

ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ

Авторы: Г. Г. Лапин, В. И. Лелеков

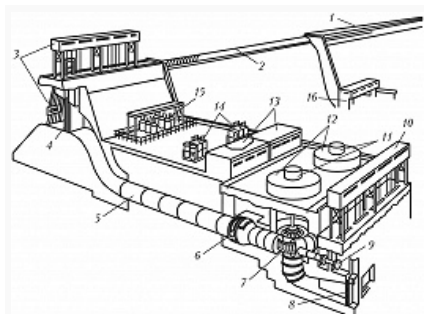


Рис. 1. Схема ГЭС: 1 – плотина; 2 – затвор на гребне водослива; 3 – водоприёмник; 4 – затвор водоприёмника; 5 – напорный водоток; 6 – задвижка; 7 – гидравличес...

ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ (гидроэлектростанция, ГЭС), комплекс сооружений и оборудования для преобразования энергии потока воды (водотока) в электрич. энергию. Гидравлич. энергия относится к [возобновляемым источникам энергии](#) (ВИЭ), причём цикличность её воспроизводства полностью зависит от потока воды, вследствие чего гидроэнергоресурсы неравномерно распределяются в течение года; кроме того, их величина меняется из года в год. Характерная особенность ГЭС – преобразование механической энергии воды в электрическую происходит без промежуточного произ-ва тепла. Для получения электроэнергии наиболее часто используют эффект «падающей» воды, когда естественные или искусственно создаваемые перепады уровней воды (с помощью [плотин](#) и/или [деривации](#)) формируют водоток, направляемый в [гидравлическую турбину](#).

ГЭС классифицируются: по установленной мощности (МВт) – крупные (св. 250), средние (до 250) и малые (до 10); величине напора; схеме использования водных ресурсов; условиям работы. Мощность ГЭС N (кВт) зависит от напора H_6 (разности уровней верхнего и нижнего [бьефа](#), м), расхода воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$), проходящего через гидротурбины, кпд гидроагрегата η_r и определяется выражением $N = \eta_r Q H_6$.

Крупные и средние ГЭС

Крупные и средние ГЭС занимают главенствующее положение в получении гидроэлектрич. энергии и строятся на крупных реках; состоят из системы [гидротехнических сооружений](#), обеспечивающих создание необходимого напора, энергетич. оборудования (гидравлич. турбин), преобразующего энергию движущейся под напором воды в механич. энергию, которая, в свою очередь, преобразуется в электрич. энергию. Схема крупной (средней) ГЭС представлена на рис. 1. Плотина образует водохранилище, обеспечивая постоянный напор воды, которая через защитную решётку и регулируемый затвор входит в водоприёмник и, пройдя по водотоку, вращает гидравлич. турбину, приводящую в действие [гидрогенератор](#). Выходное напряжение гидрогенераторов повышается трансформаторами для передачи на распределит. подстанции, а затем – потребителям. После совершения работы вода вытекает в реку. В здании ГЭС размещается осн. энергетич. оборудование: в машинном зале – гидроагрегаты, вспомогат. оборудование, устройства автоматич. управления и контроля; на центр. посту управления – пульт оператора-диспетчера или автооператор ГЭС. Повышающая трансформаторная подстанция может находиться как внутри здания ГЭС, так и в отд. зданиях или на открытых площадках. Распределит. устройства зачастую располагаются на открытой площадке. При здании ГЭС или внутри него создаётся монтажная площадка для сборки и ремонта оборудования и для вспомогат. операций по обслуживанию ГЭС.

Крупнейшие ГЭС мира (2005)*

ГЭС	Страна	г Год завершения строительства	Мощность, тыс. МВт
«Itaipu»	Бразилия-Парагвай	1983	12,6
«Guri»	Венесуэла	1983	10,0
«Grand Cooley»	США	1988	6,8
Саяно-Шушенская	Россия	1988	6,4
Красноярская	Россия	1972	6,0
«La Grande 2» (с 1981 «Robert-Bourassa»)	Канада	1981	5,6
«Churchill Falls»	Канада	1971	5,4
Братская	Россия	1967	4,5
«Tucuruí»	Бразилия	1986	4,2
Усть-Илимская	Россия	1980	3,8

* В 2003 на р. Янцзы (КНР) введено в эксплуатацию 6 блоков ГЭС «Санься» («Три ущелья»), которая при достижении проектной мощности в 18,2 тыс. МВт ежегодно будет производить 84,7 млрд. кВт-ч (2009) и может стать самой большой ГЭС в мире.

