

# ВВЕДЕНИЕ

Гидравлика — одна из древнейших естественных наук, изучающая законы и формы механического движения и равновесия жидкостей, разрабатывающая методы и способы решения задач о движении жидкости и взаимодействии ее с окружающими телами.

Название «гидравлика» произошло от греческих слов: «гидрос» — жидкость, влага, «аулос» — труба — и означало вначале учение о движении воды в трубах. В настоящее время трудно найти какую-либо область техники, в которой бы так или иначе не использовались законы гидравлики. Основными областями применения законов гидравлики являются водный транспорт и мелиорация, водоснабжение и канализация, гидроэнергетика и рыбководство.

Использование водных ресурсов для различных отраслей хозяйства широко и многообразно. Отрасль науки и техники, охватывающая вопросы использования, охраны водных ресурсов и борьбы с вредным действием вод при помощи инженерных сооружений, называется *гидротехникой*. Инженерные сооружения, с помощью которых непосредственно осуществляются те или иные водохозяйственные мероприятия, называются *гидротехническими*.

Первым научным трудом в области гидравлики принято считать трактат Архимеда «О плавающих телах», написанный за 250 лет до н. э. Хотя знанием гидравлических законов люди, по-видимому, обладали и ранее, ибо задолго до Архимеда существовали оросительные каналы и водопроводы.

Следующий этап развития гидравлики как науки начался через семнадцать веков после Архимеда. В XV в. Леонардо да Винчи написал работу «О движении и измерении воды» (точная дата ее написания неизвестна, опубликована она была только в XX в.). В 1586 г. фламандский ученый Симон Стевин опубликовал работу «Начала гидростатики». Галилео Галилей в 1612 г. в трактате «Рассуждения о телах, пребывающих в воде, и о тех, которые в ней движутся» рассмотрел основные законы плавания и описал гидростатический парадокс. В 1643 г. Эванджелиста Торричелли сформулировал законы истечения жидкости из отверстий и получил формулу для определения скорости истечения невязкой жидкости. Блез Паскаль в работе «О равновесии жидкостей» (1650) открыл закон о передаче давления в жидкостях, обосновав принципы действия гидравлических машин. В 1687 г. в трактате «Математические начала натуральной философии» Исаак Ньютон сформулировал гипотезу о внутреннем трении в жидкости.

Эти замечательные работы и открытия касались отдельных явлений и разделов гидравлики. Прочная теоретическая основа гидравлики была создана трудами академиков Петербургской академии наук: Даниилом Бернулли (1700–1782), Леонардом Эйлером (1707–1783) и Михаилом Васильевичем Ломоносовым (1711–1765).

Даниил Бернулли опубликовал свой академический труд «Гидродинамика» в 1738 г. Кстати, именно с этой публикацией и связано появление самого термина «гидродинамика». В этой работе приведена фундаментальная теорема,

которая применяется с тех пор для теоретических построений и практических расчетов и носит название «уравнение Бернулли».

В работе «Общие принципы движения жидкостей» (1755) Леонард Эйлер вывел системы дифференциальных уравнений равновесия и движения жидкостей.

М. В. Ломоносов в диссертации «Рассуждения о твердости и жидкости тела» (1748) сформулировал закон сохранения вещества и движения.

Наряду с гениальными теоретическими работами Д. Бернулли Л. Эйлер и М. В. Ломоносов проявили себя и в области экспериментальной и практической гидравлики. Д. Бернулли изобрел водоподъемник, установленный в селе Архангельском под Москвой. Л. Эйлер предложил конструкцию турбины, вывел «турбинное уравнение», обосновал использование сегнерова колеса, у него были труды по теории корабля. М. В. Ломоносов изобрел универсальный барометр, вискозиметр (измерявший вязкость жидкости), прибор для измерения скорости течения в море, кроме того, много занимался созданием и усовершенствованием гидравлических машин и устройств.

Наряду с теоретическими работами развивалась экспериментальная и практическая гидравлика. В 1791 г. в Санкт-Петербурге вышла книга А. Колмакова «Карманная книжка для вычисления количества воды, вытекающей через трубы, отверстия или по желобам; также и силы, какою они ударяют, стремясь с данной скоростью; с приложением правил для вычисления трений, производимых в машинах, в пользу находящихся при строении мельниц и проведении вод». Эту книгу можно считать первым российским справочником по гидравлике.

