



РусГидро

Корпоративный университет
гидроэнергетики

И С Т О Р И Я

гидроэнергетики России

Москва
2014

УДК 621.22
ББК 30
С47

С47 История гидроэнергетики России. / Слива И.В. — Тверь :
Тверская Типография, 2014. — 304 с. — ISBN 978-5-906006-05-9.

ISBN 978-5-906006-05-9

© Слива И.В., 2014
© Филиал ОАО «РусГидро» — «КорУнГ», 2014

Введение

Российская гидроэнергетика имеет интереснейшую, более чем 120-летнюю историю, которая по ряду причин не получила широкого освещения. Эта книга является попыткой в первом приближении заполнить этот пробел.

Первые гидроэлектростанции в России появились еще в XIX веке. По ряду причин, в царской России гидроэнергетика не получила развития, ограничившись несколькими небольшими станциями. После Октябрьской революции ситуация изменилась — новая власть взяла курс на ускоренное промышленное развитие страны, немыслимое без форсированного строительства новых электростанций.

Всего за 20 лет в стране были созданы собственная гидроэнергетическая школа и промышленная база гидроэнергетического строительства, позволившие создавать выдающиеся по мировым меркам гидроэлектростанции, такие как Днепровская и Рыбинская.

Развитие гидроэнергетики было приостановлено Великой Отечественной войной, но уже в 1950-е годы в стране развернулось крупномасштабное гидроэнергетическое строительство — в короткие сроки были построены такие мощные и конструктивно сложные станции, как Жигулевская и Рыбинская. С пуском же в 1960-х годах Братской и Красноярской ГЭС советская гидроэнергетика вышла на лидирующую позицию в мире, продолжая удерживать ее до 1980-х годов, когда нарастающие в стране экономические и общественно-политические проблемы подорвали темпы гидроэнергетического строительства. Тем не менее, в новой России продолжают строиться крупные гидроэлектростанции и активно модернизируются уже существующие ГЭС.

В настоящее время ГЭС России составляют 20% мощности всех электростанций страны. Именно гидроэлектростанции обеспечивают надежное функционирование энергосистемы, позволяя

почти мгновенно изменять мощность в зависимости от ее потребностей. Не менее важными являются и неэнергетические функции водохранилищ гидроэлектростанций — обеспечение надежного водоснабжения, работы речного транспорта, защиты от наводнений.

Россия обладает огромным (вторым в мире) гидроэнергетическим потенциалом. В отличие от большинства развитых стран, практически полностью использующих энергию своих рек, гидропотенциал России используется лишь на 20%. Огромные ресурсы чистой, возобновляемой гидравлической энергии, сосредоточенной преимущественно в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, остаются вызовом для отечественных гидроэнергетиков.

Книга ориентирована в первую очередь на учащихся средних и высших учебных заведений, но будет интересна всем интересующимся электроэнергетикой и ее ролью в развитии России.

Глава I

Как устроена гидроэлектростанция

В тексте книги нередко будут использоваться специфические для гидроэнергетики термины, раскрывающие особенности конструкции гидроэлектростанций. Для облегчения их понимания, полезно ознакомиться с тем, как устроены гидроэлектростанции (ГЭС) различных типов.

Принцип работы ГЭС чрезвычайно прост — подаваемая под напором вода вращает турбину (гидротурбину), которая приводит в действие генератор (гидрогенератор), вырабатывающий электроэнергию. От генератора электроэнергия поступает на повышающий трансформатор, а оттуда, через распределительное устройство — в энергосистему по линиям электропередачи.

В то же время, уникальность каждого конкретного створа (участка реки, где построена ГЭС) приводит к огромному разнообразию конструкций гидроэлектростанций. Каждая ГЭС, за редким исключением, строится по собственному неповторимому проекту и комплектуется оборудованием, изготовленным специально под нее. Тем не менее, все это разнообразие конструкций укладывается в несколько категорий.

По способу создания напора — перепада уровней воды перед водозаборными сооружениями гидроэлектростанции и после здания ГЭС, все они разделяются на плотинные, деривационные и плотинно-деривационные. У плотинных ГЭС, как следует из их названия, напор создается путем перекрытия реки плотиной, создающей водохранилище. Чем больше высота плотины — тем выше напор.

Здание ГЭС, в котором расположены гидротурбины и гидрогенераторы, может быть интегрировано в плотину и воспринимать напор, такая гидроэлектростанция называется русловой. При больших напорах здание ГЭС располагается непосредственно за плотиной в нижнем бьефе (приплотинное здание ГЭС), или на берегу рядом с плотиной, или в отдельной подземной выработ-

ке. Иногда здание гидроэлектростанции, в целях экономии бетона, совмещают с водосбросной плотиной.



Саяно-Шушенская ГЭС — пример плотинной гидроэлектростанции

Деривационные ГЭС создают напор за счет разницы уровней между водозаборным сооружением и зданием ГЭС, которые разнесены на значительное расстояние. При этом часть стока реки отводится с помощью каналов, тоннелей или водоводов (эта система переброски воды и называется деривацией). Вода может отводиться в ту же реку, но ниже по течению, или в другую

реку, русло которой расположено ниже по высоте. Если плотинные ГЭС для создания напора используют уклон реки выше плотины, то деривационные — уклон реки от начала до конца деривации. Деривационные ГЭС могут вовсе не иметь плотины, а если плотина имеется, то ее высота невелика и ее функция — не создание напора, а обеспечение забора воды в деривацию. Деривация бывает подводящей (ГЭС расположена в конце деривации, самый распространенный вариант) и отводящей (ГЭС находится в начале деривации, обычно под землей).

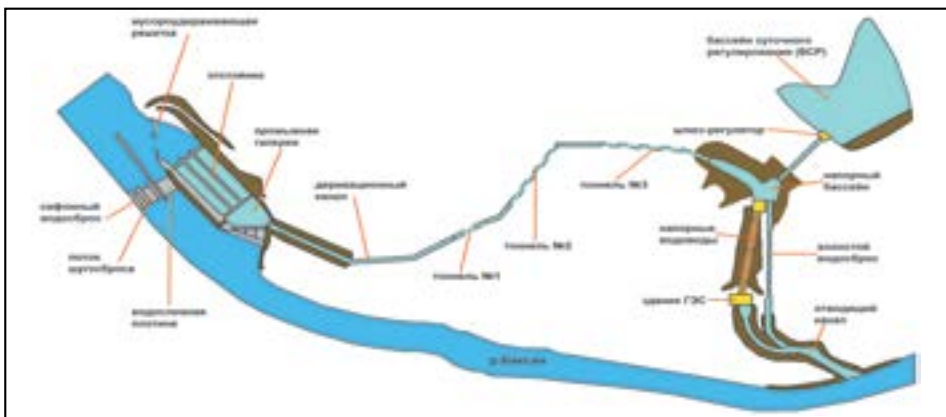


Схема сооружений Баксанской ГЭС — типичной деривационной станции

Плотинно-деривационные ГЭС совмещают свойства обоих типов — часть напора создается при помощи плотины, часть — с помощью деривации.

Каждая из схем создания напора имеет свои преимущества и недостатки. Плотинная ГЭС создает водохранилище, которое позволяет регулировать сток реки, что обеспечивает более равномерную, менее зависящую от водного режима реки выработку электроэнергии. Кроме того, водохранилище может использоваться и для других полезных целей — обеспечения водоснабжения, судоходства, защиты от наводнений. Но создание водохранилища имеет и обратную сторону — возникает зона затопления, а затопление больших площадей может быть неприемлемо по экологическим и экономическим соображениям. Напор, создаваемый плотиной, ограничен — максимальная достигнутая высота плотин составляет около 300 м.

Деривационная ГЭС не создает водохранилища с значительной зоной затопления, но ее выработка сильно зависит от водного режима реки. В засушливые (меженные) периоды выработка ГЭС резко уменьшается или прекращается вовсе, в паводок существенную часть воды приходится сбрасывать вхолостую. Поэтому на деривационных ГЭС стараются все же делать небольшие водохранилища — бассейны суточного регулирования (БСУ), позволяющие работать ГЭС в пиковом графике (т.е. включаться на полную мощность тогда, когда потребность в электроэнергии максимальна, например утром и вечером). С помощью деривации можно создавать очень высокие напоры, до 1000 метров и более. Деривационные ГЭС наиболее эффективны на горных реках, которые имеют большие падения на относительно коротких участках (идеальный случай — водопад, на котором можно создать мощную ГЭС при очень короткой деривации). Деривация при этом часто реализуется с помощью тоннелей. Но иногда такие станции строят и на равнинных реках, с длинной деривацией в виде каналов.

Технически возможно создание бесплотинных свободнопоточных ГЭС, использующих кинетическую энергию текущей воды (типичный пример — водяное колесо, погруженное нижней частью в поток воды). Предложено много конструкций подобных станций, но они не получили распространения по причине маломощности, низкой эффективности, высокой стоимости и неудобства в эксплуатации.

Особняком стоят гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС). Конструктивно они состоят из двух водохранилищ (бассейнов), расположенных на разной высоте и соединенных водоводами. Здание ГАЭС располагается вблизи нижнего бассейна у нижнего конца водоводов. Спецификой ГАЭС является возможность работы не только в турбинном, но и в насосном режиме, для чего в ее здании



План сооружений
Загорской ГАЭС

устанавливаются специальные обратимые гидроагрегаты (либо комплекты отдельных насосов и турбин).

В ночное время возникает избыток электроэнергии в энергосистеме, поскольку энергопотребление падает, а атомные и многие тепловые станции не могут быстро изменять свою мощность. При этом ГАЭС потребляют электроэнергию, работая в насосном режиме, и закачивают воду в верхний бассейн. При дефиците электро-

энергии (который может возникать утром и вечером) ГАЭС начинает работать как обычная гидроэлектростанция, сбрасывая воду в нижний бассейн и вырабатывая электроэнергию. Поскольку цена электроэнергии при ее дефиците и избытке сильно отличается, работа ГАЭС экономически эффективна. Кроме того, они повышают надежность и эффективность энергосистемы, позволяя тепловым и атомным станциям работать в оптимальных режимах, с наименьшим расходом топлива и минимальным износом оборудования.

Конструкции плотин

Все плотины можно разделить на две группы: грунтовые и бетонные (различную экзотику, вроде металлических, тканевых или деревянных плотин мы рассматривать не будем, поскольку в современной гидроэнергетике они практически не используются).

Бетонные плотины, в свою очередь, разделяются на гравитационные, контрфорсные и арочные.

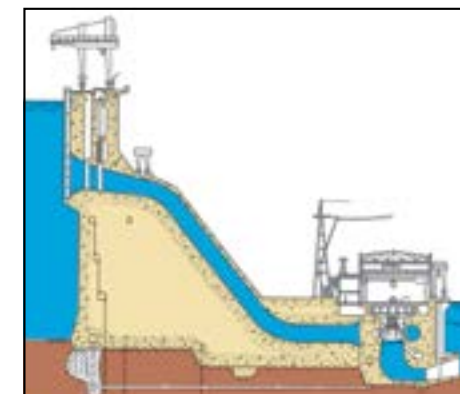
Гравитационные плотины сохраняют устойчивость за счет своего веса. Они просты, надежны, технологичны, легко совмещаются с водосбросными сооружениями и зданиями ГЭС, почему и получили очень широкое распространение. Основной их недостаток — такая плотина требует много бетона.

Гравитационные бетонные плотины благодаря своей простоте и надежности распространены чрезвычайно широко. Именно такой тип плотин имеют крупнейшие ГЭС мира — Три ущелья, Итайпу, Гури.

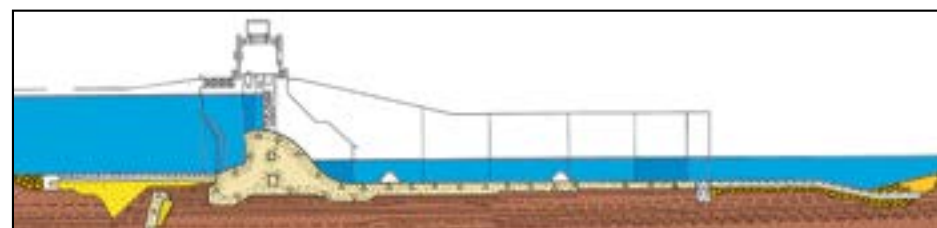
Все гравитационные бетонные плотины можно разделить на две большие группы: водосбросные плотины на нескальных основаниях и плотины на скальных основаниях. Водосбросные бетонные



Гравитационная плотина
Бурейской ГЭС



Разрез по гравитационной
бетонной плотине Красноярской ГЭС
(на скальном основании)



Разрез по гравитационной бетонной плотине
Нижегородской ГЭС
(на мягких грунтах)

плотины на нескальных основаниях (т.е. на песке, глинах и других мягких породах) входят в состав практически всех равнинных ГЭС на многоводных реках. Большую часть напорного фронта таких гидроэлектростанций формируют земляные плотины, но сбрасывать излишки воды через них нельзя, размочит грунт. Поэтому строятся специальные водосбросные бетонные плотины, в ряде случаев весьма внушительных размеров, высотой до 40-50 м. Особенностью плотин этого типа является «распластаный» профиль, т.е. ширина плотины в основании намного больше ее высоты. В целях экономии бетона плотины часто облегчают устройством внутренних полостей либо совмещают водосбросную плотину со зданием ГЭС.

Наличие скального основания позволяет возводить значительно более высокие плотины. Они возводятся и на равнинных (в случае наличия прочных пород), и на горных реках, достигая высоты более 200 метров. Рекорд принадлежит плотине Гранд Диксенс в Швейцарии — 285 м.

Идеальная форма гравитационной бетонной плотины — прямоугольный треугольник (та же Гранд Диксенс в профиле именно такой формы). На практике профиль плотины зачастую отходит от этого идеального варианта, адаптируясь к особенностям конкретного створа. Например, плотина Токтогульской ГЭС в Киргизии сильно отличается от треугольной формы, что связано с необходимостью максимально снизить нагрузку на берега, сложенные слабыми породами.

Недостатком гравитационных бетонных плотин является большой расход цемента, что повышает их стоимость.

Контрфорсные плотины являются, пожалуй, самыми технически сложными из всех типов плотин. Как и гравитационные, они передают нагрузку на основание, но делают это с помощью специальных подпорных стенок — контрфорсов. Экономия бетона при возведении контрфорсной плотины может составлять от 20% до 40% по сравнению с гравитационной плотиной. Но при этом технология возведения контрфорсных плотин гораздо сложнее и основание должно быть сложено прочными грунтами.

Конструктивно, все контрфорсные плотины разделяются на три типа: массивно-контрфорсные, с плоскими перекрытиями и многоарочные.



Массивно-контрфорсная плотина
Алькатара (Испания)

Массивно-контрфорсные плотины, напорная грань которых формируется уширением весьма толстых контрфорсов, получили наибольшее распространение в связи с относительной простотой и технологичностью их строительства, сейсмостойкостью, меньшей требовательностью к породам основания. По такому типу создана крупнейшая в России гидроэлектростанция с контрфорсной плотиной — Зейская ГЭС, имеет именно массивно-контрфорсную плотину.

Контрфорсные плотины с плоскими перекрытиями имеют довольно тонкую, значительно наклоненную напорную плиту, которая опирается на контрфорсы и передает им усилие от давления воды со стороны водохранилища.

Многоарочные плотины являются самыми сложными, но и самыми экономичными из контрфорсных плотин. Их напорный

фронт образуется арками (арочными перекрытиями), передающими усилия на контрфорсы. И арки, и контрфорсы можно сделать довольно тонкими, что дает большую экономию бетона, особенно при большой длине плотины. В России таких плотин нет.

Принцип действия арочных плотин принципиально отличается от всех других типов плотин. Если гравитационные и контрфорсные плотины давят на основание, то арочные переносят нагрузку на берега. Арочная плотина может быть даже специально отрезана от основания особым швом-надрезом (так иногда делают для разгрузки напряжений, возникающих в некоторых типах плотин).

Бетон в арочной плотине работает на сжатие, поэтому его прочностные свойства используются в ней в наибольшей мере. Арочная плотина может быть удивительно тонкой — при высоте в сотню метров ее толщина на гребне может составлять всего 2-3 м. В то же время, такие тонкие арочные плотины строят не всегда. В зависимости от конкретных условий, более эффективным может оказаться строительство более толстой или даже арочно-гравитационной плотины, устойчивость которой обеспечивается как упором в берега, так и собственным весом.

Главное преимущество арочной плотины — значительная экономия бетона, достигающая 80% от количества бетона в гравитационной плотине. Но арочные плотины предъявляют особые требования к берегам речной долины.

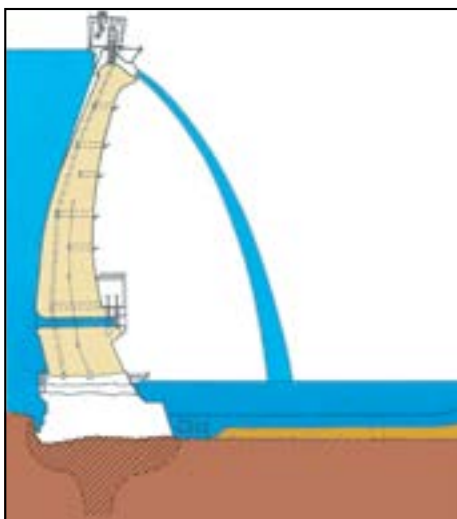
В широких речных долинах арочные плотины строят редко. Не любят арочные плотины неровных и ассиметричных долин — в них арка нормально не работает. При необходимости размещения в таком створе арочной плотины прибегают к строительству специальных врезок и подпорных стенок. Ну и наконец, горные породы берегов, в которые упирается арочная плотина, должны быть прочными и водонепроницаемыми. Идеальное место для арочной плотины — узкие горные ущелья, где они в основном и строятся.

Прочность арочных плотин чрезвычайно велика. В модельных экспериментах они разрушались лишь при нагрузках, в 3-5 раз превышающих расчетные. Характерен пример катастро-

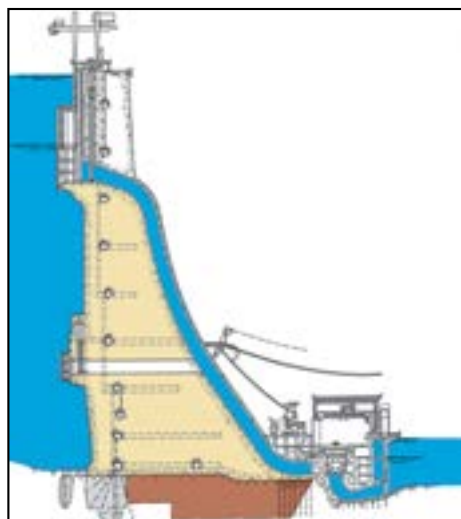


Арочная плотина
Чиркейской ГЭС

фы на итальянской плотине Вайонт (очень высокой и очень тонкой), когда сошедший в водохранилище оползень вызвал перелив воды через плотину слоем не менее 70 м — плотина устояла и более того, почти не была повреждена.



Разрез по арочной плотине
Ингурской ГЭС



Разрез по арочно-гравитационной
плотине Саяно-Шушенской ГЭС

В России арочных плотин немного — три чисто арочные (Чиркейская, Миатлинская и Гунибская) и две арочно-гравитационные (Саяно-Шушенская и Гергебильская).

Грунтовые плотины, как следует из их названия, строятся из грунтовых материалов — песка, суглинка, камня и т.п. Все они гравитационные, т.е. их устойчивость обеспечивается за счет собственного веса. Плюсами грунтовых плотин является простота и технологичность их создания, использование легкодоступных местных материалов, высокая сейсмостойчивость. Минусами — необходимость специальных мер по борьбе с фильтрацией, более сложные и дорогие водобросные сооружения, неустойчивость при переливе воды через гребень.

Грунтовые плотины разделяются в зависимости от используемого при их создании материала на земляные, каменные и каменно-земляные.

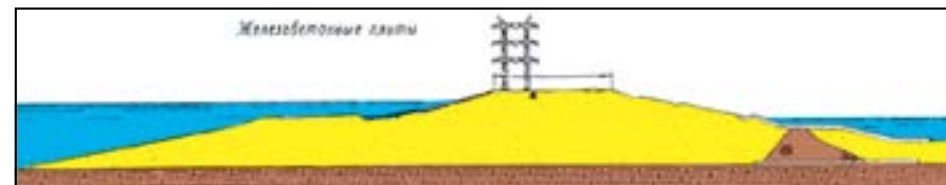
Земляные плотины возводят из мелкозернистых грунтов (песков, супесей, суглинков). Обычно они умеют умеренную высоту при большой ширине по основанию. Их ширина является естественной защитой от фильтрации, но иногда этого недоста-

точно и в их состав включаются специальные противофильтрационные элементы — ядра, экраны или диафрагмы.

Земляные плотины строятся в огромных количествах в качестве различных ограждающих дамб, плотин прудов и небольших водохранилищ, отстойников и т.п. При создании ГЭС такие плотины обычно сооружаются при строительстве низконапорных равнинных гидроэлектростанций. По способу создания земляные плотины делятся на насыпные и намывные.



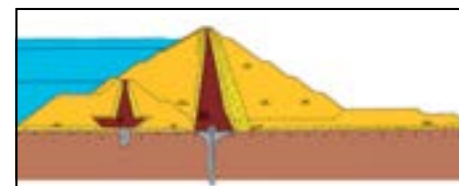
Каменно-набросная плотина
Богучанской ГЭС



Разрез по земляной плотине Волжской ГЭС

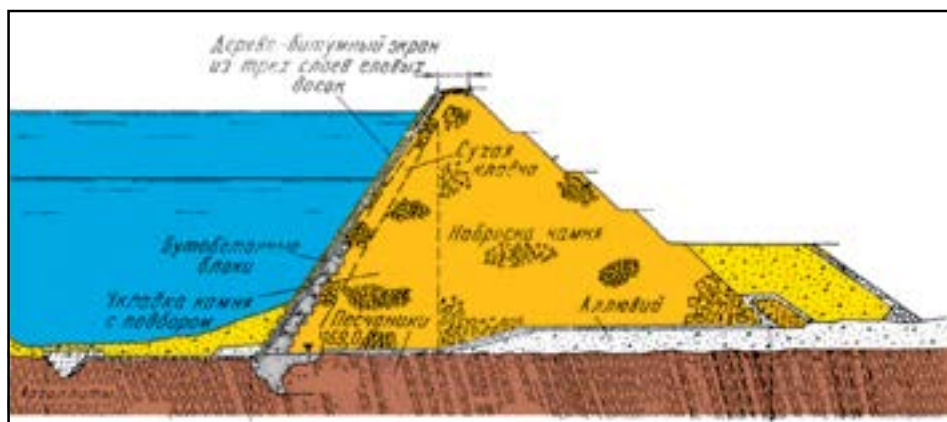
Основная часть тела каменно-земляных плотин состоит из каменной наброски, а из суглинка или глины изготовлен противофильтрационный элемент в виде ядра или экрана. Каменно-земляные плотины надежны, просты в эксплуатации, могут создаваться в тяжелых сейсмических и климатических условиях.

Каменные плотины формируются целиком из камней различного размера, иногда даже просто путем взрыва склонов речной долины. В конструкции таких плотин предусматривается противофильтрационный элемент — экран или диафрагма.

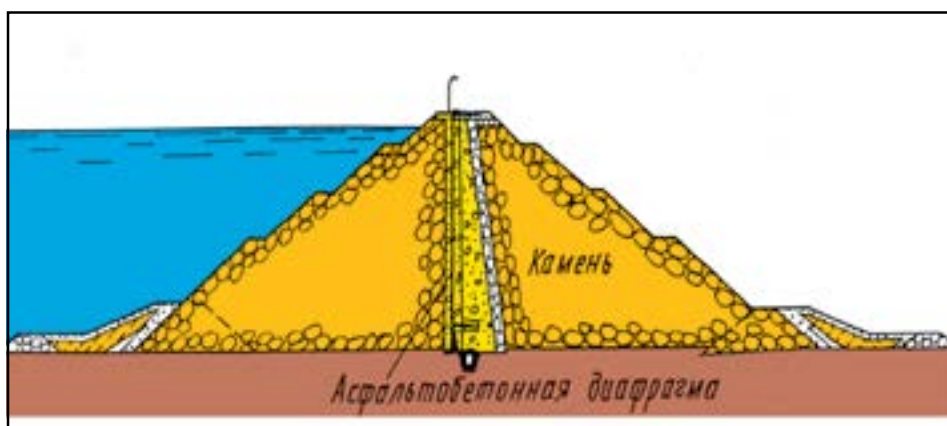


Разрез по каменно-земляной плотине
Колымской ГЭС

Экраны изготавливают из самых разных материалов — стали, дерева, синтетических пленок, железобетона и асфальтобетона, мелкозернистых грунтов. Их размещают по грани плотины со стороны верхнего бьефа. В современной практике гидроэнергетического строительства получили очень широкое распространение плотины с железобетонным экраном.



Разрез по каменно-набросной плотине Широковской ГЭС с деревянным экраном



Разрез по каменно-набросная плотине Богучанской ГЭС с асфальтобетонной диафрагмой

Диафрагмы, в отличие от экранов, располагаются в центральной части плотины. Они представляют собой своего рода тонкую «стену» в плотине. Для диафрагм используются те же материалы, что и для экранов. Большое распространение получили плотины с асфальтобетонными диафрагмами, в частности такую конструкцию имеют плотины Ирганайской и Богучанской ГЭС.

Конструкции гидравлических турбин

Завершив рассказ о плотинах, перейдем к тому оборудованию, ради которого плотины и создают напор воды — к гидравлическим турбинам (гидротурбинам).

Прообразом гидротурбин можно считать водяные колеса, старейшие из которых (нории) возникли еще в древнем Египте. Развитие гидротурбин в том виде, в котором мы их знаем, началось в XIX веке — в 1855 году американец Френсис изобрел радиально-осевую турбину, в 1887 году немецкий инженер Финк придумал направляющий аппарат с поворачивающимися лопатками. Самая «молодая» из распространенных гидротурбин — диагональная, патент на нее был получен в 1932 году.

По принципу работы, все гидротурбины разделяются на два сильно отличающихся класса — активные и реактивные. Рабочее колесо реактивных турбин полностью погружено в поток воды, в активных же турбинах рабочее колесо работает при атмосферном давлении и приводится в действие отдельными струями воды. Большинство гидротурбин — реактивные, из активных широкое распространение получили только ковшовые турбины.



Модель гидроагрегата с поворотно-лопастной турбиной

Самая большая и ответственная деталь гидротурбины — рабочее колесо. Именно оно, взаимодействуя с водным потоком, приводится им во вращение и крутит вал, на который оно и насажено. Вал, в свою очередь, вращает ротор гидрогенератора, при этом в статоре генератора вырабатывается электроэнергия. Главный элемент рабочего колеса — лопасти, которые в разных типах турбин могут быть как закреплены неподвижно, так и иметь возможность разворота.

Второй классифицирующий признак гидротурбин — ориентация их вала. Используются турбины как с вертикальным, так и с горизонтальным положением вала. По ряду причин технического и экономического характера, горизонтальное расположение вала применяется в основном на малых ГЭС (исключение — горизонтальные капсульные гидроагрегаты, которые устанавливаются и на крупных ГЭС).

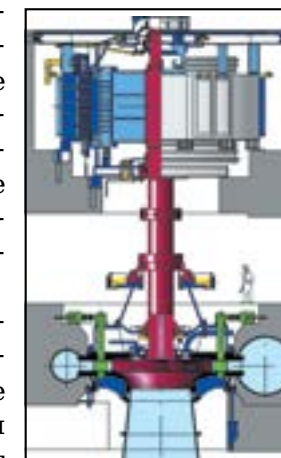


Схема обратимого гидроагрегата гидроаккумулирующей станции с радиально-осевой насос-турбиной. Предоставлено Voith Siemens Hydro Power Generation

Доступ воды в турбину регулирует направляющий аппарат, установленные перед рабочим колесом. Основной его элемент — особой формы лопатки, которые могут поворачиваться и изменять количество поступающей в турбину воды, вплоть до полного перекрытия ее доступа. Таким образом, осуществляется пуск и остановка турбины, а также изменение вырабатываемой мощности.

Лопатки направляющего аппарата закреплены на крышке турбины, которая предотвращает попадание воды в машинный зал. Перед лопатками расположены статор турбины, состоящий из верхнего и нижнего колец и статорных колонн, которые передают вес гидроагрегата на массивный фундамент здания ГЭС. Вокруг статорных колонн размещается спиральная камера, или как ее часто называют — «улитка». Ее задача — обеспечить равномерную подачу воды на лопасти турбины со всех ее сторон. Отработавшая вода сбрасывается в нижний бьеф через отсасывающую трубу.



Спиральная камера гидротурбины.
Фото ТГК-1

Наиболее распространенными в настоящее время являются поворотно-лопастные, радиально-осевые и ковшовые турбины. Реже встречаются диагональные и пропеллерные турбины. Несколько особняком стоят насос-турбинные установки, устанавливаемые на гидроаккумулирующих электростанциях; по конструкции, они бывают радиально-осевыми и диагональными. Каждый тип турбин оптимален для определенного сочетания расхода и напора воды, хотя в ряде случаев их диапазоны пересекаются и соответственно для одной ГЭС могут быть выбраны турбины разных типов.

Радиально-осевые турбины являются самым старым, но при этом самым распространенным типом гидротурбин. Техническая простота (и соответственно, дешевизна), очень широкий диапазон возможных напоров и расходов обеспечили им признанное лидерство. На крупней-



Статор турбины

ших гидроэлектростанциях мира установлены именно эти турбины, им же принадлежит рекорд по единичной мощности турбины.



Рабочее колесо
радиально-осевой турбины

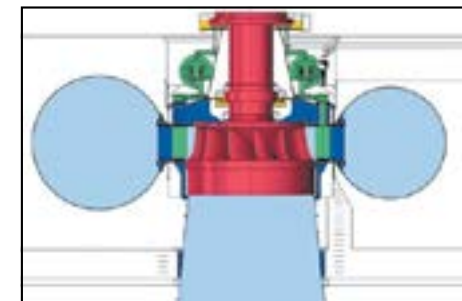


Схема радиально-осевой турбины.
Предоставлено
Voith Siemens Hydro Power Generation

Свое название радиально-осевые турбины получили по направлению движения воды в ней — она входит по радиусу, а выходит вдоль оси рабочего колеса. Рабочее колесо турбины состоит из ступицы, верхнего и нижнего обода, а также лопаток, которые неподвижно прикреплены к ободам. Конструкция рабочего колеса, не содержащая движущихся деталей, очень прочна, что позволяет использовать турбину на высоких напорах. С другой стороны, невозможность поворота лопаток приводит к наличию зон с низким КПД, а также зон с повышенной вибрацией, работа в которых не рекомендуется.

Современные радиально-осевые турбины могут использоваться на напорах до 700 м. Наиболее оптимальны для радиально-осевых турбин средние и высокие напоры (от 50 до 300 м). На подавляющем большинстве ГАЭС имеют радиально-осевые насос-турбины, напор на некоторых из них достигает до 1000 м (в этом случае, используются многоступенчатые насос-турбины).

Поворотно-лопастные турбины наиболее эффективны при относительно небольших напорах — от 10 до 40 м. На более низких напорах используются также поворотно-лопастные турбины, но с горизонтальным валом (о них мы поговорим отдельно), на более высоких — радиально-осевые и диагональные.

Конструктивно поворотно-лопастная турбина сильно отличается от радиально-осевой. По своей форме, она очень напоминает гребной винт. Особенностью турбины, обусловившей ее название, является возможность разворота лопастей (которых, к слову, может быть от 3 до 8 штук). Механизм разворота размещается во втулке рабочего колеса и приводится в действие давлением масла.

Поворот лопастей на оптимальный угол позволяет турбине сохранять высокий КПД при изменении напора. В то же время, возможности поворотно-лопастных турбин ограничены — при высоких напорах они теряют свою эффективность вследствие развития кавитации (разрушения лопастей пузырьками выделяющегося из воды воздуха). Максимальные реализованные напоры для них составляют порядка 80 м.



Рабочее колесо поворотно-лопастной турбины

Иногда используются турбины с зафиксированными лопастями, которые называют пропеллерными. Такие турбины существенно дешевле, но эффективны лишь при неизменном напоре, поэтому они используются редко.

Размеры рабочих колес поворотно-лопастных турбин, особенно работающих одновременно на небольших напорах и больших расходах, могут быть очень велики. Так, рабочие колеса турбин Саратовской ГЭС при мощности в 60 МВт и напоре 9,7 м имеют диаметр 10,3 м.

Если напор ГЭС ниже 10-15 м, то целесообразным становится использование поворотно-лопастных турбин с горизонтальным расположением вала. При такой компоновке турбины не нужна спиральная камера, но возникает проблема размещения генератора, которая может решаться разными способами.

Классический и наиболее распространенный вариант — горизонтальные капсульные гидроагрегаты. Генератор и часть механизмов турбины помещаются в специальную капсулу, для доступа в которую сооружается шахта.

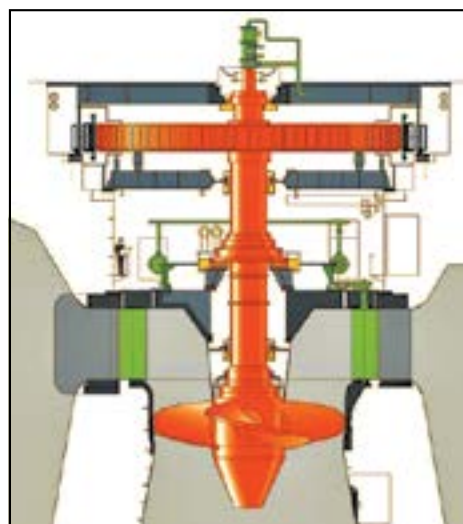
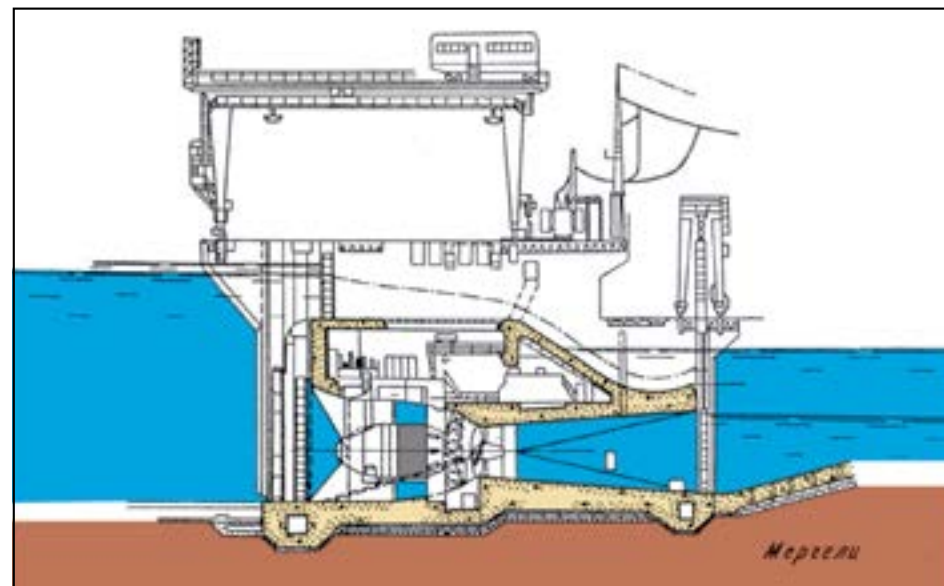


Схема поворотно-лопастной турбины. Предоставлено Voith Siemens Hydro Power Generation

Мощности таких турбин могут быть весьма значительны — так, на бразильской ГЭС Santo Antonio установлены турбины мощностью 75 МВт и диаметром 7,5 м. В России же такие турбины пока не очень распространены — в нашей стране они есть только на Саратовской и Шекснинской ГЭС.



Разрез по зданию Шекснинской ГЭС с горизонтальной капсульной турбиной

Другое решение — при горизонтальной турбине разместить генератор вертикально. При этом облегчается обслуживание генератора, но требуется специальный механизм для изменения направления вращения. Такие гидроагрегаты известны под названием РИТ Карпан, используются они обычно на некрупных ГЭС.

Ну и наконец, можно разместить генератор в отдельном помещении, выведя вал за пределы турбины. Для этого необходимо S-образно изогнуть отсасывающую трубу. Такие турбины так и называют — S-образные, и применяют их обычно на малых ГЭС.

