12. *Розанов Н.П. и др.* Особенности проектирования и строительства гидросооружений в условиях жаркого климата: учебник. М.: Колос, 1993.
13. *Волков И.М., Кононенко П.Ф., Федичкин И.К.* Гидротехнические сооружения. М.: Колос, 1968. 464 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ	9
1.1. Основные задачи гидротехнических сооружений и гидротехники	13
1.2. Классификация гидротехнических сооружений по их воздействию на водоток.....	13
1.3. Водоохранилища Кыргызстана.....	22
ГЛАВА 2. ПЛОТИНЫ	26
2.1. Классификация плотин	26
2.2. Характерные уровни воды в верхнем бьефе плотины	28
2.3. Действие речного потока на плотину	30
2.4. Действие плотины на речной поток	32
2.5. Фильтрация воды под плотинами	35
2.6. Бетонные и железобетонные плотины	37
2.7. Силы, действующие на плотины	39
2.8. Устройство плотин	41
2.9. Особенности конструкции плотин на мягких основаниях	43
2.10. Облегченные гравитационные плотины	44
2.11. Арочные плотины.....	46
2.12. Плотины с низким порогом	48
2.13. Водопропускные устройства в теле плотины	48
2.14. Устройства нижнего бьефа водосбросных плотин	50
2.15. Плотины из грунтовых материалов	54
2.16. Водопропускные сооружения вне тела плотины	61
2.17. Деревянные плотины и плотины из прочих строительных материалов	64
2.18. Другие виды плотин.....	65
ГЛАВА 3. МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПЛОТИН	67
3.1. Общие сведения.....	67
3.2. Поверхностные затворы.....	68
3.3. Конструкция некоторых поверхностных затворов	71
3.4. Подъемно-опускные устройства затворов	74
3.5. Обеспечение бесперебойной работы затворов	75

3.6. Глубинные затворы	77
ГЛАВА 4. ВОДОЗАБОРЫ И ВОДОВОДЫ	78
4.1. Речные водозаборы	78
4.2. Бесплотинный самотечный водозабор	79
4.3. Плотинный самотечный водозабор	80
4.4. Отстойные бассейны (отстойники).....	82
ГЛАВА 5. ВОДОПРОВОДЯЩИЕ СООРУЖЕНИЯ	89
5.1. Назначение и классификация.....	89
5.2. Каналы и лотки	90
5.3. Потери воды из каналов и меры борьбы с ними	92
5.4. Сооружения на каналах	93
5.5. Трубопроводы.....	98
5.6. Учет воды на водозаборах	99
ГЛАВА 6. ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НА ГЭС	102
6.1. Мощность и энергия речного потока	102
6.2. Принципиальные схемы гидроэлектростанций.....	104
6.3. Оборудование гидроэлектростанций.....	108
6.4. Состав сооружений и компоновка гидроэлектростанций	114
6.5. Компоновка ГЭС при плотинной схеме использования водной энергии	116
6.6. Компоновка ГЭС при деривационной схеме использования водной энергии	119
6.7. Экономические показатели гидроэнергетических установок	120
6.8. Электроэнергетические системы	122
6.9. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)	125
6.10. Приливные электрические станции (ПЭС)	129
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО КУРСУ	132
ТЕМЫ ДЛЯ РЕФЕРАТОВ ПО КУРСУ	134
ТЕМЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ	135
ГЛОССАРИЙ	136
Перечень использованной литературы.....	159

И.А. Эгизов, Б.С. Ордобаев

**ОСНОВЫ КУРСА
«ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ
СООРУЖЕНИЯ»**

**Учебное пособие
для студентов технических
специальностей направления
«Гидротехнические сооружения»
профиля «ЗЧС»**

Редактор *И.С. Волоскова*
Компьютерная верстка *Д.Ю. Иванова*

Подписано в печать 25.02.2018.
Печать офсетная. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Объем 10,25 п. л. Тираж 100 экз. Заказ 13

Издательство КРСУ
720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44

Отпечатано в типографии КРСУ
720048, г. Бишкек, ул. Горького, 2