Первым в России учебником по гидравлике были «Основания практической гидравлики, или О движении воды в различных случаях и действие ее ударом и сопротивлением», изданные в 1836 г. майором корпуса инженеров путей сообщения П. П. Мельниковым (в дальнейшем — министром путей сообщения, почетным членом Петербургской академии наук).

В развитии гидравлики велики заслуги и западноевропейских ученых. Джованни Полени (1683–1761) исследовал истечение воды через отверстия и водосливы. Анри Пито (1695–1771) разрабатывал теорию водяного колеса и водяных насосов, изобрел прибор для измерения скорости жидкости. Антуан Ше-зи (1718–1798) изучал равномерное движение жидкости, сформулировал параметры подобия потоков и вывел формулу, носящую его имя. Жан Шарль Борда (1733–1799) занимался вопросами истечения жидкостей из отверстий, рассчитал потери напора при резком расширении потока. Пьер Дюбуа (1734–1809) исследовал движение наносов в реках, сопротивление движению воды в руслах. Джованни Батиста Вентури (1746–1822) изучал истечение из отверстий и насадок. Юлиус Вейсбах (1806–1871) известен в гидравлике работами в области сопротивления движению жидкости. Осборн Рейнольдс (1842–1912) внес большой вклад в изучение ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости. Можно упомянуть и многих других исследователей.

Во второй половине XIX в. в России появляются работы, определившие дальнейшее развитие гидравлики. И. С. Громека (1851–1889) заложил основы

теории винтовых потоков и потоков с поперечной циркуляцией. Д. И. Менделеев (1834–1907) в работе «О сопротивлении жидкости и о воздухоплавании» исследовал наличие двух режимов движения жидкости. Н. П. Петров (1836–1920) сформулировал закон внутреннего трения в жидкостях. Н. Е. Жуковский (1847–1921) разработал теорию гидравлического удара в трубах, теорию движения наносов в реках, а также развил теорию фильтрации. Значительным вкладом в развитие гидравлики явились труды Н. Н. Павловского (1884–1937) в области равномерного и неравномерного движения, фильтрации через земляные плотины и под гидротехническими сооружениями.

Для расширения возможностей изучения гидравлических явлений во второй половине XIX — начале XX в. в России стали создаваться гидравлические и гидротехнические лаборатории. Начало первой российской гидравлической лаборатории было положено в Петербургском институте путей сообщения в 1855 г. Н. М. Соколовым, создавшим отдел гидравлики при кабинете прикладной механики. В 1902 г. создается гидравлическая лаборатория при Санкт-Петербургском политехническом институте. В 1904 г. вступает в строй лаборатория в Московском техническом училище. В 1907 г. профессором В. Е. Тимоновым открыта гидротехническая лаборатория в Петербургском институте путей сообщения.

Дальнейшие глубокие исследования российских ученых в различных направлениях гидротехнического строительства привели к разработке новых теоретических и технических решений. Появилось большое количество научных работ, относящихся к гидротехническому строительству водных путей и портов. Среди них работы К. А. Акулова, С. А. Прокофьева, Н. С. Лелявского, А. В. Шафаловича, Б. А. Бахметьева, Г. К. Мерчинга, Б. Н. Кандибы, Н. М. Герсевича, Н. П. Пузыревского, В. Е. Тимонова и др. Материалы, посвященные изысканиям, проектированию и строительству гидротехнических сооружений на реках России, а также улучшению на них судоходных условий, были систематизированы и изданы в виде монографий Управления внутренних водных путей под названием «Материалы для описания русских рек и истории улучшения их судоходных условий». Всего с 1902 по 1917 г. было опубликовано 73 выпуска научных работ. Научные работы в области портостроения публиковались в «Трудах отдела торговых портов Министерства торговли и промышленности». С 1904 по 1920 г. издан 61 выпуск монографий.

Русские ученые-гидротехники во второй половине XIX — XX в. занимали передовые позиции в области теории и практики улучшения судоходных условий на свободных реках. Все это способствовало значительному развитию в России и Советском Союзе гидротехнического, прежде всего гидроэнергетического и мелиоративного, строительства, каналостроения.

В 1926 г. введена в строй Волховская ГЭС, что значительно улучшило условия плавания судов по реке Волхов. 1930-е гг. были наиболее успешными и значимыми для речного судоходства и речной гидротехники СССР. В 1933 г. был введен в эксплуатацию Нижне-Свирский гидроузел, обеспечивший увеличение глубин в нижнем течении реки Свирь. В том же году завершены шлюзование реки Шексны и строительство Беломорско-Балтийского канала (Белое

море — Онежское озеро), на котором возведены 19 судоходных шлюзов и большое количество других гидротехнических сооружений.