Горизонтальные поворотно-лопастные турбины очень активно используются в развитых странах, где большая часть гидропотенциала уже использована и ведется активное строительство низконапорных малых ГЭС. Для России это пока скорее экзотика.

Принципиальной особенностью диагональных турбин является значительный наклон их лопастей, на угол 30-60 градусов. При этом лопасти имеют возможность поворота, как и у обычной пово-



Диагональная турбина Зейской ГЭС

ротно-лопастной турбины. В результате, диагональные турбины могут использоваться на довольно высоких напорах — от 30 до 150 м, и при этом сохранять высокую эффективность при значительном изменении напоров и расходов. Но диагональные гидротурбины существенно сложнее и дороже радиально-осевых, в связи с чем используются они значительно реже последних. Как правило, они применяются на ГЭС, режим работы которых подразу-

мекает большие колебания напора.

В России имеются две ГЭС с диагональными турбинами, причем с очень крупными — Зейская и Колымская.

По принципу действия ковшовая турбина является так называемой активной турбиной. Ее рабочее колесо не находится в потоке воды, а приводится в действие отдельными ее струями, ударяющими в закрепленные по ободу колеса ковши. Таким образом, рабочее колесо вращается в воздухе, при нормальном атмосферном давлении. У ковшовой турбины отсутствуют спиральная камера, отсасывающая труба, поворотные лопатки направляющего аппарата.

Струи воды формируются специальными соплами, которых может быть от 1 до 6. Внутри сопла размещается специальная игла, перемещая которую можно регулировать количество проходящей воды, т.е. сопло выполняет функцию направляющего аппарата. Рабочее колесо представляет собой диск, по ободу которого закреплены ковши, которых может быть более 20 штук. Внутри каждого ковша расположен нож, разделяющий поток воды на две части.

Ковшовые турбины могут быть выполнены как в вертикальном, так и в горизонтальном исполнении. Горизонтальные турбины обычно используются на малых и средних ГЭС, причем для увеличения мощности турбины иногда используется установка на одном валу двух, а то и трех рабочих колес.

Наиболее эффективно ковшовые турбины работают на высоких (от 300 м) напорах и одновременно небольших или умеренных расходах. Напоры более 300 м можно получить лишь в горной местности и с использованием деривации, поэтому ГЭС с ковшо-

выми турбинами часто представляют собой сложные сооружения с протяженными каналами, тоннелями, трубопроводами.

Крупнейшие в мире ковшовые гидротурбины (максимальная мощность — 449 МВт) установлены на швейцарской ГЭС Бьедрон. Одновременно, это самая высоконапорная ГЭС в мире — 1883 м.

Устанавливают ковшовые турбины и на высоконапорные ГАЭС, имеющие отдельно работающие, а не совмещенные в одном агрегате, турбину и насос.

В России ковшовые турбины пока что не очень распространен-



Рабочее колесо ковшовой турбины (двухколесной, с горизонтальным валом)

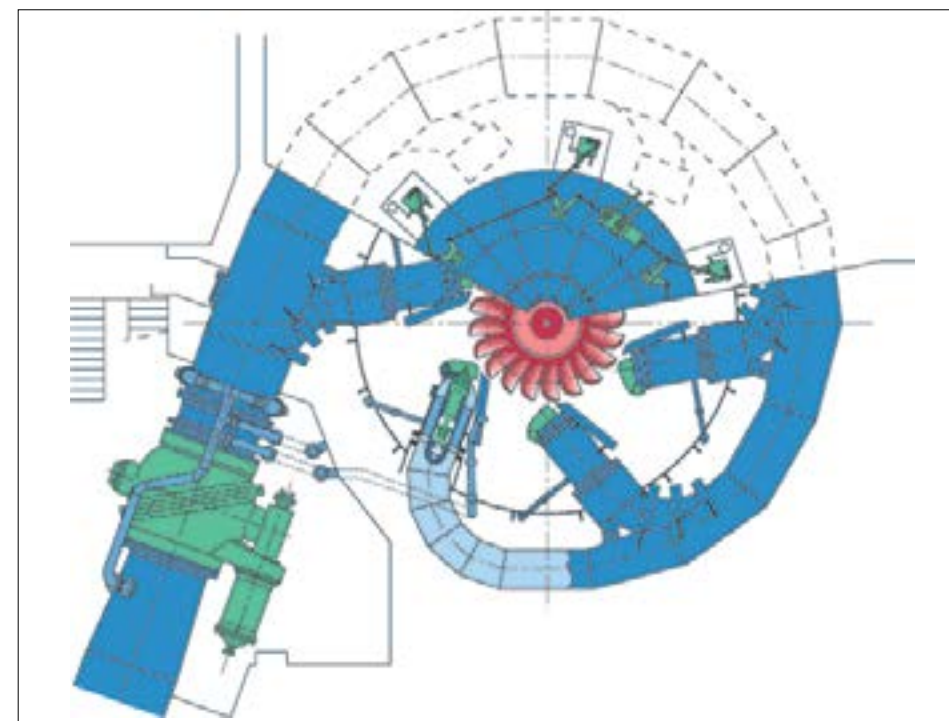


Схема вертикальной ковшовой турбины (вид сверху). Предоставлено Voith Siemens Hydro Power Generation

ны. Они установлены на Гизельдонской ГЭС в Северной Осетии, введенной в эксплуатацию еще в 1934 году, и еще на нескольких малых ГЭС на Северном Кавказе.

Гидромеханическое оборудование

Важнейшим элементом оборудования любой гидроэлектростанции являются затворы — устройства, позволяющие регулировать пропуск воды через ее сооружения. От надежности затворов напрямую зависит безопасность эксплуатации всей станции, поэтому этим устройствам уделяется особое внимание. Конструкции затворов отличаются чрезвычайным разнообразием, и мы, не касаясь различной экзотики, расскажем о наиболее часто применяемых конструкциях этих механизмов.

Все затворы можно разделить на несколько групп. Принципиально отличается специфика работы затворов на водосбросных сооружениях, и затворов, связанных с трактом подачи воды на турбины — первые большую часть времени закрыты, вторые — наоборот, открыты. К затворам, обслуживающим турбины, зачастую предъявляются особые требования по скорости работы, а также по способности выдерживать большие гидродинамические нагрузки. Ведь им приходится перекрывать разогнавшийся в водоводах поток воды, обладающий огромной энергией. Отдельно выделяют поверхностные затворы и затворы глубинные, работающие под значительным давлением воды.

Выделяют основные затворы (как правило, это затворы на водосбросной плотине), аварийные — перекрывающие поток воды при авариях (они должны работать быстро и в условиях текущей воды), ремонтные — перекрывающие доступ воды при ремонте основного затвора (обычно они опускаются в спокойную воду). Чаще всего затворы изготавливают из стали, но иногда используются и другие материалы — алюминиевые сплавы, железобетон.

Самый простой и самый распространенный тип затворов — плоские. Представляют собой плоский щит, перемещающийся вверх-вниз по полозьям. Оперировать такими затворами с помощью электрических и гидравлических приводов, а если большая оперативность не нужна — то с помощью кранов, обычно козловых. Эти затворы часто используют в качестве ремонтных и аварийно-ремонтных — например, на Саяно-Шушенской ГЭС водоводы перекрываются именно плоскими затворами. Недо-



Шаровый затвор ►



◀ Плоский затвор



◀ Сегментный затвор

статками плоских затворов являются значительное усилие на подъем, превышающее его вес в 2-3 раза, невысокая устойчивость к ледовым нагрузкам, риск заклинивания затвора в пазах вследствие их износа или засорения.

В отличие от плоского, сегментный затвор изогнут и прикреплен к шарниру, вокруг оси которого и вращается. Такая конструкция значительно снижает усилие на подъем, а также увеличивает жесткость затвора и соответственно его сопротивляемость ледовым нагрузкам. В связи с этим, сегментные затворы получили очень широкое распространение как основные поверхностные затворы водосбросных сооружений, достигая зачастую очень внушительных размеров. Затворы такого типа установ-

лены, в частности, на береговом водосбросе Саяно-Шушенской ГЭС. Близок с сегментному секторный затвор, который в отличие от сегментного пропускает воду не под, а над собой, что очень удобно при сбросе в нижний бьеф льда.

Вальцовые затворы представляют собой цилиндр, перекаты- вающийся по наклонным путям, приводимый в действие цепным механизмом. Отличаются очень большой устойчивостью к внешним воздействиям, но имеют значительную стоимость, в связи с чем применяются относительно редко, в основном на горных реках, перемещающих большое количество наносов.

Дисковые затворы представляют собой закрепленный на горизонтальной оси диск. Перекрытие воды осуществляется поворотом диска. Такие затворы могут работать и при значительных напорах (например, затвор диаметром 5 м, установленный на Чиркейской ГЭС, рассчитан на напор 223 м). Очень часто такие затворы устанавливаются в качестве предтурбинных, т.е. расположенных вблизи входа в спиральную камеру.

Шаровые затворы в гидроэнергетике применяются преимущественно в качестве предтурбинных при больших напорах (в т.ч. более 1000 м). Они довольно дороги, но при напорах более 200-250 м альтернатив им нет. В России такие затворы установлены на Баксанской, Гизельдонской, Зеленчукской ГЭС, а самые большие затворы этого типа в России будут смонтированы на строящейся Зарамагской ГЭС-1.

Глава II

Развитие гидроэнергетики в России до 1917 года

Энергия воды использовалась на территории современной России с давних времен — первые упоминания о водяных мельницах датируются XI веком. Много таких мельниц было и в Москве, в частности на Яузе и Неглинной. С XVI века появляются промышленные водяные колеса при лесопилках и металлургических предприятиях. Особенно широко развернулось строительство водных машин в XVIII веке, когда только на Урале было построено более 200 заводских плотин, некоторые из которых сохранились до настоящего времени.

Стоит отметить, что в области совершенствования водяных машин русские инженеры достигли больших успехов. Так, были созданы сложные системы, передающие энергию с одного водяного колеса на множество механизмов. На кузнечном цехе Екатеринбургского завода водяное колесо диаметром 5,7 м было установлено в отдельном помещении, и через систему трансмиссий приводило в действие 24 меха 12-ти кузнечных горнов, а также вращало шестерню вала с точилами и шлифовальными кругами.

Выдающимся достижением было создание в 1770-х — 1780-х годах Козьмой Фроловым Змеиногорской рудничной гидросиловой установки, расположенной на Алтае. От плотины, построенной на реке Корбалихе, вода подавалась на расстояние более 2 км, приводя в действие последовательно целый ряд механизмов — лесопилку, водо- и рудоподъемные установки двух шахт. Огромные, крупнейшие в мире (диаметром 16, 17 и 19 м) водяные колеса установки располагались глубоко под землей в шахтах.

Водяные колеса имели множество недостатков — низкий (не более 50-60%) КПД, ограниченная максимальная мощность, тихходность, поэтому постоянно предпринимались попытки создания более совершенных водяных машин. Этот процесс шел параллельно и независимо на Западе и в России.

лошадьми до места установки. Ныгринская ГЭС по двум линиям электропередачи напряжением 10 кВ снабжала местные золотые прииски, где в шахтах смонтировали электрические подъемники, а также впервые в России электрифицировали железную дорогу. До 1917 года в Ленском золотопромышленном районе возвели шесть гидроэлектростанций общей мощностью 2,8 МВт, работавших на единую сеть. Это был первый в нашей стране опыт создания каскада гидроэлектростанций.

В 1897 году появилась первая ГЭС на Северном Кавказе — с целью энергоснабжения местных рудников бельгийская компания построила гидроэлектростанцию мощностью около 500 кВт на реке Садон в Северной Осетии. Но настоящим прорывом стало строительство в 1903 году «Центральной Пятигорской гидроэлектростанции» (с 1911 года — ГЭС «Белый уголь») на реке Подкумок. Проект этой станции, разработанный ставшими впоследствии знаменитыми учеными-электротехниками Г.О. Графтио и М.А. Шателеном, предусматривал энергоснабжение района Кавказских Минеральных вод. При мощности около 740 кВт ГЭС обеспечила электроэнергией Кисловодск, Ессентуки, Пятигорск и Железноводск — в частности, это позволило в сентябре 1903 года пустить в Пятигорске трамвай.

В 1913 году ГЭС «Белый уголь» и Пятигорская тепловая электростанция были связаны линией электропередачи и включены в параллельную работу — так возникла первая в России энергосистема. Гидроэлектростанция сохранилась до наших времен, сейчас в ее здании организован музей.



«Белый уголь»
на открытке начала XX века

Хямекоски до сих пор находится в эксплуатации некоторое оборудование, изготовленное в начале XX века.

С 1899 года ведет свой отсчет история использования богатых гидроресурсов Карелии — в этом году была введена в эксплуатацию ГЭС Ляскеля мощностью 750 кВт на р. Янисйоки, снабжавшая электричеством бумажную фабрику. На этой же реке в 1903 году заработала ГЭС Хямекоски. Обе станции после ряда реконструкций работают и в настоящее время, причем на ГЭС

Первой гидроэлектростанцией на Урале стала Порожская ГЭС на реке Большая Сатка, пущенная в 1910 году. ГЭС предназначалась для энергоснабжения завода ферросплавов (также первого в России), и имеет целый ряд уникальных особенностей. В отличие от перечисленных выше станций, построенных по деривационной схеме, напор на гидроагрегатах Порожской ГЭС создается при помощи плотины из каменной кладки высотой 21 м. Станция без реконструкции и замены основного оборудования (изготовленного в Германии) работает и сейчас, т.е. более 100 лет.



Гидроагрегаты ГЭС Хямекоски.
Фото ТГК-1

Столь же продолжительное время, а точнее с 1909 года, выдает электроэнергию и Гиндукушская ГЭС — крупнейшая гидроэлектростанция дореволюционной России (мощность — 1,35 МВт), первенец гидроэнергетики Средней Азии. Интересно, что построена она в чрезвычайно бедном водными ресурсами Туркменистане, на реке Мургаб. Три гидроагрегата станции, изготовленных австро-венгерскими фирмами, прекрасно сохранились и продолжают функционировать в настоящее время.

Небольшие гидроэлектростанции строились для нужд шахт, заводов и даже монастырей. Так, в 1909 году дала ток Соловецкая ГЭС мощностью около 40 кВт, снабжавшая электроэнергией Соловецкий монастырь, на территории которого она и располагалась. На тот момент она была самой северной гидроэлектростанцией России. Интересно, что на Большом Соловецком острове с давних времен была создана монахами довольно сложная гидротехническая система, центром которой является озеро Святое. Система включает в себя 70 каналов, два десятка дамб и плотин, регулирующие сооружения (шлюзы), и гидроэлектростанция стала одним из ее элементов.



Машинный зал Соловецкой ГЭС,
фото начала XX века

Было предложено немало проектов строительства довольно крупных для своего времени гидроэлектростанций. Еще в 1892 году инженер Николай Бенардос разработал «Проект снабжения города Санкт-Петербурга дешевым электрическим током для освещения и движения», согласно которому предлагалось строительство на Неве у Ивановских порогов нескольких гидростанций мощностью до 15 МВт. В 1892–1895 годах другой специалист-электротехник, Вениамин Добротворский предложил построить ГЭС у водопадов, расположенных на реках Нарва (23,8 МВт) и Вуокса (36,8 МВт), а также на порожищем участке Волхова.

Обсуждалась возможность сооружения гидроэлектростанций и в Сибири – в 1895 году Иркутская городская управа изучила предложение группы инженеров о строительстве ГЭС на Ангаре, еще через несколько лет рассматривался проект гидроэлектростанции на реке Иркут. Серьезные исследования гидроэнергетического потенциала Ангары были проведены в 1891–1916 годах при проектировании и строительстве Транссибирской магистрали. Итоги этих работ были подведены уже после революции, в 1920 году в записке «Водные силы Ангары и возможность их использования», в которой обосновывалась возможность строительства на Ангаре 11 низконапорных гидроэлектростанций общей установленной мощностью около 2000 МВт.

Особое внимание гидротехников было обращено на порожистые участки Волхова и Днепра, что объяснялось их значительным гидроэнергетическим потенциалом и близостью к промышленным центрам. Предложения по строительству ГЭС на Днепре регулярно выдвигались учеными, начиная с 1893 года. В 1912 году дело сдвинулось с мертвой точки — для строительства гидроэлектростанции объединились многие российские и иностранные компании (последние, впрочем, преобладали). Проект ГЭС был разработан немецкими инженерами, стоимость его реализации оценивалась в 600 миллионов золотых рублей. К возведению станции планировалось приступить в 1915 году, но начало Первой мировой войны поставило крест на этих планах.

Что касается Волхова, то уже в 1902 году было создано акционерное «Волховское общество электрической энергии», а в 1910 году было заключено соглашение с фирмами Westinghouse Electric и Siemens & Halske, которое предусматривало их участие в строительстве ГЭС на Волхове мощностью 20 МВт. В 1912 году крупнейшими российскими банками было создано конкурирующее акционерное

«С.-Петербургское общество электропередач силы водопадов», которое стало активно скупать земельные участки вблизи волховских порогов и вблизи водопадов на Вуоксе, а к 1913–1914 годам разработало проекты строительства ГЭС. Эти проекты также разрабатывались при участии немецких инженеров, в результате после начала войны с Германией об их реализации речи уже не шло.

Одновременно энергией Волхова заинтересовалось и государство. В 1912 году инженер Генрих Графтио по заказу Управления внутренних водных путей Министерства путей сообщения совместно с инженером Е. Палицыным разработал проект Волховской ГЭС мощностью 44 МВт (8 турбин). К 1914 году Графтио (к слову, изучавший возможность строительства ГЭС на Волхове с 1902 года) доработал проект, увеличив мощность ГЭС до 58 МВт.



Генрих Графтио

Не смотря на наличие хорошо проработанных проектов крупных ГЭС, ни один из них в Российской Империи реализован не был. Одной из основных причин этого было противодействие со стороны частных владельцев тепловых электростанций, а также поставлявших для них топливо угольных и нефтяных компаний, опасавшихся конкуренции с дешевой гидроэнергетикой. Обладая значительными финансовыми ресурсами, они скупали земельные участки в удобных для строительства ГЭС местах, а также оказывали давление на местные власти, в ведении которых находилась выдача разрешений на строительство ГЭС. Против гидроэлектростанций настраивалось и общественное мнение — так, с протестом против проекта ГЭС на Волге выступил архиепископ Самарский и Ставропольский Симеон, призывавший «разрушить крамолу в зачатии».

В итоге к 1913 году в Российской империи работало 78 малых ГЭС общей мощностью всего 8,4 МВт. К 1917 году мощность российских ГЭС возросла до 16 МВт, но это была капля в море — гидроэлектростанции вырабатывали менее 2% электроэнергии в стране. В стране отсутствовало производство гидроэнергетического оборудования, турбины и генераторы ввозились из-за границы, в первую очередь из Германии и Австро-Венгрии. С началом Первой мировой войны о частных проектах строительства ГЭС пришлось забыть, но зато в условиях возникшего дефицита топлива и энергии, в том числе и для военной промышленности, гидроэлектростанциями заинтересовалось государство.

В 1916 году Военное министерство приступило к строительству Кондопожской ГЭС проектной мощностью 20 МВт в Карелии, предназначенной для энергоснабжения завода азотной кислоты (необходимой для производства пороха и взрывчатых веществ). Интересно, что частная компания планировала строительство гидроэлектростанции в этом районе с 1902 года, но приступить к ее возведению так и не смогла.

В годы Первой мировой войны Санкт-Петербург столкнулся со значительным дефицитом электроэнергии, в том числе и для военных производств. Взоры чиновников вновь обратились к проекту ГЭС на Волхове, обещавшему кардинально решить энергетическую проблему, и при этом не требовавшего дефицитного топлива. К практической реализации приступили уже после Февральской революции — на межведомственном совещании 1 мая 1917 года Временное правительство одобрило проект и выделило для него финансирование. Удалось начать работы подготовительного этапа — проложить дорогу, построить склады и закупить часть оборудования, но Октябрьская революция и начавшаяся гражданская война вынудили остановить строительство.

ГОЭЛРО

После Октябрьской революции и начала гражданской войны экономика страны оказалась в глубоком кризисе. Тем не менее, была предпринята попытка продолжить строительство Волховской ГЭС, остро необходимой для энергоснабжения Петрограда. 18 марта 1918 года Ленин участвовал на заседании Электротехнического отдела и Комитета хозяйственной политики Высшего совета народного хозяйства (ВСНХ), где пометил для себя: «Волхов строить». А 14 июля этот же вопрос рассматривал Совет народных комиссаров (так тогда называлось правительство страны), на заседании присутствовал Генрих Графтио. В итоге было принято решение о продолжении строительства станции, выделены необходимые средства. Это позволило в 1919 году продолжить работы подготовительного этапа — возведение складов, барачков для рабочих. Но вскоре, в связи с углублением экономического кризиса и острой нехваткой всего необходимого — от квалифицированных специалистов и стройматериалов до продовольствия для рабочих, стройка была вновь заморожена.

Гражданская война нанесла тяжелый удар по экономике государства, в том числе и по ее энергетике. Так, в 1920-м году по всей

стране было произведено всего 400 млн кВт ч электроэнергии — в пять раз меньше, чем в 1913 году (для сравнения, относительно небольшая по современным меркам Рыбинская ГЭС в год вырабатывает в среднем 935 млн кВт · ч). Но руководители молодой страны, противопоставившей себя всему миру, понимали — выживание государства зависит от его экономической мощи, а развитие экономики напрямую зависит от состояния электроэнергетики.

Еще в декабре 1918 года при центральном электротехническом совете было организовано Бюро по разработке общего плана электрификации страны. Через год ученый-энергетик Глеб Кржижановский, руководивший электроэнергетикой, послал Ленину свою статью «Задачи электрификации промышленности». Руководитель советского государства положительно отнесся к этой работе, и в январе 1920 года написал Кржижановскому письмо, в котором описал свое видение будущего электроэнергетики советского государства: «Примерно в 10 (5?) лет построим 20–30 (30–50?) станций, чтобы всю страну усеять центрами на 400 (или 200, если не осилим больше) верст радиусом; на торфе, на воде, на сланце, на нефти. Начнем сейчас закупку необходимых машин и моделей. Через 10 (20?) лет сделаем Россию электрической». Кроме того, он попросил ученого написать об электрификации популярно — с целью увлечь ею «массу рабочих и сознательных крестьян».



Глеб Кржижановский

Буквально за неделю Кржижановский написал брошюру «Основные задачи электрификации России», которая тут же была издана.

3 февраля 1920 года Всероссийский центральный исполнительный комитет (ВЦИК, высший законодательный орган государства) принял резолюцию об электрификации страны и поручил ВСНХ разработать проекты строительства электростанций. 24 февраля Совет рабочей и крестьянской обороны утвердил положение о Государственной комиссии по электрификации России (ГОЭЛРО), председателем которой был назначен Кржижановский.

Комиссия привлекла к работе около 200 инженеров и ученых, и уже к концу ноября 1920 года подготовила план электрификации страны. 22 декабря того же года этот план (известный как ГОЭЛРО) одобрил VIII Всероссийский съезд Советов. План

ГОЭЛРО был не просто планом электрификации, это была единая программа возрождения и развития страны и ее отдельных отраслей, в первую очередь тяжелой промышленности. В части электроэнергетики, планировалось в течение 10 лет построить 30 крупных электростанций общей мощностью 1,75 ГВт, в том числе 10 ГЭС общей мощностью 535 МВт. План был утвержден законодательно и имел обязательный к исполнению характер. В июне 1921 года комиссию ГОЭЛРО упразднили, а на ее основе создали Государственную общеплановую комиссию — Госплан, руководивший развитием экономики страны вплоть до распада СССР.

План ГОЭЛРО впервые предусматривал экономическое районирование — разделение страны на районы, развитие каждого из которых прорабатывалось отдельно. Гидроэлектростанции планировалось построить в пяти районах из семи:

Северный район: Волховская ГЭС, Нижне-Свирская ГЭС, Верхне-Свирская ГЭС

Уральский район: Чусовская ГЭС

Южный район: Днепровская ГЭС

Кавказский район: Краснодарская ГЭС, Терская ГЭС, Кубанская ГЭС

Сибирь и Туркестан: Алтайская ГЭС, Туркестанская ГЭС.

В дальнейшем план ГОЭЛРО неоднократно корректировался, как по составу объектов, так и по их мощности. Так, при более детальном исследовании предварительно намеченных створов (участков реки, где запланировано строительство ГЭС) в ряде случаев было установлено, что с технической и экономической точки зрения более эффективным будет строительство станций в другом месте. Например, вместо Терской ГЭС было принято решение строить Гизельдонскую ГЭС. После присоединения Закавказья (что произошло уже после принятия плана ГОЭЛРО) появилась необходимость строительства гидроэлектростанций и там.

В итоге, из 10 изначально намеченных ГЭС построили только 4 — Волховскую, Днепровскую, Нижне-Свирскую и Верхне-Свирскую, причем последнюю пустили уже после Великой Отечественной войны. В то же время, было возведено несколько других гидроэлектростанций, не фигурировавших в изначальном плане, которые с лихвой восполнили «недостачу».

Глава III

Гидроэнергетическое строительство в СССР в 1920-х годах

Первенцем ГОЭЛРО вполне логично стала Волховская ГЭС, строительство которой было вновь начато уже осенью 1921 года. Строительство Волховской ГЭС было объявлено приоритетной задачей советского правительства. ВЦИК РСФСР в октябре 1921 года по докладу Графтио принимает резолюцию, в которой указывалось, что срочное строительство Волховской ГЭС в корне решит топливный кризис и электроснабжение Петрограда и его промышленности. В мае 1922 года ВЦИК вновь рассматривал вопрос о состоянии строительства Волховской ГЭС и поручил всем соответствующим органам оказывать всестороннее содействие и поддержку работам на Волховстрое. Такое внимание помогало и в решении весьма специфических вопросов — так, в марте 1921 года Графтио был арестован Петроградской ЧК вместе со всем руководством Волховстроя, а затем освобожден, как «крупный специалист», постановлением о «непричастности к делу» после личного вмешательства Ленина и Кржижановского.

Волховская ГЭС стала первой крупной гидроэлектростанцией страны, и ее значение для становления отечественной гидроэнергетики трудно переоценить. До ее сооружения в стране отсутствовал опыт проектирования больших гидроэлектростанций, производства масштабных бетонных и монтажных работ на строительстве ГЭС. Начало развиваться отечественное энергетическое машиностроение.

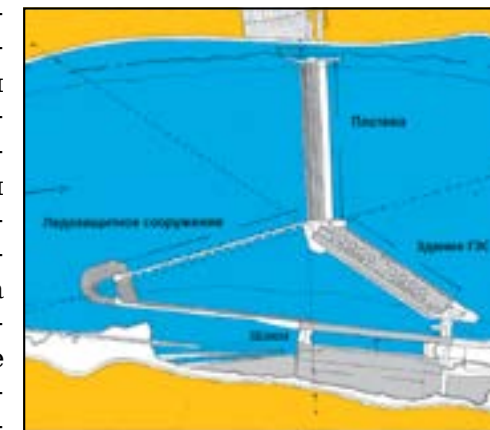


Схема Волховской ГЭС

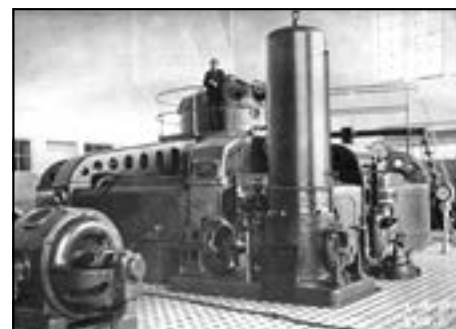
По конструкции Волховская ГЭС достаточно типична для практики мирового гидротехнического строительства того времени. Это русловая ГЭС (здание станции входит в состав подпорных сооружений, а не расположено отдельно за плотиной) с относительно небольшим напором воды — 11 м. Плотина бетонная, переливная — при превышении предельного уровня вода свободно переливается через гребень, и ее излишки, которые не могут быть пропущены через гидроагрегаты, сбрасываются вниз. Здание ГЭС расположено непривычно для современных станций — под углом к плотине, это было сделано для облегчения пропуска льда через станцию (для чего перед зданием ГЭС было построено специальное ледозащитное сооружение).

В здании были смонтированы 10 гидроагрегатов — 8 «больших» и 2 «малых». Гидротурбины были заказаны в Швеции — отечественная промышленность в то время их произвести не могла. Интересная деталь — турбины на этой станции радиально-осевого типа, что для столь низкого напора не является оптимальным решением. Но более эффективные в этих условиях поворотно-лопастные турбины в то время еще только выходили из стадии экспериментальных образцов. 4 генератора из 10 также получили из Швеции, а вот остальные сделали в Ленинграде, на заводе «Электросила» — на тот момент это были крупнейшие электрические генераторы отечественного производства. Мощность Волховской ГЭС изначально составляла 56 МВт, но к началу Великой Отечественной войны за счет увеличения мощности гидроагрегатов была доведена до 66 МВт.

Производимая электроэнергия передавалась в Ленинград на напряжении 120 кВ по двум линиям электропередачи длиной 130 км каждая. По своей длине и напряжению эти ЛЭП не имели на тот момент аналогов в стране. В среднем в год Волховская ГЭС вырабатывала 347 млн кВт·ч. электроэнергии — почти столько, сколько вырабатывалось во всей стране в 1920 году!

Помимо выработки электроэнергии. Волховская ГЭС была призвана решить важную задачу обеспечения работы речного транспорта. Ее водохранилище затопило волховские пороги, сильно затруднявшие судоходство. Для прохода судов через плотину был построен шлюз, также крупнейший в стране на тот момент.

Волховская ГЭС была спроектирована столь хорошо, что даже с современной точки зрения является очень «экологичной» станцией — у нее очень невелика площадь затопления, а для пропуска мигрирующих рыб (волховского сига) был построен рыбоход.



*Машинный зал
Волховской ГЭС*



*Волховская ГЭС,
фото ТГК-1*

Подготовительный этап сооружения Волховской ГЭС был завершен в 1923 году, после чего началось возведение основных сооружений станции. Гидроэлектростанция дала первый ток 3 декабря 1926 года, а через две недели, 19 декабря, состоялось торжественное открытие ГЭС. На полную мощность станция вышла в 1927 году.

Помимо снабжения электроэнергией Ленинграда, Волховская ГЭС обеспечила работу первого в стране алюминиевого завода — Волховского, специально построенного вблизи станции. Первая партия алюминия была получена на нем в 1932 году. И в дальнейшем алюминиевые заводы, требующие больших количеств дешевой электроэнергии, строились преимущественно вблизи ГЭС.

Одновременно с Волховской ГЭС в Северо-Западном регионе страны строилась и еще одна гидроэлектростанция — Кондопожская в Карелии. Ее также начали возводить еще в царское время, в 1916 году, с целью снабжения электроэнергией завода по производству азотной кислоты, необходимой для военных нужд (в первую очередь, для изготовления пороха). В связи с гражданской войной ее сооружение было приостановлено. К проекту строительства Кондопожской ГЭС вернулись в 1921 году — 26 апреля Совет народных комиссаров РСФСР принял постановление, санкционирующее строительство в Кондопоге целлюлозно-бумажного комбината и гидроэлектростанции. Позже строительство ГЭС было включено в план ГОЭЛРО. Строительные работы были развернуты в 1923 году и велись преимущественно вручную.

В отличие от Волховской ГЭС, Кондопожская гидроэлектростанция возводилась по совершенно другой схеме — деривационной, подразумевающей создание напора не плотиной, а при помощи отводящих сток воды каналов. Для этого была использована при-

родная особенность озера Санда — оно находится близко к Онежскому озеру, но при этом почти на 30 м выше него, что позволило соединить оба озера каналом и построить на нем гидроэлектростанцию.

Станцию было решено возводить в две очереди, в состав первой очереди входила плотина на озере Санда и ГЭС мощностью 5,5 МВт. Во вторую очередь планировалось сооружение плотины на реке Суна, канала для переброски стока этой реки через озеро Палье в озеро Санда, и расширение ГЭС путем установки еще двух гидроагрегатов общей мощностью 22 МВт. Пуск первой очереди Кондопожской ГЭС состоялся 29 января 1929 года. Строительство Кондопожской ГЭС дало толчок к промышленному развитию региона, обеспечив электроэнергией крупный целлюлозно-бумажный комбинат. Современниками значение Кондопожской ГЭС оценивалось следующим образом:

«...пуская в ход Кондопожскую гидроэлектростанцию, мы должны помнить, что тем самым делаем закладку мощной индустрии, преобразовываем лицо Петрозаводска, создаем индустриальный город Кондопогу».



Кондопожская ГЭС
Фото ТГК-1

Строительство второй очереди Кондопожской ГЭС началось в 1932 году и затянулось до 1941 года, когда станция достигла мощности 27,5 МВт.

В начале 1920-х годов началось строительство и первой ГЭС в Закавказье — Земо-Авчальской на реке Кура, предназначенной для энергоснабжения Тбилиси. Строить ее начали в мае 1923 года, а 26 июня 1927 года станция дала

первый ток. Как и Кондопожская ГЭС, она построена по деривационной схеме, и так же, как и она, возводилась в две очереди. В состав первой очереди входили четыре гидроагрегата, во вторую очередь были смонтированы еще два гидроагрегата, причем значительно более мощных, в результате к 1938 году мощность Земо-Авчальской ГЭС достигла 36,8 МВт. А гидроэнергетики переключились на новый объект — в 1927 году был утвержден эскизный проект Рионской ГЭС вблизи города Кутаиси, в следующем году началось ее возведение. Первый гидроагрегат этой деривационной ГЭС мощностью 48 МВт был пущен в 1933 году. Ввод в эксплуатацию этой станции

позволил создать энергосистему Грузии (Рионская и Земо-Авчальская ГЭС были соединены линией электропередачи), а также электрифицировать значительный участок Закавказской железной дороги. Рионская ГЭС отличается протяженной деривацией — общей длиной около 9 км, в т.ч. около 4 км тоннеля и около 5 км канала.

Параллельно в Грузии велось строительство Аджарис-Цкальской ГЭС мощностью 16 МВт, начатое в 1927 году. Возведение этой деривационной ГЭС с тоннелем длиной 2,8 км сильно затянулось, его удалось завершить лишь в 1937 году.

Полученный опыт позволил приступить к строительству сразу нескольких новых гидроэлектростанций. В 1927 году было начато строительство Нижне-Свирской ГЭС, первой на Северном Кавказе Гизельдонской ГЭС, а также крупнейшей в Европе Днепровской ГЭС.

Сразу после завершения строительства Волховской ГЭС Генрих Графтио занялся возведением более мощной Нижне-Свирской ГЭС. Официальная закладка станции состоялась 19 октября 1927 года в присутствии М.И. Калинина и С.М. Кирова. В отличие от Волховской ГЭС, построенной на скальном основании, Нижне-Свирскую ГЭС впервые в мировой практике предстояло построить на мягких девонских глинах. Для решения этой задачи Генрих Графтио привлек ведущих отечественных гидротехников, а также иностранных специалистов — инженеров и ученых из Швеции, Германии, США. Строительство консультировал и основоположник новой тогда науки — механики грунтов, австрийский профессор Карл Терцаги. В 1926 — 30 годах было рассмотрено 18 различных проектов плотины, пока не был утвержден окончательный вариант. Особенности грунтов основания станции заставили строить здание ГЭС под наклоном, таким образом, чтобы после завершения осадки грунтов оно встало в нужное положение. Расчеты оказались точны — после наполнения водохранилища здание ГЭС выпрямилось в полном соответствии с проектом.

На Нижне-Свирской ГЭС, в отличие от Волховской, напор создается не только бетонными, но и земляными плотинами длиной более километра — впервые в практике гидроэнергетического строительства в СССР. Также на станции впервые были использованы поворотно-лопастные турбины, причем все они были изготовлены на отечественных предприятиях. Электроэнергия станции, опять же впервые в нашей стране, выдавалась по линиям электропередачи напряжением 220 кВ.

Как и Волховская ГЭС, первая станция на Свири значительно улучшила условия судоходства, затопив часть порогов. Для прохода судов был сооружен шлюз, также нестандартной конструкции.



