



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Гидротехнические сооружения относятся к категории наиболее сложных инженерных объектов. Трудность их проектирования, возведения и эксплуатации определяется главным образом тем, что их параметры, компоновки и конструкции теснейшим образом связаны с природными условиями, а именно с топографическими, геологическими, гидрологическими характеристиками района строительства.

Применить принципы типового проектирования к гидротехническим сооружениям достаточно сложно. Как правило, их возведение на таких объектах, как гидроэлектростанции (ГЭС), тепловые и атомные электростанции (ТЭС и АЭС), судоходные и рыбопропускные гидрозлузы, мелиоративные системы, представляет собой исключительно сложную и в значительной степени уникальную задачу. Указанные особенности требуют от специалиста не только глубоких теоретических знаний, необходимых для создания и эксплуатации гидротехнических сооружений, но и определенных практических навыков по их проектированию. Данное учебное пособие является именно практическим пособием. Его основная цель – помочь студентам при их самостоятельной работе, преимущественно при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Учебное пособие предназначено главным образом для студентов дневного и заочного отделений водохозяйственных специальностей: «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», «Водохозяйственное строительство», «Строительство тепловых и атомных электростанций». Оно может быть использовано студентами других специальностей, в учебных планах которых имеются дисциплины, связанные с изучением гидротехнических сооружений.

Пособие подготовлено с учетом многолетнего опыта преподавания дисциплины «Гидротехнические сооружения» для трех указанных выше специальностей в соответствии с учебными планами и программами, а также с учетом специфики каждой из этих специальностей.

Книга охватывает наиболее сложные разделы дисциплин «Гидротехнические сооружения», «Гидротехнические сооружения ТЭС и АЭС» и «Гидрология и гидротехнические сооружения», по которым в

рамках самостоятельной работы студенты выполняют курсовые проекты, а также соответствующие разделы дипломных проектов.

Пособие состоит из 14 глав, содержит примеры расчетов, с достаточной полнотой охватывающие основные проблемы, с которыми студенты сталкиваются при выполнении самостоятельной работы. Оно может быть полезно также магистрантам и аспирантам, широкому кругу специалистов, занятых проектированием гидротехнических сооружений. Достаточно подробно излагаются теоретические основы, но лишь в том объеме, который необходим при решении рассматриваемых практических задач. Вследствие этого использование данного пособия предполагает параллельное изучение общих теоретических курсов гидротехнических сооружений, изложенных в соответствующих учебниках. В приложениях дается справочный материал, необходимый для расчетов.

Расчеты, приведенные в пособии, основываются на знаниях, полученных студентами при изучении дисциплин «Механика жидкости и газа», «Соппротивление материалов», «Строительная механика», «Инженерная геология и гидрогеология», «Инженерная гидрология».

Авторы надеются, что данное пособие будет способствовать более глубокой, фундаментальной подготовке инженерных кадров для водохозяйственной и энергетической отраслей Республики Беларусь.

Авторы выражают глубокую признательность рецензентам рукописи пособия – коллективу кафедры «Гидравлика и гидравлические машины» учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», возглавляемой кандидатом технических наук, доцентом А.М. Кравцовым, а также заведующему кафедрой «Гидротехнические сооружения и водоснабжение» учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» кандидату технических наук, доценту М.В. Нестерову за внимательный просмотр рукописи и полезные замечания и предложения, сделанные при ее рецензировании.

Авторы благодарны также доктору технических наук, профессору кафедры «Водоснабжение и водоотведение» учреждения образования «Белорусский национальный технический университет» Э.И. Михневичу за предоставленный материал, использованный при написании главы 12 «Каналы и сооружения на них».

# Глава 1. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

## 1.1. Гидротехника как наука и отрасль техники

*Гидротехника* (в переводе с древнегреческого – водное мастерство) – это наука и отрасль техники. Как наука гидротехника занимается изучением водных ресурсов, их использованием для различных хозяйственных целей и борьбой с разрушительными проявлениями водной стихии. Как отрасль техники гидротехника занимается проектированием, строительством и эксплуатацией гидротехнических сооружений.