В 1936 г. было завершено строительство Днепровского (Запорожского) гидроузла с трехкамерным шлюзом, обеспечившим сквозное судоходство по реке Днепр. В 1937 г. введен в эксплуатацию крупный гидротехнический комплекс сооружений — канал им. Москвы, имевший огромное транспортно-энергетическое и водоснабженческое значение. После завершения его строительства были начаты работы по шлюзованию Волги — главной водной артерии России. Первые гидроузлы на ней с двумя нитками шлюзов — Ивановский, Угличский и Рыбинский — построены до Второй мировой войны. Осуществлялось также строительство многих речных и морских портов.

После войны, несмотря на трудный период восстановления разрушенного народного хозяйства страны, внутренний водный транспорт и гидротехническое строительство водных путей и портов получили дальнейшее развитие. Особое внимание уделялось комплексному использованию водных ресурсов.

Уже в 1952 г. в самые короткие сроки (3,5 года) было завершено строительство Волго-Донского судоходного канала, который соединил важнейшие экономические районы европейской части России — Урал, Поволжье, Центр — с Донбассом и Югом. Этот водохозяйственный комплекс имел огромное транспортно-энергетическое и ирригационное значение для страны. В этом же году вошел в строй действующих и Верхне-Свирский транспортно-энергетический гидроузел, позволивший коренным образом улучшить судоходные условия на реке Свирь и энергоснабжение Северо-Запада. В 1957 г. осуществлено шлюзование рек Цна и Мокша, на которых построены 9 гидроузлов со шлюзами и ГЭС, и введен в строй Новосибирский транспортно-энергетический гидроузел на реке Обь.

Во второй половине XX в. транспортно-энергетическое строительство велось на многих малых и больших реках Советского Союза: шлюзование рек Маныч, Уфа, Воронеж и Кубань, реконструкция Москворецкой водной системы, строительство Волго-Балтийского канала, гидроузлов на Днепре, Дону, Волге, Каме и других реках.

Для обеспечения возрастающего объема перевозок внутренним водным транспортом осуществлялось крупномасштабное строительство речных портов. Особое значение для внутреннего водного транспорта имели окончание строительства в 1964 г. нового Волго-Балтийского канала и шлюзование крупных рек европейской части страны. С вводом в эксплуатацию Волго-Балтийского канала и шлюзованием реки Камы завершилось создание Единой глубоководной системы европейской части страны.

При исследовании гидравлических явлений и в расчетах сооружений применяются аналитический и экспериментальный методы. В аналитическом подходе на основе уравнений механики получают уравнения равновесия и движения жидкости, устанавливают зависимости между параметрами жидкости. Однако точные решения получаемых уравнений ввиду их сложности удается получить не всегда. Поэтому зачастую прибегают к обоснованным упрощениям, чтобы получать практические решения.

Большое значение в гидравлике и гидротехнике имеют экспериментальные, лабораторные исследования. Изучение гидравлических явлений на моделях, создаваемых на основе теории подобия, позволяет получать данные для натуральных объектов. Можно также проверить и уточнить результаты, полученные в аналитических расчетах при некоторых допущениях.

С развитием вычислительной техники для проведения гидравлических расчетов широко применяются численные методы.

В связи со значительным развитием гидротехнического строительства особую важность приобретает исследование взаимодействия потоков жидкости с гидротехническими сооружениями различных классов: транспортными (русла рек, искусственные каналы), водобросными (водосливы, плотины), судопропускными (шлюзы), гидроэнергетическими (ГЭС) и др.

Изучению особенностей гидравлики гидросооружений и посвящено настоящее издание.

# 1. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

## 1.1. Водные ресурсы и водное хозяйство

Термин «ресурсы» применим к тем объектам, которые человечество собирает и может использовать для своих нужд. По определению из энциклопедии, ресурс — это то, что используется целевым образом, в том числе при целевой деятельности человека или людей.