Нижне-Свирская ГЭС

Строительство Нижне-Свирской ГЭС развернулось в 1928 году, причем до 1930 года велись в основном земляные работы. Начавшиеся с 1930 года бетонные работы сильно осложнялись постоянно происходившими оползнями — сложные грунты дали о себе знать и здесь. Но все трудности были успешно преодолены и 19 декабря 1933 года первый гидроагрегат станции начал вырабатывать электроэнергию. В 1934-35 годах были введены в строй остальные три машины, и Нижне-Свирская ГЭС достигла своей проектной мощности 96 МВт. С 1949 года станция носит имя своего создателя — Генриха Графтио.

С немалыми трудностями встретилось строительство первой ГЭС на Северном Кавказе — Гизельдонской, расположенной в Северной Осетии. Первоначально для создания мощной гидроэлектростанции рассматривалась река Терек, имеющая большое падение в районе Дарьяльского ущелья. Еще до революции имелись предпроектные наработки по размещению ГЭС в этом районе, в связи с чем составители плана ГОЭЛРО запланировали создание Дарьяльской (Терской) ГЭС мощностью 40 МВт. Однако, при разработке подробного проекта станции выяснилось, что Дарьяльская ГЭС требует слишком больших затрат, в частности по причине необходимости переноса участков Военно-Грузинской дороги, затопляемых водохранилищем проектируемой станции. В связи с этим, было принято решение отказаться от строительства Дарьяльской ГЭС и искать новый створ, который вскоре нашелся на притоке Терека — реке Гизельдон.

Первым идею строительства гидроэлектростанции на Гизельдоне выдвинул простой житель горного села Даргавс Павел Тауразович (Циппу) Байматов. Не имея никакого специального образования, он организовал небольшую мастерскую по производству деревянных турбин для водяных мельниц, самостоятельно конструировал электрические приборы и с 1908 года вел наблюдения за стоком реки Гизельдон, составляя графики расхода воды. В начале 1920-х годов он

обошел ряд инстанций с идеей строительства ГЭС на водопаде Пурт, обращался и в прессу. В дальнейшем, Байматов принимал самое активное участие в изысканиях и строительстве ГЭС.



Строительство головного узла Гизельдонской ГЭС

В 1923-24 годах створ предполагаемой ГЭС был исследован экспертной комиссией, началось проектирование станции. 29 апреля 1926 года Северо-Кавказским крайисполкомом было принято решение о финансировании подготовительных работ по сооружению Гизельдонской ГЭС, а в следующем году проект станции был утвержден. Гизельдонская ГЭС проектировалась как деривационная, причем вода к зданию ГЭС впервые в отечественной практике отводилась при помощи тоннеля. Также впервые в нашей стране на ГЭС применялись ковшовые турбины.

Работы по сооружению Гизельдонской ГЭС начались в сентябре 1927 года, однако через два месяца после начала работ строительство ГЭС было заморожено. Это решение объяснялось тем, что строительство частично финансировалось за счет будущих потребителей, а наиболее крупный из них, «Грознефть», отказался от финансирования, предложив построить для своих нужд собственную тепловую электростанцию, работающую на отходах нефтепереработки. В итоге возникли опасения, что электроэнергия ГЭС не найдет потребителя. Однако расчеты показали, что даже без



Строительство водоприемника Гизельдонской ГЭС

«Грознефти» электроэнергия Гизельдонской ГЭС будет востребована, и в январе 1928 года было принято решение о возобновлении строительства. Тем не менее, в 1928 году строительство финансировалось плохо, существовала угроза его прекращения.



*Строительство тоннеля
Гизельдонской ГЭС*

Первоочередным этапом строительства было признано сооружение деривационного тоннеля. Работы по его сооружению начались в 1927 году, проходка тоннеля велась вручную, с широким использованием взрывчатки. С помощью кирок и отбойных молотков проходились шурфы, в которые закладывался динамит. После взрыва порода расчищалась вручную и вывозилась на носилках (позднее по тоннелю был проложен рельсовый путь и породу вывозили на вагонетках). Трасса тоннеля пересекла сложные участки — породы завала, ленточные глины, заполненные камнями и пустые трещины. Периодически происходили обвалы — так, в октябре 1930 года имел место обвал на 20-метровом участке тоннеля, ликвидация последствий которого задержала работы на три месяца. В 1930 году проходка тоннеля была закончена, началась его облицовка бетоном. Все работы по сооружению тоннеля были закончены в начале 1931 года.

Со значительными трудностями велось и сооружение плотины. Первоначально, идея сооружения плотины непосредственно на завале Кахты-Сар была отклонена из-за опасений недостаточной прочности завала. Изначально проектом предусматривалось сооружение 50-метровой плотины перед завалом. Однако сооружение такой плотины существенно удорожало проект. Было решено провести подробные исследования завала, которые подтвердили возможность сооружения на нем плотины. В итоге был утвержден проект строительства 16-метровой плотины на Кахты-Саре. Работы по сооружению плотины начались в 1930 году. Для снижения фильтрации через завал, он был укреплен гравием и глиной. Также специально подготавливалось и уплотнялось дно будущего водохранилища. Для обеспечения стройки электроэнергией, на водопаде Пурт была построена небольшая временная гидроэлектростанция.

Случались и чрезвычайные ситуации — в частности, в июне 1932 года после проливных дождей река прорвала временные

перемычки и затопила котлован, который затем в течение продолжительного времени пришлось осушать и очищать от грязи и камней. Ранее, летом 1928 года, произошел прорыв плотины временной гидроэлектростанции на Пурте. Тем не менее, все трудности были преодолены и 15 ноября 1932 года было произведено пробное заполнение водохранилища.

Строительство станционного узла началось в сентябре 1929 года. Небольшая ширина ущелья в месте расположения здания ГЭС привела к необходимости расчистки стройплощадки при помощи взрывных работ, а также строительства специальной подпорной стенки. Строительство здания станции в основном было завершено к началу 1931 года. Одновременно велась подготовка трассы напорного трубопровода. Сложность данной работы заключалась в значительном уклоне стен ущелья в районе прохождения трубопровода (48°) и оползневой опасности. В мае 1932 года мощный оползень разрушил подготовленную к укладке трассу напорного трубопровода. Попытка удалить оползень была прервана повторным оползнем в октябре 1932 года. Работы были приостановлены на время поиска выхода из сложившейся ситуации. В итоге, было принято решение проложить под оползнем тоннель для трубопровода. Интересно, что сам трубопровод был изготовлен в Италии, и по частям доставлен на стройплощадку.

Строительство ГЭС велось главным образом вручную (только на строительстве плотины и водозабора было занято до 500 человек), основным транспортом был гужевой. Первая техника на стройплощадке появилась лишь в конце 1928 года, до 1931 года имелась лишь одна одотонная грузовая машина и два трактора.

Пробный пуск Гизельдонской ГЭС состоялся 29 июня



Гизельдонская ГЭС



*Головное сооружение
Гизельдонской ГЭС*

1934 года. Как и в случае Нижне-Свирской ГЭС, строительство консультировали ведущие ученые, в частности академик Б.Е. Веденев, также широко использовался опыт иностранных инженеров — строительство консультировали американец Торпен, немцы Модель и Рейнгартен, итальянец Омодео, француз Жакоте и другие.



Машинный зал Гизельдонской ГЭС

Затягивание сроков строительства и необходимость ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций привели к существенному увеличению стоимости сооружения ГЭС — она составила более 20 миллионов рублей, почти в два раза больше первоначально утвержденной сметы. В то же время, качество сооружений и оборудования оказалось столь высоким, что Гизельдонская ГЭС успешно эксплуатировалась более 80 лет в практически неизменном виде. При этом, по состоянию на 2014 год, она оставалась самой высоконапорной гидроэлектростанцией России — ее турбины работают на напоре 289 м.

Крупнейшей гидроэлектростанцией плана ГОЭЛРО стала Днепровская ГЭС (Днепрогэс). Ее проектирование началось в марте 1921 года под руководством И.Г. Александрова. Но решение о строительстве столь масштабного и дорогостоящего объекта неоднократно откладывалось, кроме того, вопрос о строительстве электростанции стал объектом политической борьбы в руководстве страны, которая велась между Сталиным и Троцким. В процессе проектирования было разработано девять различных вариантов сооружений станции, отличавшихся местом размещения плотины, мощностью ГЭС и количеством агрегатов, конструкцией плотины и шлюза, а также рядом других параметров.



Хью Купер

Учитывая уникальные параметры станции (на момент проектирования она являлась крупнейшей в мире), было решено привлечь к ее проектированию иностранных специалистов. В качестве консультантов были привлечены специалисты немецкой фирмы «Сименс» и американской «Х.Купер и Ко». Главным консультантом был выбран известный гидротехник, полковник Корпуса военных инженеров США

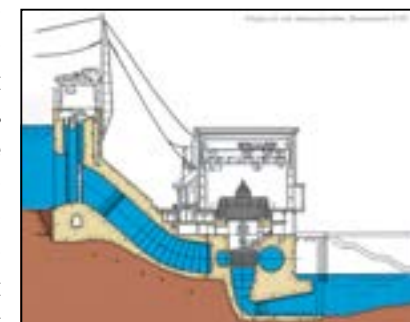
Хью Купер (интересно, что в дальнейшем он официально считался «Ударником Днепростроя» и был награжден орденом Трудового Красного Знамени). Американцы предложили несколько изменений в проект, в частности изменить материал плотины на бетон (изначально предлагалось построить плотину из бутового камня с гранитной облицовкой) и изменить место расположения ГЭС, которые были приняты советскими проектировщиками.

Проект Днепрогэс был утвержден 29 октября 1926 года, но в дальнейшем он неоднократно изменялся. Так, изначальный проект предусматривал установку 7 гидроагрегатов общей мощностью 240 МВт, в итоге же было принято решение об увеличении мощности ГЭС более чем вдвое, до 558 МВт. Таким образом, Днепрогэс стал крупнейшей гидроэлектростанцией Европы, а некоторое время, до ввода в эксплуатацию в США плотины Гувера, он являлся самой большой ГЭС в мире.



Строительство Днепрогэс

Конструктивно Днепрогэс представляет собой приплотинную гидроэлектростанцию с гравитационной бетонной плотиной (устойчивость плотины обеспечивается за счет ее веса). Плотина выгнута вверх по течению — такое решение было принято для того, чтобы увеличить протяженность фронта сброса воды и соответственно снизить нагрузки на водобойную плиту; в настоящее время такое решение уже не применяется — современные материалы позволяют значительно большие нагрузки на водобойную плиту. Длина плотины — 760 м, наибольшая высота — 64 м.



Разрез по зданию Днепрогэса

Здание ГЭС примыкает к плотине с правого берега, в здании были размещены 9 основных гидроагрегатов и один небольшой гидроагрегат для обеспечения энергоснабжения самой станции. Радиально-осевые турбины Днепрогэс, изготовленные американской фирмой Newport News, были на тот момент крупнейшими в мире — весом 768 т и с диаметром рабочего колеса 6 м. Пять из девяти гидроге-

нераторов изготовила американская фирма General Electric, оставшиеся четыре — ленинградский завод «Электросила». Выработка электроэнергии Днепрогэс в средний по водности год составляла около 3 млрд кВт·ч — больше, чем выработка всей электроэнергетики царской России.

Вырабатываемая электроэнергия распределялась по 11 линиям электропередачи напряжением 161 кВ. Станция снабжала как в строившийся одновременно с ГЭС Днепровский промышленный комбинат (в его состав входили алюминиевый, ферросплавный и металлургический заводы), так и промышленность Днепрпетровска, Кривого Рога и Донбасса.

Помимо выработки электроэнергии, Днепрогэс традиционно решал задачу по улучшению судоходства — его водохранилище затопило знаменитые днепровские пороги, представлявшие непреодолимое препятствие для прохода судов. Само водохранилище для станции таких размеров было очень небольшим, что объясняется благоприятными условиями местности — Днепр в районе порогов протекает в узкой долине.

Строительство Днепрогэс началось в марте 1927 года, а уже к концу следующего года началась отсыпка перемычек, которыми ограждались участки реки, где возводились плотина и здание ГЭС. В 1929 году начались бетонные работы, темп которых в 1930 году достиг рекордных по мировым меркам темпов — в месяц укладывалось до 110 тысяч кубометров бетона. Первый гидроагрегат был пущен 1 мая 1932 года, т.е. от начала подготовительных работ до пуска первой машины прошло всего пять лет — темпы, считающиеся выдающимися и в настоящее время. К 10 октября 1932 года, когда состоялось торжественное открытие станции, на ней работали уже пять гидроагрегатов.



Руководил строительством Днепрогэс Александр Винтер, его заместителями были Борис Веденеев и Павел Роттерт — ведущие советские инженеры и ученые. Несмотря на применение механизации, использовалось очень много ручного труда, на пике работ на стройке было занято 36 тысяч человек.

Строительство Днепрогэса стало переломным моментом для отечественной гидротехники. Был получен опыт строительства крупнейшей гидроэлектростанции, позволивший в дальнейшем проектировать и возводить новые ГЭС, опираясь лишь на собственные силы.

Еще несколько гидроэлектростанций в 1920-х годах были построены в Закавказье, Средней Азии и Казахстане. В Армении в 1926 году была пущена Ереванская ГЭС-1, а в 1928 году — Ленинанская ГЭС, но это были относительно небольшие станции. Первой крупной ГЭС Армении стала Дзорагетская гидроэлектростанция мощностью 25 МВт, возведенная на одноименной реке в 1927-33 годах. Эта станция была построена по деривационной схеме, напор создается при помощи тоннеля длиной 2,4 км и диаметром 3 м. Гидроагрегаты этой ГЭС были изготовлены в СССР.

В Казахстане в 1920-х годах было продолжено развитие гидроэнергетики в Рудном Алтае. С 1921 года начались регулярные изыскания в бассейне Громотухи и Ульбы, с целью определения возможности строительства ГЭС для энергоснабжения горнодобывающих предприятий города Риддера. В 1925 году по проекту ЛенГИДЭПа (ныне — институт «Ленгидропроект») началось строительство Хариузовской ГЭС — первой относительно крупной гидроэлектростанции в Казахстане. Пуск станции состоялся 14 июня 1928 года, а в 1929 году ГЭС была выведена на полную мощность (3 МВт). На Хариузовской ГЭС была установлена одна из первых гидротурбин советского производства, выпущенная в 1927 году, она находится в эксплуатации и в настоящее время. Для выдачи мощности станции была построена первая в Казахстане высоковольтная линия, работавшая на напряжении 6,6 кВ. Эта станция также использовала деривацию, представленную деревянным лотком длиной более 3 км.

Первенцем гидроэнергетики Узбекистана стала Бозсуйская ГЭС, построенная рядом с Ташкентом (в настоящее время находится на территории города) на отходящем от реки Чирчик канале Бозсу. Возведение станции началась в 1923 году, вначале работы по причине дефицита средств шли медленно. Но весной 1925 года финансовые проблемы были решены, что позволило 1 мая 1926 года пустить первые два гидроагрегата (вывод ГЭС на полную мощность в 4 МВт затянулся до 1936 года). Бозсуйская ГЭС, помимо энергоснабжения промышленности, позволила запустить трамвай, а также электрическое освещение в Ташкенте. Первая гидроэлектростанция, правда совсем маленькая, появилась и в Киргизии — в 1929 году была пущена Малая Аламединская ГЭС мощностью 0,4 МВт.

Одновременно с крупными и средними ГЭС активно строились и небольшие гидроэлектростанции, предназначенные для энергоснабжения отдельных предприятий и колхозов.



Бозуйская ГЭС

Одной из первых станций такого рода стала Ярополецкая ГЭС в Московской области. Эта станция была построена по инициативе местных крестьян, которые начали с переоборудования водяной мельницы, установив генератор мощностью 13 кВт, и в ноябре

1919 года в Яропольце появился свет. Перспектива электрификации заинтересовала и жителей 14-ти окрестных деревень, организовавших своего рода кооператив по строительству ГЭС на реке Ламе. Крестьяне в меру своих знаний занялись строительством станции, причем необходимые стройматериалы получали по бартеру — меняли на продукты. В то же время, все необходимое оборудование крестьяне в условиях гражданской войны получить не могли, но эта проблема была решена после визита 14 ноября 1920 года В.И. Ленина, давшего указание о выделении всего необходимого, и вскоре ГЭС была введена в строй. Ярополецкая ГЭС была сильно повреждена во время Великой Отечественной войны, но была восстановлена и сохранилась до настоящего времени.



Строительство Сызранской ГЭС

В качестве еще одного примера малой гидроэлектростанции, построенной в те годы, можно привести Сызранскую ГЭС мощностью 2 МВт на реке Сызранке (Самарская область). Строительство этой ГЭС началось в 1925 году. К работам привлекались сотни человек, преобладал ручной труд. Станцию пустили 7 ноября

1929 года, а в следующем году ввели в постоянную эксплуатацию. Эта ГЭС построена по редко встречающейся на равнинных реках плотинно-деривационной схеме — часть напора на турбинах создается при помощи плотины, часть — деривационным каналом, спрямляющим излучину Сызранки. Несмотря на небольшую по современным представлениям мощность, станция играла важную роль в энергоснабжении предприятий Сызрани. Эта гидроэлектростанция работает и по сей день, причем с использованием оригинального оборудования 1920-х годов.



Агрегаты Сызранской ГЭС. Фото В.Э. Волкова

Глава IV

Развитие гидроэнергетики СССР в первой половине 1930-х годов

План ГОЭЛРО, принятый в 1920 году, был рассчитан на 10-15 лет. К концу 1930 года в СССР работали электростанции общей мощностью 2875 МВт и среднегодовой выработкой 6,4 млрд. кВт·ч — плановые показатели ГОЭЛРО были перевыполнены.

В 1929 году был принят первый пятилетний план развития экономики страны, ориентированный на масштабную индустриализацию, что требовало резкого увеличения производства электроэнергии. Это в свою очередь привело к развороту строительства новых электростанций, в том числе и ГЭС.

Гидроэнергетическое строительство в первой половине 1930-х годов было ориентировано главным образом на возведение станций средней мощности (до 100 МВт). Большинство начатых строительством ГЭС располагались на Кавказе и в Средней Азии.

В 1930 году было начато строительство Баксанской и Гергемильской ГЭС на Северном Кавказе, Нива ГЭС-2 в Мурманской области и Кадыринской ГЭС в Узбекистане, в 1931 году стали возводить Ульбинскую ГЭС в Казахстане.

Первые упоминания о возможности использования реки Баксан для производства электроэнергии относятся к 1900 году. В 1911 году инженер Ляпушинский создал эскизный проект гидроэлектростанции на Баксане с целью электрификации Владикавказской железной дороги. Однако до Октябрьской революции гидроэлектростанций на Баксане, как и вообще в Кабардино-Балкарии, построено не было. В 1918 году была организована первая экспедиция в верховья рек Баксан, Кубань и Малка с целью изыскательских работ по выбору створов для сооружения ГЭС. Руководил работами инженер Кутейников, погибший при нападении на экспедицию местных банд. Изыскательские работы в районе строительства Баксанской ГЭС были проведены в 1928 году. Разработанный проект гидроэлектростанции был доработан специальной

комиссией под руководством профессора Графова, являвшегося одним из руководителей строительства Волховской ГЭС. Титул на строительство Баксанской ГЭС был утвержден 26 ноября 1929 года, новая гидроэлектростанция должна была обеспечить электроснабжение различных потребителей в Кабардино-Балкарии, городов Кавказских Минеральных Вод и железнодорожных веток Минеральные Воды — Кисловодск, Минеральные Воды — Железноводск. Подготовительные работы по строительству ГЭС были развернуты с апреля 1930 года. Для строительства ГЭС была образована специальная организация — Управление по постройке государственной районной гидроэлектростанции на реке Баксан «Баксанстрой». Строительство сооружений станции велось с широким использованием ручного труда, помимо местного населения ГЭС строили сотни специалистов со всей страны, в том числе строители Днепрогэса, московские метростроевцы, шахтеры Донбасса. Первый гидроагрегат Баксанской ГЭС был пущен 20 сентября 1936 года, на полную мощность станция была выведена в 1938 году.



Баксанская ГЭС

Баксанская ГЭС мощностью 25 МВт построена по деривационной схеме, общая длина деривации — 10 км (в том числе 6 тоннелей общей длиной более 3 км, три акведука и канал длиной 6,5 км).

Первая в Дагестане Гергебильская ГЭС при своей небольшой мощности 4,2 МВт стала для советских гидростроителей важным этапом — ведь это была

первая в СССР гидроэлектростанция с арочной плотиной.

В июне 1923 г. дагестанское правительство обратилось к председателю Госплана СССР Г. М. Кржижановскому с просьбой включить Дагестан в план ГОЭЛРО. В 1924 году группой инженеров был разработан план электрификации Дагестана, предусматривавший строительство 18 электростанций, причем в первую очередь рекомендовалось построить 6 ГЭС. После его рассмотрения в Госплане и Совнаркомом СССР было принято решение о включении в бюджет на 1925-26 годов строительства пяти малых ГЭС в Дагестане. Однако уже в 1926 году Дагестанским экономическим Советом было принято решение о постройке одной мощной гидроэлектростанции вместо пяти малых. После проведения изыскательских работ

иностранными и отечественными специалистами для сооружения ГЭС был выбран створ на реке Каракойсу (приток Аварского Койсу). Поскольку в те годы отечественная гидротехническая школа не имела опыта создания высотных плотин, к разработке проекта станции были привлечены итальянские инженеры. С их участием была спроектирована ГЭС с арочной плотиной.

Проект ГЭС был утвержден в 1929 году, а строительство началось в 1930 году, первый куб бетона в сооружении был положен в 1931 году. Вскоре во время горных разработок выяснилось, что скальные массивы ущелья, в которые должна была упираться плотина, имеют трещины, что ставило под сомнение надежность конструкции плотины. Строительство было приостановлено, и после проведенных группой советских и иностранных инженеров исследований проект станции



Строительство плотины Гергебильской ГЭС

был переработан — конструкция плотины была изменена на арочно-гравитационную, устойчивость которой обеспечивается как за счет упора в берега, так и за счет веса сооружения. Арочно-гравитационные плотины применяются достаточно редко, в России кроме Гергебильской есть еще только одна гидроэлектростанция с такой плотиной — Саяно-Шушенская.

Строительство ГЭС проходило в тяжелых условиях — створ плотины находился в труднодоступной местности, вдали от шоссе и железных дорог. Грузы на строительство доставлялись главным образом гужевым транспортом. Работы по сооружению ГЭС велись в основном вручную, с минимальным использованием техники. Количество рабочих, задействованных на стройке, доходило до 1500 человек. Трудные условия значительно затянули стройку.



Гергебильская ГЭС



Гидроагрегаты Гергебильской ГЭС

В марте 1937 года было проведено пробное заполнение водохранилища, выявившее наличие течей по бетонным блокам, которые пришлось ликвидировать цементацией (нагнетанием цементной смеси через специальные скважины). В 1938 году станция была принята во временную эксплуатацию при мощности 4,2 МВт. В августе 1940 года гидроэлектростанция была, хотя и со значительными недоделками, сдана государственной комиссии. Плотина Гергебильской ГЭС высотой 70 м на тот момент была самой высокой в СССР.



Строительство деривационного канала Нива ГЭС-2

Вытекающая из озера Имандра река Нива очень удобна для строительства ГЭС — при длине всего 36 километров перепад высот составляет 127 метров. В 1928 году реку изучил выдающийся геолог Александр Ферсман. Недалеко от реки планировалось построить крупный комбинат для разработки апатитовых руд, что в свою очередь требовало большого количества электроэнергии. В том же году сюда прибыли первые изыскатели-гидротехники, которые, несмотря на тяжелые погодные условия, скудные запасы продовольствия и отсутствие технических средств выявили возможность строительства на реке трех ГЭС.



Строительство головного сооружения Нива ГЭС-2

Нива ГЭС-2 стала первой гидроэнергетической стройкой, на которой использовался преимущественно подневольный труд спецпереселенцев и заключенных. Первая партия из 1200 раскулачен-

ных крестьян прибыла на стройку в декабре 1930 года, с 1932 года на стройплощадке появились заключенные Соловецкого лагеря. Особенностью строительства этой ГЭС стало то, что исследования, проектирование и возведение сооружений шли одновременно. Стройка двигалась ударными темпами — по первоначальному плану станция должна была дать ток всего через три года после начала работ. На практике уложились в 4 года.

Условия жизни на стройке были чрезвычайно тяжелыми. Численность населения на стройплощадке доходила до 12 тысяч человек, из которых работала только треть. Остальные были иждивенцами, в их число входили и около 2000 детей.

Спецпереселенцы жили главным образом в палатках, в условиях крайней скученности — на человека приходилось всего по квадратному метру площади. Это в сочетании с тяжелыми природными условиями способствовало широкому распространению болезней и высокой смертности.

Несмотря на все трудности, Нива ГЭС-2 была построена в кратчайшие сроки — 30 июня 1934 года был пущен первый агрегат. В промышленную эксплуатацию ГЭС сдали в 1938 году.

Условия жизни на стройке были чрезвычайно тяжелыми. Численность населения на стройплощадке доходила до 12 тысяч человек, из которых работала только треть. Остальные были иждивенцами, в их число входили и около 2000 детей.

Спецпереселенцы жили главным образом в палатках, в условиях крайней скученности — на человека приходилось всего по квадратному метру площади. Это в сочетании с тяжелыми природными условиями способствовало широкому распространению болезней и высокой смертности.

Несмотря на все трудности, Нива ГЭС-2 была построена в кратчайшие сроки — 30 июня 1934 года был пущен первый агрегат. В промышленную эксплуатацию ГЭС сдали в 1938 году.

Несмотря на все трудности, Нива ГЭС-2 была построена в кратчайшие сроки — 30 июня 1934 года был пущен первый агрегат. В промышленную эксплуатацию ГЭС сдали в 1938 году.

Несмотря на все трудности, Нива ГЭС-2 была построена в кратчайшие сроки — 30 июня 1934 года был пущен первый агрегат. В промышленную эксплуатацию ГЭС сдали в 1938 году.



Здание Нива ГЭС-2

Нива ГЭС-2 мощностью 60 МВт построена по деривационной схеме, с каналом длиной 4 км. Станция обеспечила электроэнергией комбинаты «Апатит» и «Североникель», а также железную дорогу.

В Казахстане в начале 1930-х годов продолжилось развитие гидроэнергетики Рудного Алтая. В 1931 году было начато строительство Ульбинской ГЭС, объявленное Всесоюзной стройкой. Была создана специализированная организация — «Ульбастрой». Ульбинская ГЭС представляла собой сложный комплекс гидротехнических сооружений, расположенных на значительном расстоянии друг от друга. Высоко в горах строилось Малоульбинское водохранилище, созданное с помощью каменно-набросной плотины высотой 32 м, крупнейшей плотинной подобного типа на тот момент в СССР. Интересной особенностью плотины было использование для защиты от фильтрации деревянного (из лиственницы) экрана. Малоульбинское водохранилище было создано с целью сезонного регулирования стока (накопление воды в многоводный весенне-летний период и ее расходование в маловодный осенне-зимний период), а также для переброски стока из реки Малая Ульба в реку Громотуху. Еще одной уникальной особенностью Ульбинской ГЭС стал крупнейший в мире деревянный деривационный трубопровод диаметром 3,25 м и длиной 8 км.



Строительство водовода
Ульбинской ГЭС

Строительство велось в сложных условиях, преимущественно вручную. Остро не хватало жилья, строители жили летом в палатках, а зимой в непригодных помещениях. От железной дороги Усть-Каменогорск — Риддер к стройплощадке станции была проложена узкоколейная железная дорога, а к площадке Малоульбинского водохранилища пришлось в горных условиях строить дорогу длиной 62 км, по которой транспортировка грузов велась в основном на лошадях. Для энергоснабжения стройплощадки Малоульбинского гидроузла были построены две временные гидроэлектростанции, одна из которых была оставлена в эксплуатации и после завершения строительства и снабжала электроэнергией приводы затворов и жилье эксплуатационного персонала.

Первые два гидроагрегата Ульбинской ГЭС были пущены в 1937 году, третья машина была введена в эксплуатацию

в 1940 году. Строительство Малоульбинского водохранилища в связи со сложными условиями затянулось и было в основном завершено в 1942-44 годах. С момента пуска и вплоть до 1952 года Ульбинская ГЭС мощностью 27 МВт была крупнейшей гидроэлектростанцией Казахстана.



Кадыринская ГЭС

В Узбекистане было продолжено строительство станций в районе Ташкента на каналах, отходящих от реки Чирчик — началось создание Чирчик-Бозсуйского каскада ГЭС. В 1930-36 годах была построена Кадыринская ГЭС мощностью 13 МВт, в 1933-37 годах — Бурджарская мощностью 6 МВт. В 1932 году было принято решение о строительстве Чирчикского электрохимического комбината (крупнейшего в СССР предприятия по производству азотных удобрений) и двух довольно крупных деривационных ГЭС — Чирчикской мощностью 86 МВт и Тавакской мощностью 73 МВт. Вместе с комбинатом и ГЭС строился новый город Чирчик.

Проект Чирчикских ГЭС был создан в «Ленгидропроекте» под руководством академика И.Г. Александра, проектиро-



Чирчикская ГЭС. Фото Ленгидросталь

вавшего Днепрогэс. Подготовительный этап строительства занял около 3 лет, возведение основных сооружений станций (головного узла на Чирчике, деривационных каналов общей длиной 17 км, зданий двух ГЭС) началось в 1935 году. Первые гидроагрегаты обеих ГЭС были введены в эксплуатацию в 1940 году. Строительством Чирчикских ГЭС руководил Ф.Г. Логинов, в дальнейшем начальник строительства Сталинградской (Волжской) ГЭС и министр строительства электростанций СССР.

Продолжилось развитие гидроэнергетики и в Армении. В 1932 году была пущена небольшая Ереванская ГЭС-2 мощностью 2,4 МВт. Но основной гидроэнергетической стройкой стала Канакерская ГЭС — первая станция Севан-Разданского каскада, построенная в рамках решения так называемой «Севанской проблемы».

Севан — крупнейшее озеро Закавказья, его площадь на начало 1930-х годов составляла 1413 квадратных километров. Из поступивших в озеро 1320 млн. кубометров воды через реку Раздан стекло всего 50 млн. кубометров, остальное испарялось. Было предложено постепенно понизить уровень озера на 50 метров (путем углубления истока реки Раздан), в результате чего площадь озера и соответственно количество испаряющейся воды резко сократилось бы, а сток Раздана значительно увеличивался.

Освободившуюся воду предполагалось использовать для развития орошения засушливых земель, а также для выработки электроэнергии на предлагаемом к строительству каскаде ГЭС на Раздане. Обнажившееся дно озера хотели использовать в сельском хозяйстве.

В 1931 году этот план был одобрен, началось строительство первоочередной Канакерской ГЭС на окраине Еревана, первый агрегат которой был пущен в 1936 году. С 1933 года начался постепенный спуск озера.

Канакерская ГЭС — одна из крупнейших советских гидроэлектростанций довоенного периода, ее мощность составляет 102 МВт. Гидроэлектростанция построена по деривационной схеме, общая длина деривации — 12,6 км, в том числе 8,5 км каналов и 4,1 км тоннелей.

К 1935 году, завершающему по плану ГОЭЛРО, в СССР были построены электростанции общей мощностью около 4100 МВт, обеспечившие электроэнергией активно развивающуюся промышленность страны. В том числе были построены более 10 ГЭС общей мощностью более 900 МВт.

Была сформирована отечественная гидротехническая школа, полученный опыт позволил проектировать гидроэлектростанции

самых различных конструкций без привлечения иностранных специалистов. Отечественная промышленность освоила производство всего необходимого для гидроэлектростанций оборудования.



Головное сооружение Канакерской ГЭС

Большинство ГЭС, возведенных в 1920-35 годах, были деривационными. Преимущественное использование этой схемы создания напора имело ряд причин, в частности слабое развитие в СССР механизации. Строительство же крупных плотин требовало больших объемов перемещения грунта и бетона. В то же время, как показал опыт строительства Днепрогэс, СССР имел возможность сконцентрировать необходимые ресурсы для возведения крупных плотин.



Машинный зал Канакерской ГЭС

Гидроэлектростанции, построенные по плану ГОЭЛРО (1920-1935)

| Название ГЭС | Мощность, МВт | Регион | Река | Год начала строительства | Год пуска первого гидроагрегата | Тип ГЭС | Напор, м | Тип турбин |
|------------------|---------------|-----------------------|------------|--------------------------|---------------------------------|---------------|----------|---------------------|
| Волховская | 56 | Ленинградская область | Волхов | 1917 | 1926 | Плотинная | 11 | Радиально-осевые |
| Кондопожская | 5,5* | Карелия | Оз. Сандак | 1916 | 1929 | Деривационная | 28 | Радиально-осевые |
| Земно-Авчальская | 36,8 | Грузия | Кура | 1923 | 1927 | Деривационная | 21 | Радиально-осевые |
| Босуйская | 4 | Узбекистан | Чирчик | 1923 | 1926 | Деривационная | 14 | Радиально-осевые |
| Харнузовская | 3 | Казахстан | Громогуха | 1925 | 1928 | Деривационная | 62 | Радиально-осевые |
| Гизельдонская | 23 | Северная Осетия | Гизельдон | 1927 | 1934 | Деривационная | 289 | Ковшовые |
| Нижне-Свирская | 96 | Ленинградская область | Свирь | 1927 | 1933 | Плотинная | 11 | Поворотно-лопастные |
| ДнепроГЭС | 558 | Украина | Днепр | 1927 | 1932 | Плотинная | 38 | Радиально-осевые |
| Дзорогетская | 25 | Армения | Дзорогет | 1927 | 1932 | Деривационная | 105 | Радиально-осевые |
| Рионская | 48 | Грузия | Риони | 1928 | 1933 | Деривационная | 60 | Радиально-осевые |
| Нива-2 | 60 | Мурманская область | Нива | 1930 | 1934 | Деривационная | 36 | Радиально-осевые |
| Кадыринская | 13 | Узбекистан | Бозсу | 1930 | 1933 | Деривационная | 38 | Радиально-осевые |

* Первая очередь

Глава V

Проект «Большая Волга» и концентрация гидроэнергетического строительства в ведении НКВД (1936-1940 годы)

Основной гидроэнергетический потенциал Европейской части России сосредоточен в бассейне Волги. Еще в 1910 году самарский инженер К. Богоявленский предложил построить ГЭС в районе Самарской Луки, где Волга делает большую петлю, огибая Жигулевские горы. В 1919 году под его руководством в Самарской губернии была создана комиссия, которая занялась проработкой проекта; в 1929 году комиссия была преобразована в научно-исследовательское Бюро по изысканиям «Волгострой».

До начала 1930-х годов возможность строительства ГЭС на Волге на общесоюзном уровне детально не изучалась, поскольку Волга рассматривалась преимущественно как транспортная магистраль. С 1930 года положение меняется — «Волгострой» получил общегосударственный статус (до этого все работы финансировались Самарской областью), начинаются работы по комплексному освоению гидроэнергетических ресурсов Волги на всем ее протяжении.

15 июня 1931 года пленум ЦК ВКП(б) принял решение о строительстве канала, соединяющего Волгу и реку Москву, с целью обеспечения гарантированного водоснабжения города Москвы. Попутно решалась задача доступа в Москву речного транспорта — превращения города в «порт пяти морей».

Тогда же при Госплане было организовано постоянное совещание для координации проводимых различными ведомствами исследований по гидротехнической реконструкции Волги. Начался разворот проектных работ по различным вариантам гидроузлов на Волге, которыми занимались в общей сложности около 20 различных организаций. Выдвигалось множество различных проектов, которые тщательно изучались специалистами. Наиболее проработанным к 1932 году оказался проект главного инженера «Волгостроя» А.В. Чаплыгина, предусматривающий сооружение на Волге шести ГЭС: Угличской, Ярославской, Балахнинской, Чебок-

сарской, Самарской и Камышинской, а также трех ГЭС на Каме и одной на ее притоке Уфе.

Эта схема получила поддержку, результатом которой стало постановление Совета народных комиссаров СССР и ЦК ВКП(б) от 3 марта 1932 г. «О строительстве электростанций на Волге», предусматривавшее сооружение Ярославской и Горьковской (Балахнинской) ГЭС, а также одной гидроэлектростанции в районе Перми. В составе Народного комиссариата тяжелой промышленности СССР был организован трест «Средневогострой» под руководством А.В. Винтера. Тресту по мере завершения работ по сооружению Днепрогэса передавался кадровый аппарат и оборудование Днепростроя. К концу 1932 года схематичный проект Ярославской ГЭС был завершен, начались подготовительные работы по строительству станции.