Как прикладная наука гидротехника базируется на ряде научно-технических дисциплин, основными из которых являются гидравлика и гидромеханика, гидрология и гидрометрия, геология и гидрогеология, сопротивление материалов и теория упругости, строительная механика, строительные материалы, бетонные, железобетонные и каменные конструкции и др.

В связи с неравномерным распределением водных ресурсов как по территории земного шара, так и во времени основными задачами гидротехники являются:

- изменение, преобразование естественного режима водного объекта (реки, озера, подземных вод и др.) для целесообразного использования в экономике, а также с целью защиты окружающей среды от разрушительного воздействия вод;
- создание искусственных водотоков и водоемов там, где не хватает естественных вод или они полностью отсутствуют.

Гидротехника – одна из древнейших отраслей науки и техники, которой человек начал заниматься с момента перехода к оседлому образу жизни, так как земледелием в Средиземноморье, Китае, Индии, Египте и на других территориях невозможно было заниматься без использования речных вод. В VIII–VI вв. до н.э. простейшие гидротехнические сооружения (каналы, дамбы) строились в Хорезме. За 4400 лет до н.э. в Египте создавались каналы для орошения земель в долине Нила, строились земляные плотины. В Вавилоне за 4 тыс. лет до н.э. в городах

работали водопроводы и артезианские колодцы. В период расцвета Римской империи были построены водопровод в Карфагене (частично сохранившийся до наших дней), канализация в Риме, началось осушение Понтийских болот. За 2 тыс. лет до н.э. на территории современных Нидерландов строились дамбы для защиты прибрежных территорий от затопления. За 400–500 лет до н.э. возводились первые судоходные сооружения (канал от Нила к Красному морю).

В средние века широко использовались водяные мельницы, строились системы водоснабжения городов и замков, судоходные шлюзы и порты, велись работы по осушению и орошению земель. В XVII–XVIII вв. с развитием мануфактур связано строительство плотин и гидросиловых установок.

Во второй половине XIX в. с изобретением водяных турбин и строительством гидроэлектростанций связан новый подъем гидротехники.

Основные этапы развития гидротехники на территории Беларуси связаны:

- со строительством в XVIII–XIX вв. водотранспортных каналов – Огинского (соединившего реки Ясельда и Щара), Августовского (Неман – Бебша), Березинского (Березина – Западная Двина), Днепробугского (Припять – Западный Буг);
- с началом работ в 1870 г. в Полесье Западной экспедиции по осушению болот под руководством И.И. Жилинского;
- со строительством в 40–50-х гг. прошлого столетия межколхозных и колхозных гидроэлектростанций (построено 179 ГЭС);
- с широкомасштабными работами по созданию осушительно-увлажнительных мелиоративных систем (мелиорировано 3 млн га сельскохозяйственных угодий) и прудовых рыбоводных хозяйств.

## **1.2. Водные ресурсы и водное хозяйство**

Водные ресурсы земного шара состоят из океанов, морей, ледников, озер, рек, подземных вод и паров воды в атмосфере. Общий объем всех водных ресурсов оценивается в 1,45 млрд км<sup>3</sup>, из которых более 90% ( $\approx 1,35$  млрд км<sup>3</sup>) составляют воды океанов и морей.

Наиболее важную роль в жизнедеятельности людей играет пресная вода, основные источники которой – речной сток и подземные воды. Средний годовой речной сток земного шара составляет около 38 150 км<sup>3</sup>, из которых на долю Европы приходится примерно 2950 км<sup>3</sup>, а на долю Азии – 12 860 км<sup>3</sup>.

На территории Республики Беларусь находится более 20 тыс. рек и ручьев общей протяженностью около 90,6 тыс. км, более 10 тыс. озер, а запасы подземных вод оцениваются в 18 км<sup>3</sup>.

Речной сток неравномерно распределен по территории и во времени. Около 75% годового стока приходится на короткий (1–3 мес.) период паводков, а на длительный меженный период остается 25%. Это обуславливает трудности для эффективного использования речного стока в хозяйственной деятельности, требуя его искусственного перераспределения во времени с помощью водохранилищ. В настоящее время в Беларуси создано более 150 водохранилищ и около 1500 прудов.