*Водными ресурсами* называют пригодные для использования в деятельности человека воды рек, озер, каналов, водохранилищ, морей и океанов, а также подземные воды, почвенную влагу, воды ледников и воду, находящуюся в виде пара в атмосфере. Общий объем воды на Земле составляет примерно 1,5 млрд км<sup>3</sup>. Большая часть этих вод (свыше 90%) — это соленая вода океанов и морей. Наиболее важную роль в жизнедеятельности людей играет пресная вода, на долю которой приходится около 90 млн км<sup>3</sup>, основной её источник — ледники, подземные воды и речной сток. Средний годовой сток рек земного шара составляет около 38 000 км<sup>3</sup>, запасы воды в ледниках — более 24 млн км<sup>3</sup>, это объем стока всех рек Земли более чем за 500 лет. Реки, озера и доступные для использования подземные воды составляют около 0,3% мировых запасов свободной воды.

Россия — одна из наиболее обеспеченных водой стран мира, страна обладает одними из крупнейших в мире запасами пресной воды. Поверхностные воды (включая болота) занимают 12,4% территории России, при этом 84% поверхностных вод сосредоточено к востоку от Урала. По состоянию на 2020 г. в России более 2,8 млн рек общей длиной 12,4 млн км, суммарный годовой сток рек составляет 4258,6 км<sup>3</sup> (из которых почти 90% приходится на бассейны Северного Ледовитого и Тихого океанов), т. е. в среднем 249 тыс. м<sup>3</sup> в год на один квадратный километр территории, или около 30 тыс. м<sup>3</sup> на одного жителя. Однако речной сток весьма неравномерно распределен по территории страны и во времени. Около 75% годового стока приходится на короткий (1–3 месяца) период паводков, на оставшийся меженный период остается 25%. Существует и многолетняя изменчивость речного стока. Эти обстоятельства затрудняют эффективное использование речного стока в хозяйственной деятельности, обеспечение экономики необходимым количеством воды. Проблему решают путем искусственного перераспределения, регулирования стока рек с помощью водохранилищ. Водоохранилища обеспечивают защиту территорий от затопления во время половодий и паводков, используются для целей водного транспорта, водоснабжения населения, промышленности и сельского хозяйства, организации рыбного хозяйства.

Болота и заболоченные участки расположены в основном на северо-западе и севере европейской части России, а также в северных районах Западной Сибири. Болота играют важную роль в формировании гидрологического режима рек, регулируют продолжительность и высоту половодий и паводков.

Основная масса ледников сосредоточена на арктических островах и в горных районах. Их гидрологическая роль заключается в перераспределении

стока атмосферных осадков в течение года и сглаживании годовых колебаний водности рек. Для водохозяйственной практики особое значение имеют ледники горных районов, определяющие водный режим горных рек.

Подземные воды на всей территории России являются одним из основных источников питания рек, большая часть их непосредственно связана с речным стоком.

Распределение водных ресурсов по территории страны крайне неравномерно. Основной их объем (около 80%) приходится на лесную зону и зону тундры, которые неблагоприятны для сельскохозяйственного производства по своим температурным характеристикам.

Группа отраслей хозяйства, осуществляющих учет, изучение и комплексное использование водных ресурсов в хозяйственной деятельности (включая охрану вод и борьбу с ущербом, причиняемым народному хозяйству), составляет **водное хозяйство** страны.

Основными отраслями (направлениями) водного хозяйства являются:

- гидроэнергетика — использование речных и морских вод для производства механической и электрической энергии;
- водный транспорт — использование рек, озер водохранилищ, морей для судоходства и лесосплава;
- инженерная мелиорация — использование воды для орошения земель, отвод избыточных вод с территории (осушение), борьба с подтоплением земель, эрозией почв;
- водоснабжение — обеспечение населенных мест, промышленных предприятий водой надлежащего качества и в необходимом количестве, очистка и отвод сточных и отработанных вод;
- рыбное хозяйство — разведение рыбы в водохранилищах, строительство прудов и водоемов специального назначения, пропуск рыбы через гидроузлы, создание рыбозащитных устройств;
- рекреация — устройство на берегах рек и водоемов объектов для отдыха, санаторного лечения, развития туризма;
- охрана водных ресурсов от загрязнения и защита территорий от разрушительного воздействия водной стихии.

Отрасли водного хозяйства можно разделить на две группы:

- водопотребители, которые забирают воду из водоемисточников, расходуют ее на свои нужды и практически не возвращают ее в источник, — орошение, обводнение, водоснабжение;
- водопользователи, которые забирают воду из источников и после использования возвращают её 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 со-

здании водохозяйственных объектов, требующих значительных капитальных вложений, привлечь финансовые средства нескольких отраслей.