Другим постановлением было предусмотрено начало работ по Камышинской ГЭС на Нижней Волге, для чего создавалась организация «Нижневогострой» под руководством академика И.Г. Александрова, автора проекта Днепрогэса. Продолжалась и разработка проекта Самарской ГЭС.



Сергей Жук

Тем временем работы по сооружению канала Волга — Москва с 1932 года были переданы ОГПУ (с 1934 года переименованному в НКВД), завершавшему строительство Беломоро-Балтийского канала и обладавшему как необходимым опытом, так и огромным ресурсом рабочей силы в виде заключенных. Главным инженером строительства стал С.Я. Жук — не так давно сам бывший заключенный на строительстве Беломорканала, но освобожденный как ценный специалист. Основной рабочей силой строительства стали заключенные Дмитровлага, чья численность достигала 200 тысяч человек.

Сооружение канала Волга — Москва (ныне канал имени Москвы) стало самой грандиозной гидротехнической стройкой того времени. За пять лет строительства (1932-37 годы) были вынуты 151 млн кубометров земли и 56 млн кубометров гравия, песка и глины. Было уложено 3,1 млн кубометров бетона и железобетона (почти втрое больше, чем при строительстве Днепрогэса).

В состав сооружений канала вошли и 7 гидроэлектростанций, наиболее крупные из них — Ивановская и Сходненская ГЭС, каждая мощностью по 30 МВт. Обе были пущены в 1937 году.

Ивановская ГЭС стала первой гидроэлектростанцией на Волге, созданное ее плотинной водохранилище стало на тот момент крупнейшим в СССР. По конструкции ГЭС представляет собой плотинную ГЭС руслового типа с двумя поворотно-лопастными гидроагрегатами. Особенностью станции стал впервые примененный в широких масштабах для сооружения земляной плотины способ гидронамыва. Он заключается в транспортировке песка, слагающего тело плотины, по трубопроводам вместе с водой и его намыва в тело плотины. Эта технология позволяет быстро перемещать значительные объемы грунта, что значительно ускоряет строительство плотин и резко снижает трудозатраты. В дальнейшем этот способ широко применялся при строительстве всех ГЭС на Волге.



*Водосбросная плотина
Ивановской ГЭС*

При создании Ивановского водохранилища площадью 327 квадратных километров впервые возникла необходимость в переселении значительного количества людей и масштабном переносе населенных пунктов и инфраструктуры. В зоне затопления оказались более сотни сел и деревень, а также небольшой город Корчева. Всего было переселено более 20 тысяч человек.

Сходненская ГЭС, расположенная в Москве и использующая перепад между Химкинским водохранилищем и рекой Москвой — станция деривационного типа. Ее особенностью являлось использование деревянных водоводов, которые были заменены на металлические только в 2000-х годах. И Ивановская, и Сходненская ГЭС без существенных изменений дошли до нашего времени, большая часть оборудования, в том числе и гидроагрегаты, работает без замены с 1930-х годов.



Сходненская ГЭС

Тем временем продолжались дискуссии о перспективах строительства каскада гидроузлов на Волге, известном как план «Большая Волга». С 1931 по 1936 год в этом плане постоянно менялось

количество и основные параметры входящих в него гидроузлов. В 1933 году руководство страны определило, что в ходе реконструкции Волги на первом этапе должна быть обеспечена гарантированная глубина 3,5 — 4 м, а в дальнейшем — 5 м, что определило необходимость создания каскада подпирающих друг друга гидроузлов.

В 1934 году был предварительно одобрен вариант каскада, предусматривавший сооружение Ярославского, Мышкинского, Калязинского, Василевского, Самарского и Камышинского гидроузлов, с небольшими напорами и минимальными площадями затопления, но в то же время и с невысокой энергетической отдачей — всего около 4 млрд кВт·ч в год. Дальнейшая судьба плана «Большая Волга» оказалась напрямую связанной с событиями, происходившими вокруг строительства Ярославской ГЭС.

Проект Ярославской ГЭС подразумевал сооружение около села Норское (ныне район Ярославля) гидроэлектростанции с напором 10—11 м, мощностью около 100 МВт и выработкой 460 млн кВт·ч, с водохранилищем объемом 0,75 кубических километров. Выше по течению предусматривалось сооружений Мышкинской и Калязинской ГЭС. Рабочее проектирование Ярославской ГЭС вела техническая часть «Средневолгостроя», в 1934 году преобразованная в институт «Гидростройпроект». Были развернуты подготовительные работы по строительству ГЭС, однако в ходе изысканий и проектных работ к 1935 году выявились существенные недостатки этого гидроузла:

- превращение территории площадью 150 тыс. га в Молого-Шекснинском междуречье вследствие подтопления водохранилищем в грандиозное болото, мелиорация которого представлялась затруднительной и неэффективной. Этот вывод был сделан по результатам работы в 1933—35 годах комплексной Волжско-Камской экспедиции Совета по изучению производительных сил Академии наук СССР.
- затопление ряда предприятий, сильная берегопереработка в районе Тутаева.
- малая регулирующая емкость водохранилища, что приводило бы к остановке ГЭС в период половодья из-за повышения уровня нижнего бьефа.

Среди проектировщиков к весне 1935 года возникли две группы — первая отстаивала продолжение строительства по принятому проекту, вторая предлагала перенести строительство ГЭС в район Рыбинска и принять более высокую отметку уровня воды, что позволяло создать регулирующее водохранилище. Вместо Мышкинско-

го и Калязинского гидроузлов предлагалось построить одну Угличскую ГЭС. Летом 1935 года возглавлявший вторую группу профессор А.Н. Рахманов написал письмо Сталину, в котором изложил аргументы за перенос створа ГЭС. Для изучения вопроса Госплан СССР создал специальную экспертную комиссию из сотрудников Управления строительства канала Москва — Волга НКВД СССР. В работе комиссии приняли активное участие главный инженер Управления С.Я. Жук, начальник технического отдела В.Д. Журиин и его заместитель Г.А. Чернилов (который непосредственно руководил проектными проработками по Рыбинской и Угличской ГЭС). В результате произведенных экспертизой расчетов, комиссией было сделано следующее заключение, утвержденное Госпланом:

- строительство Ярославского гидроузла, как неэффективного, прекратить.
- створ гидроузла перенести в район Рыбинска.
- уровень водохранилища повысить как минимум до отметки 100 м над уровнем моря, а возможно и выше, в соответствии с результатами подробного экономического обоснования.
- признать целесообразным строительство Угличской ГЭС, что позволит создать непрерывный каскад из трех гидроузлов: Иваньковского, Угличского и Рыбинского.

Предложение Госплана обсуждалось Центральным комитетом ВКП(б) и Совнаркомом СССР, которые 14 сентября 1935 года приняли постановление «О строительстве гидроузлов в районе Углича и Рыбинска», в соответствии с которым сооружение Ярославской ГЭС прекращалось, и начиналось одновременное строительство Угличской и Рыбинской ГЭС. Оно поручалось НКВД, в составе которого была создана специальная организация — Волгострой НКВД СССР. Неликвидные затраты по сооружению Ярославской ГЭС, по которой на момент остановки строительства было освоено около 130 млн рублей, или 16,5 % ее сметной стоимости, вошли специальной статьей в смету Волгостроя. В 1935 году из проектировщиков Управления канала Москва — Волга был создан проектный отдел Волгостроя, главной задачей которого было проектирование Рыбинского и Угличского гидроузлов. С 1940 года проектированием Рыбинской ГЭС занималась созданная в этом же году организация под названием «Московское и Ленинградское проектные управления Главгидростроя НКВД СССР».

Проект Рыбинской ГЭС предусматривал создание крупнейшего в мире на тот момент водохранилища с обширной площадью

затопления, но и наилучшими энергетическими характеристиками, а также с возможностью регулирования стока в интересах всего каскада. Одобрение такой компоновки гидроузла явилось переломным моментом в сознании проектировщиков, которые стали ориентироваться на достижение максимальной эффективности гидроузлов, даже ценой существенного увеличения площадей затопления. Новая концепция была изложена Г.А. Черниловым в 1936 году на заседании экспертной комиссии Госплана СССР во главе с Веденевым, посвященной пересмотру плана «Большая Волга», и заключалась в следующем:

- 1) располагать гидроузлы на расстояниях, позволяющих создать напор не ниже 15 м;
- 2) по возможности располагать узлы ниже значительных притоков для использования их стока;
- 3) давать достаточный подпор верхним гидроузлам нижераположенными плотинами;
- 4) не оставлять неиспользованных участков реки;
- 5) крупные водохранилища с полным регулированием годового стока обеспечат выработку максимального количества электроэнергии.

В результате комиссией была утверждена новая схема Волжского каскада, предусматривающая, помимо уже начатых строительством Угличской и Рыбинской ГЭС, возведение гидроузлов у Балахны, Чебоксар, Самарской Луки и Камышина с общей выработкой энергии 27 млрд кВт·ч в год. Гидроэлектростанции были запланированы с крупными водохранилищами комплексного назначения, позволяющими обеспечить работу крупнотоннажного водного транспорта и орошение больших массивов засушливых земель.

Передача строительства Угличской и Рыбинской ГЭС в ведение НКВД привело к фактической монополизации этой организацией нового гидроэнергетического строительства. Труд заключенных использовался уже при строительстве Нижне-Свирской ГЭС, в более широких масштабах — при возведении Нива ГЭС-2. Первой гидроэлектростанцией, полностью построенной силами НКВД, стала Нижнетуломская ГЭС в Мурманской области.

Строительство этой гидроэлектростанции, самой северной на тот момент в СССР, было начато на реке Тулома в январе 1934 года. ГЭС предназначалась для снабжения электроэнергией Мурманска и баз Северного флота. От начала строительства до пуска первого гидроагрегата прошло всего три года, но на полную мощность 48 МВт

станция вышла только в 1949 году. Строительство вел Беломорско-Балтийский комбинат НКВД СССР, получивший большой опыт возведения гидротехнических сооружений на Беломоро-Балтийском канале. Нижнетуломская ГЭС строилась преимущественно вручную, в тяжелых условиях Заполярья, на участке, где изначально отсутствовала какая-либо инфраструктура — не было даже дорог, грузы доставлялись по Туломе на баржах.

Конструктивно Нижнетуломская ГЭС представляет собой русловую гидроэлектростанцию с каменно-набросной плотиной высотой 29 м. В здании ГЭС размещены четыре гидроагрегата с поворотно-лопастными турбинами. Для пропуска семги на нерест был сооружен рыбоход, который оказался удачным по конструкции и успешно используется до сих пор.



Нижнетуломская ГЭС

Вернемся к строительству Угличской и Рыбинской ГЭС. Обе этих станции возводились в рамках единого проекта, который был окончательно утвержден в 1938 году. С целью экономии затрат предусматривалась максимальная унификация обеих станций, в частности использовались идентичные гидроагрегаты.

В ходе проектирования Рыбинской ГЭС были рассмотрены различные компоновки гидроузла и отметок уровня водохранилища. В частности, изучался вариант строительства ГЭС на Волге ниже впадения Шексны, от которого отказались вследствие значительных затоплений в Рыбинске. Принятый вариант с размещением сооружений гидроузла в двух створах (ГЭС на Шексне, водосбросной плотины — на Волге) позволил упростить организацию строительных работ и создавал более удобные условия для судоходства — потоки воды от турбин ГЭС не оказывают влияния на подходящие суда. Отметка уровня водохранилища была выбрана из сопоставления экономических параметров, в частности при уровне 98 м стоимость гидроузла составляла 0,71 руб. за кВт·ч среднегодовой выработки, а при уровне 102 м, принятом к реализации — 0,58 руб. за кВт·ч (для сравнения, Ярославская ГЭС оценивалась в 1,3 руб. за кВт·ч). В постановлении от 1935 года в качестве ориентировочной была указана отметка 98 м, но отмечалось, что окончательная отметка водохранилища должна быть уточнена

в рабочем проекте по результатам изысканий. Повышение отметки с 98 м до 102 м было одобрено экспертной комиссией Госплана СССР в апреле 1936 года, а окончательное решение об установлении отметок Рыбинского и Угличского водохранилищ было принято после проведения комплексных изыскательских работ, завершённых к марту 1937 года. Согласно заключениям экспертов, только на отметке 102 м максимально регулировался сток Волги, что позволяло создать максимально эффективный как в энергетическом, так и в транспортном отношении гидроузел.



Угличская ГЭС



Механизмы затворов Угличской ГЭС

Выбранная схема использования верхней Волги отличалась высокой эффективностью в энергетическом отношении: Угличская и Рыбинская ГЭС были запроектированы на общую мощность 440 МВт и выработку 1,312 млрд кВт·ч, а ранее запланированные на этом участке Калязинская, Мышкинская и Ярославская ГЭС должны были иметь общую мощность 250 МВт и выработку 0,6 млрд кВт·ч. В то же время, платой за столь высокие показатели стало значительное увеличение зоны затопления, а выбор отметки уровня водохранилища в 102 м предопределил судьбу города Мологи.

Сооружение Угличской и Рыбинской ГЭС началось в октябре 1935 года с подготовительного этапа — возведения дорог, базы строительства, жилья. Земляные работы на сооружениях гидроузлов начались в 1936 году, первый бетон на Рыбинской ГЭС был уложен в ноябре 1937 года, на Угличской — в апреле 1938 года. Особенностью строительства этих станций являлось возведение бетонных сооружений (водосбросной плотины, шлюзов и здания ГЭС) в котлованах на пойме, вне русел рек, что позволило отказаться от строительства временных перемычек в русле рек, ускорить и упростить работы. Наибольшего масштаба земляные работы достигли в 1937 году, когда на строительстве Угличской и Рыбинской ГЭС было перемещено 13,5 млн м³ грунта. К 1938 году земляные работы по кот-

лованам основных сооружений (водосбросная плотина, шлюзы, здание ГЭС) были завершены. Земляные работы были довольно хорошо (для того времени) механизированы — примерно на 70%. Активно использовались экскаваторы, автотранспорт, а также специальные железнодорожные вагоны — думпкары, с помощью которых был разработан котлован Рыбинской ГЭС. Широкое распространение получила гидромеханизация, с помощью которой было сделано около половины всех насыпей, в том числе намыты русловые плотины (причем впервые в отечественной практике намыв производился и зимой).



Земляные работы на строительстве Угличской ГЭС



Строительство Угличской ГЭС



Панорама строящейся Угличской ГЭС

Перекрытие рек (Волги и Шексны) на строительстве гидроэлектростанций было произведено в 1939-40 годах. Первый гидроагрегат Угличской ГЭС был пущен в 8 декабря 1940 года, второй — 20 марта 1941 года. По первоначальным планам завершить строительство Угличской ГЭС намечалось уже в 1939 году, затем этот срок был перенесен на 1942 год.

Наполнение Рыбинского водохранилища началось 13 апреля 1941 года, а 17 мая была сдана в эксплуатацию первая нитка шлюза. К началу войны здание ГЭС не было доведено до крыши, велись работы по монтажу первых двух гидроагрегатов.

Всего на строительстве Угличской и Рыбинской ГЭС было выполнено 52 млн м³ земляных работ, уложено 2,3 млн м³ бетона; для сравнения, при строительстве Днепрогэса было выполнено 8 млн м³ земляных работ и уложено 1,2 млн м³ бетона.



Здание Рыбинской ГЭС

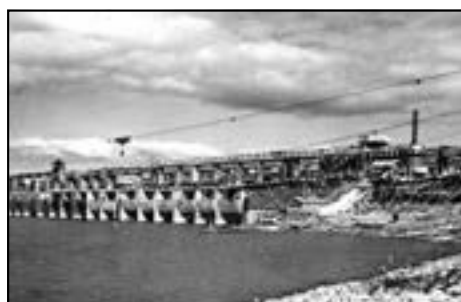


Водосбросная плотина Рыбинской ГЭС

Для строительства Рыбинской и Угличской ГЭС (включая работы по подготовке водохранилищ) была создана специализированная организация — Волгострой НКВД, ориентированная на преимущественное использование труда заключенных. При Волгострое в 1936 году был образован Волголаг, входивший в систему ГУЛАГа; Волголаг неоднократно переименовывался и просуществовал до 1953 года.



Строительство Рыбинской ГЭС



Возведение водосбросной плотины Рыбинской ГЭС

Численность заключенных Волголага достигла максимума в 1938—1941 годах (70-80 тыс. человек), позднее снизившись до 20 тыс. человек и менее; максимальное количество заключенных было зафиксировано 15 марта 1941 года — 97 069 человек. Большинство из заключенных не были «политическими» — так, на 1 октября 1938 года в Волголаге числилось 77 345 заключенных, из них осужденных за контрреволюционные преступления — 14 482 человека. В целом руководство ГУЛАГа стремилось направлять в «гидротехни-

ческие» лагеря осужденных за нетяжкие преступления. Смертность заключенных Волголага в 1936-1940 годах была относительно небольшой, от 0,8 до 2,4%, что меньше средней по ГУЛАГу в 1,4-3,4 раза. В 1942 году смертность резко возросла и достигла 35,5%, что было связано с ухудшением питания в условиях военного времени и спецификой контингента лагеря (в связи с приостановкой строительства ГЭС, в него направлялись больные и инвалиды, занимавшиеся лесозаготовками). Помимо заключенных, в строительстве участвовали и вольнонаемные работники, в частности в 1939 году Ярославский обком комсомола направил на Волгострой 6400 человек. Всего в 1939 году из среднегодовой численности работников, составлявшей 88 954 человека, вольнонаемных было 20 522 человека.

Управления Волгостроя и Волголага располагались у села Переборы (вблизи створа Рыбинской ГЭС). Руководство Волгостроем и Волголагом с момента их основания до 1940 года осуществлял Я.Д. Рапопорт, главным инженером строительства до сентября 1937 года являлся С.Я. Жук. После перевода Жука на строительство Куйбышевской ГЭС его должность занял В.Д. Журин, который с сентября 1940 года одновременно стал руководителем Волгостроя/Волголага, занимая эти должности до 1946 года (с перерывом в 1942-43 годах).

Угличская и Рыбинская ГЭС представляют собой русловые гидроэлектростанции с намывными земляными плотинами и бетонными водосбросными плотинами. Общая длина земляных плотин Рыбинской ГЭС составляет около 7 км — земляных работ подобных масштабов ранее на строительстве ГЭС в СССР не было.

Угличская ГЭС была спроектирована на мощность 110 МВт и выработку 240 млн кВт·ч, Рыбинская ГЭС — на мощность 330 МВт и выработку 935 млн кВт·ч. На момент строительства Рыбинская ГЭС была крупнейшей по мощности гидроэлектростанцией в РСФСР и второй в СССР, уступая лишь Днепрогэсу (его мощность в то время составляла 560 МВт). Также она являлась крупнейшей ГЭС в СССР и в мире, построенной на нескальном основании. Гидроагрегаты гидроэлектростанций мощностью по 55 МВт оборудованы поворотными лопастными турбинами с рабочим колесом диаметром 9 м, которые до середины 1950-х годов были крупнейшими в мире. Все основное оборудование Угличской и Рыбинской ГЭС было изготовлено на отечественных предприятиях.

При строительстве Рыбинской ГЭС было создано крупное (на момент заполнения — крупнейшее в мире) Рыбинское водохрани-

лице площадью 4550 км² — это третье по площади водохранилище России (после Куйбышевского и Братского). Полная емкость Рыбинского водохранилища составляет 25,4 км³, полезная — 16,7 км³, что позволяет осуществлять многолетнее регулирование стока (водохранилище позволяет увеличивать сток реки в маловодные годы за счет накопления воды в многоводные годы). Это было первое водохранилище многолетнего регулирования в СССР.

Строительство Угличской и Рыбинской ГЭС позволило обеспечить надежное энергоснабжение Московского региона (что сыграло особенно важную роль в годы войны). Эти гидроэлектростанции коренным образом улучшили условия работы водного транспорта — до их строительства навигация на Верхней Волге выше Рыбинска осуществлялась только в короткий период половодья, поскольку в летнюю межень глубины на перекатах составляли менее метра — Волгу легко можно было перейти вброд. Кроме этого, благодаря регулирующим способностям Рыбинского водохранилища удалось обеспечить необходимые судоходные глубины и ниже по течению. Задача обеспечения судоходства в те годы рассматривалась как не менее важная, чем выработка электроэнергии — сеть железных дорог была относительно слабо развита и перегружена, а автомобильный транспорт находился в зачаточном состоянии. В этих условиях реки, а особенно Волга, имели огромное транспортное значение.

Большая площадь Рыбинского водохранилища predeterminedила значительное количество переселяемого из зоны затопления населения, численность которого оценивается, по разным данным, в 117–130 тысяч человек. По этому показателю, Рыбинское водохранилище уступает только Куйбышевскому, при создании которого было переселено около 134 тысяч человек. Еще около 25 тысяч человек было переселено из зоны затопления Угличского водохранилища.



Центральная площадь
Мологи

Рыбинским водохранилищем было затронуто в разной степени (полное или частичное затопление, подтопление, берегопереработка) 745 населенных пунктов, в подавляющем большинстве — сельских, из которых 663 были полностью вынесены из зоны затопления. Угличское водохранилище затронуло 213 населенных пун-

ктов. Процесс переселения ускорил необратимое разрушение традиционного уклада жизни, сложившихся систем расселения и сельскохозяйственного производства.

В зону затопления Рыбинского водохранилища попала вся территория города Молога с населением около 6 тысяч человек и рабочего поселка Абакумово (около 5 тысяч человек). Они прекратили свое существование, их население было переселено в Рыбинск, Ярославль и другие населенные пункты. Было затоплено 3/4 площади города Весьегонск, его население было переселено в пределах города выше зоны влияния водохранилища. В меньшей степени были затронуты города Череповец, Пошехонье, Мышкин и Углич. Население из зоны затопления переселялось в основном 1936–1940 годах, а в небольшом количестве и позднее. Некоторые земли, в частности в районе городов Мышкин и Пошехонье, были защищены от затопления с помощью дамб. Угличское водохранилище затопило часть территории городов Калязин, Углич и Кимры.

При создании Рыбинского водохранилища был утрачен ряд памятников истории и культуры — Афанасьевский монастырь в Мологе, Леушинский Иоанно-Предтеченский женский монастырь, Югская Дорофеева пустынь, историческая застройка Мологи, древнее село Борисоглебское (Холопий городок) с усадьбой Мусиных-Пушкиных, большое количество сельских церквей и не менее 25 бывших дворянских усадеб. Создание Угличского водохранилища привело к утрате Троицкого Макарьева монастыря и архитектурного комплекса упраздненного в XVIII веке Николо-Жабенского монастыря в Калязине, Паисиева Покровского монастыря в Угличе, большей части исторической застройки Калязина, древнего села Скнятина, более двух десятков сельских и городских церквей, левого крыла Супоневского дворца (усадьбы Григорьевых-Супоньевых).



Колокольня Никольского собора
Калязина, окруженная водами
Угличского водохранилища

Одной из причин утраты объектов культурного наследия, особенно культовых сооружений (церквей и монастырей) являлась специфика тогдашней общественно-политической системы, ориентированной на слом всего «устаревшего», и имевшей выраженный антирелигиозный характер.

В зоне затопления велись значительные археологические работы, в результате которых был получен большой объем материала, в несколько раз превышающий полученный на этой территории за предыдущий период. В то же время несоответствие проведенных работ масштабам зоны затопления привело к тому, что большая часть археологических памятников осталась неисследованной и была затоплена.



Рыбинское водохранилище. Фото И. Шпиленка

Создание такого масштабного водохранилища, как Рыбинское (которое на момент создания было крупнейшим в мире) привело к значительным изменениям окружающей природной среды. Для изучения этих изменений 18 июля 1945 года был организован Дарвинский заповедник, в настоящее время имеющий статус биосферного, часть площади которого приходится на акваторию водохранилища.

Рыбинское водохранилище расположено в Молого-Шекснинской низине, в ложе существовавшего после последнего оледенения древнего озера, исчезнувшего около 17 тысяч лет назад. В ходе заполнения водохранилища существовавшие биоценозы Молого-

Шекснинского междуречья были заменены на биоценозы водохранилища и прибрежных территорий. Прибрежные биоценозы водохранилища прошли несколько этапов развития, и продолжают изменяться в настоящее время. По данным сотрудников заповедника, из млекопитающих несколько снизилась численность лося, увеличилась численность медведя, с 1960-х годов существует крупная популяция ранее почти не встречавшегося кабана, с 1980-х появился и стал многочисленным бобр. В заповеднике отмечается 230 видов птиц, из них 133 вида гнездится. Из видов, не встречавшихся до образования водохранилища, можно отметить серебристую чайку, лебедя-кликуна (гнездится более 30 пар), орлана-белохвоста (около 30 пар). Образовалась одна из крупнейших в России популяций (более 40 пар) ранее единично встречавшейся на данной территории скопы. Произошло выпадение реофильных (обитающих только в реках) и проходных (поднимающихся в реку на нерест из Каспийского моря) видов рыб (подуст, стерлядь и т. п.). Одновременно резко увеличилась численность лимнофильных (живущих в озерах) и пластичных видов (лещ, синец, плотва, щука, судак). Общее количество видов рыб, за счет искусственной акклиматизации и инвазии новых видов, не изменилось.

Уникальной особенностью Рыбинского водохранилища стало образование плавучих «островов» из всплывших торфяников. Это явление активно шло первые 5-15 лет после заполнения водохранилища, далее этот процесс приостановился, а плавающие «острова» прибились к отмелям и заросли древесно-кустарниковой растительностью. Другим характерным явлением были находящиеся в прибрежной зоне полузатопленные леса — при подготовке ложа водохранилища к затоплению было сведено 11 млн м³ товарного леса, но в то же время большие участки леса остались не вырубленными. Интересно, что затопленные леса стали своего рода биологическими оазисами — там гнездились и кормились большое количество птиц, скапливалась рыба. Однако в течение 20 лет затопленные леса были разрушены подвижками льда.

Помимо Угличской и Рыбинской ГЭС, во второй половине 1930-х годов было начато строительство еще нескольких гидроэлектростанций.

Крупнейшей гидроэлектростанцией в мире должна была стать Куйбышевская ГЭС, строительство которой было санкционировано 10 августа 1937 года. Предполагалось построить на Волге в районе Самарской Луки гидроэлектростанцию мощностью 3400 МВт со

среднегодовой выработкой электроэнергии 15 млрд. кВт·ч — вдвое больше, чем все электростанции, запланированные по плану ГОЭЛРО. Проект Куйбышевской ГЭС предусматривал создание сложного комплекса гидротехнических сооружений — плотины, судоходных шлюзов и ГЭС мощностью 2000 МВт на Волге, а также канала со шлюзами и ГЭС мощностью 1400 МВт у Переволок — узкого перешейка в основании Самарской Луки. Предусматривалось выполнить фантастический объем работ — переместить 359 млн кубометров грунта и уложить 12 млн кубометров бетона, что не имело аналогов в истории мирового строительства. Было запланировано использование крупнейших в мире гидроагрегатов мощностью 200 МВт, создание огромного водохранилища площадью около 6500 квадратных километров и объемом 53 кубических километра.



Проектный вид Куйбышевской ГЭС

Строительство Куйбышевской ГЭС было поручено НКВД, которое уже в сентябре 1937 года организовало Самарский лагерь. Руководство Куйбышевстроем было поручено С.Я. Жуку, который одновременно стал главным инженером стройки. Пуск первых гидроагрегатов был намечен на 1948 год.

С самого начала строительство Куйбышевской ГЭС преследовали организационные проблемы и недостаток финансирования. Проектное задание было утверждено только в 1939 году, техни-

ческий проект гидроузла так и не был окончательно разработан. В итоге к 1940 году, когда планировалось начать возведение основных сооружений ГЭС, удалось лишь выполнить инженерные изыскания и часть подготовительных работ (строительство дорог, ТЭЦ для энергоснабжения стройки и т.п.). В итоге осенью 1940 года, учитывая приближение войны и необходимость перенаправления усилий на более приоритетные проекты (строительство авиационных заводов, расширение Волго-Балтийского и Северо-Двинского каналов), было принято решение о консервации строительства. После войны ГЭС в этом районе строилась уже по иному проекту и в другом створе. К возведению других ГЭС на Волге, предусмотренных планом (Камышинской и Чкаловской/Горьковской) так и не приступили, все ограничилось изысканиями и проектными проработками.



План Чкаловского гидроузла

Аналогичная судьба постигла и строительство Соликамского гидроузла на Каме, также санкционированное в 1937 году и порученное НКВД. Эта ГЭС мощностью 648 МВт должна была стать частью масштабного проекта по соединению Камы, Печоры и Вычегды путем создания единого для трех рек грандиозного водохранилища площадью 16000 квадратных километров и объемом 140 кубических километров. Строительство было законсервировано в сентябре 1940 года, к этому моменту успели выполнить изыскания и начать подготовительные работы.

Понимание высокой вероятности скорой войны с нацистской Германией заставило руководство страны приостановить масштабные, но требующие огромных затрат и долго реализуемые гидроэнергетические проекты в пользу более дешевых и быстровозводимых ГЭС средней и малой мощности. В 1940-41 годах НКВД начало строительство целого ряда таких станций.

В центральном регионе было начато сооружение двух ГЭС на реке Клязьме и одной — на реке Костроме, были проведены изыскательские работы по одной ГЭС на Оке и четырем ГЭС на Верхней Волге. Для энергообеспечения строящихся алюминиевых заводов приступили к возведению трех ГЭС на реке Мсте и двух — по трассе Беломорско-Балтийского канала. В Мурманской области были организованы подготовительные работы по строительству Нива ГЭС-3, а в Вологодской — ГЭС на реке Шексне.



Лесогорская ГЭС. Фото ТГК-1

Продолжалось и строительство ГЭС без участия НКВД. К началу 1941 года была в основном построена вторая очередь Кондопожской ГЭС в Карелии, включавшая в себя переброску стока реки Суны в озеро Санда, и монтаж еще двух гидроагрегатов, в резуль-

тате чего мощность станции возросла с 5,5 до 27,5 МВт. Была возведена первая гидроэлектростанция Таджикистана — деривационная Верхне-Варзобская ГЭС мощностью 7,5 МВт. В 1936 году было начато строительство очередной станции Чирчик-Бозсуйского каскада — Ак-Тепинской ГЭС мощностью 15 МВт. В Казахстане в 1939 году были развернуты работы по сооружению крупной Усть-Каменогорской ГЭС на Иртыше.

В Кавказском регионе с 1934 года началось возведение плотинно-деривационной Храми ГЭС-1 в Грузии, самой высоконапорной на тот момент в СССР (370 м), а также Сухумской ГЭС. В 1940 году было развернуто строительство головной станции Севан-Разданского каскада в Армении — Севанской ГЭС мощностью 34 МВт. С закладки в 1937 году Свистухинской ГЭС мощностью 15 МВт началось освоение гидропотенциала реки Кубань.

Кроме того, по итогам Советско-Финской войны и присоединения Прибалтики гидроэнергетика СССР пополнилась несколькими новыми объектами — Светогорской и Лесогорской ГЭС на реке Вуоксе и Кегумской ГЭС на Западной Двине, а также рядом малых ГЭС.

Подводя итоги гидроэнергетического строительства второй половины 1930-х годов, следует отметить наметившийся переход на возведение крупных ГЭС плотинного типа с регулирующими водохранилищами. Строительство ГЭС оказалось в значительной степени сконцентрировано в руках НКВД, обладавшего огромными ресурсами рабочей силы в виде заключенных, а также большим опытом строительства гидротехнических сооружений. Окончательно сформировалась отечественная научно-проектная база гидроэнергетического строительства, позволяющая без привлечения иностранных специалистов проектировать масштабные и сложные ГЭС. Отечественная промышленность освоила выпуск всего необходимого для гидроэлектростанций оборудования, в том числе и с уникальными параметрами.

В 1928 г. общая мощность ГЭС составляла 103 МВт с выработкой 260 млн. кВт·ч., а в 1940 году она достигла 1537 МВт с выработкой 5,1 млрд. кВт·ч. Строительство ГЭС позволило обеспечить промышленные узлы (Ленинград, Москва, Днепропетровск, Донбасс) дешевой электроэнергией, значительно улучшить условия существования (ликвидация порогов на Волхове, Свири и Днепре, мелководного участка на Верхней Волге). Все это внесло существенный вклад в экономическое развитие страны, в том числе и повышение ее военно-промышленного потенциала.

Гидроэлектростанции, пущенные в 1936 году — первой половине 1941 года

| Название ГЭС | Мощность, МВт | Регион | Река | Год начала строительства | Год пуска первого агрегата | Тип ГЭС | Напор, м | Тип турбин |
|-------------------|---------------|---------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|---------------|----------|----------------------|
| Баксанская | 25 | Кабардино-Балкария | Баксан | 1930 | 1936 | Деривационная | 89 | Радиально-осевые |
| Гергебильская | 4 | Дагестан | Каракойсу | 1930 | 1938 | Плотинная | 45 | Радиально-осевые |
| Канакерская | 102 | Армения | Раздан | 1931 | 1936 | Деривационная | 169 | Радиально-осевые |
| Верхне-Варзобская | 7,5 | Таджикистан | Варзоб | 1931 | 1936 | Деривационная | 46 | Радиально-осевые |
| Ульбинская | 27 | Казахстан | Тихая | 1931 | 1937 | Деривационная | 155 | Радиально-осевые |
| Аджарис-Цкальская | 16 | Грузия | Аджарис-Цкали | 1927 | 1937 | Деривационная | 46 | Радиально-осевые |
| Чирчикская | 86 | Узбекистан | Чирчик | 1932 | 1940 | Деривационная | 40 | Радиально-осевые |
| Тавакская | 73 | Узбекистан | Чирчик | 1932 | 1940 | Деривационная | 35 | Радиально-осевые |
| Кондопожская* | 27,5 | Карелия | Суна | 1932 | 1941 | Деривационная | 28 | Радиально-осевые |
| Иваньковская | 30 | Московская область | Волга | 1932 | 1937 | Плотинная | 13 | Поворотные лопастные |
| Сходненская | 30 | Москва | Канал им. Москвы | 1932 | 1937 | Деривационная | 36 | Радиально-осевые |
| Карамышевская | 4 | Москва | Москва | ? | 1937 | Плотинная | 5 | Поворотные лопастные |
| Перервинская | 4 | Москва | Москва | ? | 1937 | Плотинная | 4 | Поворотные лопастные |
| Нижегудомская | 48 | Мурманская область | Тулума | 1934 | 1937 | Плотинная | 18 | Поворотные лопастные |
| Угличская | 110 | Ярославская область | Волга | 1935 | 1940 | Плотинная | 13 | Поворотные лопастные |

* Вторая очередь

Глава VI

Гидроэнергетика в годы Великой Отечественной войны (1941-1945)

Сразу после начала Великой Отечественной войны планы гидроэнергетического строительства были существенно пересмотрены. Пришлось остановить строительство всех ГЭС на Северо-Западе, которые находились в начальной стадии строительства и к тому же под риском захвата противником, а также гидроэлектростанций на Клязьме, Костроме, Оке. Замедлилось возведение Усть-Каменогорской, Храмской, Севанской гидроэлектростанций, их удалось ввести в эксплуатацию уже после окончания войны. Одновременно началось проектирование средних и малых ГЭС на Урале, в Средней Азии и Казахстане, где размещались эвакуированные из Европейской части страны предприятия.

Строительство Рыбинской ГЭС, находящейся в высокой степени готовности и крайне необходимой для энергоснабжения Москвы, было решено продолжить. В крайне трудных условиях, с использованием временных навесов и брезентовых шатров 18 ноября 1941 года запущен первый гидроагрегат. 22 ноября 1941 года, при готовности станции около 80%, строительство ГЭС в связи со складывающимися тяжелыми условиями было прекращено и возобновлено весной 1942 года в относительно небольших масштабах. Тем не менее, 15 января 1942 года удалось пустить второй гидроагрегат. Оставшиеся четыре гидроагрегата Рыбинской ГЭС были введены в эксплуатацию уже после войны, в 1945-1950 годах.



