

П.М. Богославчик Г.Г. Круглов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ



Для студентов учреждений
высшего образования

П.М. Богославчик Г.Г. Круглов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Допущено

Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов учреждений высшего образования
по специальностям «Строительство тепловых
и атомных электростанций», «Водохозяйственное
строительство», «Водоснабжение, водоотведение
и охрана водных ресурсов»



Минск
«Вышэйшая школа»
2018

УДК 626/627(075.8)
ББК 38.77я73
Б74

Рецензенты: кафедра «Гидравлика и гидравлические машины» учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (заведующий кафедрой кандидат технических наук, доцент *А.М. Кравцов*); заведующий кафедрой «Гидротехнические сооружения и водоснабжение» учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» кандидат технических наук, доцент *М.В. Нестеров*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

Богославчик, П. М.

Б74 Проектирование и расчеты гидротехнических сооружений : учебное пособие / П. М. Богославчик, Г. Г. Круглов. — Минск : Вышэйшая школа, 2018. — 366 с. : ил.
ISBN 978-985-06-3003-2.

Рассмотрены конструкции, методы проектирования и расчетов гидротехнических сооружений. Приведены примеры, охватывающие основные проблемы, с которыми сталкиваются студенты при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Для студентов учреждений высшего образования по специальностям «Строительство тепловых и атомных электростанций», «Водохозяйственное строительство», «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов». Будет полезно также студентам других специальностей, магистрантам, аспирантам, специалистам, занятым проектированием гидротехнических сооружений.

УДК 626/627(075.8)
ББК 38.77я73

ISBN 978-985-06-3003-2

© Богославчик П.М., Круглов Г.Г., 2018
© Оформление. УП «Издательство
“Вышэйшая школа”», 2018

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 гидроздания, 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), Днепро-Бугского (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 км³, из которых более 90% (≈ 1,35 млрд км³) 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 км³, из которых на долю Европы приходится примерно 2950 км³, а на долю Азии – 12 860 км³.

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 км³.

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, озерные 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.

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-

водятся на поймах или в руслах рек, потоки воды в которых, в том числе и паводковые, необходимо пропускать в течение всего (достаточно длительного) срока строительства.

2. Объемы гидротехнических сооружений измеряются десятками и сотнями миллионов кубометров грунта, тысячами и десятками тысяч кубометров бетона, тысячами тонн металла и других строительных материалов. В связи с этим требуется широкая механизация всех строительных работ.

3. Единовременные затраты на возведение гидротехнических сооружений относительно большие, а эксплуатационные издержки незначительные, что способствует достаточно быстрой окупаемости капитальных вложений.

4. В связи с тем что нет двух районов строительства с абсолютно одинаковыми природными условиями, гидротехнические сооружения всегда индивидуальны, за исключением мелких сооружений на мелиоративной сети.

5. Создание гидротехнических сооружений существенно изменяет природные условия района строительства (ландшафтные, гидрологические, климатические и т.д.).

6. Последствия аварий гидротехнических сооружений, как правило, тяжелые, поскольку связаны с разрушением не только самого сооружения, но и ряда других объектов, расположенных на берегах рек, а также с человеческими жертвами. В связи с этим гидротехнические сооружения должны иметь высокую степень надежности.

2.2. Классификация нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения

Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения подразделяются на *постоянные* и *временные*. Временные нагрузки действуют в отдельные периоды эксплуатации сооружений и в свою очередь подразделяются на *длительно действующие* (фильтрационное давление, давление наносов и т.д.), *кратковременные* (давление волн, ледовые нагрузки и пр.) и *особые*, которые действуют в исключительных случаях (например, сейсмические и температурно-влажностные воздействия, давление воды, возникающее при гидравлическом ударе).

При расчетах прочности и устойчивости гидротехнических сооружений рассматриваются два сочетания нагрузок: *основное*, состоящее из постоянных, длительных и кратковременных нагрузок, действующих на сооружение в нормальных условиях эксплуатации, и *особое*, которое соответствует чрезвычайным условиям эксплуатации. Особое

сочетание образуется из основного сочетания и одной из особых нагрузок, которая либо дополнительно вводится в основное сочетание, либо заменяет в нем одну из нагрузок, действующих в нормальных условиях эксплуатации, на соответствующую нагрузку, действующую в чрезвычайных (особых) условиях.

В основное сочетание нагрузок входят:

- собственный вес сооружения, оборудования и устройств, находящихся на нем;
- давление воды — гидростатическое, гидродинамическое, фильтрационное, взвешивающее и волновое;
- давление льда — статическое и динамическое;
- давление грунта основания, берегов, обратных засыпок и давление отложившихся перед сооружением наносов;
- давление ветра;
- давление снега;
- тяговые и тормозные усилия, создаваемые подъемными и транспортными механизмами;
- нагрузки от судов (для сооружений водного транспорта).