## 1.2. Классификация гидротехнических сооружений

ГОСТ 19185-73 «Гидротехника. Основные понятия, термины и определения» определяет: гидротехническое сооружение — сооружение для использования водных ресурсов, а также для борьбы с вредным воздействием вод.

В соответствии с СП 58.13330.2012 «Гидротехнические сооружения. Основные положения», «Гидротехнические сооружения: сооружения, подвергающиеся воздействию водной среды, предназначенные для использования и охраны водных ресурсов, предотвращения вредного воздействия вод, в том числе загрязненных жидкими отходами, включая плотины, здания гидроэлектростанций (ГЭС), водосбросные, водоспускные и водовыпускные сооружения, туннели, каналы, насосные станции, судоходные шлюзы, судоподъемники, доки; сооружения, предназначенные для защиты от наводнений и разрушений берегов морей, озер и водохранилищ, берегов и дна русел рек; струнаправляющие и оградительные сооружения; сооружения (дамбы), ограждающие золошлакоотвалы и хранилища жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных организаций; набережные, пирсы, причальные сооружения портов; сооружения систем технического водоснабжения, системы гидротранспорта отходов и стоков, подачи осветленной воды, устройства защиты от размывов на каналах, сооружения морских нефтегазопромыслов».

Формальный перечень гидротехнических сооружений приведен также, например, в Федеральном законе Российской Федерации № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений». Согласно этому Закону, «Гидротехнические сооружения — плотины, здания гидроэлектростанций, водосбросные, водоспускные и водовыпускные сооружения, туннели, каналы, насосные станции, судоходные шлюзы, судоподъемники; сооружения, предназначенные для защиты от наводнений, разрушений берегов и дна водохранилищ, рек; сооружения (дамбы), ограждающие хранилища жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных организаций; устройства от размывов на каналах, а также другие сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов и предотвращения негативного воздействия вод и жидких отходов».

Гидротехнические сооружения (ГТС) относятся к категории наиболее сложных инженерных объектов. Они характеризуются разнообразием конструкций, что объясняется их многоцелевым назначением и многообразием природных условий, в которых они возводятся.

Существует несколько классификаций гидротехнических сооружений.

По *роду водного объекта*, на котором возводятся, гидротехнические сооружения подразделяют на *морские, речные, озёрные, прудовые*; различают также *наземные* и *подземные* гидросооружения.

По *условиям воздействия на речной поток и характеру выполняемых функций* различают *водоподпорные, водопроводящие, водозаборные* и *руслорегулирующие* сооружения.



*Водоподпорными* называют сооружения, служащие для создания напора или разности уровней воды перед сооружением и за ним: плотины, поднимающие уровень воды, накапливаемой выше по течению; дамбы (или валы), отгораживающие прибрежную территорию и предотвращающие её затопление при паводках и половодье на реках, при приливах и штормах на морях и озёрах.

*Водопроводящие* сооружения представляют собой искусственные русла, предназначенные для подачи воды от водоисточника к потребителю или пользователю, служащие для переброски воды в заданные пункты: каналы, гидротехнические туннели, лотки, трубопроводы; такие сооружения, как каналы, из-за природных условий их расположения, необходимости пересечения путей сообщения и обеспечения безопасности эксплуатации требуют устройства других гидротехнических сооружений, объединяемых в особую группу *сооружений на каналах* (акведуки, дюкеры, мосты, паромные переправы, заградительные ворота, водосбросы, шугосбросы и др.).

*Водозаборные* сооружения служат для забора воды из водотоков и водоёмов и направления её в водовод; они предназначены для обеспечения бесперебойного снабжения потребителей водой и, кроме того, защищают водопроводящие сооружения от попадания льда, шуги, наносов.

*Руслорегулирующие* (или выправительные) сооружения предназначены для изменения и улучшения естественных условий протекания водотоков (струенаправляющие) и защиты русел и берегов рек от размывов, регулирования эрозионных процессов и отложения наносов в русле (берегоукрепительные), воздействия льда (ледонаправляющие и ледозадерживающие сооружения).

В зависимости от *отраслей водного хозяйства*, в которых используются ГТС, сооружения бывают *общими* и *специальными*: общие применяются почти для всех видов использования вод, специальные возводятся для какой-то одной отрасли водного хозяйства. К общим гидротехническим сооружениям относятся водоподпорные, водопроводящие, водосбросные и регуляционные сооружения, предназначенные для обеспечения требуемого подпора и ёмкости водохранилища, пропуска предполагаемого расхода и т. п.