По величине напора различают ГЭС высоконапорные (св. 60 м), среднего напора (до 60 м) и низконапорные (3–25 м). На равнинных реках напоры редко превышают 100 м, в горных условиях посредством плотины можно создавать напоры до 300 м и более, а с помощью деривации – до 1500 м. Отличит. особенностью ГЭС, сооружаемых на равнинных реках (как на мягких основаниях, так и на скальных породах), являются большие объёмы земляных и бетонных работ. В каньонах и горных ущельях на твёрдых скальных основаниях тяжёлые гравитационные плотины экономически невыгодны, для таких гидроузлов более эффективны арочные плотины или арочно-гравитационные. В зависимости от напора используют разл. энергетич. оборудование: на низконапорных ГЭС – поворотнo-лопастные или горизонтальные (реже) турбины; на средненапорных – поворотнo-лопастные и радиально-осевые турбины; на высоконапорных – ковшовые и радиально-осевые турбины.

По схеме использования водных ресурсов ГЭС обычно подразделяют на русловые, приплотинные, деривационные (с напорной и безнапорной деривацией), смешанные, гидроаккумулирующие и приливные. В русловых и приплотинных ГЭС напор воды создаётся плотиной, перегораживающей реку и поднимающей уровень воды в верхнем бьефе. При этом неизбежно некоторое затопление долины реки. Русловые и приплотинные ГЭС строят как на равнинных многоводных реках, так и на горных реках в узких сжатых долинах. В состав сооружений русловой ГЭС, кроме плотины, входят здание ГЭС и водосбросные сооружения. У русловой ГЭС здание с размещёнными в нём гидроагрегатами служит продолжением плотины и вместе с ней создаёт напорный фронт. Для русловых ГЭС характерны напоры до 30–40 м. На крупных равнинных реках осн. русло обычно перекрывается земляной плотиной, к ней примыкает бетонная водосливная плотина, на которой сооружается здание ГЭС. Такая компоновка типична для мн. отеч. ГЭС на больших равнинных реках, напр. Волжской ГЭС (г. Волгоград) мощностью 2,56 тыс. МВт (1962); Майнской ГЭС на р. Енисей мощностью 321 МВт (1987). При более высоких напорах здание ГЭС не может воспринимать большое гидростатич. давление воды. В этом случае сооружается приплотинная ГЭС, у которой напорный фронт на всём протяжении перекрывается плотиной, а здание ГЭС располагается за плотиной, со стороны нижнего бьефа (напр., Братская ГЭС на р. Ангара).

Примером др. типа приплотинных ГЭС, соответствующих горным условиям, может быть компоновка Нурекской ГЭС на р. Вахш (Таджикистан) проектной мощностью 2,7 тыс. МВт, Мингечаурской ГЭС на р. Кура (Азербайджан) мощностью 359 МВт.

В деривационных ГЭС вода в начале используемого участка реки отводится из речного русла водоводом с уклоном значительно меньшим, чем средний уклон реки на данном участке, и со спрямлением изгибов и поворотов русла. Конец деривации подводят к месту расположения здания ГЭС. Отработанная вода либо возвращается в реку, либо подводится к следующей деривационной ГЭС. Деривация выгодна, если уклон реки велик.

Деривационная схема концентрации напора (бесплотинный водозабор или низкая водозаборная плотина) на практике приводит к тому, что из реки забирается лишь небольшая часть её стока. При отборе всего стока в начале деривации на реке сооружается более высокая плотина и создаётся водохранилище: такая схема концентрации падения воды называется смешанной, т. к. используются оба принципа создания напора. В ряде случаев с помощью деривации производится переброска стока реки в соседнюю реку, имеющую более низкие отметки русла, напр., на Ингурской ГЭС (Грузия), где сток р. Ингури перебрасывается туннелем в соседнюю р. Эрисцкали. Сооружения безнапорных деривационных ГЭС состоят из здания, водозаборного сооружения, водоприёмной плотины и собственно деривации (канал, лоток, безнапорный туннель). Крупнейшая ГЭС с безнапорной подводящей деривацией – ГЭС «Robert Moses» (США) мощностью 1,95 тыс. МВт, а с безнапорной отводящей деривацией – Ингурская ГЭС мощностью 1,3 тыс. МВт.

