

УДК621.22

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

Волошин А.А., Юрковский В.Н.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Ежов В.Д.

Гидроэнергия, равно как и мускульная энергия людей и животных, а также солнечная энергия, используется очень давно. Упоминание об использовании энергии воды на водяных мельницах для помола зерна и дутья воздуха при выплавке металла относится к концу II в. до н. э. С течением столетий размеры и эффективность водяных колёс увеличились. В XI в. в Англии и Франции одна мельница приходилась на 250 человек. В это время сфера применения мельниц расширилась. Можно считать, что современная гидроэнергетика родилась в 1891 году. В этом году русский инженер Михаил Осипович Доливо-Добровольский, эмигрировавший в Германию по причине «политической неблагонадёжности», должен был продемонстрировать на электротехнической выставке во Франкфурте-на-Майне изобретённый им двигатель переменного тока. Этот двигатель мощностью около 100 киловатт в эпоху господства постоянного электрического тока сам по себе должен был стать гвоздём выставки, но изобретатель решил для его питания построить ещё и совершенно неожиданное по тем временам сооружение - гидроэлектростанцию. В небольшом городке Лауффен Доливо-Добровольский установил генератор трёхфазного тока, который вращала небольшая водяная турбина. Электрическая энергия передавалась на территорию выставки по невероятно протяжённой для тех лет линии передачи длиной 175 километров (это сейчас линии передач длиной в тысячи километров никого не удивляют, тогда же подобное строительство было единодушно признано невозможным). Всего за несколько лет до этого события виднейший английский инженер и физик Осборн Рейнольдс в своих Канторовских лекциях неопровержимо, казалось бы доказал, что при передаче энергии по средствам трансмиссии потери энергии составляют всего лишь 1,4% на милю, в то время как при передаче электрической энергии по проводам на такое же расстояние потери составят 6%. Опираясь на данные опытов, он сделал вывод о том, что при использовании электрического тока на другом конце линии передачи вряд ли удастся иметь более 15-20% начальной мощности. В то же время, считал он, можно быть уверенным в том, что при передаче энергии приводным тросом сохранится 90% мощности. Этот «неоспоримый» вывод был успешно опровергнут практикой работы первенца гидроэнергетики в Лауффене.

Но эра гидроэнергетики тогда ещё не наступила. Преимущества гидроэлектростанций очевидны - постоянно возобновляемый самой природой запас энергии, простота эксплуатации, отсутствие загрязнения окружающей среды. Да и опыт постройки и эксплуатации водяных колёс мог бы оказать не малую помощь гидроэнергетикам. Однако постройка плотины крупной гидроэлектростанции оказалось задачей куда более сложной, чем постройка небольшой запруды для вращения мельничного колеса. Чтобы привести во вращение мощные гидротурбины, нужно накопить за турбиной огромный запас воды. Для постройки плотины требуется уложить такое количество материалов, что объём гигантских египетских пирамид по сравнению с ним покажется ничтожным. Поэтому в начале XX века было построено всего несколько гидроэлектростанций. Это было лишь началом. Освоение гидроэнергоресурсов осуществлялось быстрыми темпами, и в 30-е годы XX века была завершена реализация таких крупных проектов, как ГЭС Гувер в США мощностью 1,3 Гиговатт. Строительство подобных мощных ГЭС вызвало рост использования энергии в промышленно развитых странах, а это, в свою очередь, дало толчок программам освоения крупных гидроэнергетических потенциалов. В настоящее время использование энергии воды по-прежнему остается актуальным, а основным направлением является производство электроэнергии.

На 2016 год гидроэнергетика обеспечивает производство до 88 % возобновляемой и до 20 % всей электроэнергии в мире, установленная гидроэнергетическая мощность достигает 777 ГВт.

Абсолютным лидером по выработке гидроэнергии на душу населения является Исландия. Кроме неё этот показатель наиболее высок в Норвегии (доля ГЭС в суммарной выработке — 98 %), Канаде и Швеции. В Парагвае 100 % производимой энергии вырабатывается на гидроэлектростанциях.

Наиболее активное гидростроительство на начало 2000-х ведёт Китай, для которого гидроэнергия является основным потенциальным источником энергии. В этой стране размещено до половины малых гидроэлектростанций мира, а также крупнейшая ГЭС мира «Три ущелья» на реке Янцзы. Ещё более крупная ГЭС «Гранд Инга» мощностью 39 ГВт планируется к сооружению международным консорциумом на реке Конго в Демократической Республике Конго (бывший Заир).