Снимок Угличской ГЭС с немецкого самолета-разведчика



Монтаж рабочего колеса турбины Рыбинской ГЭС

Пуск первых гидроагрегатов Рыбинской ГЭС происходил в самый тяжелый период Великой Отечественной войны, на пониженной отметке водохранилища, в условиях постоянных бомбежек вражеской авиацией Рыбинска. Агрегаты работали в недостроенном здании ГЭС, а чтобы защитить их от дождя и снега, над ними был раскинут брезентовый шатер. Пуск первого гидроагрегата был произведен по временной схеме, с единственным выключателем 220 кВ и одной ЛЭП на Углич (и далее на Москву). Питание собственных нужд станции производилось от электросетей строительства, пульт управления отапливался временными электропечами. Оперативный персонал станции в годы войны состоял в основном из девушек, прошедших краткосрочную стажировку на Угличской ГЭС. Выработка электроэнергии Рыбинской и Угличской ГЭС в 1941 — начале 1942 года имела особо важное значение, поскольку в ходе битвы за Москву большинство электростанций Мосэнерго было либо эвакуировано, либо испытывало острый дефицит топлива.

Работа гидроагрегатов в 1942 году в связи с острейшим дефицитом электроэнергии сильно форсировалась — из них «выжималась» максимальная мощность, не считаясь с установленными ограничениями; так, вместо 55 МВт мощность гидроагрегатов доходила до 62 МВт. С 1942 года станция выдавала электроэнергию не только в Москву, но и в Рыбинск с Ярославлем.

За годы войны Угличская и Рыбинская ГЭС выработали около 4 млрд кВт·ч электроэнергии, освободив для нужд народного хозяйства 5 млн тонн местного топлива. Все это время станции работали в условиях большого дефицита мощности в энергосистеме, причем водохранилище Рыбинской ГЭС являлось единственным резервом энергии в системе. За бесперебойное энергоснабжение Москвы в военное время коллективу Рыбинской ГЭС было передано на вечное хранение Красное знамя Наркомата электростанций и ЦК профсоюза рабочих электростанций СССР. Большую роль в обороне Москвы и Ленинграда сыграли и судоводные шлюзы станций, через которые прошли миллионы тонн грузов.

В 1941-1942 годах ряд гидроэлектростанций оказался на оккупированной территории, с некоторых из них успели демонтировать

и вывезти оборудование. В первые месяцы войны врагом были захвачены Кегумская ГЭС в Латвии, Лесогорская и строящаяся Светогорская ГЭС в Карелии. В ноябре 1941 года в руки финских войск попала Кондопожская ГЭС — три из четырех ее гидроагрегатов успели демонтировать, впоследствии они были установлены на новых ГЭС Чирчик-Бозсуйского каскада в Узбекистане.

Трагично сложилась история крупнейшей гидроэлектростанции страны — Днепрогэс. 18 августа 1941 года при подходе к Запорожью немецких войск плотина станции была взорвана. Гидроагрегаты ГЭС были выведены из строя, причем достаточно интересным способом — отключением системы смазки при работающих турбинах, что вызвало перегрев и выход из строя их механизмов. В результате взрыва в плотине образовалась большая брешь, через которую хлынули потоки воды из водохранилища. В результате образовалась искусственная паводковая волна, которая, в частности, выбросила на берег Днепра военный корабль — монитор «Волочаевка».

Немцы достаточно быстро восстановили станцию, но лишь для того, чтобы осенью 1943 года при подходе советских войск снова ее взорвать. Причем сделали они это так основательно, что все оборудование станции пришлось изготавливать заново. Восстановление Днепрогэса было начато в 1944 году и завершено в 1950 году, при этом его мощность по сравнению с довоенной была увеличена. Интересно, что часть нового оборудования вновь заказали американцам.

Похожая судьба постигла и Баксанскую ГЭС. При подходе немецких войск в ночь на 30 августа 1942 года водосбросная плотина и напорные трубопроводы ГЭС были подорваны с целью исключить возможность эксплуатации станции врагом. При этом взрывы были



Взорванный Днепрогэс



Восстановление Днепрогэса

рассчитаны таким образом, чтобы обеспечить максимально быстрое восстановление станции после ее освобождения. Немцы не смогли восстановить станцию — уже в январе 1943 года им пришлось отступить. Вместе с войсками Красной Армии на станцию вернулись энергетики, обнаружившие неутешительную картину — при отступлении немецкие войска повторно взорвали многие сооружения ГЭС, в том числе каркас здания станции, все три гидроагрегата, холстой водосброс, щит управления, распределительное устройство.



Разрушенная Баксанская ГЭС

В феврале 1943 года начались работы по восстановлению Баксанской ГЭС, к которым был привлечен грузинский трест «Храм-ГЭСстрой». С целью скорейшего восстановления станции на ГЭС был переброшен аналогичный по конструкции гидроагрегат с расположенной в Армении Дзорагетской ГЭС. Уже 25 декабря 1943 года первый гидроагрегат станции был запущен в эксплуатацию, а коллектив строителей и монтажников ГЭС удостоился поздравления И.В. Сталина. Окончательно восстановление Баксанской ГЭС было завершено в 1948 году.

К Нижне-Свирской ГЭС финские войска подошли в сентябре 1941 года. Последняя группа эксплуатационников во главе с директором ушла с территории электростанции 13 сентября, директор покинул станцию последним, захватив с собой оперативный журнал, который теперь хранится в Музее истории энергетики Петербурга. Часть оборудования успели демонтировать и вывезти.

Станция почти на три года оказалась между советскими и финскими войсками — линия фронта проходила прямо по ее сооружениям. В результате постоянных обстрелов сооружения и оборудование были сильно повреждены:

«Резервная фаза главных трансформаторов стояла накренившись, с разбитым кожухом. Три главных гидроагрегата взорваны, валы диаметром 900 мм перебиты пополам. На агрегате № 1 рабочее колесо заклинено в камере, а на агрегате № 2 — упало в отсасывающую трубу. Главный щит управления, для которого специально приобретался каррарский мрамор, разбит. Так же, как и щит местных нужд. Бетонная плотина зияет открытыми пролетами, через которые льются потоки воды. Секторный затвор завален сброшенными на него подорванными фермами. Сползший вместе с креплени-

ем откос аванкамеры перекрыл щитовые пролеты первого агрегата. Взорваны верхние и нижние ворота шлюза — из-за этого значительная часть воды идет через шлюз и при перепаде уровня около 10 м за счет высокой скорости размывает откосы канала».



*Восстановление
Нижне-Свирской ГЭС*



*Машинный зал
Нижне-Свирской ГЭС в 1944 году*

Восстановление станции началось сразу после ее освобождения в 1944 году, причем начать пришлось с разминирования: в первые два месяца было обезврежено около 10 тысяч мин, с помощью водолазов убраны от плотины 2 морские мины весом 900 кг каждая и извлечена из нижнего бьефа авиабомба. Восстановительные работы были завершены в 1948 году.

Обе гидроэлектростанции Мурманской области, Нижне-Тулумская ГЭС и Нива ГЭС-2, не попали в зону оккупации, но постоянно подвергались бомбардировкам. Три из четырех гидроагрегатов Нива ГЭС-2 были эвакуированы, сама станция была сильно повреждена в ходе бомбардировок (полностью разрушена крыша машинного зала), но продолжала работать. Похоже сложилась судьба и Нижне-Тулумской ГЭС, на которой к 1941 году были смонтированы два гидроагрегата из запланированных четырех, причем один из работающих агрегатов было решено эвакуировать. От единственной оставшейся в эксплуатации машины зависело энергоснабжение Мурманска, где располагалась база Северного флота и порт, в котором разгружались конвои, везущие помощь по программе ленд-лиза. Станцию бомбили постоянно, в один день было зафиксировано сразу 11 налетов, но вывести ее из строя фашистам так и не удалось.

Большинство гидроагрегатов Волховской ГЭС к концу 1941 года также было демонтировано и вывезено, поскольку существовала угроза захвата станции немецкими войсками. 8 сентября 1941 года

началась блокада Ленинграда. Помимо нехватки продовольствия, город сразу стал испытывать жесткий дефицит электроэнергии — была захвачена врагом Лесогорская ГЭС, по плотине Нижнесвирской ГЭС прошла линия фронта, ЛЭП от Волховской ГЭС оказались на захваченной территории. Были потеряны и некоторые тепловые станции, а оставшиеся в городе ТЭЦ-1 и ТЭЦ-5 испытывали жесточайший дефицит топлива. В итоге, город был практически обесточен — была остановлена подача электроэнергии в жилые кварталы, на насосные станции водопровода (соответственно, город остался без водоснабжения и канализации), были остановлены городской электрический транспорт и большинство заводов. Бесперебойно электроэнергией снабжались лишь хлебзаводы и здания управлений фронта и города. Каждый киловатт-час распределял лично секретарь ЦК А.А. Жданов. За весь февраль 1942 года в Ленинграде было выработано 7,5 млн кВт·ч электроэнергии — меньше, чем в предвоенные годы вырабатывалось за день. Это означало фактическую энергетическую смерть города.

В этой ситуации Волховская ГЭС оказалась единственной электростанцией Ленинградской области, не захваченной врагом и способной обеспечить энергоснабжение Ленинграда. В связи с этим (и стабилизацией фронта, снявшей угрозу захвата ГЭС) уже 27 декабря 1941 года было принято решение о восстановлении станции. В первую очередь, необходимо было собрать людей и вернуть демонтированное оборудование. Специалистов собирали по всей стране — вывозили из блокадного Ленинграда (был организован специальный стационар, в котором истощенные голодом люди восстанавливали здоровье), возвращали из эвакуации с Урала, даже отзывали с действующей армии.

Серьезной проблемой стал розыск и возвращение оборудования, которое в суматохе эвакуации оказалось разбросанным по всей стране. Некоторые детали при этом были повреждены, некоторые утрачены, на других отсутствовала маркировка и было непросто определить, что это за деталь и куда ее нужно установить. Ситуацию усложнял тот факт, что до войны работы по монтажу гидросилового оборудования проводились заводами-изготовителями, а турбины Волховской ГЭС были изготовлены в Швеции. К тому же, фронт оставался не так далеко, и вражеская авиация регулярно бомбила станцию — в отдельные дни, фиксировалось по 4-5 налетов.

Несмотря на все трудности, к концу мая 1942 года были смонтированы и опробованы на холостом ходу три гидроагрегата. Одна-

ко выработанную электроэнергию еще надо было как-то передать в осажденный город. Путь был один — через Ладожское озеро, по дну которого было решено проложить 5 ниток бронированного кабеля. Изготовление кабеля было поручено ленинградскому заводу «Севкабель». Завод был полуразрушен регулярными обстрелами и бомбежками — были выбиты стекла, частично отсутствовала крыша, станки стояли, занесенные снегом, не было воды и электроэнергии. Тем не менее, к лету 1942 года более 100 км кабеля было изготовлено. Кабель укладывали ночью со специально оборудованного судна, которое не успело закончить работу и было атаковано немецкой авиацией; погибло 16 человек, в том числе и капитан судна, но на следующий день прокладка была завершена. Одновременно, велось строительство ЛЭП к Ладожскому озеру и подстанций. 23 сентября 1942 года электроэнергия с Волховской ГЭС стала поступать в осажденный Ленинград. Энергетическая блокада была прорвана.

После того, как озеро замерзло, в дополнение к кабельной линии всего за 12 дней была построена и 13 января 1943 года начала эксплуатироваться воздушная ЛЭП, столбы которой были вморожены прямо в лед. Кабельная линия оставалась в эксплуатации и после прорыва блокады Ленинграда, которая была полностью снята лишь в 1944 году. В 1943-44 годах продолжались и работы по восстановлению Волховской ГЭС, в августе 1944 года станция заработала на полную мощность.



Строительство линии электропередачи от Волховской ГЭС в Ленинград по льду Ладожского озера

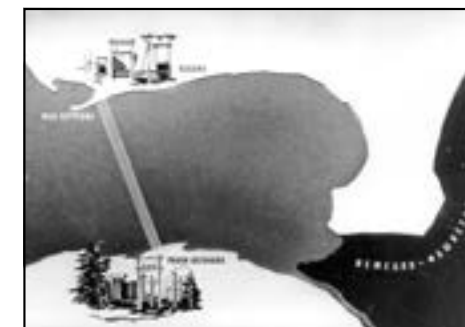


Схема кабельной линии через Ладожское озеро

Для монтажа гидросилового оборудования на Волховской ГЭС 30 июня 1942 года было принято решение о создании в составе треста «Свирьстрой» специализированной организации под названием «Спецконтора №2». Костяк ее сотрудников состави-

ли специалисты Ленинградского металлического завода, ее руководителем и по совместительству главным инженером стал М.А. Барковский. Опыт этой организации оказался востребован и при восстановлении других разрушенных ГЭС. В 1947 году «Спецконтора №2» была переименована во всесоюзный специализированный трест по монтажу гидросилового оборудования — «Спецгидроэнергомонтаж» (СГЭМ), организации, монтировавшей турбины и генераторы на всех послевоенных советских ГЭС, и продолжающей свою работу и сейчас.

Осенью 1941 года враг подошел к Москве, 14 октября пал Калинин. Возникла угроза захвата Ивановской ГЭС, в связи с чем было принято решение о срочном демонтаже и эвакуации ее оборудования. Буквально за несколько дней гидроагрегаты и другое оборудование станции было частично демонтировано (был полностью демонтирован один из гидрогенераторов и частично — второй), погружено на две баржи и в конце октября отправлено вниз по Волге. Выгрузить его в месте назначения не удалось — ударили морозы, и баржи вмерзли в лед недалеко от Казани и Костромы. Пришлось прямо на баржах строить зимние укрытия для оборудования. Оставшийся на станции второй гидрогенератор был восстановлен и пущен в работу в декабре 1941 года.

В ноябре 1941 года немецкие войска пытались прорваться к Москве в том числе и с севера, через замерзшее Ивановское водохранилище. По приказу командования Калининского фронта гидроэнергетики 20 ноября 1941 года организовали сброс воды из водохранилища — его уровень снизился на 2 метра, лед осел и стал ломаться во многих местах, сделав водохранилище непроходимым для вражеских войск.

Сразу после разгрома немцев под Москвой было принято решение о восстановлении Ивановской ГЭС. Оборудование возвращалось по железной дороге, с барж до места погрузки его волокли на специально изготовленных огромных санях. 1 мая 1942 года ГЭС была полностью восстановлена.

При подходе врага, было частично демонтировано оборудование и других ГЭС канала имени Москвы, в частности Сходненской, часть агрегатов насосных станций; снимали и вывозили даже провода ЛЭП. 23 ноября немецкие войска начали широкомасштабное наступление в направлении Клин-Рогачево-Дмитров. По приказу военного командования, гидроэнергетики и гидротехники приступили к созданию на пути врага водной преграды. Маневрируя затворами водосбросов и используя насосные станции (причем, в некоторых случаях насосы использовались как турбины — в ге-

нераторном режиме) гидротехники к 26 ноября обеспечили полное затопление пойм рек Сестры и Яхромы от города Яхромы до Ивановского водохранилища. Перед наступающими танками врага возникло искусственное озеро шириной до 2 км и глубиной в несколько метров, ставшее практически непреодолимой преградой. Мосты через канал им. Москвы были взорваны. Попытка врага окружить Москву с севера захлебнулась в волжской воде.

После разгрома врага под Москвой, гидротехнические сооружения и оборудование насосных станций и ГЭС канала им. Москвы были быстро восстановлены. Тогда же, в военные годы, были проведены и первые опыты по гидроаккумуляции — насосные станции канала были приспособлены для работы в турбинном режиме, вырабатывая электроэнергию. Фактически, они стали первыми в нашей стране гидроаккумулирующими электростанциями.

На Северном Кавказе, помимо уже упомянутой Баксанской ГЭС, сильно пострадала историческая гидроэлектростанция «Белый уголь». В 1943 году немцы, отступая со ставропольской земли, практически полностью разрушили станцию. Тем не менее, в 1947 году она была восстановлена, вместо исторических гидроагрегатов поставили два новых, мощностью по 350 кВт. Было прервано строительство Свистухинской ГЭС — при приближении немцев стройка была законсервирована, а гидроагрегаты вывезли и закопали в степи.

Осенью 1942 года, с приближением фронта, возникла угроза захвата немецкими войсками Гизельдонской ГЭС в Северной Осетии. Было принято решение о демонтаже части оборудования и вывозе его в Туркмению. В короткие сроки были демонтированы и к концу октября 1942 года эвакуированы два гидроагрегата, 6 фаз трансформаторов, 6 масляных выключателей и другое оборудование. В работе был оставлен один основной гидроагрегат, снабжавший неэвакуированные предприятия, и гидроагрегаты собственных нужд ГЭС, осуществляющих энергоснабжение района. Кроме того, в целях снабжения войск активно использовался бремсберг (специальная наклонная рельсовая дорога) станции. Бои с немецкими войсками шли в непосредственной близости от ГЭС, в связи с чем основные сооружения станции были подготовлены к взрыву. Неоднократно Гизельдонскую ГЭС бомбила немецкая авиация (одна из бомб попала в реку ниже ГЭС), однако нарушить функционирование объектов она не смогла. Прорваться к ГЭС немецким войскам так и не удалось, а после поражения под Сталинградом им пришлось уйти с Северного Кавказа. В ноябре 1943 года началось

восстановление станции — эвакуированное оборудование было возвращено, был начат его монтаж. В июне 1944 года последний гидроагрегат Гизельдонской ГЭС был введен в работу.

Новые ГЭС во время войны возводились на Урале, в Средней Азии и Казахстане. В основном, это были ГЭС небольшой и средней мощности.

На Урале строительство ГЭС началось в 1942 году и велось под контролем НКВД силами заключенных, трудовармейцев (в том числе этнических немцев, которых не призывали в армию), военнопленных, спецпереселенцев. Из-за тяжелых условий строительства и нехватки всего необходимого ни одну из заложенных там ГЭС пустить в ходе войны не удалось.

27 ноября 1942 года НКВД выпустило приказ о начале строительства Широковской ГЭС мощностью 24 МВт на реке Косьва, Поньшской ГЭС мощностью 24 МВт на реке Чусовой и Вилухинской ГЭС мощностью 15 МВт на реке Усьва. Все ГЭС планировалось пустить в конце 1943 — начале 1944 года, причем планировалось установить на них агрегаты, эвакуированные с ГЭС в Ленинградской области и Карелии.



Строительство Широковской ГЭС



Широковская ГЭС

Но обеспечить строительство сразу трех ГЭС не удалось, и в 1944 году было решено сконцентрировать все ресурсы на строительстве Широковской ГЭС, приостановив возведение Поньшской и Вилухинской ГЭС (после войны их возведение так и не было возобновлено). Агрегаты Широковской ГЭС мощностью 28 МВт удалось пустить только в 1948 году. Конструктивно Широковская ГЭС представляет собой плотинную гидроэлектростанцию с каменно-набросной плотиной 40 м (самая высокая плотина такого типа на тот момент в СССР). Оригинальна конструкция противофильтрационного элемента плотины — в качестве такового был использован экран из трех слоев еловых досок, загерметизированных битумом.

В ходе войны на Урале было также начато строительство Верхотурской ГЭС мощностью 7 МВт и деривационной Зюраткульской ГЭС мощностью 6 МВт. Они были введены в эксплуатацию в 1949 году.

В Казахстане с 1942 году были начаты проектные, а с апреля 1943 года — строительные работы по возведению каскада ГЭС на реке Большая Алматинка, предназначенного для энергоснабжения столицы республики, города Алма-Ата. Все станции строились как деривационные, первую из них, №11 мощностью 2,5 МВт пустили в апреле 1944 года. В том же году начали работу ГЭС №5 и №9, также мощностью по 2,5 МВт, начато строительство еще двух ГЭС, заверенное в 1946 году. Аналогичный по назначению Аламединский каскад начали возводить в Киргизии, он предназначался для обеспечения электроэнергии ее столицы, города Фрунзе (ныне Бишкек). Станции этого каскада возводились на Большом Чуйском канале, в 1943 году была пущена Лебединовская ГЭС мощностью 7,6 МВт, в 1945 году — Аламединская ГЭС-1 мощностью 2,2 МВт. В Таджикистане в 1943 году начали строить Варзобскую ГЭС-2 мощностью 14 МВт, но пустить ее смогли только в 1952 году.

Наиболее активно в годы Великой Отечественной войны развивалась гидроэнергетика Узбекистана. Были введены в эксплуатацию сразу несколько ГЭС Чирчик-Бозсуйского каскада, обеспечивших электроэнергией Ташкент: Аккавакская-1, Кибрайская, Саларская, Актепинская, Нижне-Бозсуйская ГЭС-1. В 1942 году было начато возведение Фархадской ГЭС на Сырдарье мощностью 126 МВт, крупнейшей на тот момент гидроэлектростанции в Средней Азии. Фархадская ГЭС имеет нетипичную для советских гидроэлектростанций конструкцию — это мощная плотинно-деривационная станция, возведенная на равнинной реке. Плотина земляная, высотой 27 м, деривация представляет собой подводный канал длиной 11 км, рассчитанный на очень значительный расход — 500 м³/с.



*Строители Фархадской ГЭС.
Фотография Макса Пенсона*



*Фархадская ГЭС.
Фото Олега Дуболозова*

Строительство Фархадской ГЭС велось методом «народной стройки» (а также с участием военнопленных) в тяжелых условиях, с широким применением ручного труда. Пуск ГЭС состоялся в 1948 году.

**Гидроэлектростанции, пущенные
в годы Великой Отечественной войны (1941-1945)**

| Название ГЭС | Мощность, МВт | Регион | Река | Год начала строитель- ства | Год пуска первого ги- дроагрега- та | Тип ГЭС | Напор, м | Тип турбин |
|-------------------------------|------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------------|--|---------------|-------------|-------------------------|
| Рыбинская | 330 | Ярослав- ская область | Волга | 1935 | 1941 | Плотинная | 13 | Поворотно- лопастные |
| Алматынские ГЭС № 5, 11, 9 | 3x2,5 | Казахстан | Большая Алматынка | 1943 | 1944 | Деривационная | 95-102 | Радиально- осевые |
| Лебединовская | 7,6 | Киргизия | Чу | ? | 1943 | Деривационная | 27 | Радиально- осевые |
| Аламединская ГЭС-1 | 2,2 | Киргизия | Чу | ? | 1945 | Деривационная | 12 | Радиально- осевые |
| Аккавак-1 | 35 | Узбекистан | Чирчик | 1941 | 1943 | Деривационная | 36 | ? |
| Кирбайская | 11 | Узбекистан | Чирчик | 1942 | 1943 | Деривационная | 19 | ? |
| Саларская | 11 | Узбекистан | Чирчик | 1943 | 1944 | Деривационная | 18 | ? |
| Ак-Тепинская | 15 | Узбекистан | Чирчик | 1936 | 1944 | Деривационная | 41 | ? |
| Нижне- Бозсуйская-1 | 10 | Узбекистан | Чирчик | 1943 | 1944 | Деривационная | 29 | ? |
| Талигулян- ская-1 | 3 | Узбекистан | Зеравшан | ? | 1945 | Деривационная | ? | ? |

Глава VII

Послевоенное восстановление

После окончания Великой Отечественной войны перед гидроэнергетиками встали три основных задачи: восстановление разрушенных в ходе боевых действий станций, достройка ранее начатых объектов, строительство новых ГЭС в местах наибольшего дефицита электроэнергии. При этом широко использовалось импортное оборудование, в том числе полученное из стран, ранее входивших в коалицию с Германией — Финляндии и Австрии.

Восстановление разрушенных гидроэлектростанций было завершено к 1950 году. Помимо упомянутых в предыдущем разделе Днепрогэса, Нижне-Свирской и Баксанской ГЭС были восстановлены Кондопожская, Лесогорская и Кегумская ГЭС.

Кондопожская ГЭС в Карелии пострадала достаточно серьезно — была разрушена Гирвасская плотина, гидроагрегаты эвакуированы и смонтированы на ГЭС Чирчик-Бозсуйского каскада. Восстановительные работы начались уже в 1944 году, в 1947 году были пущены новые гидроагрегаты второй очереди, в 1951 году — гидроагрегат первой очереди (разрушенный второй гидроагрегат первой очереди было решено не восстанавливать). Основное оборудование было поставлено финскими и шведскими фирмами. По новому проекту была возведена Гирвасская плотина, при этом уровень водохранилища был поднят на 2 метра.



*Монтаж гидроагрегата
Кондопожской ГЭС. Фото ТГК-1*



Машинный зал Лесогорской ГЭС

Лесогорская ГЭС была построена на территории Финляндии на реке Вуокса и введена в эксплуатацию в 1937 году. Перешла к СССР по итогам советско-финской войны, в годы Великой Отечественной войны была вновь захвачена финскими войсками, освобождена в 1944 году. Повреждения станции оказались умеренными, что позволило пустить ее агрегаты (финского производства) уже в 1945 году, а завершить восстановление в 1947 году. Конструктивно Лесогорская ГЭС представляет собой плотинную русловую станцию мощностью 94 МВт с гравитационной бетонной плотиной и поворотно-лопастными турбинами.



Кегумская ГЭС

Кегумская ГЭС была построена на реке Западная Двина в 1939 году. В 1940 году перешла к СССР в результате присоединения Латвии. В 1941 году захвачена немецкими войсками, восстановлена в 1945-1947 годах. По конструкции — русловая ГЭС мощностью 68 МВт с земляной плотиной. Гидроагрегаты с поворотно-лопастными турбинами шведского производства.

В части достройки было решено отказаться от продолжения строительства станций, находившихся перед началом войны в малой степени готовности (ГЭС на Мсте, Клязьме, Оке). Станции, по которым работы дошли до возведения основных сооружений, были достроены.



Светогорская ГЭС

Первой уже в 1945 году пустили Светогорскую ГЭС на Вуоксе в Ленинградской области. Эту станцию начали строить еще финские инженеры, и к моменту перехода ее к СССР она находилась в довольно высокой степени готовности. Советские инженеры переработали проект, но ввести ГЭС в работу не успели — в 1941 году ее вновь захва-

тили финские войска. Финляндия принялась достраивать станцию по советскому проекту, и в апреле 1944 года были проведены пробные пуски гидроагрегатов — но через несколько месяцев ГЭС вновь была отбита советскими войсками. Высокая степень готовности сооружений и оборудования позволила завершить работы по достройке станции уже в 1947 году. По конструкции Светогорская ГЭС мощностью 100 МВт похожа на Лесогорскую.

В Мурманской области в 1949 году был пущен первый гидроагрегат ГЭС Нива-3, строительство которой было начато в 1937 году. Эта деривационная ГЭС интересна тем, что ее машинный зал расположен под землей, на глубине 76 метров. Для подвода и отвода воды были проложены тоннели общей длиной более 5 км. При мощности 154 МВт станция стала крупнейшей в регионе. Кроме того, к 1950 году была восстановлена бывшая финская ГЭС Янискоски на реке Паз, пущенная в 1942 году и взорванная в 1944 году.



Головной узел Нива ГЭС-3

В 1938 году было начато строительство Верхне-Свирской ГЭС в Ленинградской области мощностью 160 МВт. К началу войны был создан котлован основных сооружений, начались бетонные работы, но затем стройплощадка оказалась в зоне оккупации и котлован пришлось затопить. В 1947 году строительные работы были возобновлены, первый гидроагрегат пустили в 1951 году. Конструктивно Верхне-Свирская ГЭС представляет собой русловую станцию с намытой из песка плотиной.



Верхне-Свирская ГЭС



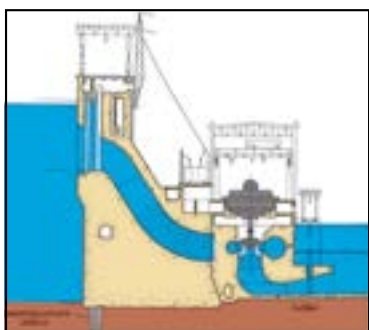
Строительство Верхне-Свирской ГЭС



Уравнительные резервуары
Свистухинской ГЭС

В Центре и на Урале завершалось строительство Угличской, Рыбинской, Широковской, Верхотурской и Зюраткульской ГЭС. На Северном Кавказе в 1948 году были пущены первый гидроагрегат первенца каскада Кубанских ГЭС — Свистухинской гидроэлектростанции. Ее строительство, начатое в 1937 году, было приостановлено в 1942 году и уже через год возобновлено. Станция построена на Невинномысском канале, отходящем от Кубани. По конструкции это деривационная ГЭС без подпорных сооружений и водохранилищ, с 300-метровыми металлическими напорными водоводами. Особенность конструкции станции — применение уравнительных резервуаров, специальных башен, предназначенных для защиты от гидроударов, возникающих при быстром изменении режимов работы турбин.

В Грузии в 1947 году была пущена крупнейшая на тот момент в Закавказье Храма ГЭС-1 мощностью 112 МВт, строившаяся с 1934 года. Станция плотинно-деривационная, с регулирующим водохранилищем, созданным уникальной каменно-набросной плотиной высотой 32 м с противофильтрационным экраном из нержавеющей стали. Вода по тоннелям общей длиной более 7 км создает напор в 370 метров на крупнейших тогда в СССР ковшовых турбинах.



Разрез по плотине и зданию
Усть-Каменогорской ГЭС

Там же в 1949 году ввели в работу деривационную Сухумскую ГЭС мощностью 19 МВт, также возводившуюся с 1934 года. Ее интересной особенностью является переброска стока из одной реки (Восточная Гумиста) в другую (Западная Гумиста).

В Армении в 1949 году была пущена головная станция Севан-Разданского каскада — Севанская ГЭС мощностью 34 МВт. Как и Нива ГЭС-3, она имеет подземный машинный зал, расположенный на глубине около 100 м. Поскольку планировалось значительное снижение уровня озера Севан, водозаборные сооружения и оборудование ГЭС были адаптированы к возможному изменению напора.

В Казахстане в 1948 году было возобновлено начатое в 1939 году строительство крупной Усть-Каменогорской ГЭС на Иртыше. По конструкции она представляет собой станцию с гравитационной бетонной плотиной и приплотинным зданием ГЭС, в котором размещены четыре гидроагрегата общей мощностью 332 МВт. В связи с большим объемом работ осуществить пуск этой ГЭС, обеспечившей электроэнергией важный промышленный район Восточного Казахстана, удалось только в конце 1952 года. Также в 1952 году пустили Варзобскую ГЭС-2 мощностью 14 МВт в Таджикистане, которую начали строить в 1943 году.

В Казахстане в 1948 году было возобновлено начатое в 1939 году строительство крупной Усть-Каменогорской ГЭС на Иртыше. По конструкции она представляет собой станцию с гравитационной бетонной плотиной и приплотинным зданием ГЭС, в котором размещены четыре гидроагрегата общей мощностью 332 МВт. В связи с большим объемом работ осуществить пуск этой ГЭС, обеспечившей электроэнергией важный промышленный район Восточного Казахстана, удалось только в конце 1952 года. Также в 1952 году пустили Варзобскую ГЭС-2 мощностью 14 МВт в Таджикистане, которую начали строить в 1943 году.



Схема сооружений Краснополянской ГЭС

Строительство новых ГЭС в первые послевоенные годы велось в небольших объемах в местах с наибольшим дефицитом электроэнергии. В 1947-1950 годах для энергоснабжения Сочи была построена Краснополянская ГЭС мощностью 29 МВт. Станция деривационного типа, с большим количеством сооружений (тоннели, трубопроводы, лотки, два бассейна, уравнительный резервуар). Для обеспечения электроэнергией Майкопа и Орджоникидзе (ныне Владикавказ) построили соответственно Майкопскую (пуск в 1950 году) и Дзауджикаускую ГЭС (пуск в 1948 году). Обе станции деривационные, небольшой мощности (менее 10 МВт), подвод воды производится с помощью каналов. На обеих станциях используются полученные по ленд-лизу американские турбины.

В Грузии в 1949 году пустили Читахевскую ГЭС мощностью 21 МВт, также деривационную, с подводом воды с помощью тоннеля. В Казахстане продолжилось развитие Лениногорского и Алма-тинского каскадов, в Узбекистане — Чирчик-Бозсуйского каскада и в Киргизии — Аламединского каскада. Все входящие в них ГЭС небольшой мощности были построены по деривационной схеме.

Гидроэлектростанции, восстановленные и вновь построенные в первые послевоенные годы (1945-1950)

| Название ГЭС | Мощность, МВт | Регион | Река | Год начала строительства | Год пуска первого агрегата | Тип ГЭС | Напор, м | Тип турбин |
|---------------------------------|---------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|----------|----------------------|
| Восстановленные | | | | | | | | |
| Кондопожская | 26 | Карелия | Суна | 1944 | 1947 | Деривационная | 28 | Радиально-осевые |
| Лесогорская | 94 | Ленинградская область | Вуокса | 1944 | 1945 | Плотинная | 16 | Поворотные лопастные |
| Нижне-Сви́рская | 96 | Ленинградская область | Свирь | 1944 | 1945 | Плотинная | 10 | Поворотные лопастные |
| Кегумская | 68 | Латвия | Западная Двина | 1945 | 1947 | Плотинная | 16 | Поворотные лопастные |
| ДнепроГЭС | 651 | Украина | Днепр | 1944 | 1947 | Плотинная | 36 | Радиально-осевые |
| Янискоски | 30 | Мурманская область | Паз | 1944 | 1950 | Плотинная | 22 | Поворотные лопастные |
| Достроенные и вновь построенные | | | | | | | | |
| Нива-3 | 156 | Мурманская область | Нива | 1937 | 1949 | Деривационная | 74 | Радиально-осевые |
| Светогорская | 101 | Ленинградская область | Вуокса | 1937 | 1945 | Плотинная | 15 | Поворотные лопастные |
| Широковская | 28 | Пермский край | Косьва | 1942 | 1947 | Плотинная | 29 | Радиально-осевые |
| Зюраткульская | 6 | Челябинская область | Большая Сатка | 1942 | 1949 | Деривационная | 109 | Радиально-осевые |
| Свистухинская | 12 | Ставропольский край | Кубань (Невинномысский канал) | 1937 | 1948 | Деривационная | 22 | Пропеллерные |
| Краснополянская | 29 | Краснодарский край | Мзымта | 1946 | 1949 | Деривационная | 100 | Радиально-осевые |
| Майкопская | 9 | Адыгея | Белая | ? | 1950 | Деривационная | 22 | Радиально-осевые |
| Дзауджикауская | 9 | Северная Осетия | Терек | ? | 1948 | Деривационная | 28 | Радиально-осевые |
| Храми-1 | 112 | Грузия | Храми | 1934 | 1947 | Плотинно-деривационная | 370 | Ковшовые |
| Сухумская | 19 | Грузия | Восточная Гумиста | 1934 | 1948 | Деривационная | 215 | Радиально-осевые |
| Читахевская | 21 | Грузия | Кура | ? | 1949 | Деривационная | 33 | Радиально-осевые |
| Севанская | 34 | Армения | Раздан | 1940 | 1949 | Деривационная | 60 | Радиально-осевые |
| Тишинская | 6 | Казахстан | Громотуха | 1947 | 1949 | Деривационная | 86 | Радиально-осевые |
| Хариузовская (вторая очередь) | 3 | Казахстан | Громотуха | ? | 1950 | Деривационная | 62 | Радиально-осевые |
| Алма-Атинские №6,7 и 8 | 3х2,5 | Казахстан | Большая Алматинка | 1944 | 1946-1948 | Деривационная | 55-64 | Радиально-осевые |

Глава VIII

Великие стройки коммунизма

К 1950 году восстановление народного хозяйства после Великой Отечественной войны было завершено. Встал вопрос о дальнейшем развитии экономики страны.



Великие стройки коммунизма. Плакат 1950-х годов

В условиях начавшейся холодной войны был взят курс на дальнейшую индустриализацию страны. Развитие тяжелой промышленности требовало большого количества электроэнергии, а выбор ее источников был невелик. Добычу угля в Европейской части страны увеличить в несколько раз было затруднительно по

причине ограниченности запасов, выработанности месторождений, сложных условий добычи. Везти же его с Кузбасса по причине высокой загруженности железных дорог было затруднительно.

Нефть была нужна в первую очередь для производства моторного топлива. Крупные месторождения газа еще не были открыты. Атомные электростанции существовали только в проектах.

В этих условиях массовый разворот строительства ГЭС, в первую очередь — крупных, был логичным и практически безальтернативным решением. Кроме того, возведение ГЭС на равнинных реках позволяло значительно улучшить условия работы водного транспорта, обеспечить надежное водоснабжение и орошение засушливых земель. Ценой, заплаченной за размещение крупных ГЭС на равнинных реках в густонаселенных районах стали большие площади затопления. Учитывая важность решаемых задач, эта цена была сочтена приемлемой.