Особое сочетание образуется из основного при воздействии одной из следующих нагрузок:

- сейсмические воздействия;
- температурные и усадочные воздействия, возникающие в бетонных и железобетонных конструкциях при изменении температуры и влажности;
- давление воды при пропуске катастрофического паводка;
- давление волн катастрофической высоты;
- фильтрационное давление, возникающее при нарушении нормальной работы дренажных и противофильтрационных устройств;
- давление льда при ледоходе катастрофической силы;
- давление ветра катастрофической силы.

Основное и особое сочетания должны образовываться из перечисленных выше нагрузок таким образом, чтобы создавались самые неблагоприятные условия для работы сооружения. При этом нельзя включать в сочетание нагрузки, которые физически не могут воздействовать (например, давление волн и статическое давление льда).

Определение нагрузок, действующих на сооружение, производится для выделенной расчетной секции, размеры которой зависят от материала и конструкции сооружения.

Для земляных сооружений расчеты выполняются для секции длиной 1 м погонный. При этом выбираются наиболее опасные с точки зрения устойчивости и прочности поперечные сечения.

Для бетонных и железобетонных сооружений в зависимости от их конструкций расчеты могут выполняться либо на 1 м погонный, либо на секцию, длина которой равна расстоянию между соседними конструктивными швами.

Собственный вес сооружения определяется исходя из геометрической формы сооружения и его размеров, взятых из проектных чертежей, и удельного веса материала сооружения. Поперечный профиль сооружения, вычерченный в масштабе на миллиметровой бумаге, разбивается на ряд правильных геометрических фигур. Затем определяется их объем и умножается на удельный вес бетона ($\gamma_{\text{бет}} \approx 24 \text{ кН/м}^3$) или железобетона ($\gamma_{\text{ж/бет}} \approx 25 \text{ кН/м}^3$).

Гидростатическое давление воды определяется обычными методами гидравлики. Если грани сооружения наклонные, то гидростатическое давление воды, нормальное к грани, раскладывается на две составляющие. Горизонтальная составляющая определяется как гидростатическое давление на вертикальную стенку, а вертикальная – как пригрузка воды, рассчитываемая, как ее собственный вес.

Методика определения фильтрационного давления на подошву сооружения приведена в п. 6.6.1.

Эпюра взвешивающего давления повторяет очертание подошвы сооружения, и ордината эпюры в любой ее точке равна заглублению этой точки подошвы под расчетный уровень воды в нижнем бьефе. Имея эпюру взвешивающего давления, его значение определяют как произведение площади эпюры на длину расчетной секции плотины и на удельный вес воды.

Волновое давление и ледовые нагрузки определяются в соответствии с указаниями ТКП 45-3.04-170-2009 [23].

Давление грунта основания, берегов и обратных насыпок разделяют на *активное*, которое направлено в сторону возможного перемещения сооружения, и *пассивное*, представляющее собой реактивное сопротивление грунта при «навале» на него сооружения. Пассивное давление грунта в расчетах можно не учитывать, если оно идет в запас устойчивости сооружения.

Вертикальную составляющую активного давления грунта на наклонную грань сооружения определяют весом грунта над этой гранью и вычисляют аналогично собственному весу сооружения и пригрузке воды, принимая удельный вес грунта $\gamma_{\text{гр}}$.

Горизонтальная составляющая активного давления грунта определяется по формуле

$$E_a = 0,5\gamma_{\text{гр}}a^2\text{tg}^2(45 - \varphi / 2) l, \quad (2.1)$$

где $\gamma_{\text{гр}}$ – удельный вес грунта, кН/м³; a – толщина слоя грунта, м; φ – угол внутреннего трения грунта, град; l – длина расчетной секции сооружения, м.

Давление отложившихся перед сооружением наносов зависит от размеров образующих их частиц. Давление наносов, сложенных песчаными и песчано-гравелистыми материалами, которые откладываются чаще всего у плотин небольшой высоты, определяется по методике, используемой для определения давления сыпучих тел, с учетом взвешивания частиц грунта водой. В глубоких водохранилищах перед сооружениями обычно откладываются мельчайшие частицы с заполнением пространства между ними свободной и пленочной водой. По механическим свойствам эти отложения приближаются к жидкости, и их угол внутреннего трения близок к нулю.

Давление наносов на вертикальную грань сооружения можно определять по формуле (2.1), принимая вместо $\gamma_{\text{гр}}$ удельный вес $\gamma_{\text{нан}}$ наносов во взвешенном состоянии.

2.3. Основные принципы инженерных расчетов

После того как выбран тип сооружения и определены его размеры, переходят к решению тех инженерных задач, которые обеспечивают строительную и эксплуатационную надежность сооружения. Важнейшие виды инженерных расчетов гидротехнических сооружений – расчеты устойчивости и прочности, гидравлические, фильтрационные расчеты сооружений и их оснований.

Методы гидравлических расчетов зависят от типа, конструкции и назначения гидротехнических сооружений и будут рассмотрены в соответствующих главах данного пособия. Фильтрационные расчеты грунтовых плотин приведены в § 4.9, а расчеты фильтрации в грунте основания напорных сооружений – в п. 6.6.1.