На 2016 год крупнейшими производителями гидроэнергии (включая переработку на ГАЭС) в абсолютных значениях являются следующие страны^[1]:

Страна	Потребление гидроэнергии в ТВт·ч
1. Китай	585
2. Канада	369
3. Бразилия	364
4. США	251
5. Россия	167
6. Норвегия	140
7. Индия	116
8. Венесуэла	87
9. Япония	69
10. Швеция	66
11. Франция	63

Имеются три основные схемы создания сосредоточенного напора ГЭС:

1. плотинная схема, когда напор создается платиной;
 2. деривационная схема, когда напор создается посредством деривации, осуществляемой в виде канала, туннеля или трубопровода;
 3. плотинно-деривационная схема, когда напор создается и плотиной, и деривацией
- Плотины имеются во всех трех схемах.

Плотинная схема осуществляется преимущественно при больших расходах воды в реке и малых уклонах ее свободной поверхности.

В плотинной схеме в зависимости от напора ГЭС может быть *русловой* или *приплотинной*.

Русловой называется такая ГЭС, у которой здание ГЭС наряду с платиной входит в состав сооружений, создающих напор. Русловая ГЭС может быть построена при сравнительно небольшом напоре.

При средних и больших напорах, превышающих диаметр турбины более чем в 4-5 раз, здание ГЭС не может входить в состав напорного фронта. В таких случаях строят приплотинную ГЭС, здание которой располагается за плотиной и не воспринимает полного давления воды

При *деривационной* схеме высота плотины может быть не большой. Приведена схема ГЭС с деривацией в виде открытого канала. Плотина создает небольшой подпор. Из

подпертого бьефа вода по деривационному каналу поступает в напорный бассейн, откуда она подается по трубопроводам к турбинам ГЭС. От турбин вода по отводящему каналу направляется в реку или в деривацию следующей ГЭС или же в ирригационный оросительный канал.

При пересеченном или горном рельефе местности, деривацию можно выполнить в виде туннеля, прорезывающего горный массив или в виде трубопровода, уложенного по поверхности земли.

В плотинно-деривационной схеме используются выгодные свойства обеих предыдущих схем, т. е. может быть создано водохранилище и использовано падение реки ниже платины.

Источником гидроэнергии является преобразованная энергия Солнца в виде запасенной потенциальной энергии воды, которая затем преобразуется в механическую работу и электроэнергию. Действительно под воздействием солнечного излучения вода испаряется с поверхности озер, рек, морей и океанов. Пар поднимается в верхние слои атмосферы, образуя облака; затем он, конденсируясь, выпадает в виде дождя, пополняя запасы воды в водоемах.

Преобразование потенциальной энергии воды в электрическую происходит на гидроэлектростанции

Поддержание постоянного напора осуществляется с помощью платины, которая образует водохранилище, служащее аккумулятором гидроэнергии. В связи с этим при строительстве ГЭС предъявляются определенные требования к рельефу местности, который должен позволить организовать водохранилище и создать требуемый напор за счет плотины. Все это связано со значительными затратами, и стоимость строительных работ может превышать стоимость оборудования ГЭС. Вместе с тем удельная стоимость электроэнергии, генерируемой ГЭС, является самой низкой по сравнению с себестоимостью энергии, производимой другими источниками. Как правило, срок окупаемости малых ГЭС не превышает 10 лет.

Для преобразования энергии воды в механическую работу используются гидротурбины.

Различают активные и реактивные турбины.

В активной турбине кинетическая энергия потока преобразуется в механическую. Дополнительные устройства, обеспечивающие работу турбины, - водовод и сопло. Из сопла выходит струя, обладающая кинетической энергией, которая направляется на лопасти турбины, находящейся в воздухе. Сила, действующая со стороны струи на лопасти, приводит во вращение колесо турбины, с валом которого непосредственно или через привод сопряжен электрогенератор. КПД реальных турбин колеблется от 50 до 90 %. В гидротурбинах малой мощности КПД ниже. Максимальное значение КПД, равно 100%. Оно может быть достигнуто, если струя после взаимодействия с лопатками будет двигаться вертикально вниз только под действием силы тяжести. КПД активной гидротурбины может быть повышен за счет ограниченного увеличения числа сопел, так как при большом их количестве будет сказываться взаимное влияние струй.

В реактивной гидротурбине рабочее колесо полностью погружено в поток, который постоянно воздействует на лопасти турбины. В наиболее распространенной турбине Френсиса вращение колеса осуществляется за счет разности давления потока на входе и на выходе вода поступает в рабочее колесо радиально. Зазор между рабочим колесом и камерой - переменный. После взаимодействия потока с колесом он разворачивается на 90°. Переменный зазор и поворот потока повышает эффективность турбины. Имеются и другие конструктивные решения реактивных гидротурбин, например, пропеллерная турбина Каплана. Однако этот тип турбин распространен в меньшей степени из-за перепада давления.