Группа отраслей хозяйства, осуществляющих изучение природных водных ресурсов и их использование в хозяйственной деятельности, составляет *водное хозяйство* страны. Основными отраслями водного хозяйства являются:

- гидроэнергетика — использование речных и морских вод для производства электрической энергии;
- водный транспорт — использование речных, озерных и морских вод для судоходства и лесосплава;
- инженерная мелиорация — орошение земель и обводнение пастбищ в районах с нехваткой естественных водных ресурсов и осушение переувлажненных земель;
- водоснабжение населения, промышленных, транспортных и других предприятий, очистка и отведение отработанных вод;
- использование водных недр — лов и разведение рыбы, добыча морского зверя, соли, водорослей и полезных ископаемых;
- охрана водных ресурсов от загрязнения и защита территорий от разрушительного воздействия водной стихии.

Все отрасли водного хозяйства в свою очередь подразделяются на *водопотребителей*, которые забирают воду из водоисточников, расходуют ее на свои нужды и практически не возвращают ее в источник (орошение, обводнение и водоснабжение), и *водопользователей*, которые забирают воду из водоисточников и после использования возвращают ее в источник (гидроэнергетика, водный транспорт).

Рациональное ведение водного хозяйства базируется на принципе комплексного использования водных ресурсов. Это означает, что при планировании и проектировании водохозяйственных мероприятий необходимо учитывать потребности всех отраслей водного хозяйства, которые экономически эффективны и целесообразны не только в настоящее время, но и в будущем. Кроме того, принцип комплексного использования водных ресурсов позволяет при создании водохозяйственных объектов, которые требуют значительных капитальных вложений, привлекать финансовые средства нескольких отраслей.

### 1.3. Классификация гидротехнических сооружений

Инженерные сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов в хозяйственных целях, называются *гидротехническими*. Они характеризуются большим разнообразием конструкций, что объясняется их многоцелевым назначением и многообразием природных условий, в которых они возводятся. Все многочисленные типы и конструкции гидротехнических сооружений можно классифицировать по ряду наиболее общих факторов.

В зависимости от водного объекта, на котором возводятся гидротехнические сооружения, они подразделяются на *речные, озёрные и морские*, а в зависимости от их местоположения относительно поверхности земли — на *наземные и подземные*. (В данном курсе будут рассматриваться речные гидротехнические сооружения.)

Гидротехнические сооружения, которые используются одновременно несколькими отраслями водного хозяйства, называются *общими*, а сооружения, предназначенные для использования только одной какой-либо отраслью, — *специальными*. К общим гидротехническим сооружениям относятся плотины, водосбросные сооружения, каналы, а к специальным — здания гидроэлектростанций, судоходные шлюзы, портовые сооружения и т.д.

По условиям использования все гидротехнические сооружения подразделяются на *постоянные*, которые служат в течение всего периода эксплуатации водохозяйственного объекта, и *временные*, которые используются только в период строительства или ремонта постоянных сооружений. К временным сооружениям относятся перемычки и строительные водосбросы.

В зависимости от характера воздействия на речной поток гидротехнические сооружения подразделяются на водоподпорные, водопроводящие и руслорегулирующие.

*Водоподпорными сооружениями* называются сооружения, перегораживающие русло реки и создающие подпор, т.е. разность уровней воды перед сооружениями и за ними (рис. 1.1). Основные водоподпорные сооружения — плотины различных конструкций, возводимые из различных материалов.

Зона потока выше по течению плотины называется *верхним* (или *подпертым*) *бьефом* (ВБ), а ниже плотины — *нижним бьефом* (НБ). Разность уровней воды в верхнем и нижнем бьефах ( $H$ ) называется *напором на сооружение*. Подпор уровня воды в верхнем бьефе распространяется вверх по течению реки, постепенно уменьшаясь, а уровни воды приближаются к бытовым ( $h_0$ ), т.е. к тем уровням, которые были до строительства подпорного сооружения. На всем участке подпора глубина речного потока по мере приближения к плотине увеличивается, а скорость потока при этом уменьшается.