На ГЭС с напорной деривацией водовод прокладывается с несколько большим продольным уклоном, чем при безнапорной деривации. Применение напорной подводящей деривации обуславливается изменчивостью горизонта воды в верхнем бьефе. Крупнейшая станция с напорной подводящей деривацией – ГЭС «Nechako-Kemano» (Канада) проектной мощностью 1,79 тыс. МВт. ГЭС с напорной отводящей деривацией применяется в условиях значит. изменений уровня воды в реке в месте выхода отводящей деривации или по экономич. соображениям. В этом случае необходимо сооружение уравнил. резервуара (в начале отводящей деривации) для выравнивания неустановившегося потока воды в реке – напр., ГЭС «Harspranget» (Швеция) мощностью 350 МВт.

Особое место занимают [гидроаккумулирующие электростанции](#) (ГАЭС) и [приливные электростанции](#) (ПЭС). ГАЭС являются наиболее эффективным типом манёвренных электростанций, повышающих надёжность и экономичность работы энергосистемы в период покрытия пиковых нагрузок. ПЭС преобразуют энергию мор. приливов в электрическую и могут быть использованы в энергосистемах лишь совместно с энергией регулирующих электростанций, восполняющих провалы мощности ПЭС.

По условиям работы и характеру использования воды различают ГЭС на стоке без регулирования, с суточным, недельным, сезонным (годовым) и многолетним регулированием. Отд. ГЭС или каскады ГЭС, как правило, работают в системе совместно с [конденсационными электростанциями](#), [теплоэлектроцентралями](#), [атомными электростанциями](#), газотурбинными установками (ГТУ), причём в зависимости от графика нагрузки энергосистемы ГЭС могут быть базисными, полупиковыми и пиковыми.

Из всех существующих типов электростанций именно ГЭС являются наиболее манёвренными и способны при необходимости существенно увеличить мощность в считанные минуты, покрывая пиковые нагрузки. Для тепловых станций (ТЭС) этот показатель измеряется часами, для АЭС – сутками. Мощность крупнейших ГЭС мира превышает 3 тыс. МВт (табл.).

Малые ГЭС

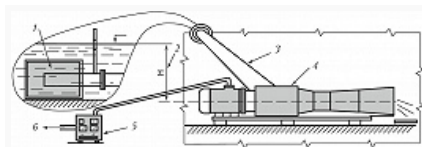


Рис. 2. Схема микроГЭС: 1 – водозаборное устройство; 2 – напор воды (H); 3 – водовод; 4 – энергоблок; 5 – устройство автоматического регулирования; 6 – ток к потребителю.

Малые ГЭС, мощность которых не превышает 10 МВт, строятся на малых реках, водоёмах, они, как правило, бесплотинные и включают мини-ГЭС (установленная мощность до 1000 кВт) и микро ГЭС (мощность 1–100 кВт); получили широкое развитие во многих странах мира со 2-й пол. 1950-х гг. Схема микроГЭС представлена на рис. 2. Малые ГЭС предназначены для выработки электроэнергии в пром. электросеть и/или для работы на автономную нагрузку.

По характеру исполнения малые ГЭС подразделяются на два типа: реализующие потенциальную энергию водотока (стационарные приплотинные, с совмещением плотины и здания ГЭС; стационарные

бесплотинные, с трубопроводом напорной деривации; мобильные в контейнерном исполнении, с использованием в качестве напорной деривации пластиковых труб или гибких армированных рукавов; переносные мощностью до 10 кВт); реализующие непосредственно кинетич. энергию водотока (погружные бесплотинные, гирляндные ГЭС и др.).

Диапазон напора воды колеблется от 3 до 80 м. По номинальному напряжению различают ГЭС низкого напряжения – до 1 кВ; высокого напряжения – 1–10 кВ. По частоте вращения турбины – от 200 до 1500 оборотов в минуту. Малые ГЭС в России построены в Туве (мощность 168 кВт), на Алтае (мощность 400 кВт), в Камчатской обл. на р. Быстрая (мощность 1,7 МВт), каскад Толмачёвской ГЭС.