ГЭС бывают самых различных мощностей - от 3 кВт до 12 ГВт. Малыми ГЭС (именуемыми также микро-ГЭС и сельские ГЭС) называются ГЭС установленной мощностью менее 500 кВт. Сооружение их осуществляется обычно в качестве составной

части комплекса, предусматривающего также развитие сельскохозяйственного производства, водоснабжение и регулирование стока.

Гидроэнергетические объекты оказывают существенное влияние на окружающую природную среду. Это влияние является локальным. Однако сооружение каскадов крупных водохранилищ, намечая переброска части стока рек Сибири в Среднюю Азию и другие крупные водохозяйственные мероприятия могут изменить природные условия в региональном масштабе. При рассмотрении влияния гидроэнергетических объектов на окружающую среду необходимо различать период строительства гидроэнергетических объектов и период их эксплуатации.

Первый период сравнительно кратковременный - несколько лет. В это время в районе строительства нарушается естественный ландшафт. В связи с прокладкой дорог, постройкой промышленной базы и посёлка резко повышается уровень шума. Вода, используемая для разнообразных строительных работ, возвращается в реку с механическими примесями - частицами песка, глины и т. п. Возможно загрязнение воды коммунально-бытовыми стоками строительного посёлка. Подъём уровня воды в верхнем бьефе начинается обычно в период строительства. В результате производного при этом наполнении водохранилища изменяются расходы и уровни воды в нижнем бьефе.

В период эксплуатации происходит разносторонне влияние гидроэнергетических объектов на окружающую среду. Наиболее существенное влияние на природу оказывают водохранилища:

1. Затопление в верхнем бьефе. Создание водохранилищ ведёт за собой затопление территории. В зону затопления могут попасть сельскохозяйственные угодья, месторождения полезных ископаемых, промышленные и гражданские сооружения, памятники старины, дороги, лесные массивы, места постоянного обитания животных и растений и т. д. Наиболее заселены и освоены прирусловые участки реки и районы в устьях притоков. На склонах гор мало сельскохозяйственных угодий, обычно там отсутствуют промышленные объекты. Поэтому создание водохранилищ в горных условиях приносит значительно меньший ущерб, чем на равнинах.

2. Подтопление. Подтопление прилежащих к водохранилищу земель происходит вследствие подъёма уровня грунтовых вод. В зоне избыточного увлажнения подтопление влечёт за собой негативные последствия - переувлажнение корней растений и их отмирание. С изменением водно-воздушного режима почвы может произойти заболачивание и оглеение почв, что ухудшает качество почвы и снижает её продуктивность. В засушливых районах подтопление улучшает условия произрастания растений при соответствующих глубинах почвенных вод. В неблагоприятных условиях может происходить засоление почвы.

3. Переработка берегов. Вследствие подъёма и снижения уровня воды в водохранилище при регулировании стока и волновых явлений происходит переработка берегов водохранилища. Она заключается в размыве и обрушении крутых склонов, срезке мысов и кос. Размеры переработки берегов зависят от их геологического строения, режима уровней воды и глубины водохранилища, конфигурации берегов, господствующих ветров и т. п. Относительная стабилизация берегов происходит через 5-20 лет после наполнения водохранилища.

4. Качество воды. Вследствие снижения скорости течения и уменьшения перемещения воды по глубине существенно изменяются физико-химические характеристики воды по отношению к бытовым условиям реки до создания водохранилища. На качество в годы в водохранилище влияет заселённость зоны затопления, видовой и возрастной состав леса, подлеска и лесной подстилки, наличие притоков, режим и глубина сработки водохранилища и т. п. Качество воды ухудшают сточные воды промышленных, горнорудных и животноводческих комплексов, коммунально-бытовые сточные воды и вынос удобрений с сельскохозяйственных угодий. Для южных районов неприятным следствием перенасыщения воды в водохранилищах органическими и биогенными веществами (в основном ионами азота и фосфора) является бурное развитие в тёплой воде сине-зелёных водорослей. При создании

водохранилищ необходимо тщательно изучить Совместное влияние всех факторов с учётом перспектив строительства каскадов ГЭС и принимать меры для поддержания качества воды. Качество воды - характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность её для конкретных видов водопользования. Должна производиться тщательная очистка сточных вод, поступающих в водохранилище. Использовать прилегающие земли в сельском хозяйстве надо, применяя передовые методы агротехники, ограничивающие вынос удобрений в водохранилище.