Строительству крупных гидроэлектростанций уделялось огромное значение, на них концентрировались огромные материальные и трудовые ресурсы. Возведение нескольких наиболее значимых объектов — Куйбышевской, Сталинградской, Каховской и Цимлянской ГЭС было объединено под общим термином «Великие стройки коммунизма».

Центральное место в гидроэнергетическом строительстве 1950-х годов занимал Волжско-Камский каскад, где одновременно возводились четыре крупных ГЭС. По традиции, выполнение значительного объема работ возлагалось на заключенных ГУЛАГа.



*Перекрытие Камы
на строительстве Камской ГЭС*



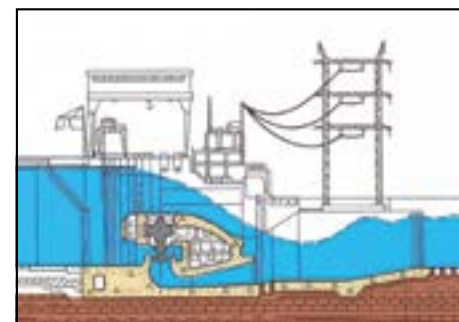
Камская ГЭС

Первой в 1948 году начали строительство Камской ГЭС мощностью 504 МВт — первой и самой верхней гидроэлектростанции на Каме. Интересно, что первая попытка построить Камскую ГЭС

была произведена в 1934 году, но в 1937 году на этапе подготовительных работ строительство было законсервировано. Причиной этому послужили сложные геологические условия выбранного створа — наличие мощной толщи гипса, что создавало риск размыва основания.

К 1948 году проект гидроэлектростанции был переработан, ее разместили на более устойчивых породах. Проектировщики впервые в СССР совместили водосбросную плотину и здание ГЭС, что позволило значительно уменьшить объем бетонных работ и соответственно стоимость строительства. Необычным было и количество агрегатов станции — их установили 24, в том числе первую в СССР экспериментальную горизонтальную капсульную турбину. Еще одна интересная особенность Камской ГЭС — пятикамерный судоходный шлюз со специальным устройством для буксировки плотов. Первый гидроагрегат Камской ГЭС пустили уже в 1954 году, менее чем через три года после закладки первого кубометра бетона. Станция позволила обеспечить электроэнергией крупный промышленный район в районе Перми, а также предприятия Урала.

Одновременно на Волге было развернуто строительство Горьковской (ныне Нижегородской) ГЭС. Строительство ГЭС в этом районе под разными названиями (Балахнинская ГЭС, Чкаловская ГЭС) планировалось в 1930-е годы, были проведены серьезные проектные работы, но до начала работ дело так и не дошло — помешала война.



Разрез по зданию Камской ГЭС



Здание Нижегородской ГЭС



Схема сооружений Нижегородской ГЭС

Вернуться к строительству Горьковского гидроузла было решено 16 ноября 1947 года, когда было подписано постановление Совета Министров СССР «О неотложных мероприятиях по увеличению мощности электростанций в центральном промышленном районе СССР». Удачное расположение вблизи такого крупного промышленного центра, как город Горький (Нижний Новгород) обусловило строительство станции в первоочередном порядке.

В мае 1948 года на стройку прибыли первые строители, начались подготовительные работы, к концу того же года к площадке ГЭС была подведена железная дорога. Летом 1949 года русло протоки Волги — Воложки было перекрыто верховой и низовой перемычками, началось сооружение котлована зданий ГЭС и водосливной плотины. Проектировщики разместили здание ГЭС на острове, что существенно облегчало работы, но строительство столкнулось с непредвиденной проблемой — свойства грунтов на месте строительства отличались от проектных, на дне котлована был обнаружен мощный слой песков-плывунов, фильтрация через которые вызывала затопление котлована. Решением проблемы стало впервые примененная в практике гидротехнического строительства льдогрунтовая завеса. С помощью системы специальных скважин, в которые подавался охлажденный до отрицательных температур солевой раствор, плавун был заморожен, и фильтрация воды через него была прекращена. Первый гидроагрегат ГЭС был пущен в 1955 году.

Первоначально мощность ГЭС составляла 400 МВт (8 гидроагрегатов по 50 МВт). Однако гидроагрегаты имели существенный запас прочности, что позволило, после проведения работ по усилению конструкции гидротурбин и улучшения вентиляции гидрогенераторов, увеличить мощность каждого гидроагрегата на 15 МВт. В результате мощность станции достигла существующего в настоящее время значения — 520 МВт. Строительство станции стало полигоном для отработки различных технических новшеств — помимо создания льдогрунтовой завесы, были впервые применены вибропогружение металлического шпунта, передовые методы бетонирования и другие мероприятия.

Еще одна особенность ГЭС — использование крана, размещенного не в машинном зале, а на его крыше. Обычно кран, используемый для монтажа гидроагрегатов, размещают непосредственно в машинном зале, но это приводит к необходимости увеличения высоты зала, что в свою очередь отражается на его стоимости. Вынос крана за пределы машинного зала, на его крышу, позволяет добиться за-

метной экономии. При этом монтаж агрегатов производится через специальные люки на крыше. Такое конструктивное решение впоследствии применялось в проектах еще нескольких ГЭС, но оказалось не очень практичным вследствие незащищенности крана от погодных условий, и в современных проектах используется редко.

Параллельно с сооружением гидроэлектростанции шло активное строительство жилья и объектов инфраструктуры в новом городе Заволжье. Строительство Горьковской ГЭС велось преимущественно вольнонаемным персоналом, труд заключенных применялся только на начальных этапах.

Конструктивно Горьковская ГЭС — типичная русловая станция с грунтовыми намывными плотинами рекордной длины — более 18 км. Особенностью строительства стали впервые примененные крупномасштабные мероприятия по уменьшению зоны затопления — специальной дамбой была обвалована плодородная Костромская низина.

В 1949 году было вновь начато возведение Куйбышевской (Жигулевской) ГЭС. Проект 1930-х годов был серьезно переработан — было решено отказаться от строительства ГЭС и шлюзов на Переволоке и сконцентрировать все сооружения в русле Волги в новом створе с более благоприятными геологическими условиями.



*Перекрытие Волги на строительстве
Куйбышевской ГЭС*



Намыв плотины

На строительстве Куйбышевской ГЭС широко использовался труд заключенных, в том числе и после смерти Сталина в 1953 году и начавшегося постепенного демонтажа системы ГУЛАГа. Она стала последней гидроэлектростанцией СССР, построенной с использованием подневольного труда. Численность заключенных специально созданного Кунеевского лагеря на пике строительства в 1953-54 годах превышала 40 тысяч человек.

Строительство Куйбышевской ГЭС велось очень быстрыми темпами. Его можно разделить на 3 этапа:

- подготовительный — 1949-53 гг.;
- основной — 1953-57 гг.;
- завершающий — 1957-58 гг.

В первый год строительства возводилась необходимая инфраструктура — дороги, жилье, линии электропередач. С начала 1951 года были развернуты работы непосредственно по строительству сооружений ГЭС — была начата отсыпка правобережных и левобережных перемычек и выемка грунта из котлованов здания ГЭС и шлюзов.



*Панорама строительства
Куйбышевской ГЭС*



*Монтаж рабочего колеса турбины
Куйбышевской ГЭС*

Летом 1953 года были начаты работы по бетонированию основных сооружений, их пик пришелся на 1955 год. 30 октября 1955 года было произведено перекрытие Волги, на что потребовалось 19 часов и 35 минут. Воды реки теперь шли через донные водосбросы здания ГЭС. Через две недели началось наполнение Куйбышевского водохранилища — крупнейшего на тот момент в мире. Одновременно намывалась земляная плотина. 29 декабря 1955 года первый агрегат Куйбышевской ГЭС был включен в сеть.

В 1957 году основные строительные работы были завершены, уровень водохранилища достиг проектной отметки. 14 октября 1957 года ГЭС достигла проектной мощности — 2100 МВт (позднее за счет доработки генераторов мощность станции возросла до 2300 МВт). Церемония торжественного пуска ГЭС состоялась 10 августа 1958 года с участием руководителей КПСС и советского правительства во главе с Н.С. Хрущевым.

По конструкции Куйбышевская ГЭС, как и другие станции на Волге, является русловой — здание ГЭС входит в состав напорного фронта. Отличием этой гидроэлектростанции от ранее построенных являются

в первую очередь ее масштабы. Так, водосбросная плотина ГЭС имеет длину около километра при высоте 40 м, длина здания ГЭС — 700 метров. При сооружении станции были выполнены колоссальные объемы работ — так, было вынута 84 миллиона кубометров грунта, уложено — еще 78 миллионов кубометров. На возведение сооружений потребовалось 7 миллионов кубометров бетона, было смонтировано 123 тысячи тонн металлоконструкций и механизмов. Общая стоимость строительства в ценах 1955 года составила 55 миллиардов рублей.

Масштабы сооружения потребовали применения новых технических решений. Так, впервые здание ГЭС было совмещено с донными водосбросами, что позволило уменьшить и так очень значительную длину водосбросной плотины, и соответственно сэкономить значительные средства. К слову, общая пропускная способность Жигулевской ГЭС составляет 85 000 кубометров в секунду, что и по сей день является непревзойденным для нашей страны показателем.



Здание Куйбышевской ГЭС

В здании ГЭС смонтированы 20 гидроагрегатов мощностью по 115 МВт с поворотно-лопастными турбинами — крупнейшими на тот момент турбинами данного типа в мире. Еще одна интересная конструктивная особенность — сороудерживающие решетки (предназначенные для защиты турбин от попадания в них плавающего мусора) были вынесены в отдельное здание в 33 метрах от здания ГЭС. Уникальна и земляная плотина — впервые столь масштабное сооружение (максимальной высотой 50 м и длиной 2800 м) было просто намыто из песка.

Сооружения ГЭС создали крупнейшее в Европе Куйбышевское водохранилище площадью 6450 квадратных километров и полным объемом 58 кубических километров — основное регулирующее водохранилище на Волге.

Параллельно с 1950 года велось строительство Сталинградской (ныне Волжской) ГЭС — крупнейшей на тот момент гидроэлектростанции в СССР, а в настоящее время — самой большой в Европе. При ее возведении также изначально ориентировались на труд заключенных Ахтубинского лагеря, но фактически подневольный труд использовался только на этапе подготовительных работ.

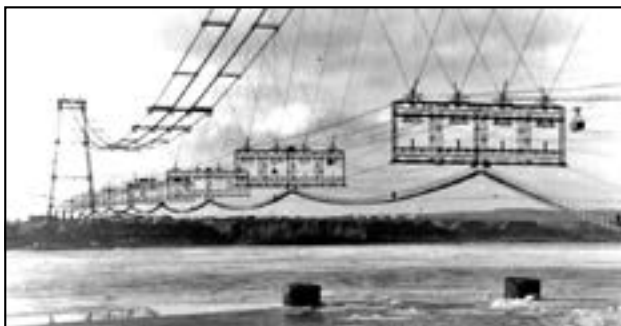
В 1953 году, после смерти Сталина, Ахтубинский лагерь был ликвидирован и строительство ГЭС велось исключительно вольнонаемным персоналом.



Работа земснаряда



Взрыв перемычки котлована



*Канатная дорога на строительстве
Сталинградской ГЭС*



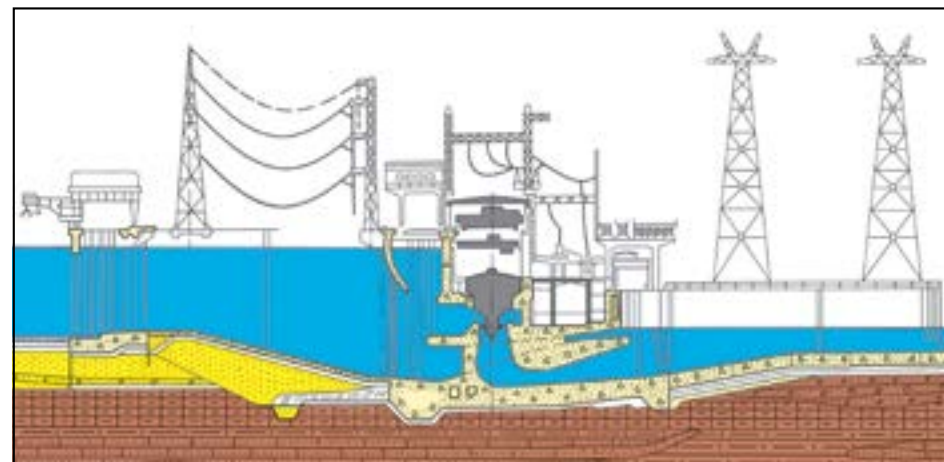
*Стройплощадка
Сталинградской ГЭС*

Подготовительные работы заняли три года. За это время к месту строительства были подведены железнодорожные пути, возведено жилье для строителей, создана производственная база. Были проведены масштабные работы по разминированию территории — в годы войны вблизи будущей стройплощадки шли тяжелые бои. Особую сложность составляло сообщение основной базы строительства с противоположным берегом Волги — ближайшие мосты находились в Саратове и Астрахани. В связи с этим для перевозки людей и грузов широко использовался водный транспорт, а в 1955 году была введена в строй уникальная подвесная канатная дорога через Волгу длиной более 4 км, по которой не только перемещались вагонетки с щебнем и бетоном, но и проходили люди.

При строительстве чрезвычайно широко использовалась гидромеханизация — при помощи земснаряда были намыты пе-

ремычки котлована и земляная плотина, а также созданы подходные каналы к шлюзам и новое русло крупнейшего рукава Волжской дельты — Ахтубы.

Работы по возведению перемычек котлована начались в 1953 году, а на следующий год котлован был осушен. Сразу после этого начались бетонные работы. Первый гидроагрегат Волжской ГЭС был пущен в 1958 году, последний (22-й по счету) — в 1961 году, после чего станция мощностью 2563 МВт и среднегодовой выработкой 11,1 млрд кВт·ч была принята в постоянную эксплуатацию.



Разрез по зданию Волжской ГЭС

При строительстве Волжского гидроузла выполнено 145 миллионов кубометров земляных работ, уложено 5,5 миллиона кубометров бетона и железобетона, более 4 миллионов кубометров дренажей, фильтров и каменных набросок, смонтировано 87 тысяч тонн технологических металлоконструкций, оборудования и механизмов. В период интенсивного строительства на строительстве ГЭС работало около 40 тысяч человек и 19 тысяч различных машин и механизмов. При этом уровень комплексной механизации земляных, бетонных и монтажных работ составил 97-100 процентов.

Вклад Волжской ГЭС в развитие отечественной гидроэнергетики огромен. В ходе строительства впервые в нашей стране разработаны и применялись на стройке вибрационные машины — катки, погрузатели, молоты, а также крупноблочные и крупнопанельные керамзитобетонные конструкции, гидровибробурение скважин и многие иные механизмы и технологии. Были созданы крупнейшие в стране гидротурбины, одна из которых (станционный №1)

была к тому же и опытной. На этом гидроагрегате испытывались многие передовые конструктивные решения, в частности было впервые опробовано водяное охлаждение обмотки статора генератора, позднее внедренное на Красноярской ГЭС.



Машинный зал Волжской ГЭС

Проектируя Волжскую ГЭС, специалисты института «Гидропроект» старались максимально унифицировать ее с Жигулевской ГЭС, что позволило сэкономить значительные средства — так, обе станции используют идентичные гидроагрегаты. В то же время, имеется и ряд отличий, причем одно из основных связано с решением проблемы пропуска через плотину ГЭС рыбы.

Волга, как место нереста осетровых рыб, имеет очень большое рыбохозяйственное значение. Для пропуска осетровых был построен специальный рыбоподъемник, работающий по принципу шлюза, имеющий собственный гидроагрегат. При этом была реализована сложная система заманивания рыбы в рыбоподъемник, работающий по гидравлическому принципу — рыба заходила в шахту подъемника, следуя за потоками воды.

Еще одно отличие — отдельно построенная в районе судоходных шлюзов небольшая межшлюзовая ГЭС мощностью 22 МВт.

Строительство ГЭС на Волге имело большое значение для экономики страны. Страна получила большие объемы дешевой электроэнергии, которая снабжала промышленные районы — Центр, Поволжье, Урал и Донбасс. Возведенные для выдачи электроэнергии ГЭС линии высокого напряжения положили начало созданию единой энергосистемы страны. Маневренные возможности гидроэлектростанций (ГЭС, в отличие от тепловых станций, способны быстро изменять нагрузку, подстраиваясь под потребности энергосистемы) позволили оптимизировать загрузку тепловых станций и повысить надежность энергоснабжения.

Был создан глубоководный путь по Волге с гарантированной глубиной 4 м, что позволило использовать крупнотоннажные суда и резко увеличить объемы перевозок. Так, грузооборот увеличился с 22 млн тонн в 1948 году до 300 млн тонн в 1990 году, т.е. в 14 раз.

По плотинам ГЭС были проложены автомобильные и железнодорожные переходы, что имело огромное значение — к концу 1940-х го-

дов на Волге ниже Горького (Нижнего Новгорода) вплоть до ее устья имелось всего 4 моста, причем все исключительно железнодорожные.

Было обеспечено надежное водоснабжение огромного промышленного региона — Поволжья, орошение засушливых земель, а также защита больших массивов густонаселенных территорий от наводнений.

Обратной стороной стало затопление значительных массивов земель и переселение большого количества людей. При создании Горьковского водохранилища было переселено 36 тысяч человек, Куйбышевского — 134 тысячи, Волгоградского — 55 тысяч. Полностью или частично были перенесены на новое место почти 700 населенных пунктов, в том числе три небольших города. С другой стороны, строительство ГЭС способствовало возведению новых городов и развитию уже существовавших. Так, при строительстве Волжской ГЭС в чистом поле был построен город Волжский, в котором сейчас живет более 300 тысяч человек. Маленький городок Ставрополь-на-Волге, перенесенный при строительстве Куйбышевской ГЭС, стал городом Тольятти с населением более 700 тысяч человек. При переселении создавалась новая инфраструктура — дороги, линии электропередачи, клубы, больницы, что в конечном итоге повышало качество жизни людей.

Еще одна проблема была связана с перекрытием плотиной путей нереста осетровых. Она хорошо осознавалась проектировщиками ГЭС, запланировавших рыбоход на Волжской ГЭС, о котором писалось выше. Но основным мероприятием стало строительство ниже Волжской ГЭС рыбообразовных заводов. Эти меры позволили полностью компенсировать нанесенный гидростроительством ущерб осетровым рыбам. Их уловы после строительства гидроэлектростанций не только не упали, но даже росли вплоть до конца 1980-х годов, когда усилившееся загрязнение реки и особенно принявшее огромные масштабы браконьерство подорвали поголовье осетровых.

Помимо перечисленных станций, в Приволжье в 1950-х годах были построены Павловская ГЭС мощностью на реке Уфе в Башкирии и Ириклинская ГЭС мощностью 30 МВт на реке Урал в Оренбургской области. Обе станции руслового типа, интересны совмещением водосбросной плотины и здания ГЭС. Ириклинская ГЭС



Павловская ГЭС

была построена с высокой для своего времени каменно-набросной плотиной высотой 43 м, в качестве противофильтрационного элемента впервые использовался суглинистый экран.

Еще одной крупной гидроэнергетической стройкой 1950-х стало строительство Цимлянской ГЭС на реке Дон. Впрочем, энергетическое использование этого объекта изначально рассматривалось как вторичное — в первую очередь, Цимлянский гидроузел должен был обеспечить судоходство и орошение засушливых земель. Строился он в рамках проекта Волго-Донского судоходного канала, являясь его нижней ступенью. Кроме того, его водохранилище позволило повысить расходы в нижнем течении Дона в летнюю ме-

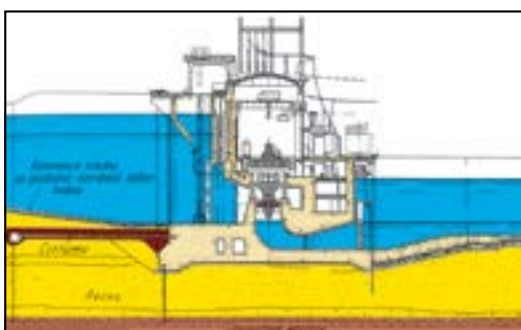


Цимлянская ГЭС

жень, что значительно улучшило условия судоходства на реке.

Большое значение Цимлянское водохранилище имеет и для орошения засушливых земель — от него берет начало крупный Донской магистральный канал. Также, водохранилище имеет значительное рыбопромысловое значение, а для прохода ценных рыб на Цимлянской ГЭС, как и на Волжской, был построен рыбоподъемник.

Решение о его строительстве было принято еще в 1948 году, по традиции тех времен основной объем работ был возложен на заключенных и военнопленных. Строительство велось ударными темпами — первый гидроагрегат пустили уже в 1952 году, всего через 2,5 года после начала работ! При этом Цимлянский гидроузел пред-



Разрез по зданию Цимлянской ГЭС

ставляет собой весьма солидное сооружение — так, ее земляная плотина, намытая из песка, имеет длину почти 13 км при максимальной высоте 32 м. Особенностью этой станции мощностью 204 МВт является то, что впервые в отечественной практике ГЭС была возведена на мелкозернистых песках.

Глава IX

Гидроэнергетики идут в Сибирь

В 1950-х годах гидроэнергетика начала осваивать Сибирь, где были возведены Иркутская и Новосибирская ГЭС.

В 1947 году на конференции по развитию производительных сил Иркутской области была представлена схема освоения Ангары каскадом из 6 ГЭС: Иркутской, Суховской, Тельминской, Братской, Усть-Илимской и Богучанской. В 1948 году трест «Гидроэнергопроект» начал проектно-изыскательские работы по Иркутской ГЭС, к концу 1949 года проект станции был разработан и утвержден. В ходе проектирования конструкция станции претерпела существенные изменения — так, проектным заданием предусматривалось возведение отдельной водосбросной плотины, строительство судоходных шлюзов и однопутной железной дороги по гребню плотины. В окончательном проекте было принято решение разместить водосбросы в здании ГЭС (что давало 30% -ю экономию по бетонным работам), а строительство шлюзов и железной дороги отложить на перспективу (в итоге, они так и не были построены, хотя для шлюзов была сохранена незастроенная полоса земли шириной 200—250 м). Еще одним изменением стало увеличение ширины гребня земляных плотин с 16 до 60 м, что, согласно расчетам, обеспечивало их неразрушаемость при прямом попадании фугасной авиабомбы весом 10 тонн.

При проектировании каскада гидростанций на Ангаре инженеры Гидроэнергопроекта предлагали направленным взрывом создать проран в истоке Ангары, так как объем ее стока и горизонт сработки водохранилища ограничиваются уровнем дна реки в створе Шаман-камня. Это ограничение влияет на пропускную способность истока и, следовательно, на расход воды Иркутской ГЭС, особенно в маловодные годы. Создание прорана глубиной 25 м позволило бы за 4 года направить в Ангару около 120 км воды и выработать дополнительно 36 млрд кВт·ч электроэнергии. При этом увеличил-

ся бы полезный объем водохранилища, позволив расширить возможности по многолетнему регулированию стока. В то же время, в последующие годы предполагалось восстановить исходный уровень Байкала, сократив расход воды через ГЭС. С учетом ввода новых электростанций Ангарского каскада, это привело бы к потерям в выработке электроэнергии, превышающим первоначальный выигрыш. Помимо этого, понижение уровня воды причинило бы существенный ущерб экологии, сельскому хозяйству, рыбному промыслу. По причине указанных недостатков, а также протестов общественности данный проект остался нереализованным.



Иркутская ГЭС

21 января 1950 года было подписано постановление Совета министров СССР о мероприятиях по подготовке к строительству новых электростанций, санкционирующее начало строительных работ по Иркутской ГЭС. Для возведения электростанции в Главгидроэнергострое Министерства электростанций СССР было организовано строительско-монтажное управление «Ангаргэсстрой», его начальником был назначен А.Е. Бочкин — выдающийся гидроэнергетик, впоследствии руководивший строительством Красноярской ГЭС. Строительные работы подготовительного этапа были начаты в марте 1950 года, в мае 1951 года развернулись земляные работы на основных сооружениях станции.



Машинный зал Иркутской ГЭС в 1960-х годах. Фото Алексея Бушкина

В ходе подготовительного этапа, продолжавшегося до 1954 года, была создана инфраструктура строительства (жилье, строительные базы, подъездные дороги). В мае 1952 года к строительной площадке была подведена ЛЭП 220 кВ — первая линия столь высокого напряжения в Восточной Сибири. Сложная ситуация сложилась в январе 1953 года — в результате образования

ледяных заторов возникла угроза затопления котлована строящейся станции, в течение нескольких дней строители в авральном по-

рядке откачивали воду из котлована и наращивали высоту перемычек, что позволило стабилизировать ситуацию.

Строительство станции велось в сложных условиях — зимой температура воздуха снижалась до -47°C , кроме того, работы периодически приходилось останавливать из-за сильных туманов, образующихся над незамерзающей рекой. Первый бетон в сооружения Иркутской ГЭС был уложен в 1954 году. Первый гидроагрегат Иркутской ГЭС был пущен 28 декабря 1956 года, а в 1959 году государственная комиссия приняла Иркутскую гидроэлектростанцию в постоянную эксплуатацию, на чем ее строительство было официально завершено.

Мощность Иркутской ГЭС — 662 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 4,1 млрд кВт·ч. Конструктивно это вполне типичная русловая гидроэлектростанция, особенностью которой является отсутствие водосбросной плотины — сток Ангары естественным образом зарегулирован Байкалом, что позволило уменьшить пропускную способность гидроузла и разместить донные водосбросы в пределах здания ГЭС.



Шаман-камень в истоке Ангары

В качестве водохранилища Иркутская ГЭС использует озеро Байкал, уровень которого был поднят на 1 м. По площади Иркутское водохранилище является крупнейшим в мире. Дешевая электроэнергия ГЭС дала толчок к развитию промышленности региона, в том числе энергоемких производств, таких как Иркутский алюминиевый завод. Как и многие другие ГЭС, станция используется как переход через реку — по сооружениям ГЭС проложена четырехполосная автомобильная дорога.

Первая схема гидроэнергетического использования Оби была создана в 1933-34 годах по заданию Госплана СССР институтом «Ленгипроводхоз». Особое внимание было уделено участку реки между Барнаулом и Новосибирском, причем помимо энергетического эффекта большое внимание уделялось изучению возможности организации самотечного орошения Кулундинской степи. На данном участке рассматривались две проектные схемы — двухступенчатая и одноступенчатая; в первом варианте предлагалось строительство двух ГЭС — Каменской (600 МВт) и Новосибирской (440 МВт), во втором — одной Новосибирской ГЭС с напором,

близким к суммарному напору двух ступеней в конкурирующем варианте. В 1937 году была выбрана одноступенчатая схема, на чем дальнейшие проектные проработки были приостановлены.

В годы Великой Отечественной войны в Новосибирскую область, в первую очередь непосредственно в Новосибирск, было эвакуировано значительное количество промышленных предприятий и населения. Резко возросший промышленный потенциал региона вызвал острый дефицит электроэнергии, что потребовало срочных мер по созданию новых генерирующих мощностей. В этой ситуации было принято решение о возобновлении проектных работ по мощной гидроэлектростанции на Оби в районе Новосибирска. 20 марта 1945 года Министерство электростанций СССР выдало техническое задание Ленинградскому отделению Всесоюзного треста Гидроэнергопроект на составление проектного задания Новосибирской ГЭС. При этом было рекомендовано вернуться к двухступенчатой схеме использования гидропотенциала Оби на участке Барнаул — Новосибирск. Нижняя ступень, Новосибирская ГЭС, изначально рассматривалась как чисто энергетический объект, а все вопросы орошения земель предлагалось решить на верхней ступени — Каменской ГЭС.

В мае 1945 года начались изыскательские работы по выбору створа Новосибирской ГЭС. Был изучен участок Оби протяженностью 20 км вниз по течению от села Нижние Чемы, на котором было предварительно определено 11 возможных створов. По ряду параметров привлекательным выглядел створ непосредственно в черте Новосибирска — у деревни Бугры: он позволял увеличить напор (а соответственно, и выработку электроэнергии), был сложен благоприятными для строительства твердыми породами. В то же время в этом случае в зону затопления попадали часть городской застройки, железнодорожный мост и ряд других объектов. В связи с этим 23 октября 1945 года правительственная комиссия утвердила створ в районе деревни Нижние Чемы, расположенный в 18 км выше Новосибирска.

Разработанное «Ленгидропроект» проектное задание Новосибирской ГЭС было утверждено в августе 1951 года. В дальнейшем в 1952-54 годах проектировщиками были проведены значительные по объему изыскательские работы на участке Оби от слияния Бии и Катуня до Новосибирского водохранилища. Была разработана схема гидроэнергетического использования верхней Оби, составлен технический проект первоочередной Каменской ГЭС

(мощность — 650 МВт, среднегодовая выработка — 2,3 млрд кВт·ч, объем водохранилища — 54 км³). Строительство Каменской ГЭС намечалось после завершения возведения Новосибирской ГЭС, однако осуществлено не было. В результате Новосибирская ГЭС так и осталась единственной гидроэлектростанцией на Оби.

В 1950 году руководство страны санкционировало начало работ по Новосибирской ГЭС, было организовано специализированное монтажное управление «НовосибирскГЭСстрой». В том же году были начаты подготовительные работы по строительству ГЭС, которые продолжились до 1954 года. В этот период велось строительство подъездных путей (75 км железных дорог и 60 км шоссейных), линий электропередачи (более 120 км с шестью подстанциями), подсобных предприятий, баз и складов, жилья для строителей и эксплуатационного персонала (около 90 тыс. м² в трех поселках) со всей необходимой коммунальной и социальной инфраструктурой. Особенностью строительства Новосибирской ГЭС, как и других гидроэлектростанций Сибири, был отказ от использования труда заключенных.



*Монтаж гидроагрегатов
Новосибирской ГЭС*



*Строительство плотины
Новосибирской ГЭС*

Земляные работы в котловане здания ГЭС были начаты в 1951 году, первый бетон в сооружения ГЭС был уложен в мае 1953 года. Перекрытие русла реки Оби, произведенное 5 ноября 1956 года, происходило со значительными трудностями. 25 октября была начата засыпка 150-метрового прорана, использовавшегося для обеспечения судоходства, с использованием ряжевого и понтонного мостов. Однако 27 октября в результате сложившихся тяжелых гидравлических и погодных условий ряжевый мост осел и деформировался, а понтонный был сорван и унесен потоком воды. Увеличившиеся из-за дождевых паводков до 1500 м³/с расходы воды приводили к сносу сбрасываемого в проран камня. Для

решения этой проблемы в проран сбрасывались связанные в гирлянды негабаритные камни, сборные железобетонные каркасы, забракованные железобетонные балки весом до 10 тонн, сварные металлические корзины, заполненные камнем. Общая продолжительность перекрытия составила 11 дней, оно оказалось самым сложным на тот момент в истории отечественного гидроэнергетического строительства.



Новосибирская ГЭС с верхнего бьефа



Здание Новосибирской ГЭС

Пуск первого гидроагрегата Новосибирской ГЭС был произведен 10 ноября 1957 года, и с этого момента начался заключительный этап строительства — достройки и временной эксплуатации. На момент пуска первого агрегата стен и крыши машинного зала еще не было (агрегат работал под шатром), водохранилище было наполнено до промежуточной отметки. В мае 1959 года водохранилище было впервые заполнено до проектной отметки 113,5 м, что позволило вывести ГЭС на полную мощность — 400 МВт (позднее за счет доработки гидроагрегатов она была повышена до 455 МВт).

Как и другие крупные ГЭС, Новосибирская станция изначально проектировалась как комплексный объект. Помимо выработки электроэнергии Новосибирский гидроузел используется для обеспечения водоснабжения и орошения засушливых земель, судоходства, рыбного хозяйства, рекреации, защиты от наводнений. Работа Новосибирской ГЭС играет важную роль в обеспечении надежного водоснабжения Новосибирска — городские водозаборы находятся ниже по течению, и благодаря аккумулирующей емкости водохранилища даже в экстремально маловодные годы обеспечивается необходимый для их работы расход воды в реке. Новосибирское водохранилище является источником воды для орошения засушливых земель, в частности, из него осуществляется питание Кулундинского магистрального канала протяженностью 180 км. После стро-

ительства станции существенно улучшились условия судоходства по Оби — благодаря обеспечению повышенного пропуска воды в период летне-осенней межени появилась возможность использования крупнотоннажных речных судов, а навигационный период, ранее составлявший не более 3 месяцев, увеличился почти на 4 месяца.

По сооружениям Новосибирской ГЭС проложена двухполосная автодорога, таким образом, станция создала новый переход через Обь. Наличие строительной и энергетической базы, созданной при возведении Новосибирской ГЭС, сыграло важную роль в выборе места размещения Сибирского отделения Академии наук (Новосибирский Академгородок).

Гидроэнергетическое строительство на Северо-Западе в 1950-х годах развивалось очень активно — за 10 лет в Мурманской и Ленинградской областях, а также в Карелии были пущены 10 гидроэлектростанций умеренных размеров.

На приграничной с Норвегией реке Паз в Мурманской области, помимо восстановленной ГЭС Янискоски были введены в строй еще две гидроэлектростанции — Раякоски мощностью 43 МВт в 1955 году и Кайтакоски мощностью 11 МВт в 1959 году. Обе ГЭС плотинные, руслового типа, строились по заказу СССР финской фирмой «Иматран Войма».



Нива ГЭС-1. Фото ТГК-1

В 1954 году с завершением строительства Нива ГЭС-1 было закончено возведение Нивского каскада ГЭС — гидропотенциал Нивы был использован полностью. В отличие от двух нижележащих деривационных станций, верхняя ступень каскада мощностью 26 МВт спроектирована как плотинная, с использованием в качестве водохранилища озера Имандра.

В 1951-56 годах была введена в эксплуатацию Князегубская ГЭС мощностью 152 МВт, первая гидроэлектростанция в каскаде на реке Ковде. В 1960 году был пущен первый гидроагрегат следующей ступени каскада — Иовской ГЭС мощностью 96 МВт. Станции на Ковде построены по



Князегубская ГЭС. Фото ТГК-1

плотинно-деривационному типу с регулирующими водохранилищами, и с большим количеством различных гидротехнических сооружений — плотин, дамб, деривационных каналов.



Пальеозерская ГЭС. Фото ТГК-1

Гидроэнергетика Карелии пополнилась тремя станциями. Началось строительство каскада на реке Нижний Выг — его особенностью является пристройка гидроэлектростанций к гидротехническим сооружениям Беломоро-Балтийского канала. В 1953 году была пущена Маткожненская ГЭС мощностью 63 МВт, в 1956 году — Ондская ГЭС мощностью 80 МВт. Обе станции построены по плотинно-деривационной схеме, интересной особенностью гравитационной плотины Ондской ГЭС является то, что она выгнута в нижний бьеф — причиной этого необычного решения является особенности геологического строения основания. Наконец, в 1954 году заработали агрегаты деривационной Пальеозерской ГЭС мощностью 25 МВт, которая завершила создание каскада ГЭС на реке Суне.

В Ленинградской области в 1950-56 годах на пограничной с Эстонией реке Нарве была построена Нарвская ГЭС мощностью 125 МВт. Станция использует падение реки в районе Нарвского водопада. Как правило, в таких случаях используют деривационную схему (классический пример — ГЭС на Ниагарском водопаде), но советскими энергетиками была выбрана плотинно-деривационная схема. Река была перекрыта выше водопадов плотиной, что позволило увеличить напор и создать регулирующее водохранилище. При этом здание ГЭС разместили ниже водопадов, с подводом воды к гидроагрегатам по деривационному каналу. Интересно, что проекты строительства ГЭС на нарвских водопадах рассматривались с 1889 года, сначала в Российской империи, а затем в независимой Эстонии.