Мини- и микроГЭС устанавливаются также в водотоках (продуктопроводах), где требуется применение гасителей давления – питьевых водопроводах и технологич. водотоках предприятий, водосбросах ТЭЦ, а также на пром. и канализац. стоках.

Строительство малых ГЭС рационально там, где социально-экономич. условия и перспективы развития производит. сил региона не требуют создания большой энергетики и малые ГЭС могут обеспечить местное энергоснабжение отд. городов и посёлков (напр., мини-ГЭС мощностью 1000 кВт может вырабатывать 6000 МВт·ч/год электроэнергии). Малые ГЭС – надёжные, экологически чистые, компактные, быстрокупаемые источники электроэнергии для деревень, хуторов, дачных посёлков, фермерских хозяйств в отдалённых, горных и труднодоступных районах, где нет поблизости ЛЭП.

Историческая справка

Одни из первых гидроэлектрич. установок мощностью в неск. сотен ватт были сооружены в 1876–81 в Штангасе и Лауфене (Германия) и в Грейсайде (Англия). Развитие ГЭС и их пром. использование тесно связано с проблемой передачи электроэнергии на расстояние: как правило, места, наиболее удобные для сооружения ГЭС, удалены от осн. потребителей электроэнергии. Протяжённость существовавших в то время ЛЭП не превышала 5–10 км. Сооружение крупной ЛЭП (170 км) от Лауфенской ГЭС до Франкфурта-на-Майне для снабжения электроэнергией Междунар. электротехнич. выставки (1891) открыло широкие возможности для развития ГЭС.

Первенцем гидроэнергетики в России следует считать станцию на Рудном Алтае, построенную в 1892. Эта четырёхтурбинная ГЭС (мощность 0,15 МВт) была создана под рук. горного инж. Н. И. Кокшарова для шахтного

водоотлива Зырянского рудника на р. Берёзовка (ныне г. Зыряновск, Казахстан). В Европ. части России первая пром. ГЭС мощностью 0,26 МВт построена в 1896 на р. Охта близ С.-Петербурга под рук. инженеров В. Н. Чиколева и Р. Э. Классона. Она снабжала электроэнергией Охтинский пороховой завод. В 1898 на Ленских приисках (р. Ныгри) построена ГЭС, на которой впервые в России были установлены генераторы трёхфазного (переменного) тока. Трансформатор напряжением 10 кВ позволил передать ток на расстояние 20 км. Для этого была специально сооружена высоковольтная линия. В 1909 закончилось строительство крупнейшей в дореволюц. России Гиндукушской ГЭС на р. Мургаб (Туркмения) мощностью 1,35 МВт. В период 1905–17 вступили в строй Саткинская, Алавердинская, Каракультукская, Тургусунская, Сестрорецкая и др. ГЭС небольшой мощности.

Становление электроэнергетики СССР (России) связано с [ГОЭЛПРО планом](#). Сов. Союз впервые в мире начал строить крупные гидроузлы на мягких основаниях. В СССР (России) были построены плотины новых типов, чрезвычайно высокие, а в отд. случаях – рекордные по высоте в мировой практике: арочные – Ингурская (выс. 271 м), Чиркейская (230 м); арочно-гравитационные – Саянская (236 м), Токтогульская (215 м); гравийно-галечниковая – Нурекская (310 м); плотины в районах вечной мерзлоты – Мамаканская, Вилюйская и Хантайская. В 1970-х гг. продолжалось строительство крупных гидроузлов с высокими плотинами в высокосейсмичных районах (Токтогульский в зоне св. 9 баллов и ряд др.).



Машинный зал Саяно-Шушенской ГЭС.

Архив Н. В. Надыкто



Саяно-Шушенская ГЭС.