5. Влияние водохранилищ на микроклимат. Водохранилища повышают влажность воздуха, изменяют ветровой режим прибрежной зоны, а также температурный и ледяной режим водотока. Это приводит к изменению природных условий, а также жизни и хозяйственной деятельности населения, обитания животных, рыб. Степень влияния крупных водохранилищ на микроклимат различна для отдельных регионов страны. Интегральное влияние, оказываемое акваторией на развитие растительности, благоприятно в условиях степной и лесостепной зоны и неблагоприятно в лесной.

6. Влияние водохранилищ на фауну. Многие животные из зоны затопления вынуждены мигрировать на территорию с более высокими отметками. При этом видовой состав и численность животных значительно уменьшается. В ряде случаев водохранилища способствуют обогащению фауны новыми видами водоплавающих птиц и в особенности рыб: карасёвых, сазана, щуки и т. п. При ранней сработке водохранилища после весеннего половодья осушаются мелководья, что отрицательно влияет на нерест рыбы в верхнем бьефе. Глубокая зимняя сработка водохранилища в средней полосе страны может повлечь за собой замор рыбы на мелководных участках водохранилища.

Также на окружающую среду влияют гидротехнические сооружения. Возведение платин гидроузлов приводит к подъёму уровней воды в верхнем бьефе и образованию водохранилищ. Плотины, перегораживающие реки затрудняют проход рыб к местам естественных нерестилищ в верховьях рек. Но платины, здания ГЭС шлюзы каналы и т. п., удачно вписанные в рельеф местности и хорошо архитектурно оформленные, создают вместе с акваторией верхнего бьефа монументальные и живописные ансамбли.

Разрушения ГЭС при военных действиях приведёт к спуску воды водохранилища, возникновению волны высотой десятки метров, которая может уничтожить города, расположенные ниже ГЭС. Строительство ГЭС приводит к наведённой сейсмичности, в частности в США и Индии возникали землетрясения, разрушившие ГЭС.

Производство работ по возведению гидроэнергетических объектов следует проектировать с минимальным ущербом природе. При разработке стройгенпланов необходимо рационально выбирать карьеры, месторасположение дорог и т. п. К моменту завершения строительства должны быть проведены необходимые работы по рекультивации нарушения земель и озеленению территории. По водохранилищу наиболее эффективным природоохранным мероприятием является инженерная защита. Например, строительство дамб обвалования уменьшает площадь затопления и сохраняет для хозяйственного использования земли, месторождения полезных ископаемых, уменьшает площадь мелководий и улучшает санитарные условия водохранилища, сохраняет природные естественные комплексы. Если постройка дамб экономически не оправдана, то мелководья могут быть использованы для разведения птиц и для других хозяйственных нужд. При поддержании необходимых уровней воды мелководья могут быть использованы для рыбного хозяйства, как нерестилище и кормовая база.

Для предотвращения или уменьшения переработки берегов производят берегоукрепления. Предприятия, железные дороги, жилые и коммунально-бытовые постройки, памятники старины выносятся из зоны затопления.

Для обеспечения высокого качества воды необходима санитарная очистка ложа водохранилища до его затопления водой. С этой целью производят агротехнические мероприятия для уменьшения загрязнённого поверхностного стока и строятся очистные сооружения.

В случаях необходимости организуются заповедники, заказники, отлов и перемещение животных, производятся лесопосадки. В целях рыборазведения создают искусственные нерестилища, нерестно-выростные хозяйства, строятся рыбопропускные сооружения для прохода рыбы на нерест из нижнего бьефа в верхний. Большие работы по инженерной защите проводятся в нижнем бьефе.

Преимущества:

- использование возобновляемой энергии.
- очень дешевая электроэнергия.
- работа не сопровождается вредными выбросами в атмосферу.
- быстрый (относительно ТЭЦ/ТЭС) выход на режим выдачи рабочей мощности после включения станции.
- смягчение климата вблизи крупных водохранилищ.

Недостатки:

- затопление пахотных земель
- строительство ведётся там, где есть большие запасы энергии воды
- на горных реках опасны из-за высокой сейсмичности районов
- сокращенные и нерегулируемые пуски воды из водохранилищ по 10-15 дней приводят к перестройке уникальных пойменных экосистем по всему руслу рек, как следствие, загрязнение рек, сокращение трофических цепей, снижение численности рыб, элиминация беспозвоночных водных животных, повышение агрессивности компонентов гнуса (мошки) из-за недоедания на личиночных стадиях, исчезновение мест гнездования многих видов перелётных птиц, недостаточное увлажнение пойменной почвы, негативные растительные сукцессии (обеднение фитомассы), сокращение потока биогенных веществ в океаны.

Литература

- 1) Владимир Сидорович. Мировая энергетическая революция: Как возобновляемые источники энергии изменят наш мир.
- 2) «Электроэнергетика. Строители России. XX век.» М.: Мастер