Специальные гидротехнические сооружения — это:

- сооружения для использования водной энергии: здания гидроэлектрических станций, напорные бассейны и др.;
- сооружения водного транспорта — судоходные шлюзы, судоподъёмники, маяки и др.;
- сооружения по обстановке судового хода — плотоходы, бревноспуски и пр.;
- портовые сооружения — причалы, пирсы, молы, волноломы, доки, эллинги, слипы и др.;
- мелиоративные сооружения — магистральные и распределительные каналы, шлюзы-регуляторы на оросительных и осушительных системах;
- рыбохозяйственные сооружения — рыбоходы, рыбоподъёмники, рыбобоводные пруды и т. п.

По **условиям использования** гидротехнические сооружения разделяются на *постоянные*, которые служат в течение всего периода эксплуатации водохозяйственного объекта, и *временные*, которые используются только в период строительства или ремонта постоянных сооружений.

Постоянные гидротехнические сооружения, в свою очередь, подразделяют на *основные* и *второстепенные*.

К основным относятся гидротехнические сооружения, повреждение или разрушение которых приводит к нарушению или прекращению нормальной работы электростанций; прекращению или уменьшению подачи воды для водоснабжения и орошения; затоплению и подтоплению защищаемой территории; прекращению или сокращению судоходства, деятельности речного и морского портов, судостроительных и судоремонтных предприятий; может привести к прекращению добычи или к выбросу нефти и газа из морских скважин, хранилищ, трубопроводов, загрязнению окружающей среды вредными веществами.

Основными ГТС являются прежде всего: плотины, устои и подпорные стенки в составе напорного фронта, дамбы обвалования, берегоукрепительные, регуляционные и оградительные сооружения, водосбросы и водовыпуски, водоприёмники и водозаборы, каналы деривационные, судоходные, каналы комплексного назначения и сооружения на них (акведуки, дюкеры, ливнеспуски, мосты-каналы и др.), туннели, трубопроводы, напорные бассейны и уравнивательные резервуары, здания ГЭС и ГАЭС, судоходные сооружения (шлюзы, судоподъемники, судоходные плотины), отстойники, ГТС портов (набережные, пирсы), гидротехнические сооружения АЭС и ТЭС, ГТС комплексной инженерной защиты населенных пунктов, предприятий, сельхозугодий, дамбы, ограждающие золошлакоотвалы и хранилища жидких отходов.

К второстепенным следует относить гидротехнические сооружения, разрушение или повреждение которых не влечет за собой указанных последствий: разделительные стенки, устои и подпорные стены, не входящие в напорный фронт, ледозащитные сооружения, берегоукрепительные сооружения портов, рыбозащитные сооружения, сооружения лесосплава.

В зависимости **от высоты сооружения и типа грунтов основания, от назначения и условий эксплуатации, от максимального напора на водоподпорное сооружение, от последствий возможных гидродинамических аварий** гидротехнические сооружения в России подразделяются на четыре класса:

I класс — гидротехнические сооружения чрезвычайно высокой опасности;

II класс — гидротехнические сооружения высокой опасности;

III класс — гидротехнические сооружения средней опасности;

IV класс — гидротехнические сооружения низкой опасности.

Критерии классификации гидротехнических сооружений устанавливаются Правительством Российской Федерации.

Помимо указанных классификаций гидротехнические сооружения водохозяйственного комплекса Российской Федерации различают также по:

- формам собственности;

- ведомственной принадлежности;
- техническому состоянию.

### 1.3. Особенности работы гидротехнических сооружений

В результате строительства на водном объекте гидротехнического сооружения водоток условно делится на две части: область потока перед водоподпорным сооружением (выше по течению) называется *верхним бьефом*, область после сооружения (ниже по течению) — *нижним бьефом*.

Особенностью работы гидротехнических сооружений является то, что в процессе строительства и эксплуатации эти сооружения подвергаются воздействию движущейся или покоящейся воды, перемещающихся и отложившихся наносов. Речные ГТС, изменяя режим водного потока, в свою очередь, испытывают на себе механическое, фильтрационное, физико-химическое и биологическое воздействия.

**Механическое воздействие** проявляется в виде статических и динамических нагрузок на сооружение.

Гидростатическое давление воды со стороны верхнего бьефа на подпорное сооружение (например, плотину) может сдвинуть, разрушить сооружение, если не принять необходимых мер для обеспечения его устойчивости.