Архив Н. В. Надыкто

В РФ самые мощные (каскадные) ГЭС сооружены на реках Волга, Кама, Ангара, Енисей, Обь и Иртыш. Каскад ГЭС представляет собой группу ГЭС, расположенную ступенями по течению водного потока с целью полного последоват. использования его энергии. Гидроустановки в каскаде обычно связаны общностью режима, при котором водохранилища верхних ступеней оказывают регулирующее влияние на водохранилища нижних ступеней. На основе ГЭС вост. районов страны формируются пром. комплексы, специализирующиеся на энергоёмких производствах. Наиболее эффективные по технико-экономич. показателям гидроресурсы сосредоточены в Сибири. Ангаро-Енисейский каскад, в состав которого входят самые крупные ГЭС страны: Саяно-Шушенская, Красноярская, Братская, Усть-Илимская. Строится Богучанская ГЭС (проектная мощность 3 тыс. МВт, 2006).

ГЭС и окружающая среда

Процесс произ-ва электроэнергии на ГЭС, в отличие от ТЭС и АЭС, экологически безвреден. При нормальной работе ГЭС к.-л. вредные выбросы в окружающую среду отсутствуют. Большинство ГЭС России располагается в Европ. части страны, которая характеризуется равнинной

местностью. Создание водохранилищ для эксплуатации ГЭС влечёт за собой изменение природных условий. Влияние искусств. водохранилищ может быть положительным и отрицательным. Положительное влияние состоит в возможности орошения земельных угодий из созданных водохранилищ. В то же время создание крупных водохранилищ в равнинных районах приводит к затоплению земель, изъятию их из хозяйств. оборота, подъёму грунтовых вод и, как следствие, к изменению температурного режима воды, заболачиванию и связанному с этим ухудшению санитарно-эпидемиологич. условий местности. Из-за увеличения зеркала водной поверхности резко

возрастают потери воды на испарение. Летом и осенью темп-ра воды в водохранилище из-за значительного его объёма становится ниже, чем в реке (нижнем бьефе). Это приводит к более раннему ледоставу, сокращает сроки навигации, неблагоприятно воздействует на фауну. В районе водохранилища изменяется микроклимат, повышается влажность воздуха, часто образуются туманы. При этом снижается среднегодовая сумма осадков, изменяются направление и скорость ветра, уменьшается амплитуда колебаний темп-ры в течение суток. Увеличение давления на дно реки может привести к созданию условий для повышения сейсмич. активности в регионе. Частые колебания уровня воды в водохранилище приводят к переформированию его берегов и дна, сопровождаются образованием подводных отмелей. На дне водохранилища (водоёмов) накапливаются тысячи тонн осадков (как правило, ядовитых, за счёт слива пром. и бытовых стоков в реку). Это практически навсегда выводит территорию из дальнейшего использования, даже в случае спуска водохранилища. Ликвидация водохранилищ потребует дополнит. строительства железных и шоссейных дорог и затруднена также тем, что совр. суда приспособлены к бóльшим глубинам, чем в реках с незарегулированным стоком, и замена их на суда с меньшей осадкой потребует значит. финансовых затрат.

ГЭС на горных реках удобны тем, что не связаны с затоплением больших территорий, но они могут быть опасны из-за довольно высокой вероятности катастроф ввиду сейсмич. нестабильности этих районов. Землетрясения приводят к огромным жертвам; так, в 1963 при прорыве плотины ГРЭС в Вайоне (Италия) погибло более 2 тыс. чел., а в 1979 в штате Гуджарат (Индия) при прорыве плотины на ГЭС «Морви-Мачу» – более 15 тыс. человек.

Экологич. организации рассматривают строительство малых ГЭС как технологии, щадящие окружающую среду, и поддерживают развитие малой гидроэнергетики. Проведены исследования (1990–2000) по определению количественного ущерба окружающей среде, вызванного генерацией электроэнергии от 8 источников: бурого и каменного угля, нефтяного топлива, природного газа, ядерного топлива, ветра, солнечных фотоэлементов и малых ГЭС. В результате получены следующие выводы: малые ГЭС в целом в 31 раз менее вредны для окружающей среды, чем традиц. источники, а 1 кВт·ч электрич. энергии, произведённый малыми ГЭС, в 300 раз чище, чем при сжигании бурого угля. См. также [Гидроэнергетика](#).

Литература

Лит.: Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов СССР / Под ред. П. С. Непомнящего. 2-е изд. М., 1982; Авакян А. Б. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. Минск, 1990; Волков С. Г. Гидроэнергетика. СПб., 1997; Голицын М. В., Голицын А. М., Пронина Н. М. Альтернативные энергоносители. М., 2004.