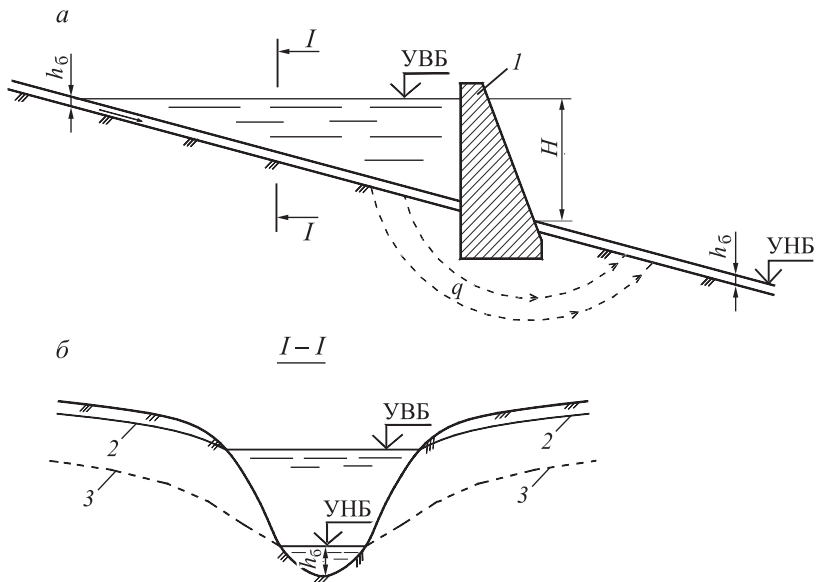


Рис. 1.1. Схема подпорного сооружения:

$a$  – продольный разрез по руслу реки;  $b$  – поперечное сечение;  $1$  – плотина;  $2$  – уровни грунтовых вод после строительства плотины;  $3$  – уровни грунтовых вод до строительства плотины; УВБ, УНБ – уровни соответственно верхнего и нижнего бьефов

Вследствие повышения уровня воды в верхнем бьефе происходит затопление прибрежных территорий, которые ранее речными водами вообще не затоплялись или затоплялись кратковременно во время паводков.

Подпор воды в реке вызывает существенные изменения режима грунтовых вод, которые разгружаются (стекают) в реку. При подъеме уровня воды в реке происходит подъем уровня грунтовых вод, которые могут настолько приблизиться к поверхности земли, что использование этих территорий по их назначению оказывается невозможным. Такие территории называются *подтопленными*.

Под действием напора, созданного плотиной, происходит движение воды из верхнего бьефа в нижний через поры грунта основания. Это явление называется *фильтрацией воды в основании сооружения*. Помимо фильтрации в основании сооружения созданный напор вызывает и фильтрацию воды в берегах, к которым примыкает подпорное сооружение, – так называемую *обходную фильтрацию*, т.е. фильтрацию в обход подпорного сооружения.

В связи с уменьшением скорости течения речного потока в верхнем бьефе уменьшается и способность его перемещать (транспортировать)



взвешенные и донные наносы. В результате наносы начинают выпадать на дно реки, вследствие чего происходит заиление верхнего бьефа.

*Водопроводящие сооружения* представляют собой искусственные русла, предназначенные для подачи воды от водоисточника к водопотребителю или водопользователю. К водопроводящим сооружениям относятся каналы, гидротехнические туннели, лотки (рис. 1.2), трубопроводы и др.

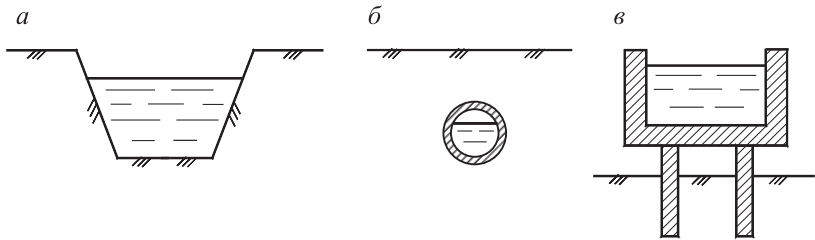


Рис. 1.2. Схемы водопроводящих сооружений:  
а – канала; б – гидротехнического туннеля; в – лотка

*Каналы* – это искусственные русла, выполненные в грунте. Они являются самыми распространенными сооружениями для подачи воды к гидроэлектростанциям, оросительным системам, населенным пунктам, для отвода воды с заболоченных земель, пропуска судов и т.д.