При пропуске воды через плотину из верхнего бьефа в нижний вода оказывает на конструкции сооружения динамическое воздействие. Поток может размывать грунт в нижнем бьефе, это обстоятельство необходимо учитывать при устройстве крепления дна (водобой, рисберма). Возникает также проблема эффективного гашения энергии сбрасываемого в нижний бьеф потока, движущегося с большими скоростями (до 30 м/с).

Динамическое воздействие на сооружение оказывают и образующиеся в водохранилище ветровые волны, это следует учитывать при определении конструкции крепления верхового откоса плотин. Динамическими являются также и сейсмические нагрузки, которые могут возникнуть в районах, подверженных землетрясениям, — сейсмическое давление воды и инерционные силы.

**Фильтрационное воздействие** проявляется в том, что разность уровней воды в верхнем и нижнем бьефах вызывает в грунте основания гидротехнического сооружения движение фильтрационных вод. При этом возникает фильтрационное давление на подошву сооружения, направленное перпендикулярно основанию ГТС, определяющееся величиной разности отметок уровня основания и верхнего бьефа. Сумма фильтрационного и взвешивающего давлений называется противодавлением, которое уменьшает сопротивление сооружения сдвигу и его устойчивость. Кроме того, фильтрационный поток в основании и также в теле грунтовой плотины может вызывать фильтрационные деформации грунта — механическую и химическую суффозию, выпор грунта при выходе в нижний бьеф.

**Физико-химическое воздействие** воды на гидротехническое сооружение проявляется в:

- истирании водосливных поверхностей водным потоком, насыщенным наносами;
- кавитационном разрушении поверхности сооружений при обтекании их потоком с большими скоростями;
- коррозии металлических конструкций;
- выщелачивании из бетона несвязной извести, разрушении конструкций вследствие периодического замерзания и оттаивания воды в порах и трещинах, разрушения конструкций водой, обладающей агрессивными свойствами по отношению к бетону.

**Биологическое воздействие** связано с разрушительной деятельностью микроорганизмов, живущих в воде. Это вызывает гниение деревянных конструкций, разрушение камня камнеточцем, бактериальную коррозию сооружения и т. п.

Существенной особенностью многих гидротехнических сооружений является то обстоятельство, что в период их строительства приходится пропускать значительные количества воды и льда (строительные расходы) через створ гидроузла, не прерывать судоходство (если река судоходная). Это усложняет производство работ. Строительство крупных гидротехнических сооружений оказывает влияние на природные условия в окружающей местности, в том числе и отрицательное. Появление водохранилищ большой емкости, распространение подпора вверх по течению на большие расстояния, затопление и подтопление земель, орошение засушливых земель и осушение болот сказываются на растительном и животном мире, а порой даже и на климате в регионе. Такое влияние обязательно следует учитывать при проектировании ГТС, должны быть предусмотрены мероприятия, направленные на недопущение или смягчение отрицательных последствий их строительства.

## 1.4. Гидроузлы и гидросистемы

Зачастую при осуществлении водохозяйственных мероприятий возникает необходимость для выполнения нескольких функций совместить в одном производственном комплексе общие и специальные гидротехнические сооружения (например, водосброс и здание гидроэлектростанции). Такие объединённые общей целью и располагаемые в одном месте сооружения составляют комплексы, называемые **узлами гидротехнических сооружений**, или **гидроузлами**.

Гидроузлы также имеют свою классификацию.

Если в составе гидроузла имеются подпорные сооружения, создающие разность уровней верхнего и нижнего бьефов, гидроузлы называются **напорными (подпорными)**, при отсутствии подпорных сооружений — **безнапорными**.

В зависимости **от величины создаваемого напора** гидроузлы подразделяются на:

- низконапорные, или русловые, в которых уровни воды, как правило, не выходят за пределы меженного русла реки и пойма затапливается частич-

но слоем воды небольшой глубины; напор в этом случае составляет от 2 до 10 м;

- средненапорные с напором от 10 до 40 м;
- высоконапорные, когда величина напора превышает 40 м.

В соответствии с **водохозяйственным назначением** гидроузлы бывают:

- гидроэнергетические — предназначенные для выработки электроэнергии;
- водотранспортные — обеспечивающие судоходство или лесосплав по реке;
- водозаборные — основным назначением которых является подача воды потребителям и пользователям;
- водохранилищные, или регулирующие сток, — обеспечивающие защиту территорий в нижнем бьефе от затоплений во время паводков;
- рекреационные — предназначенные для отдыха, туризма, проведения спортивных мероприятий;
- комплексного назначения — выполняющие одновременно несколько функций.