В Литве в 1956 году было начато строительство Каунасской ГЭС мощностью 90 МВт на реке Неман. Ее первый гидроагрегат был пущен в 1959 году. По конструкции Каунасская ГЭС — вполне типичная русловая гидроэлектростанция с земляными плотинами, намывными из песка. Она стала первой крупной электростанцией в регионе. Планировалось строительство на Немане целого каскада гидроэлектростанций, но до ввода в эксплуатацию в 2012

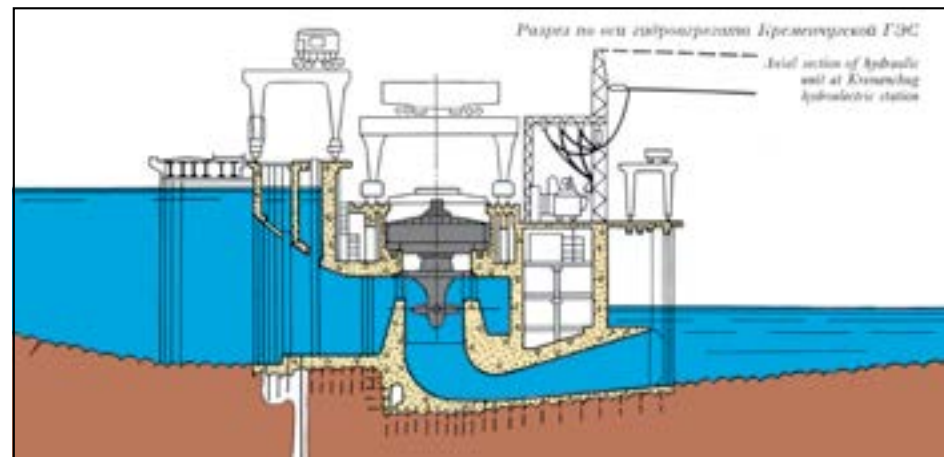
году Гродненской ГЭС гидроэлектростанция у Каунаса оставалась единственной на этой реке.

На Днестре продолжилось создание Днепроовского каскада ГЭС. В 1950 году началось строительство самой нижней его ступени — Каховской ГЭС, официально входящей в число «великих строек коммунизма». Строительство велось быстрыми темпами (в нем принимали участие около 12 тысяч человек и значительное количество техники), что позволило пустить первый гидроагрегат уже в 1956 году.



Водосбросная плотина Каховской ГЭС

Особенностью этой ГЭС являлось создание самого крупного в каскаде водохранилища (полным объемом в 18 кубических километров) при довольно умеренной мощности станции в 351 МВт. Столь значительное водохранилище понадобилось для питания многочисленных оросительных и обводнительных каналов, в первую очередь — Южно-Украинского и Северо-Крымского.



Разрез по зданию Кременчугской ГЭС

В 1954 году было начато строительство самой мощной (после Днепрогэса) гидроэлектростанции на Днестре — Кременчугской, первый гидроагрегат которой был пущен в 1959 году. Проектировщики этой ГЭС мощностью 686 МВт пошли на смелый эксперимент — отказались от машинного зала. Гидроагрегаты в здании

ГЭС накрыты специальными колпаками, которые при необходимости демонтируются козловым краном. Такое решение снижало стоимость строительства, но оказалось очень непрактичным и более не применялось. В остальном Кременчугская ГЭС (как и Каховская) мало чем отличалась от других русловых гидроэлектростанций, возводимых в тот период в СССР.

В целом, создание каскада ГЭС на Днепре решало те же задачи, что и на Волге — выработка электроэнергии, обеспечение работы речного транспорта, гарантированное водоснабжение, защиту от наводнений. На Днепровском каскаде, по сравнению с Волжским, была более явно выражена функция обеспечения орошения засушливых земель.



Теребля-Рикская ГЭС

Помимо крупных ГЭС на Днепре, в 1950-х годах на Украине была построена и одна ГЭС в Карпатских горах — Теребля-Рикская мощностью 27 МВт. Схема станции предусматривает переброску стока из одного притока реки Тисы (реки Теребли) в другой (реку Рику). При этом на Теребле была построена бетонная плотина высотой 45 метров, образующая небольшое водохранилище. Из него вода по тоннелю длиной 3,6 км перебрасывается на другую сторону горного хребта, где по напорным водоводам подается к зданию ГЭС. Использование такой плотинно-деривационной схемы позволило создать на турбинах 200-метровый напор без сооружения высотной плотины.

В 1948-55 годах первая гидроэлектростанция была построена на реке Днестр в Молдавии — ей стала Дубоссарская ГЭС мощностью 44 МВт. По конструкции она представляет собой обычную русловую ГЭС.



*Водозаборное сооружение
Сенгилеевской ГЭС*

Активно развивалось гидроэнергетика в этот период и на Кавказе. В 1953 году был пущен первый гидроагрегат Сенгилеевской ГЭС мощностью 15 МВт на Невинномысском канале (отходящем от реки Кубань), в Ставропольском крае. Станция чисто деривационная, не имеет каких-либо плотин и водохранилищ (отсутствует даже бассейн суточного регулирования).

Вода от водозаборного устройства башенного типа по деривационному трубопроводу подается к уравнивательной башне (предназначенной для предотвращения гидроударов при смене режима работы ГЭС), а от нее по напорным водоводам — на турбины ГЭС. Особенностью станции является использование турбин двух типов — поворотно-лопастных и радиально-осевых.

В том же 1953 году заработала небольшая Новотроицкая ГЭС мощностью 3,7 МВт, замыкающая станция каскада Кубанских ГЭС. Эта гидроэлектростанция работает по плотинно-деривационной схеме, используя водные ресурсы Новотроицкого водохранилища.

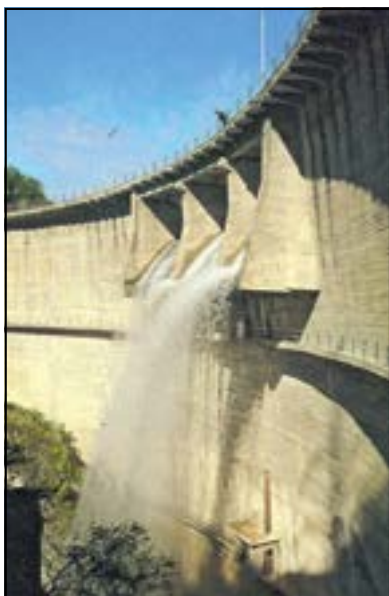


Эзминская ГЭС

В Краснодарском крае в 1950-55 годах построили деривационную Белореченскую ГЭС мощностью 48 МВт. Станция интересна выбранной схемой деривации — вода из реки Белой по длинному деривационному каналу (включающему промежуточное водохранилище) перебрасывается в реку Пшиш, около которой и возведено здание ГЭС.

В Северной Осетии в 1954 году начала работу Эзминская ГЭС мощностью 45 МВт на реке Терек — крупнейшая в регионе. Станция деривационная, 160-метровый напор на гидроагрега-

тах создается при помощи тоннеля длиной 7,8 км (до завершения строительства Зарамагской ГЭС-1 — самый протяженный гидротехнический тоннель в России). Планировалось дальнейшее развитие каскада на Тереке со строительством регулирующего водохранилища в Грузии, но эти планы осуществлены не были. Это создало трудности при эксплуатации Эзминской ГЭС, поскольку ее отстойник был спроектирован с учетом задержки наносов в регулирующем водохранилище.



Плотина Ладжанурской ГЭС

Сразу несколько очень интересных по конструкции гидроэлектростанций было построено в 1950-х годах в Грузии. В первую очередь стоит отметить Ладжанурскую ГЭС мощностью 112 МВт, первый гидроагрегат которой был пущен в 1960 году. Станция построена по плотинно-деривационной схеме и представляет собой сложный комплекс гидротехнических сооружений. Концепция ГЭС построена на переброске стока из реки Цхенисцкали (приток Риони) в реку Ладжанури (другой приток Риони).

На реке Цхенисцкали построено водозаборное сооружение, из которого вода по тоннелю длиной 5,5 км попадает в водохранилище на реке Ладжанури, образованное бетонной арочной плотиной высотой 69 м. Строительство этой плотины было заметным шагом вперед для отечественной гидротехнической школы, ведь плотина Ладжанурской ГЭС была первой арочной плотиной в СССР (не считая арочно-гравитационной плотины Гергебильской ГЭС). При этом Ладжанурская плотина отличается очень небольшой толщиной — она варьирует от 7,6 м у основания до всего 2,5 м у гребня.

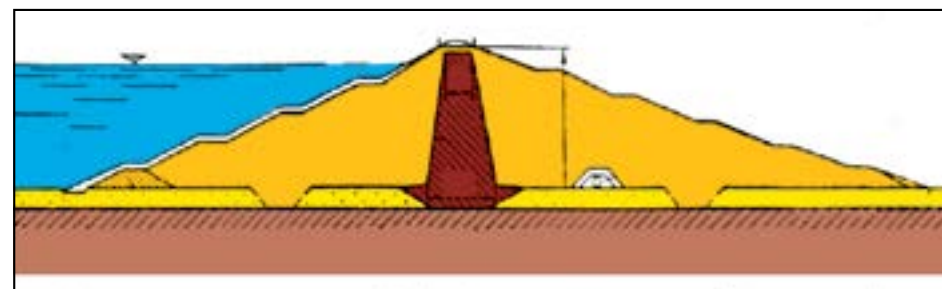
Далее вода по еще одному тоннелю длиной 2,5 км поступает на турбины машинного зала ГЭС, расположенного под землей. Такая схема позволила не только создать напор на турбинах, составляющий 131 м, но и увеличить выработку ГЭС на Риони ниже по течению, за счет увеличения водности реки в результате переброски стока. Помимо ранее построенной Рионской ГЭС, каскад на Риони в 1950-х годах пополнился двумя Гуматскими ГЭС, мощностью

44 и 23 МВт. Станции работают в составе единого комплекса, при этом ГЭС-1 представляет собой русловую ГЭС с бетонной плотиной, а ГЭС-2 — деривационную станцию, забирающую в свой канал ту воду, которая отработала на агрегатах ГЭС-1.

Очень интересен с конструктивной точки зрения Шаори-Ткибульский каскад, возведенный на притоках реки Риони. Район строительства ГЭС расположен в сильно закарстованной местности — реки, текущие в ней, периодически уходили под землю и выходили из нее в других местах. Схема каскада предусматривает переброску стока реки Шаори в реку Ткибули и далее в реку Дзеврула, со строительством двух регулирующих водохранилищ, перехватывающих сток рек, ранее пропадавших в карстовых воронках. Переброска стока производится с помощью сложной системы деривационных каналов, тоннелей и трубопроводов, при этом на турбинах ГЭС удалось создать весьма значительные напоры.

Головная Шаорская ГЭС при мощности 40 МВт имеет напор на турбинах в 478 м, один из самых больших в СССР, что привело к необходимости использования ковшовых турбин. Нижележащая Ткибульская ГЭС при напоре 310 м имеет мощность 80 МВт.

Помимо перечисленных ГЭС, в 1950-е годы в Грузии было построено еще несколько небольших гидроэлектростанций. В их число входят четыре ГЭС Самгорского каскада, возведенные на отходящем от реки Иори оросительном канале; из них наиболее интересна Сионская ГЭС, в состав сооружений которой входит грунтовая плотина высотой 85 м — наибольшее на тот момент сооружение такого типа в СССР. Для защиты от фильтрации в плотине было применено ядро из суглинка — такая конструкция впоследствии получила очень широкое распространение.



Плотина Сионской ГЭС в разрезе

На реке Куре в городской черте Тбилиси была возведена Ортачальская ГЭС мощностью 18 МВт, интересная тем, что ее ги-

дроагрегаты вмонтированы в бычки водосбросной плотины (такая конструкция более в СССР не применялась). Помимо выработки электроэнергии, важной функцией Ортачальской ГЭС является поддержание постоянного уровня воды в реке в пределах Тбилиси. Интерес представляет и деривационная Бжужская ГЭС мощностью 12 МВт, работающая на напоре 291 м — одна из немногих гидроэлектростанций в СССР, оснащенных ковшовыми турбинами.



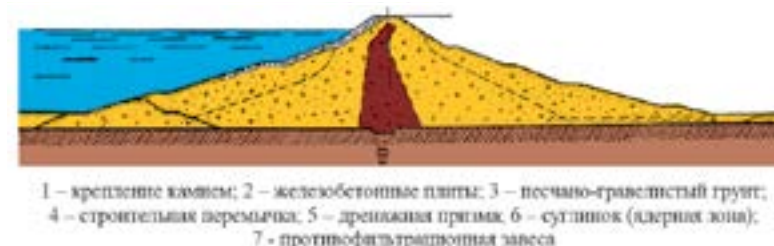
Мингечаурская ГЭС

В Армении в 1950-е годы была возведена основная часть Севан-Разданского каскада — Атарбежянская, Гюмушская, Арзнинская и Ереванская-3 ГЭС. Все станции деривационные, отвод воды производится с помощью каналов и тоннелей. Из этих станций наибольший интерес представляет самая мощная в каскаде Гюмушская ГЭС (224 МВт), имеющая деривацию общей длиной 18 км, в том числе 11 км тоннелей, а также Арзнинская ГЭС с подземным машинным залом, расположенным на глубине 100 м. Особенностью станций каскада является использование преимущественно импортных гидротурбин и генераторов (австрийских и шведских). Севан-Разданский каскад сыграл огромную роль в энергообеспечении Армении, на протяжении 30 лет являясь основным источником энергоснабжения региона.

В 1950-е годы строительства Мингечаурской и Варваринской ГЭС на реке Куре началось развитие гидроэнергетики Азербайджана. Решение о строительстве Мингечаурской ГЭС было принято еще в 1945 году, первый агрегат пустили в 1954 году. Гидроузел изначально создавался как комплексный, помимо выработки электроэнергии он обеспечивает орошение больших площадей, а также защиту от наводнений. Для этих целей было создано самое большое в Закавказье водохранилище площадью 605 квадратных километров и полным объемом 16 кубических километров.

По конструкции Мингечаурская ГЭС мощностью 359 МВт (крупнейшая на тот момент в Закавказье) представляет собой плотинную гидроэлектростанцию со зданием ГЭС, размещенным у низовой грани плотины. Вода к гидроагрегатам подводится по водоводам, расположенным под плотиной, при этом вблизи здания ГЭС созданы уравнивательные резервуары. Такое проектное ре-

шение для плотинных гидроэлектростанций не типично и более в отечественной практике гидроэнергетического строительства не применялось.



Плотина Мингечаурской ГЭС в разрезе

Уникальной является плотина Мингечаурской ГЭС — она намыта из песчано-гравелистых грунтов с противодиффузионным суглинистым ядром. Необычной является высота плотины — 80 метров, что в те годы являлось мировым рекордом для плотин такого типа.

Ниже Мингечаурской ГЭС была возведена небольшая Варваринская ГЭС мощностью 16 МВт — первая контррегулирующая гидроэлектростанция в СССР. Задачей контррегулирующей ГЭС является выравнивание неравномерных в течение суток сбросов воды с вышележащей мощной ГЭС. Дело в том, что крупные ГЭС часто используются в качестве регулирующих в энергосистеме — они способны быстро изменять свою мощность при увеличении или снижении потребности в электроэнергии. Однако, при этом происходит значительное и быстрое изменение количества воды, пропускаемой через турбины станции вниз, что вызывает колебания уровня воды ниже по течению. Для решения этой проблемы ниже крупной ГЭС строится контррегулирующая станция с небольшим водохранилищем, в котором колебания уровней сглаживаются.

В Казахстане в описываемый период было завершено строительство Усть-Каменогорской ГЭС, а также пущены первые гидроагрегаты Бухтарминской ГЭС на Иртыше. Последнюю станцию, верхнюю ступень каскада на Иртыше начали строить в 1953 году, на момент ввода в эксплуатацию это была крупнейшая ГЭС в регионе — ее мощность составляет 675 МВт. Конструктивно Бухтарминская ГЭС стоит особняком от большинства ГЭС, возводившихся в 1950-х годах, ее основу составляет гравитационная бетонная плотина высотой 80 м. Еще одной особенностью

станции стала установка экспериментальной диагональной турбины, впервые примененной в СССР.



Бухтарминская ГЭС

Помимо перечисленных станций, в Казахстане в 1950-х годах было завершено создание Алматинского каскада малых ГЭС. В последнем наибольший интерес представляет деривационная Верхне-Алматинская ГЭС мощностью 15,6 МВт, работающая на рекордном для Советского Союза напоре — 581 м. Ковшовые турбины для этой станции были заказаны в Италии. В Киргизии с постройкой четырех небольших станций было закончено строительство Аламединского каскада.

В Узбекистане с возведением Шейхантаурской и двух Нижне-Бозсуйских ГЭС закончилось возведение средней и нижней части Чирчик-Бозсуйского каскада, а также была введена в эксплуатацию Хишрауская ГЭС на отходящем от реки Зеравшан канале Даргом. В 1950 году было развернуто строительство Большого Туркменского канала, основной задачей которого было орошение водами Амударьи больших площадей земель в Узбекистане и Туркменистане. Проект канала предусматривал строительство трех ГЭС общей мощностью 100 МВт (одной на водозаборном сооружении и двух на канале). Однако после смерти Сталина в 1953 году было принято решение отказаться от возведения этого сооружения.

В 1950-х годах первая крупная гидроэлектростанция была построена в Таджикистане — ей стала Кайраккумская ГЭС мощ-

ностью 126 МВт на реке Сырдарье. Помимо выработки электроэнергии важнейшей задачей этого гидроузла стало обеспечение орошения засушливых земель, для чего было создано крупнейшее на тот момент в Средней Азии водохранилище площадью 513 квадратных километров и объемом 4,2 кубических километра. По конструкции это вполне типичная русловая гидроэлектростанция, интересная совмещением водосбросной плотины и здания ГЭС. Помимо нее, было завершено создание Варзобского каскада, а также построена первая станция Вахшского каскада — деривационная Перепадная ГЭС мощностью 30 МВт.

1950-е годы стали в СССР «золотым веком» малой гидроэнергетики. Такие станции строились с 1920-х годов, преимущественно для энергоснабжения отдельных колхозов. Как правило, они возводились с использованием местных ресурсов, с широким использованием дерева. Значительная часть оборудования также изготавливалась на месте, в мастерских и кузницах — так, широко тиражировались проекты деревянных турбин, различных турбин кустарного изготовления (в том числе с использованием автодеталей). Средняя мощность таких ГЭС была очень невысока и составляла 30-40 кВт, в паводок по причине выравнивания уровней воды в реке и водохранилищах они как правило останавливались. Из-за технического несовершенства и низкого уровня обслуживания работа этих станций была ненадежна, но тем не менее, это было лучше, чем ничего, поскольку в те времена колхозы к центральной энергосистеме подключали редко.

До 1941 года было построено около 950 малых ГЭС общей мощностью 32 МВт. В послевоенный период темп их сооружения резко возрос — так, только за 1945 год в эксплуатацию ввели 641 такую станцию общей мощностью 18 МВт. В «Законе о пятилетнем плане развития народного хозяйства на 1946-1950 гг.» намечалось «обеспечить массовое строительство в сельской местности небольших ГЭС». В итоге в 1952 году в СССР насчитывалось 6614 малых ГЭС общей мощностью 322 МВт, которые вырабатывали 24% потребляемой сельским хозяйством электроэнергии.

Появилась тенденция к увеличению мощности малых ГЭС, строительству межколхозных электростанций, входящих в местные энергосистемы. В 1951-53 годах было построено 111 сельских ГЭС общего пользования средней мощностью 440 кВт и 116 межколхозных ГЭС средней мощностью 300 кВт. Чаще всего малые ГЭС строились по плотинной схеме, более простой и дешевой при возведении станций на равнинных реках. В гор-

ных регионах применялась и деривационная схема. Специально созданным институтом «Гипросельэлектро» были разработаны типовые проекты малых ГЭС, промышленность наладила производство для них оборудования.



Типичная малая ГЭС 1950-х —
Курушская в Дагестане

Казалось бы, малую гидроэнергетику в СССР ожидало блестящее будущее. В реальности с середины 1950-х годов количество малых ГЭС начало сокращаться, причем довольно быстрыми темпами. Общая мощность малых ГЭС, за счет продолжающегося строительства более крупных межколхозных станций некоторое время продолжала расти, но с 1960 года снижение началось и здесь. В итоге к 1970 году в стране оста-

лось лишь 360 малых ГЭС, а к 1980 году — всего 70 таких станций, и их количество продолжало сокращаться.

Причиной упадка малых ГЭС стало развитие в сельской местности централизованного энергоснабжения. Старт этому процессу был дан в 1954 году, когда для колхозов были отменены ограничения к подключению к энергосистеме. Малые ГЭС, требующие вследствие своего технического несовершенства существенных затрат на эксплуатацию и обслуживание, по сравнению с дешевой сетевой электроэнергией оказались экономически неэффективны. Многие из них, построенные кустарным способом из подручных материалов, изначально имели небольшой срок службы и быстро вышли из строя, а их восстановление в новых условиях оказалось нецелесообразным.

Подводя итоги гидроэнергетического строительства 1950-х годов, можно сказать, что отечественная гидроэнергетика в этот период совершила качественный скачок вперед. Было освоено строительство гидроэлектростанций практически всех типов и размеров. В короткие сроки были построены такие масштабные, уникальные сооружения, как Волжская и Жигулевская ГЭС. Строительство большого ГЭС было развернуто по всей стране, одновременно возводились десятки довольно крупных станций.

Гидроэлектростанции строились вблизи центров энергопо-

требления, при этом ставилась задача максимизации выработки электроэнергии, даже путем увеличения площади затопления. Острый дефицит электроэнергии в условиях поставленной задачи по форсированному развитию промышленности (что рассматривалось как необходимое условие выживания страны в начавшейся «холодной войне») вынуждал искать наиболее эффективные с энергетической точки зрения решения. Одновременно, все проекты крупных ГЭС имели комплексное значение — их водохранилища решали задачи обеспечения работы водного транспорта, надежного водоснабжения, орошения засушливых земель, защиты от наводнений. Эти задачи во многих случаях были не менее важными, чем производство электроэнергии.

Конструктивно типичная гидроэлектростанция 1950-х годов — это русловая ГЭС на равнинной реке с земляной (чаще всего намывной) плотиной и поворотно-лопастными турбинами. Опыт возведения таких станций, полученный в 1930-е годы, был развит и широко тиражирован. Советские гидроэнергетики научились возводить ГЭС такого типа практически на любых грунтах. Была отработана технология быстрого возведения протяженных и высотных (до 80 метров) земляных плотин путем намыва. Промышленность разработала и запустила в серийное производство крупнейшие в мире поворотно-лопастные гидротурбины для таких станций.

Одновременно было хорошо отработано строительство деривационных электростанций самых разнообразных конструкций во всех климатических зонах (от Заполярья до Средней Азии), и в различных условиях рельефа — от равнин до высокогорья. Освоена технология строительства протяженных деривационных тоннелей и каналов, а также строительство ГЭС под сверхвысокие напоры (более 500 метров). В этот период деривационные ГЭС в СССР достигли пика своего развития, в дальнейшем темп их возведения резко снизился. Пущенная в 1953 году Гюмушская ГЭС мощностью 224 МВт так и осталась самой крупной чисто деривационной гидроэлектростанцией СССР.

В 1950-е годы отечественная гидроэнергетика начала выходить и во внешний мир — советские специалисты работали над проектами ГЭС в Китае, Северной Корее и Албании. Впрочем, вскоре в результате изменения политической ситуации эти страны стали ориентироваться на собственные силы, и сотрудничество с ними прекратилось.

Гидроэлектростанции, построенные в 1951-1960 годах

| Название ГЭС | Мощность, МВт | Регион | Река | Год начала строительства | Год пуска первого агрегата | Тип ГЭС | Напор, м | Тип турбин |
|----------------|---------------|-----------------------|------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|----------|----------------------|
| Рябокоски | 43 | Мурманская область | Паз | 1952 | 1955 | Плотинная | 21 | Поворотные лопастные |
| Кайтакоски | 11 | Мурманская область | Паз | 1957 | 1959 | Плотинная | 7 | Поворотные лопастные |
| Нива-1 | 26 | Мурманская область | Нива | 1950 | 1952 | Плотинно-деривационная | 12 | Поворотные лопастные |
| Княжегубская | 152 | Мурманская область | Ковда | 1951 | 1955 | Плотинно-деривационная | 34 | Радиально-осевые |
| Иовская | 96 | Мурманская область | Ковда | 1957 | 1960 | Плотинно-деривационная | 32 | Поворотные лопастные |
| Ондская | 80 | Карелия | Онда | 1950 | 1956 | Плотинно-деривационная | 26 | Поворотные лопастные |
| Маткожненская | 63 | Карелия | Нижний Выг | 1949 | 1953 | Плотинно-деривационная | 21 | Поворотные лопастные |
| Пальеозерская | 25 | Карелия | Суна | 1950 | 1954 | Плотинно-деривационная | 28 | Радиально-осевые |
| Верхнесвирская | 160 | Ленинградская область | Свирь | 1938 | 1951 | Плотинная | 14 | Поворотные лопастные |
| Нарвская | 125 | Ленинградская область | Нарва | 1950 | 1956 | Плотинно-деривационная | 24 | Поворотные лопастные |
| Каунасская | 90 | Литва | Неман | 1956 | 1959 | Плотинная | 20 | Поворотные лопастные |
| Камская | 504 | Пермский край | Кама | 1949 | 1954 | Плотинная | 15 | Поворотные лопастные |
| Верхогурская | 7 | Свердловская область | Тура | 1942 | 1949 | Плотинная | 15 | ? |
| Нижегородская | 520 | Нижегородская область | Волга | 1948 | 1955 | Плотинная | 14 | Поворотные лопастные |
| Жигулевская | 2300 | Самарская область | Волга | 1949 | 1955 | Плотинная | 20 | Поворотные лопастные |
| Волжская | 2563 | Волгоградская область | Волга | 1951 | 1958 | Плотинная | 20 | Поворотные лопастные |
| Павловская | 166 | Башкирия | Уфа | 1950 | 1959 | Плотинная | 22 | Поворотные лопастные |
| Ириклинская | 30 | Оренбургская область | Урал | 1947 | 1958 | Плотинная | 31 | Радиально-осевые |
| Цимлянская | 204 | Ростовская область | Дон | 1949 | 1952 | Плотинная | 18 | Поворотные лопастные |
| Каховская | 351 | Украина | Днепр | 1951 | 1955 | Плотинная | 15 | Поворотные лопастные |

| | | | | | | | | |
|-----------------|-----|-----------------------|-------------------------------|------|------|------------------------|-----|--|
| Кременчугская | 686 | Украина | Днепр | 1954 | 1960 | Плотинная | 14 | Поворотные лопастные |
| Теребля-Рикская | 27 | Украина | Теребля | 1950 | 1956 | Плотинно-деривационная | 200 | Радиально-осевые |
| Дубоссарская | 44 | Молдавия | Днестр | 1948 | 1954 | Плотинная | 13 | Поворотные лопастные |
| Новотроицкая | 4 | Ставропольский край | Кубань (Большой Егорлык) | 1950 | 1953 | Плотинно-деривационная | 22 | Радиально-осевые |
| Сенгилеевская | 15 | Ставропольский край | Кубань (Невинномысский канал) | 1949 | 1953 | Деривационная | 44 | Поворотные лопастные, радиально-осевые |
| Белореченская | 48 | Краснодарский край | Белая | 1950 | 1954 | Деривационная | 48 | Радиально-осевые |
| Эзминская | 45 | Северная Осетия | Терек | 1949 | 1954 | Деривационная | 160 | Радиально-осевые |
| Ладжанурская | 112 | Грузия | Цхентскали, Ладжанури | ? | 1960 | Плотинно-деривационная | 60 | Радиально-осевые |
| Гуматская-1 | 44 | Грузия | Риони | ? | 1958 | Плотинная | 25 | Поворотные лопастные |
| Гуматская-2 | 23 | Грузия | Риони | ? | 1956 | Деривационная | 13 | Поворотные лопастные |
| Шаорская | 40 | Грузия | Шаори | ? | 1955 | Плотинно-деривационная | 478 | Ковшовые |
| Ткибульская | 80 | Грузия | Шаори, Ткибули | ? | 1956 | Плотинно-деривационная | 310 | Радиально-осевые |
| Бжужская | 12 | Грузия | Бжужа | ? | 1956 | Деривационная | 291 | Ковшовые |
| Ортачалская | 18 | Грузия | Кура | 1951 | 1952 | Плотинная | 11 | Поворотные лопастные |
| Слонская | 9 | Грузия | Иори | ? | 1952 | Плотинная | 48 | Радиально-осевые |
| Сацхненская | 14 | Грузия | Иори | ? | 1952 | Деривационная | 128 | Радиально-осевые |
| Мартобская | 4 | Грузия | Иори | ? | 1952 | Деривационная | 35 | Радиально-осевые |
| Тетрихевская | 14 | Грузия | Иори | ? | 1952 | Деривационная | 110 | Радиально-осевые |
| Атарбейнская | 82 | Армения | Раздан | ? | 1959 | Деривационная | 137 | Радиально-осевые |
| Гюмушская | 224 | Армения | Раздан | ? | 1953 | Деривационная | 285 | Радиально-осевые |
| Арвинская | 71 | Армения | Раздан | ? | 1956 | Деривационная | 118 | Радиально-осевые |
| Ереванская-3 | 5 | Армения | Раздан | ? | 1955 | Деривационная | 37 | Радиально-осевые |
| Мингечаурская | 359 | Азербайджан | Кура | 1945 | 1954 | Плотинная | 52 | Радиально-осевые |
| Варваринская | 17 | Азербайджан | Кура | ? | 1957 | Плотинная | ? | Поворотные лопастные |
| Новосибирская | 455 | Новосибирская область | Обь | 1950 | 1957 | Плотинная | 17 | Поворотные лопастные |
| Иркутская | 662 | Иркутская область | Ангара | 1950 | 1956 | Плотинная | 26 | Поворотные лопастные |

| Название ГЭС | Мощность, МВт | Регион | Река | Год начала строительства | Год пуска первого агрегата | Тип ГЭС | Напор, м | Тип турбин |
|---------------------|---------------|-------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|---------------|----------|--------------------------------|
| Усть-Каменогорская | 332 | Казахстан | Иргыш | 1939 | 1952 | Плотинная | 40 | Радиально-осевые |
| Бухтарминская | 675 | Казахстан | Иргыш | 1953 | 1960 | Плотинная | 61 | Радиально-осевые, диагональная |
| Караяльская | 10 | Казахстан | Караягал | 1950 | 1953 | Деривационная | 46 | Радиально-осевые |
| Верхне-Алматинская | 16 | Казахстан | Большая Алматинка | ? | 1953 | Деривационная | 581 | Ковшовые |
| Алматинская-2 | 14 | Казахстан | Большая Алматинка | ? | 1959 | Деривационная | 516 | Ковшовые |
| Алматинская-8а | 1 | Казахстан | Большая Алматинка | ? | 1954 | Деривационная | 25 | Радиально-осевые |
| Талгарская | 3 | Казахстан | Талгар | ? | 1960 | Деривационная | ? | Радиально-осевые |
| Аламединская-3 и -4 | 2x2 | Киргизия | Чу | ? | 1951-1952 | Деривационная | 12 | Радиально-осевые |
| Аламединская-5 и -6 | 2x6 | Киргизия | Чу | ? | 1957-1958 | Деривационная | 15 | Радиально-осевые |
| Быстровская | 9 | Киргизия | Чу | 1952 | 1954 | Деривационная | 26 | Радиально-осевые |
| Шейхантаурская | 4 | Узбекистан | Чирчик | 1951 | 1953 | Плотинная | 9 | ? |
| Нижне-Бозуйская 4 | 18 | Узбекистан | Чирчик | 1948 | 1954 | Деривационная | 37 | ? |
| Нижне-Бозуйская 6 | 4 | Узбекистан | Чирчик | 1950 | 1954 | Деривационная | 12 | ? |
| Хишраурская | 22 | Узбекистан | Зеравшан | 1951 | 1956 | Деривационная | ? | ? |
| Иртышарская | 6 | Узбекистан | Зеравшан | 1960 | 1960 | Деривационная | ? | ? |
| Шахриханская-6А | 8 | Узбекистан | Южно-Ферганский канал | 1949 | 1953 | Деривационная | ? | ? |
| Кайракумская | 126 | Таджикистан | Сырдарья | 1954 | 1956 | Плотинная | 15 | Поворотные лопастные |
| Перепанная | 30 | Таджикистан | Вахш | ? | 1959 | Деривационная | 45 | Радиально-осевые |
| Варзобская-2 | 14 | Таджикистан | Варзоб | 1943 | 1949 | Деривационная | 76 | Радиально-осевые |
| Варзобская-3 | 4 | Таджикистан | Варзоб | ? | 1952 | Деривационная | 21 | ? |

Глава X

Экономика должна быть экономной

К концу 1950-х годов отношение руководства страны к гидроэнергетике стало претерпевать определенные изменения. Н.С. Хрущев провозгласил ускоренный переход к коммунизму — его планировалось построить уже к 1980-му году. Такой подход требовал ускорения темпов развития экономики, а гидроэлектростанции стали казаться слишком дорогими и долго строящимися сооружениями. Недовольство стоимостью и сроками строительства ГЭС было открыто высказано Хрущевым на открытии Жигулевской гидроэлектростанции. В итоге в гидроэнергетике возникла тенденция к максимальному удешевлению проектов, в первую очередь — за счет различных конструктивных решений (совмещение водосбросной плотины и здания ГЭС, использование сборного железобетона и т.п.). Сильно упростилось и архитектурное оформление станций — здесь гидроэлектростанции тоже следовали эпохе, символом которой в архитектуре стала «хрущевка» — панельная пятиэтажка, начисто лишенная каких-либо «архитектурных излишеств».

Одной из жертв экономии стали небольшие станции — в расчете затрат на киловатт установленной мощности и киловатт-час выработки электроэнергии они уступали крупным ГЭС. В результате практически прекратилось строительство малых ГЭС (до 25 МВт), стали меньше строить станций в диапазоне мощностей 25-100 МВт. В полной мере эта тенденция проявила в 1970-х годах, в 1960-е она была несколько сглажена вводом в эксплуатацию значительного количества станций, строительство которых было начато в 1950-е.

1960-е для отечественной гидроэнергетики начались с пуска первого гидроагрегата Братской ГЭС, который состоялся 26 ноября 1961 года. Братская ГЭС оказалась для советской гидроэнергетики этапным объектом, таким же, как Днепрогэс, и о ней стоит рассказать подробнее.

Река Ангара очень перспективна для гидроэнергетического использования, поскольку имеет значительный расход воды и довольно большое падение, что позволяет строить мощные ГЭС с высокими плотинами. Кроме того, ее сток естественным образом зарегулирован озером Байкал, что снижает сезонные колебания стока, минимизирует холостые сбросы воды на ГЭС и увеличивает выработку электроэнергии. Дополнительно сток зарегулирован Иркутской ГЭС.

Изыскательские работы по Братской ГЭС были начаты в 1949 году. Природные условия позволяли построить в районе Падунских порогов гидроэлектростанцию с высотной плотиной и крупным водохранилищем — это предопределило выбор створа. В 1952 году институтом «Гидропроект» было создано проектное задание (предварительный проект) Братской ГЭС. Решение о начале строительства Братской ГЭС было принято в 1954 году, тогда же начались подготовительные работы — возведение дорог, жилья, линий электропередачи. Для строительства станции был создана специальная организация «Братскгэсстрой» под руководством И. Наймушина, ранее руководившего возведением Камской ГЭС. На пике работ Братскую ГЭС строили около 40 тысяч человек.



*Перекрытие Ангары
на строительстве Братской ГЭС*



*Монтаж водоводов
Братской ГЭС*

Строительная площадка крупнейшей в мире на тот момент гидроэлектростанции располагалась в относительно малообжитой местности, где отсутствовали железные и шоссейные дороги, а доставка грузов по Ангаре была крайне затруднена имевшимися на реке порогами. В связи с этим в первую очередь было необходимо обеспечить бесперебойную подачу грузов на строительство. Эта задача была решена в 1955 году, когда к строительной площадке подвели железнодорожную ветку. А в 1957 году строительство было надежно обеспечено электроэнергией по линии

электропередачи, проведенной от недавно построенной Иркутской ГЭС, тогда же начал работу Братский аэропорт.

Работы по возведению сооружений гидроэлектростанции начались в начале 1957 года с отсыпки перемычек котлована. Впервые в мировой практике перемычки котлована (который, к слову, занимал две трети сечения реки) возводили в зимний период, со льда. После осушения котлована и подготовки скального основания в марте 1958 года в сооружения ГЭС был уложен первый бетон.