*Гидротехнические туннели* представляют собой водоводы, выполненные под землей без удаления вышерасположенного слоя грунта.

*Лотки* – это искусственные русла из бетона, железобетона, металла, дерева или полимерных материалов. Они могут устанавливаться непосредственно на поверхности земли или над ней на специальных опорах.

*Трубопроводы* выполняются из бетона, железобетона, металла и полимерных материалов и укладываются либо на поверхности земли на специальных опорах, либо в специально отрытую траншею и засыпаются землей.

Функцию водопроводящих сооружений выполняют также и водосбросы, служащие для пропуска воды из верхнего бьефа в нижний.

*Руслорегулирующие сооружения* не создают разности уровней воды в реке, а предназначены для регулирования эрозионных процессов в русле и изменения режима потока с целью наиболее эффективного использования в хозяйственной деятельности или для защиты от его разрушающего воздействия.

Руслорегулирующие сооружения представляют собой дамбы или струнаправляющие сооружения, возводимые в русле реки с целью из-

менения режима движения речного потока таким образом, чтобы он максимально эффективно использовался потребителями. К регулирующим сооружениям относятся также береговые одежды, защищающие их от размыва речным потоком.

В зависимости от материалов, используемых для возведения гидротехнических сооружений, они подразделяются на *земляные, каменные, каменно-земляные, бетонные, железобетонные, деревянные, металлические и из полимерных материалов.*

Все постоянные гидротехнические сооружения в зависимости от народнохозяйственного значения и с учетом тяжести последствий при их авариях подразделяются на четыре класса, приведенные в табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Классы гидротехнических сооружений**

Водоподпорные сооружения	Грунты основания	Высота сооружения, м, определяющая класс			
		I	II	III	IV
Плотины из грунтовых материалов	Скальные	> 100	70...100	25...70	< 25
	Песчаные, крупнообломочные, глинистые в твердом или полутвердом состоянии	> 65	35...65	15...35	< 15
	Глинистые водонасыщенные в пластичном состоянии	> 50	25...50	10...25	< 10
Плотины бетонные и железобетонные, подводные конструкции зданий ГЭС, судходные шлюзы, судоподъемные сооружения, подпорные стенки и другие бетонные сооружения, участвующие в создании напорного фронта	Скальные	> 100	60...100	25...60	< 25
	Песчаные, крупнообломочные, глинистые в твердом и полутвердом состоянии	> 50	25...50	10...25	< 10
	Глинистые водонасыщенные в пластичном состоянии	> 25	20...25	10...20	< 10

## **1.4. Взаимодействие гидротехнических сооружений с водным потоком и основанием**

Речные гидротехнические сооружения, значительно изменяя режим водного потока, в свою очередь испытывают на себе различные его воздействия. К ним относятся механические, фильтрационные, физико-химические и биологические воздействия.



ционные деформации грунта основания, наиболее опасными из которых являются химическая и механическая суффозии.

*Химическая суффозия* заключается в растворении фильтрационным потоком некоторых скальных пород (каменная соль, гипс, ангидрит) и вынос их в растворенном виде в нижний бьеф.

*Механическая суффозия* – это вынос фильтрационным потоком в нижний бьеф мелких частиц грунта. Механическая суффозия, как и химическая, ведет к образованию в грунте основания под сооружением пустот, каверн, в результате чего может быть нарушена устойчивость сооружения.

Для предотвращения фильтрационных деформаций необходимо уменьшить градиент фильтрационного потока до допустимого значения, при котором не будет опасности возникновения фильтрационных деформаций. Это достигается удлинением пути фильтрационного потока под сооружением с помощью понура и шпунтового ряда.

*Понур* представляет собой водонепроницаемое или маловодопроницаемое покрытие дна верхнего бьефа, которое выполняется из глины, суглинка, железобетона или полимерных материалов.

*Шпунтовой ряд* устраивается, как правило, под верховым зубом плотины и выполняется из металла, железобетона или дерева.

В случае скальных оснований понур и шпунтовой ряд не устраиваются, а их функции выполняет *противофильтрационная завеса* под верховым зубом плотины, которая возводится путем нагнетания в пустоты, трещины и поры скальных пород цементного, глинистого или полимерного раствора либо битумной мастики.