Расчеты устойчивости и прочности гидротехнических сооружений и их оснований выполняются по *методу предельных состояний*. В соответствии с этим методом не допускается наступление предельных состояний в сооружении или его основании как в период возведения, так и в период эксплуатации. Возможность наступления предельного состояния оценивается путем сопоставления усилий, напряжений, деформаций, перемещений с их предельными значениями, установленными нормативными документами.

В соответствии с ТКП 45-3.04-169-2009 [22] различают две группы предельных состояний.

По первой группе (по потере несущей способности или полной непригодности сооружений, их конструкций и оснований к эксплуатации) выполняются расчеты общей прочности и устойчивости системы сооружение – основание, общей фильтрационной прочности оснований и грунтовых сооружений, разрушение которых приводит к прекращению эксплуатации сооружений, а также расчеты перемещений конструкций, от которых зависит прочность или устойчивость сооружений в целом.

По второй группе (по непригодности к нормальной эксплуатации) выполняются расчеты оснований на местную прочность, расчеты по ограничению перемещений и деформаций, образованию или раскрытию трещин и строительных швов, нарушению местной фильтрационной прочности или прочности отдельных элементов сооружений, не рассматриваемой по предельным состояниям первой группы.

Условие, обеспечивающее недопущение наступления предельных состояний, записывается в виде

$$n_{\text{соч}} N_{\text{расч}} \leq R \frac{m}{k_{\text{над}}}, \quad (2.2)$$

где $n_{\text{соч}}$ – коэффициент сочетания нагрузок, принимаемый для основного сочетания нагрузок равным 1,0, для особого сочетания – 0,90, для сочетания нагрузок в период строительства и ремонта – 0,95; $N_{\text{расч}}$ – расчетное значение обобщенного силового воздействия; R – расчетное значение обобщенной несущей способности, устанавливаемое нормами проектирования; m – коэффициент условий работы, учитывающий тип сооружения, конструкции или основания, вид материала, приближенность расчетных схем, вид предельного состояния и другие факторы и устанавливаемый действующими нормативными документами на проектирование отдельных видов гидротехнических сооружений, их конструкций и оснований (определяется по табл. 2.1); $k_{\text{над}}$ – коэффициент надежности, учитывающий капитальность сооружения и значимость последствий при наступлении тех или иных предельных состояний (определяется по табл. 2.2).

За обобщенную несущую способность по первой группе предельных состояний принимается:

- при расчетах устойчивости сооружений и оснований – результирующая всех удерживающих сил или сумма моментов всех удерживающих сил;
- при расчетах прочности сооружений – предел прочности материала сооружения или расчетное сопротивление грунтов основания, определяемые по табл. 2.3 и 2.4.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Глава 1. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ.....	5
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
Глава 2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ.....	15
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
Глава 3. КОМПОНОВКА НАПОРНЫХ РЕЧНЫХ ГИДРОУЗЛОВ.....	26
3.1. Гидроузлы и гидросистемы.....	26
3.2. Общие принципы компоновки речных гидроузлов.....	27
3.3. Компоновки низко- и средненапорных гидроузлов.....	29
Глава 4. ПЛОТИНЫ ИЗ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	31
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

Глава 5. ВОДОСБРОСНЫЕ СООРУЖЕНИЯ РЕЧНЫХ ГИДРОУЗЛОВ 90

5.1. Общие положения	90
5.2. Классификация водосбросов	92

Глава 6. БЕТОННЫЕ ВОДОСБРОСНЫЕ ПЛОТИНЫ НА НЕСКАЛЬНЫХ ОСНОВАНИЯХ 94

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
Глава 7. ОТКРЫТЫЕ БЕРЕГОВЫЕ ВОДОСБРОСЫ	169
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
Глава 8. ЗАКРЫТЫЕ ВОДОСБРОСЫ	194
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
Глава 9. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	215
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
Глава 10. ПЛОТИННЫЕ ВОДОЗАБОРЫ	228
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
Глава 11. ОТСТОЙНИКИ	247
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 заилиения 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 осаждения наносов.	265
11.3.4. Расчет промывного тракта	266
11.3.5. Расчет пульповода.	268
Глава 12. КАНАЛЫ И СООРУЖЕНИЯ НА НИХ	276
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
Глава 13. ВОДОХРАНИЛИЩА.	299
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

Глава 14. МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	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

Учебное издание

Богославчик Петр Михайлович
Круглов Георгий Георгиевич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Учебное пособие

Редакторы *Е.В. Малышева, Т.К. Хваль*
Художественный редактор *В.А. Ярошевич*
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*
Корректор *Т.К. Хваль*
Компьютерная верстка *Н.В. Шабуня*

Подписано в печать 03.10.2018. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «NewtonC». Офсетная печать. Усл. печ. л. 21,39. Уч.-изд. л. 20,29. Тираж 300 экз. Заказ 3601.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Высэйшая школа”». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07.2013. Пр. Победителей, 11, 220004, Минск. e-mail: market@vshph.com <http://vshph.com>

Открытое акционерное общество «Типография “Победа”». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 2/38 от 29.01.2014. Ул. Тавлая, 11, 222310, Молодечно.