Несколько гидроузлов, объединенных общей водохозяйственной целью, могут образовывать **водохозяйственные системы**, или **гидросистемы**.

В изучаемом курсе ограничимся рассмотрением речных гидротехнических сооружений, иначе говоря, гидросооружений, расположенных на внутренних водных путях (ВВП).

К основным сооружениям речных гидроузлов, как правило, относятся: каналы, плотины (бетонные и земляные), судопропускные сооружения (шлюзы или судоподъемники), гидроэлектростанции, рыбопропускные сооружения, лесопропускные сооружения, насосные станции.

Судоходные каналы (обходные, подходные, межбассейновые) — это искусственные водные пути, устраиваемые там, где отсутствуют возможности передвижения по естественным водоемам либо передвижение по ним технически трудно или экономически нецелесообразно. Помимо целей судоходства каналы могут создаваться и использоваться для ирригации (орошение, осушение) и некоторых других целей.

Плотины — это подпорные гидротехнические сооружения, перегораживающие водоток или водоём для подъёма уровня воды, сосредоточения напора и регулирования стока водных объектов (сброса паводковых вод, увеличения расхода воды в меженные периоды).

Для выработки электроэнергии в состав гидроузлов включают гидроэлектростанции (ГЭС), которые весьма разнообразны по своему устройству. ГЭС, здания которых поддерживают напор, называют плотинными, а ГЭС, расположенные ниже водонапорного сооружения и не воспринимающие гидростатического давления воды со стороны верхнего бьефа, — приплотинными.

Для того чтобы после строительства гидроузла на водотоке сохранялась возможность судоходства, в его состав включают и судопропускные сооружения, обычно это судоходные шлюзы или судоподъемники.

Сооружения гидроузла устраиваются на реке (канале) в определенном, выбранном с учетом необходимых требований месте, называемом **поперечным створом** или **створом гидроузла**.

Вдоль створа располагаются оси бетонных и земляных плотин, верхней (как правило) головы шлюза и ось ГЭС. Все ГТС, входящие в состав гидроузла, создают напорный фронт, разделяющий верхний и нижний бьефы.

Выбор расположения створа гидроузла определяется многими факторами: природными условиями, особенностями строительства и эксплуатации гидросооружений.

На выбор створа гидроузла существенное влияние оказывают строительные свойства грунтов, на которых возводится напорное сооружение, и рельеф местности в районе строительства. Наиболее надежными и экономичными в эксплуатации считаются сооружения, возводимые на скальных грунтах, возведение гидросооружений на нескальных грунтах требует значительных материальных затрат. При крутых берегах русла и долины реки существенно уменьшаются зона затопления земель и длина напорного фронта сооружений, а следовательно, и их стоимость, но при этом может быть затруднено производство работ по возведению сооружений.

Створы гидроузлов обычно назначаются по течению рек выше крупных населенных пунктов, промышленных предприятий и территорий, используемых для различных целей (объекты сельского хозяйства, природные ископаемые и ресурсы, зоны заповедников и отдыха и т. п.). Это делается во избежание затопления земель полезного использования.

Если в районе предполагаемого строительства гидроузла в реку впадает крупный приток, при выборе конкретного места створа следует учитывать следующее. При расположении створа ниже по течению от места впадения притока увеличиваются запасы воды, создаваемые при строительстве плотины, т. е. улучшаются судоходные условия и появляются дополнительные выгоды для энергетики. Но при этом увеличивается зона затопления земель. Окончательный выбор створа в этом случае должен производиться путем сравнения затрат и получаемых результатов по различным аспектам проблемы.

При окончательном выборе створов необходимо учитывать наличие в районе строительства материальных и трудовых ресурсов, подъездных путей и других инженерных коммуникаций, предприятий и производственных баз, необходимых для строительства и последующей эксплуатации гидросооружений, а также условия для пропуска льда, паводков, судов и другие факторы.

**Компоновкой гидроузла** называется взаимное расположение сооружений гидроузла на плане местности.

При определенном составе сооружений гидроузла компоновка должна обеспечить максимально эффективное выполнение его водохозяйственных функций. На выбор компоновки влияют многие факторы — топографические, гидрологические, климатические условия, величина напора, режим эксплуатации гидроузла, условия производства строительных работ и пр. Каждое сооружение гидроузла должно наилучшим образом выполнять свои функции и не

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)