*Физико-химическое воздействие* воды на гидротехнические сооружения заключается:

- в истирании водосливных поверхностей водным потоком, насыщенным наносами;
- кавитационном разрушении водосливных и боковых поверхностей сооружений при обтекании их потоком с большей скоростью (более 14...17 м/с);
- коррозии металлических конструкций сооружения;
- выщелачивании из бетонных напорных сооружений фильтрационным потоком несвязной извести, разрушении бетонных и железобетонных конструкций вследствие периодического замерзания и оттаивания воды в порах, а также их разрушении водой, обладающей агрессивными свойствами по отношению к бетону.

*Биологическое воздействие* воды заключается в разрушительной деятельности микроорганизмов, живущих в воде. Это процессы гниения деревянных конструкций, разрушения камня камнеточцем, бактериальная коррозия сооружений и т.д.

Все нагрузки и воздействия, воспринимаемые гидротехническими сооружениями, в конечном счете передаются на грунт основания, вызывая в нем сжимающие, касательные, а иногда и растягивающие напряжения, что может привести к деформации грунтов, осадкам, появлению трещин и т.д. Недостаточный учет этих явлений при проектировании и строительстве сооружений может привести к авариям, последствия которых, как правило, связаны с огромным материальным ущербом, а иногда и с человеческими жертвами. По данным международной комиссии по большим плотинам, 40...50% аварий гидротехнических сооружений вызвано недостаточной надежностью грунтов оснований.

Таким образом, свойства грунтов основания, которые зависят от их геологического строения, имеют исключительно важное значение для надежности и нормальной эксплуатации гидротехнических сооружений.

Наиболее надежным основанием являются скальные породы, обладающие высокой прочностью, малыми деформативностью и трещиноватостью, водонепроницаемостью и водостойкостью. На таких основаниях можно возводить сооружения практически любых напоров.

Нескальные (мягкие) грунты оснований обладают значительно меньшей прочностью и большой деформативностью, вследствие чего на этих основаниях можно строить земляные сооружения высотой до 100 м, а бетонные — не более 30...40 м.

## **Глава 2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

### **2.1. Этапы возведения и специфика гидротехнических сооружений**

Процесс возведения гидротехнических сооружений и их использования для решения водохозяйственных задач состоит из четырех основных этапов:

1) гидротехнические изыскания – изучение природных условий района строительства сооружений (рельефа местности, геологического строения и гидрогеологических условий, гидрологических условий реки, климатических особенностей района строительства и его экономико-производственных условий);

2) проектирование – определение на основании данных гидротехнических изысканий и поставленных водохозяйственных задач состава и типов сооружений, их основных размеров, необходимого оборудования, разработка конструктивных чертежей, выбор методов и технологических схем производства работ, способов пропуска строительных расходов, организации строительства и т.д.;

3) организация и производство строительных работ в соответствии с проектом сооружений и сдача объекта в эксплуатацию;

4) эксплуатация возведенных сооружений – управление их работой, осмотр и наблюдение за состоянием сооружений в соответствии с требованиями, заложенными в проекте, текущий, аварийный и капитальный ремонты сооружений.

Основное отличие гидротехнических сооружений от других промышленных и гражданских зданий и сооружений заключается в том, что они эксплуатируются, постоянно находясь в воде, которая оказывает на них воздействия разнообразных видов. Кроме того, специфика гидротехнических сооружений проявляется в ряде особенностей.

1. Условия строительства гидротехнических сооружений значительно сложнее, чем других инженерных сооружений, поскольку они воз-

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>Глава 1. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ.</b> . . . . .	<b>5</b>
1.1. Гидротехника как наука и отрасль техники. . . . .	5
1.2. Водные ресурсы и водное хозяйство . . . . .	6
1.3. Классификация гидротехнических сооружений. . . . .	8
1.4. Взаимодействие гидротехнических сооружений с водным потоком и основанием . . . . .	11
<b>Глава 2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ</b> . . . . .	<b>15</b>
2.1. Этапы возведения и специфика гидротехнических сооружений . . . . .	15
2.2. Классификация нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения . . .	16
2.3. Основные принципы инженерных расчетов . . . . .	19
2.4. Состав проектов и стадии проектирования. . . . .	23
<b>Глава 3. КОМПОНОВКА НАПОРНЫХ РЕЧНЫХ ГИДРОУЗЛОВ</b> . . . . .	<b>26</b>
3.1. Гидроузлы и гидросистемы. . . . .	26
3.2. Общие принципы компоновки речных гидроузлов . . . . .	27
3.3. Компоновки низко- и средненапорных гидроузлов . . . . .	29
<b>Глава 4. ПЛОТИНЫ ИЗ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> . . . . .	<b>31</b>
4.1. Общие сведения . . . . .	31
4.2. Классификация плотин из грунтовых материалов . . . . .	32
4.3. Выбор створа и типа плотины . . . . .	35
4.4. Проектирование поперечного профиля земляных плотин. . . . .	37

4.5. Крепление откосов земляных плотин . . . . .	49
4.6. Противофильтрационные устройства . . . . .	58
4.7. Дренажные устройства . . . . .	61
4.8. Сопряжение тела плотины с основанием, берегами и бетонными сооружениями . . . . .	67
4.9. Фильтрационные расчеты земляных плотин. . . . .	69
4.10. Расчеты устойчивости откосов плотин по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения . . . . .	75
4.11. Расчеты устойчивости верховых откосов по плоским и комбинированным поверхностям скольжения . . . . .	86
4.12. Осадка тела плотины и грунта основания . . . . .	88
<b>Глава 5. ВОДОСБРОСНЫЕ СООРУЖЕНИЯ РЕЧНЫХ ГИДРОУЗЛОВ . . . . .</b>	<b>90</b>
5.1. Общие положения . . . . .	90
5.2. Классификация водосбросов . . . . .	92
<b>Глава 6. БЕТОННЫЕ ВОДОСБРОСНЫЕ ПЛОТИНЫ НА НЕСКАЛЬНЫХ ОСНОВАНИЯХ . . . . .</b>	<b>94</b>
6.1. Особенности нескальных оснований и их подготовка под плотины . . . . .	94
6.2. Схемы бетонных плотин на нескальных основаниях. . . . .	99
6.3. Конструкции элементов подземного контура . . . . .	101
6.4. Конструкции плотин и устройств нижнего бьефа . . . . .	107
6.4.1. Определение глубины заложения подошвы плотины. . . . .	107
6.4.2. Проектирование поперечного профиля плотины . . . . .	108
6.4.3. Деформационные швы и их уплотнения . . . . .	113
6.4.4. Дренажные устройства. . . . .	119
6.4.5. Смотровые галереи. . . . .	120
6.4.6. Облицовка граней плотины . . . . .	121
6.4.7. Конструкции устройств нижнего бьефа . . . . .	121
6.4.8. Конструкции быков и береговых устоев . . . . .	127
6.5. Гидравлические расчеты водосбросных плотин. . . . .	134
6.5.1. Основные задачи гидравлических расчетов. . . . .	134
6.5.2. Расчет пропускной способности поверхностных водосбросов (водосливов) . . . . .	135
6.5.3. Расчет пропускной способности глубинных и двухъярусных водосбросов. . . . .	140
6.5.4. Расчет сопряжения бьефов . . . . .	143



6.6. Фильтрационные расчеты плотин . . . . .	154
6.6.1. Расчет фильтрации в основании бетонных плотин . . . . .	154
6.6.2. Расчет фильтрации в обход берегового устоя . . . . .	160
6.7. Расчеты прочности и устойчивости бетонных плотин. . . . .	163
6.7.1. Определение контактных напряжений в основании плотины . . . . .	163
6.7.2. Расчет устойчивости плотины на сдвиг . . . . .	166
6.7.3. Расчет прочности материала тела плотины методом сопротивления материалов. . . . .	167
<b>Глава 7. ОТКРЫТЫЕ БЕРЕГОВЫЕ ВОДОСБРОСЫ . . . . .</b>	<b>169</b>
7.1. Состав сооружений и выбор оси водосбросного тракта . . . . .	169
7.2. Конструкции и расчеты . . . . .	171
7.2.1. Траншейный водосброс . . . . .	171
7.2.2. Быстроток . . . . .	176
7.2.3. Консольный перепад . . . . .	185
7.2.4. Многоступенчатый перепад . . . . .	189
<b>Глава 8. ЗАКРЫТЫЕ ВОДОСБРОСЫ . . . . .</b>	<b>194</b>
8.1. Пропускная способность закрытых водосбросов. . . . .	194
8.2. Конструкции и расчеты . . . . .	200
8.2.1. Трубчатые башенные водосбросы. . . . .	200
8.2.2. Трубчатые ковшовые водосбросы . . . . .	203
8.2.3. Расчет пропускной способности сифонных водосбросов . . . . .	204
8.2.4. Туннельные водосбросы . . . . .	208
8.2.5. Шахтные водосбросы. . . . .	210
8.2.6. Выбор типа водосброса . . . . .	214
<b>Глава 9. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ . . . . .</b>	<b>215</b>
9.1. Общие положения . . . . .	215
9.2. Бесплотинные водозаборы . . . . .	216
9.2.1. Компоновка и конструкции . . . . .	216
9.2.2. Определение глубины воды перед бесплотинным водозабором . . . . .	220
9.2.3. Расчет водоприемников . . . . .	222
<b>Глава 10. ПЛОТИННЫЕ ВОДОЗАБОРЫ . . . . .</b>	<b>228</b>
10.1. Классификация и состав сооружений . . . . .	228
10.2. Регулирование русел у плотинных водозаборов. . . . .	232

10.3. Гидравлические расчеты элементов водозаборных сооружений . . . . .	233
10.3.1. Расчет открытых водоприемников . . . . .	233
10.3.2. Расчет водосбросной щитовой плотины . . . . .	234
10.3.3. Расчет наносоперехватывающих галерей. . . . .	235
10.3.4. Расчет промывных карманов . . . . .	237
10.3.5. Расчет водоприемной галереи донно-решетчатого водозабора . . . . .	242
<b>Глава 11. ОТСТОЙНИКИ . . . . .</b>	<b>247</b>
11.1. Назначение и классификация отстойников . . . . .	247
11.2. Отстойники периодического действия. . . . .	248
11.2.1. Конструкция отстойника и его основные элементы . . . . .	248
11.2.2. Определение размеров отстойника . . . . .	250
11.2.3. Расчет заиления отстойника . . . . .	251
11.2.4. Расчет промыва наносов . . . . .	254
11.3. Отстойники с непрерывным гидравлическим промывом . . . . .	262
11.3.1. Конструкция отстойника и его основные элементы . . . . .	262
11.3.2. Определение размеров отстойника . . . . .	264
11.3.3. Расчет режима осаднения наносов. . . . .	265
11.3.4. Расчет промывного тракта . . . . .	266
11.3.5. Расчет пульповода. . . . .	268
<b>Глава 12. КАНАЛЫ И СООРУЖЕНИЯ НА НИХ . . . . .</b>	<b>276</b>
12.1. Поперечное сечение каналов и их гидравлический расчет . . . . .	276
12.2. Определение допустимых скоростей течения воды в каналах . . . . .	280
12.3. Облицовки (одежды) каналов . . . . .	285
12.4. Сооружения на каналах. . . . .	288
12.4.1. Водопроводящие сооружения . . . . .	288
12.4.2. Сопрягающие сооружения . . . . .	296
12.4.3. Регулирующие сооружения . . . . .	297
<b>Глава 13. ВОДОХРАНИЛИЩА. . . . .</b>	<b>299</b>
13.1. Общие сведения . . . . .	299
13.2. Гидрологический режим водохранилища . . . . .	303
13.3. Переформирование берегов и ложа водохранилища . . . . .	306
13.4. Взаимодействие водохранилищ и окружающей среды . . . . .	307
13.5. Схемы использования водохранилищ-охладителей ТЭС и АЭС . . . . .	310
13.6. Нижний бьеф водохранилища . . . . .	314

<b>Глава 14. МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ</b> .....	315
14.1. Назначение и состав механического оборудования .....	315
14.2. Классификация затворов .....	316
14.3. Плоские поверхностные затворы .....	318
14.4. Сегментные затворы .....	323
14.5. Глубинные затворы .....	325
Приложения .....	327
Рекомендуемая литература .....	360