Строительство Братской ГЭС

Масштаб бетонных работ на строительстве Братской ГЭС был очень значителен — в сооружения станции было уложено 4,86 миллиона кубометров бетона — в четыре раза больше, чем на Днепрогэсе. Это потребовало освоения технологий высокопроизводительного бетонирования, в том числе и в зимнее время, опыт которых впоследствии широко использовался на строительстве других ГЭС.

Одновременно со станцией возводился новый город Братск (старый поселок Братск попадал в зону затопления). Изначально строители жили в палатках — в 1955 году у стройплощадки вырос настоящий палаточный город из 150 палаток с населением около 3000 человек, который просуществовал до 1956 года. Но уже в 1959 году в новом Братске жило более 50 тысяч человек.



*Укладка бетона
на строительстве Братской ГЭС*



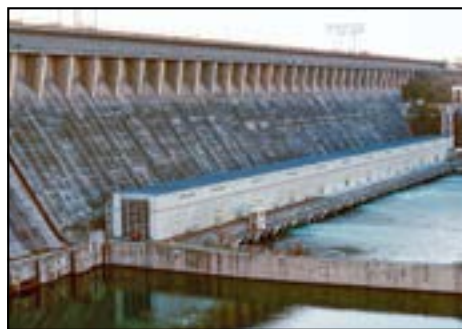
*Панорама строящейся
Братской ГЭС*

Наполнение Братского водохранилища началось в июле 1961 года, а в ноябре того же года в присутствии Н.С. Хрущева был пущен первый

гидроагрегат. Последнюю, 18-ю машину ввели в работу в 1966 году, а в следующем году станция была введена в постоянную эксплуатацию.

Для отечественной гидроэнергетики Братская ГЭС стала этапным объектом, заявкой советской школы гидротехнического строительства на мировой лидерство. При мощности 4500 МВт и выработке 22,6 миллиардов кВт·ч Братская ГЭС на момент ввода в эксплуатацию была крупнейшей гидроэлектростанцией в мире.

По конструкции Братская ГЭС сильно отличается от предыдущих советских гидроэнергетических рекорсменов — гидроэлектростанций на Волге. Ее основная часть — гравитационная бетонная плотина высотой 125 м и длиной 1430 м, на тот момент самая высокая в СССР. Кроме нее, напорный фронт образуют правобережная земляная плотина длиной почти 3 км, традиционно намытая из песка, и левобережная насыпная грунтовая плотина длиной более 700 м, с противодиффузионным ядром из суглинков.



Братская ГЭС

Водосбросная плотина Братской ГЭС была построена с использованием концепции гашения потока воды в яме размыва — вода при помощи специального трамплина отбрасывается от плотины и падает на определенный участок дна реки. На этом участке потоки падающей воды размывают глубокую яму, где и гасится энергия ее потока. Эта схема в дальнейшем стала наиболее распространенной на крупных ГЭС Сибири и Дальнего Востока.

В машинном зале Братской ГЭС установлено 18 гидроагрегатов с радиально-осевыми турбинами, мощностью по 250 МВт. Создание турбин было большим достижением советского энергетического машиностроения, ведь до того самые крупные радиально-осевые турбины, изготовленные в СССР, имели мощность менее 100 МВт.

Плотина ГЭС создала уникальное, одно из крупнейших в мире Братское водохранилище площадью 5470 квадратных километров и полным объемом 169 кубических километров. Такое масштабное водохранилище позволило практически полностью зарегулировать сток Ангары и обеспечить эффективную работу не только самой Братской ГЭС, но и построенных позднее ниже по течению реки Усть-Илимской и Богучанской ГЭС.

дующих советских гидроэнергетических рекорсменов — гидроэлектростанций на Волге. Ее основная часть — гравитационная бетонная плотина высотой 125 м и длиной 1430 м, на тот момент самая высокая в СССР. Кроме нее, напорный фронт образуют правобережная земляная плотина длиной почти 3 км, традиционно намытая из песка,

и левобережная насыпная грунтовая плотина длиной более 700 м, с противодиффузионным ядром из суглинков.

Братская ГЭС сыграла огромную роль в экономическом развитии Восточной Сибири. Отходящие от станции 19 высоковольтных линий электропередачи обеспечили электроэнергией множество предприятий. В самом Братске вокруг станции сформировался мощный территориально-промышленный комплекс, включающий в себя самый большой в мире алюминиевый завод и крупный лесопромышленный комплекс. Население построенного практически «с нуля» города Братска превысило 200 тысяч человек. Помимо выработки электроэнергии, плотина Братской ГЭС служит мостом через Ангару — по ней проложена автомобильная и железная дороги (последняя является частью БАМа). Транспортное значение плотины Братской ГЭС очень велико — ведь ближайший мост через Ангару находится в Иркутске, за сотни километров.

Братская ГЭС оказалась очень эффективной — она была построена с экономией сметы (беспрецедентный для СССР случай) и окупилась еще на этапе строительства.

Ценой за возведение уникальной электростанции стали значительные площади затопления и большое количество переселенного населения — около 80 тысяч человек. Из-за слабости лесозаготовительных организаций не удалось в полном объеме произвести лесосводку — вырубил 24 миллиона кубометров леса, а около 16 миллионов кубометров древесины ушло под воду.

Вторым знаковым объектом гидроэнергетического строительства 1960-х стала Красноярская ГЭС на Енисее. Проектные работы по этой станции были начаты в середине 1950-х годов и велись институтом «Ленгидропроект». История проектирования этой станции оказалась очень драматичной — неоднократно менялись проектные решения, за 10 лет сменилось четыре главных инженера проекта, посему о ней стоит рассказать подробнее.

Изначально для станции рассматривались два створа — Красноярский (в 15 км от города) и Шумихинский (в 40 км). В 1955 году комиссия под руководством академика А.В. Винтера окончательно выбрала Шумихинский створ. К этому моменту уже шло проектирование станции. Причем рассматривалось сразу несколько вариантов — с гравитационной бетонной, земляной, контрфорсной и многоарочной плотинами. Определялся и уровень водохранилища, рассматривались две отметки — 255 и 243 метра над уровнем моря. Более высокая отметка увеличивала мощность и выработку ГЭС, но требовала значительно больших масштабов

переселения людей (так, на ней затопливался город Абакан), что послужило причиной отказа от нее.

В октябре 1957 года предварительный проект Красноярской ГЭС, предусматривающий строительство станции мощностью 4000 МВт с гравитационной бетонной плотиной, был утвержден. Еще до этого момента, в 1956 году были начаты работы подготовительного этапа — возведение дорог, линий электропередачи, производственной базы, жилья для строителей.

Вскоре в утвержденный проект по требованию правительственных органов были внесены кардинальные изменения. Требования удешевления строительства привели к изменению конструкции плотины на массивно-контрфорсную, требующую меньше бетона. Увеличилась и мощность станции, теперь она составляла 5000 МВт. В 1960 году проект станции с такими параметрами был заново утвержден руководством страны.



Андрей Бочкин и Юрий Гагарин на строительстве Красноярской ГЭС

Изменение типа плотины встретило сопротивление со стороны руководства строительства, которое возглавлял А.Е. Бочкин, ранее построивший Иркутскую ГЭС. Аргументом против контрфорсной плотины являлось отсутствие опыта и отработанной технологии возведения плотин такого типа. Контрфорсные плотины, при меньших затратах бетона по сравнению с гравитационными значительно сложнее по форме. Обеспечить быстрое и качественное возведение столь сложной и высокотехнологичной плотины отечественные строители тогда еще не могли. В результате проект был вновь пересмотрен, в окончательном варианте станция вновь получила бетонную плотину, а ее мощность увеличилась до 6000 МВт.

Пока в кабинетах кипели жаркие споры вокруг проекта станции (окончательно утвержденного только в 1967 году), строительство ГЭС шло своим чередом. В 1959 году была начата отсыпка перемычек котлована, в 1961 году — уложен первый бетон, а еще через два года в спокойном режиме, без каких-либо сложностей был перекрыт Енисей. Но после осушения котлована второй очереди проектировщиков поджидал неприятный сюрприз — в горных породах основания станционной части плотины обнаружались трещины. В резуль-

тате интенсивной работы гидротехников решение, обеспечивающее надежную работу плотины, было найдено — основание плотины поместили глубже, чтобы оно опиралось не на трещину, а на прочную скалу и здание ГЭС, стоящее на качественном основании.



Начальный этап строительства Красноярской ГЭС — сооружение котлована



Возведение водосбросной плотины Красноярской ГЭС

Возведение Красноярской ГЭС шло с учетом опыта Братской ГЭС, имевшей похожую по конструкции плотину. Это позволило ускорить темпы работ и повысить их качество. Первый агрегат станции пустили в 1967 году, последний — в 1970 году, а еще через два года Красноярская ГЭС была сдана государственной комиссии в постоянную эксплуатацию с оценкой «Отлично».



Строительство Красноярской ГЭС на завершающем этапе



Работа водосброса Красноярской ГЭС

По конструкции Красноярская ГЭС представляет собой гидроэлектростанцию с гравитационной бетонной плотиной и приплотинным зданием ГЭС. Высота плотины — 124 метра, длина — 1065 м. В отличие от Братской ГЭС, где помимо бетонной плотины значительная часть напорного фронта сформирована грунтовыми

плотинами, на Красноярской ГЭС весь напорный фронт сформирован бетонной плотиной. Водосброс Красноярской ГЭС реализован по уже отработанной на Братской ГЭС схеме — с трамплином и гашением энергии потока воды в яме размыва.



*Рабочее колесо турбины
Красноярской ГЭС*



Водоводы Красноярской ГЭС

В здании Красноярской ГЭС расположены 12 гидроагрегатов с радиально-осевыми турбинами мощностью по 500 МВт. По сравнению с совсем недавно изготовленными вдвое менее мощными турбинами Братской ГЭС был снова сделан скачок вперед. Аналогичный шаг вперед был сделан и в конструкции гидрогенераторов — впервые в отечественной практике на них было применено водяное охлаждение. Стоит отметить, что на момент пуска гидроагрегаты Красноярской ГЭС были крупнейшими в мире (как и сама гидроэлектростанция). При создании турбин Красноярской ГЭС было решено испытать крупномасштабную модель их рабочего колеса, но испытательный стенд, способный работать с такой моделью, отсутствовал. Выход из положения нашли, переоборудовав в такой стенд один из гидроагрегатов Баксанской ГЭС на Северном Кавказе, имеющей подходящий напор.

Уникальной оказалась и система подвода воды к турбинам. Дело в том, что для обеспечения водой столь мощных агрегатов требовались водоводы диаметром в 10 м, создание которых было сопряжено с рядом трудностей. Выход был найден в использовании двух водоводов диаметром 7,5 м на каждый гидроагрегат, которые непосредственно перед спиральной камерой сливались в один. Таким образом, Красноярская ГЭС имеет вдвое больше водоводов, чем агрегатов, что хорошо заметно внешне, поскольку ее водоводы, в отличие от Братской ГЭС, размещены не в теле плотины, а на ее грани сверху.

Еще один уникальный элемент конструкции Красноярской ГЭС — ее судоподъемник. Значительная высота плотины не позволяла разместить традиционные шлюзы, и задача по перемещению речных судов была решена путем сооружения судоподъемника. Корабли водоизмещением до 1500 тонн заходят в специальную судовозную камеру (своего рода «ванну»), в которой вместе с водой перемещаются на расстояние более километра, преодолевая более чем 100-метровый перепад высот. В процессе перемещения камера меняет направление движения на огромном поворотном круге. Судоподъемник Красноярской ГЭС не имеет аналогов в России, на других гидроэлектростанциях проход судов производится при помощи шлюзов.



Судоподъемник Красноярской ГЭС

Плотина Красноярской ГЭС образовала крупное водохранилище площадью 2000 квадратных километров и объемом 73 кубических километра (второе по объему в России, после Братского). При создании водохранилища было переселено более 50 тысяч человек. Из экологических последствий строительства станции стоит упомянуть образование незамерзающей полыньи, располагающейся в пределах Красноярска. Такая полынья возникает ниже большинства крупных высоконапорных ГЭС по причине того, что в больших водохранилищах ниже определенной глубины вода сохраняет постоянную температуру — около четырех градусов. В случае Красноярской ГЭС ситуация осложнилась масштабными сбросами теплых вод предприятиями в Красноярске, в результате чего размеры полыньи значительно увеличились.

Возведение Красноярской ГЭС мощностью 6000 МВт и среднегодовой выработкой электроэнергии 20,4 миллиарда кВт·ч позволило обеспечить надежное энергоснабжение предприятий и жилищно-коммунальной сферы Красноярска, в том числе крупного алюминиевого завода. Вблизи ГЭС был построен город энергетиков Дивногорск с населением около 30 тысяч человек.

В 1960-х годах советские гидроэнергетики освоили возведение крупных гидроузлов в крайне суровых условиях Восточной Сибири, в условиях вечной мерзлоты. Эти гидроэлектростанции работали в изолированных энергосистемах и снабжали горнодобывающие предприятия.



Мамаканская ГЭС.

Фото ЗАО «Мамаканская ГЭС»

Первой в 1961 году пустили гидроагрегаты на относительно небольшой (мощностью 100 МВт) Мамаканской ГЭС в Иркутской области. Эта гидроэлектростанция на реке Мамакан обеспечила электроэнергией разработку золоторудных месторождений. В состав ее сооружений входит гравитационная бетонная плотина высотой 57 метров и приплотинное здание ГЭС с четырьмя гидроагрегатами.

В 1955 году в Якутии было открыто крупнейшее месторождение алмазов — кимберлитовая трубка «Мир». Встал вопрос о разработке месторождения и его энергоснабжении. Строительство тепловой станции из-за отсутствия местного топлива и дорог для его доставки исключалось, атомная энергетика находилась в зачаточном состоянии. Единственным вариантом оставалось строительство ГЭС на крупном притоке Лены — реке Вилюй. Уже в 1958 году было принято решение о строительстве станции, которую было решено возводить в две очереди. Первая группа строителей прибыла на площадку будущей ГЭС в 1959 году.

Условия строительства были беспрецедентно сложными. Стройплощадка располагалась в абсолютно необжитой местности, в которой полностью отсутствовали жилье, производственная база, дороги, линии электропередачи. При этом природные условия были крайне тяжелыми — продолжительная зима с морозами до минус 60 градусов, мощная вечная мерзлота. Грузы на строительство доставлялись в летний период речным транспортом по Лене, затем по 250-километровой автодороге до Мирного и оттуда еще около 100 км по зимнику до стройплощадки.

Земляные работы на строительстве Вилюйской ГЭС начались в 1961 году, в следующем году был уложен первый бетон. Вилюй перекрыли в 1964 году, а первый гидроагрегат пустили в 1967 году. Строительство станции по причине растянутого роста энергопотребления вели в две очереди, вторую ввели в эксплуатацию уже в 1970-х годах. В результате Вилюйская ГЭС стала единственной в России станцией с двумя зданиями ГЭС, в которых к тому же смонтировали гидроагрегаты разных типов — с радиально-осевыми и поворотно-лопастными турбинами.



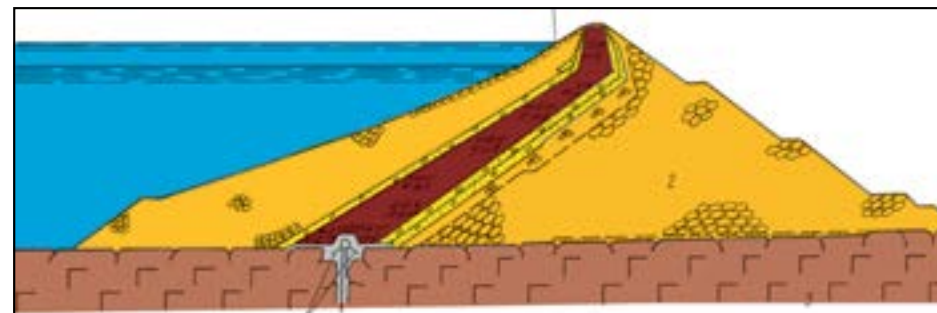
Вилюйская ГЭС.

Фото Александра Шеховцева



Водосброс Вилюйской ГЭС

Плотина Вилюйской ГЭС каменно-набросная, высотой 75 метров, с противофильтрационным устройством в виде экрана из суглинков. Водосброс поверхностный, береговой, два здания ГЭС — первой и второй очереди. Здание ГЭС первой очереди полуподземное, вода к поворотно-лопастным турбинам подается по тоннельным водоводам. Здание ГЭС второй очереди берегового типа, вода к радиально-осевым турбинам подается по поверхностным водоводам. Многие элементы конструкции Вилюйской ГЭС стали типовыми для гидроэлектростанций, возводимых в суровых климатических условиях.



Строение плотины Вилюйской ГЭС

Мощность Вилюйской ГЭС — 680 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 2,7 миллиарда кВт·ч. Выработка электроэнергии в зимний период (когда сток северных рек падает настолько, что некоторые из них промерзают до дна) обеспечивается накоплением воды в крупном водохранилище площадью 2360 квадратных километров и полным объемом 40 кубических километров. Поскольку зона затопления была мало заселена, количество

переселенных людей оказалось незначительным. Вилюйская ГЭС обеспечила надежное энергоснабжение алмазодобывающих предприятий, сформировав на западе Якутии собственную изолированную энергосистему.

В 1963 году началось строительство еще одной крупной ГЭС на Крайнем Севере — Усть-Хантайской на реке Хантайке (приток Енисея). Ее основной задачей является энергоснабжение Норильского промышленного комплекса на севере Красноярского края, включающего в себя крупные медно-никелевые месторождения и мощнейший металлургический комбинат. Специфика Норильска — в его изолированности (доставка грузов производится только водным транспортом) и суровых климатических условиях (город расположен за полярным кругом).

Строители Усть-Хантайской ГЭС столкнулись с теми же трудностями, что и те, кто возводил Вилюйскую ГЭС, разве что схема доставки грузов из-за близости Енисея оказалась несколько проще. Но все трудности были успешно преодолены, и уже в 1967 году было перекрыто русло Хантайки, на следующий год уложен первый бетон, а в 1970 году пущен первый гидроагрегат.



*Усть-Хантайская ГЭС.
Фото Гидроспецпроекта*

Мощность Усть-Хантайской ГЭС — 441 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 2 миллиарда кВт·ч. Сооружения станции включают в себя каменно-набросную плотину высотой 72 м с противотрационным ядром, береговой поверхностный водосброс и подземное здание ГЭС, расположенное на глубине около 30 метров. В здании ГЭС размещены семь гидроагрегатов с поворотно-лопастными турбинами. Подпорные сооружения ГЭС образовали крупное водохранилище площадью 2120 квадратных километров и полным объемом 23,5 кубических километра.

В Европейской части страны в 1960-е годы продолжилось создание Волжско-Камского каскада — велось строительство Саратовской и Воткинской ГЭС.

Изыскательские работы по Саратовской ГЭС начались в 1953 году. Проектировщики института «Гидропроект» изучили ряд створов на участке Волги протяженностью 140 км, особое

внимание уделялось породам основания будущей станции. В итоге был выбран створ у города Балаково, и в 1955 году появился первый проект Саратовской ГЭС — вполне традиционной конструкции, с отдельно расположенными водосбросной плотиной и зданием ГЭС. В следующем году начались подготовительные работы по возведению ГЭС, была образована строительная организация «Саратовгэсстрой», главным инженером которой стал Н.М. Иванцов, сыгравший впоследствии важную роль в судьбе станции.

Не успев родиться, проект Саратовской ГЭС стал претерпевать изменения. Иванцов предложил перенести створ на 3 км выше по течению, а также совместить водосбросы и здание ГЭС. Новый проект почти вдвое сокращал напорный фронт, в три раза — длину земляных перемычек, и в 2,5 раза — объем земляных работ. В результате стоимость сооружения Саратовского гидроузла уменьшалась на сотни миллионов рублей, сокращались сроки работ. Преимущества были очевидны, и в 1957 году новый проект был принят к реализации. Тогда же началась отсыпка перемычек котлована, а в 1959 году котлован был осушен. И тут строительство было фактически остановлено.

Дело в том, что Н.С. Хрущев, критикуя стоимость строительства гидроэлектростанций, привел в пример именно Саратовскую ГЭС. На стройплощадку немедленно прибыла из Москвы комиссия с весьма широкими полномочиями, вплоть до закрытия проекта. С трудом, после долгих дискуссий станцию удалось отстоять — при условии существенного снижения затрат на строительство. Сэкономить планировалось за счет широкого использования сборного железобетона — из него хотели возвести 70% сооружений гидроэлектростанции.



Котлован Саратовской ГЭС



*Монтаж сборного железобетона
на Саратовской ГЭС*

Традиционно гидроэлектростанции строят из монолитного железобетона — на стройплощадке сваривают арматурные каркасы, далее вокруг них монтируют опалубку и заливают блоки бетоном. Использование сборного железобетона подразумевает строительство здания, как из кубиков, из отдельных блоков, которые изготавливаются на отдельной площадке (а то и на заводе). Наглядный пример — строительство панельных жилых домов.



Строительство Саратовской ГЭС

В начале 1960-х годов сборный железобетон активно пытались внедрить и в гидротехническое строительство. Попытка оказалась в целом неудачной — каждая ГЭС, в отличие от жилых домов, возводится по индивидуальным проектам. Не удалось построить «из кубиков» и Саратовскую ГЭС — в итоге доля сборного железобетона в ее конструкции составила лишь 12%. Но и это очень значительный показатель — всего было уложено около 5 тысяч элементов сборного железобетона общим объемом более полумиллиона кубометров.

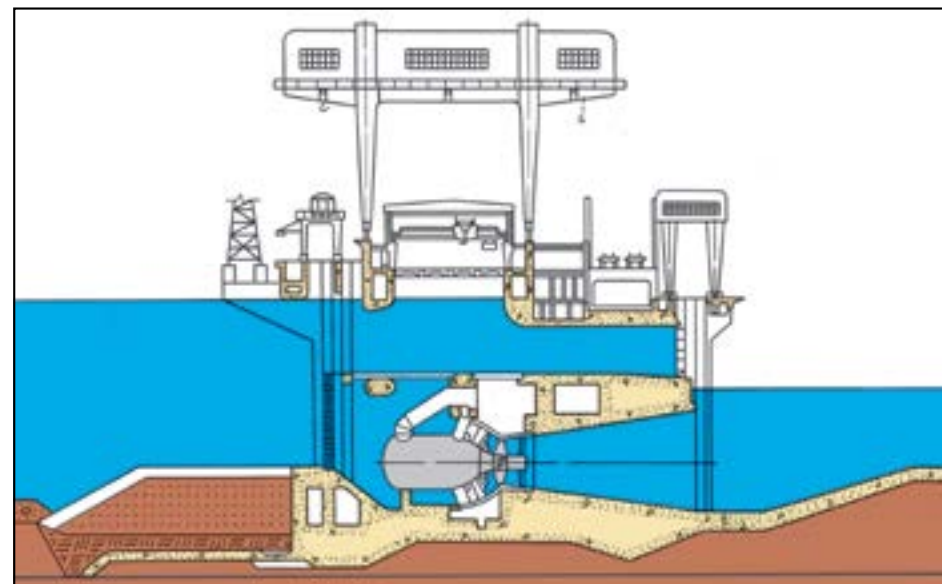


Саратовская ГЭС с нижнего бьефа



Панорама Саратовской ГЭС

Пока перекраивался проект, стройка фактически стояла. Масштабные бетонные работы начались лишь в 1964 году — около 6 лет осушенный котлован простоял пустым. В результате произошли процессы разуплотнения капризных глин в основании плотины, и пришлось принимать специальные меры по их укреплению. После начала бетонных работ дело пошло гораздо быстрее, и уже в конце 1967 года были пущены первые гидроагрегаты.



Разрез по зданию Саратовской ГЭС в районе горизонтального агрегата

По конструкции Саратовская ГЭС мощностью 1360 МВт и среднегодовой выработкой 5,4 млрд кВт·ч является низконапорной русловой гидроэлектростанцией. Особенностью станции является совмещение здания ГЭС с водосбросным сооружением (донными водосбросами). Здание ГЭС, в котором установлено в общей сложности 24 гидроагрегата, имеет рекордную длину — 1127 метров. Еще одно экономичное решение (опробованное ранее на Нижегородской ГЭС) — расположение основных кранов вне машинного зала, с разбором крыши зала при необходимости переноса частей агрегатов.

Небольшой напор (менее 10 метров) привел к тому, что вертикальные поворотно-лопастные турбины Саратовской ГЭС при умеренной мощности 60 МВт имеют самый большой в России диаметр — 10,3 м. Кроме того, на Саратовской ГЭС в порядке эксперимента установили два горизонтальных капсульных гидроагрегата мощностью по 45 МВт, также крупнейших в нашей стране. Еще одним специфическим элементом конструкции станции стал рыбобход с собственным гидроагрегатом.

Ряд изменений претерпел и проект Воткинской ГЭС на Каме, но его судьба сложилась удачнее и обошлась без приостановок строительства. Изначально проект этой станции, разработанный институтом «Ленгидропроект», подразумевал сооружение ГЭС мощ-

ностью 540 МВт при стоимости строительства 287 млн рублей. В техническом проекте мощность станции увеличили до 1000 МВт, а стоимость — до 296 млн рублей. При проектировании станции экономии средств уделялось первоочередное внимание. Эта задача решалась следующим образом:

- были уменьшены размеры подводной части ГЭС;
- принят к строительству закрытый вариант здания станции с «островным» расположением агрегатов, без пола на отметке генераторов;
- понижена высота машинного зала;
- сокращена толщина фундаментной плиты ГЭС;
- уменьшены объемы работ по водобой, рисберме, сопрягающим стенкам.



Строительство Воткинской ГЭС

Конструкция водосливной плотины принята пустотелой, уменьшена ее длина и число пролетов, в результате объем бетонных работ был уменьшен на 63 тысячи кубометров. Принят к строительству одноступенчатый шлюз вместо двухступенчатого, что позволило уменьшить объем бетонирования на этом объекте на 201 тысячу кубометров. Всего по основным сооружениям объем бетонных работ был сокращен на 416 тысяч кубометров.



Воткинская ГЭС



Машинный зал Воткинской ГЭС

В итоге Воткинская ГЭС мощностью 1020 МВт и среднегодовой выработкой 2,22 млрд кВт·ч оказалась одной из самых экономичных в СССР — ее итоговая стоимость составила 241,5 млн

рублей, что меньше проектной более чем на 50 млн рублей. Станцию удалось построить очень быстро — в 1955 году начались подготовительные работы, через два года уложили первый бетон, а в 1961 году, всего через 6 лет после начала строительства пустили первый гидроагрегат.

К сожалению, ввод в эксплуатацию Воткинской ГЭС был омрачен трагедией — 10 мая 1962 года в результате обрушения стенки недостроенного шлюза погибли 22 строителя. Причиной аварии стало начало шлюзования в не готовом для этого сооружении.

Помимо Саратовской и Воткинской ГЭС в бассейне Волги в 1960-е году пустили еще две небольшие гидроэлектростанции — Шекснинскую мощностью 84 МВт и Нугушскую мощностью 9 МВт. Впрочем, выработка электроэнергии на этих гидроузлах является второстепенной задачей. Основная функция Шекснинской ГЭС заключается в обеспечении судоходства по Волго-Балтийскому каналу, Нугушской — в обеспечении водоснабжения. С конструктивной точки зрения Шекснинская ГЭС интересна совмещением водосбросной плотины и здания ГЭС (причем водосброс расположен выше гидроагрегатов), а также использованием горизонтальных капсульных агрегатов (впервые в промышленном масштабе в СССР).

На Северо-Западе Европейской части страны продолжилось строительство ГЭС в Мурманской области и Карелии. С возведением Борисоглебской и Хевоскоски ГЭС завершилось создание каскада на приграничной реке Паз. Спецификой этих относительно небольших станций является использование контрфорсных плотин — впервые в СССР. Хевоскоски — русловая станция, а вот Борисоглебская ГЭС, построенная по советскому проекту норвежской фирмой, более интересна — это плотинно-деривационная гидроэлектростанция с подземным зданием ГЭС.



Плотина Хевоскоски ГЭС. Фото ТГК-1

Плотинно-деривационная схема была принята и при проектировании крупнейшей гидроэлектростанции в Мурманской области — Верхне-Тулумской мощностью 248 МВт. Эту станцию по советскому проекту построила финская фирма, причем очень быстро — работы начались в 1961 году, а уже в 1964 году был пущен первый гидроагрегат. Состав сооружений станции включает в себя

каменно-земляную (упорные призмы из каменной наброски, ядро из моренных суглинков) плотину высотой 46,5 м. Здание ГЭС подземное, с длинным отводящим тоннелем.

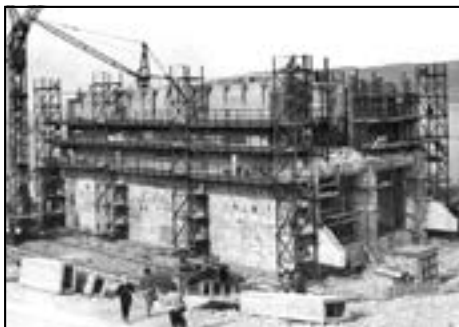


Машинный зал Верхне-Тулумской ГЭС. Фото ТГК-1

Сооружения ГЭС включают в себя и рыбоход, но он оказался неудачным по конструкции, рыба в него не пошла. Вместо него был сооружен рыбзавод. Водохранилище Верхне-Тулумской ГЭС крупнейшее на Кольском полуострове, его площадь 745 квадратных километров, а полный объем — 11,5 кубических километров.

В 1964 году было начато строительство Серебрянской

ГЭС-1 на реке Вороньей, гидроагрегаты этой станции мощностью 201 МВт были пущены в 1970 году. Эта ГЭС также построена по плотинно-деривационной схеме, имеет каменно-земляную плотину высотой 78 м с суглинистым ядром. Особенностью этой ГЭС является использование при напоре 75 м поворотно-лопастных гидроагрегатов. Использование поворотно-лопастных турбин на несвойственных им высоких напорах было одной из тенденций того времени, однако эта идея оказалась в целом малоудачной и впоследствии от нее отказались.



Строительство здания
Кислогубской ПЭС в сухом доке



Кислогубская ПЭС

Кроме того, в 1968 году в Мурманской области ввели в эксплуатацию первую и единственную в нашей стране приливную электростанцию — Кислогубскую ПЭС мощностью 0,4 МВт. Эта небольшая станция изначально рассматривалась как эксперимен-

тальная — на ней планировалось отработать целый ряд новых технологий. Важнейшая среди них — наплавной способ строительства. Он заключается в строительстве блока приливной станции со всем необходимым оборудованием (гидроагрегат, водосбросное сооружение и т.п.) на судостроительном заводе. После изготовления блока и монтажа всего необходимого оборудования он буксируется по морю к створу приливной станции и устанавливается на место.

Также планировалось использовать Кислогубскую ПЭС как испытательный стенд для новых конструкций гидроагрегатов, подходящих для использования на приливных станциях. Для этого на станции был оставлен свободный водовод, в котором и планировалось смонтировать гидроагрегат (во втором водоводе был установлен горизонтальный капсульный агрегат французского производства). Увы, в те годы новый гидроагрегат для приливных станций создать не удалось, и к этой теме повторно вернулись уже в 2000-х годах.

В Карелии с пуском в 1962 году Кумской ГЭС мощностью 80 МВт было завершено создание каскада Ковдинских ГЭС. По конструкции эта станция представляет собой плотинно-деривационную ГЭС с деривационными каналами. Спецификой станции стало широкое использование сборного железобетона.

Еще одним завершённым каскадом стал Выгский, ГЭС которого пристраивались к сооружениям Беломоро-Балтийского канала. В 1961 году была пущена Выгостровская ГЭС мощностью 40 МВт, в 1962 году — Беломорская ГЭС мощностью 27 МВт и в 1967 году — Палокорская ГЭС мощностью 30 МВт. По конструкции они представляют собой небольшие русловые ГЭС с поворотно-лопастными турбинами, интересные использованием очень низких напоров, зачастую менее 10 м.



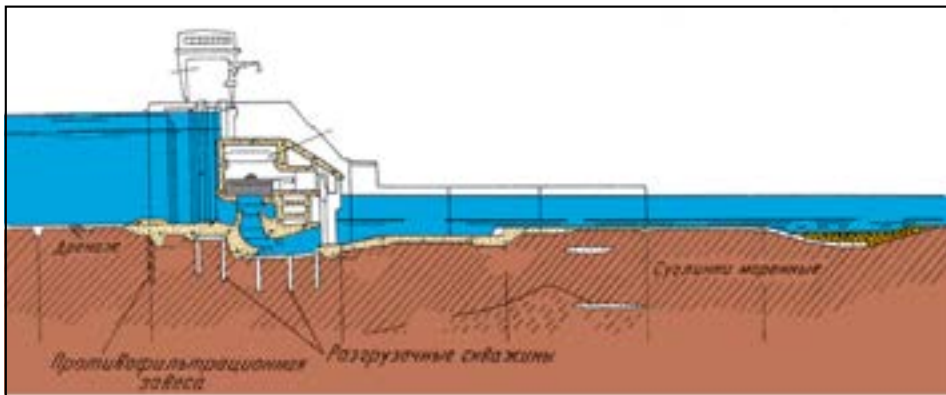
Палокорвская ГЭС. Фото ТГК-1

Наконец, в 1970 году заработала Путкинская ГЭС мощностью 84 МВт — первая станция каскада на реке Кемь. Эта порожистая река — крупнейшая в Карелии, и ее гидропотенциал давно привлекал энергети-



Машинный зал Путкинской ГЭС

ков. Путкинская ГЭС задала стандарт устройства станций на этой реке — это русловая гидроэлектростанция с грунтовой плотиной и поворотно-лопастными турбинами.



Плявиньская ГЭС в разрезе

В Латвии на реке Западная Двина в рекордно короткие сроки в 1961-67 годах была построена Плявиньская ГЭС мощностью 825 МВт — самая экономичная в СССР. Сэкономить удалось за счет совмещения водосбросной плотины и здания ГЭС (как и на Камской гидроэлектростанции, здесь вода сбрасывается вхолостую над зданием ГЭС) и четкой организации работ (что обеспечило минимальные сроки строительства). Как и на ряде других ГЭС 1960-х, здесь широко использовался сборный железобетон. Еще одной специфической особенностью Плявиньской ГЭС стало использование более дешевых радиально-осевых турбин, что для напора в 34 метра нетипично — обычно в таких условиях ставят поворотно-лопастные турбины.



Строительство Киевской ГЭС



Водоводы Киевской ГАЭС

На Украине продолжилось строительство Днепровского каскада. В 1963 году был введен первый гидроагрегат Днепродзерж-

жинской ГЭС мощностью 352 МВт. По конструкции это типичная русловая станция, интересная длиной своей земляной плотины, составляющей 35 километров. Технология намыва плотин к 1960-м годам достигла высокого совершенства, позволяя в короткие сроки создавать столь протяженные сооружения. Как и на Кременчугской ГЭС, здесь проектировщики решили обойтись без машинного зала, закрыв гидроагрегаты съемными крышками.

В 1965 году пустили первый гидроагрегат верхней ступени каскада — Киевской ГЭС мощностью 361 МВт. Эта станция примечательна очень малым используемым напором — всего 7,6 м. На таких напорах оптимальным является использование горизонтальных капсульных гидроагрегатов, которые в количестве 20 штук и были смонтированы на этой станции. Другая особенность — совмещение водосбросной плотины и здания ГЭС, что позволило уменьшить затраты на строительство. Киевскую ГЭС построили за 8 лет, с 1960 по 1968 год.

Одновременно велось строительство первой в СССР «классической» гидроаккумулирующей электростанции (формально первой была Кубанская ГАЭС, о которой мы поговорим ниже, но она не была предназначена для работы в энергосистеме, выполняя функции сезонного регулирования стока). Киевскую ГАЭС начали строить в 1962 году, а ее первый гидроагрегат пустили в 1970 году. На Киевской ГАЭС смонтировали 6 гидроагрегатов общей мощностью 225 МВт, из них три насос-турбинных агрегата и три обычных гидроагрегата. При проектировании этой станции считалось, что для ГАЭС важнее быстро выдать максимальную мощность в часы пиковых нагрузок, а воду в верхний бассейн можно закачивать постепенно в ночное время. В качестве нижнего бассейна Киевская ГАЭС использует Киевское водохранилище, верхний бассейн создан заново. Еще одна особенность этой ГАЭС — относительно низкий используемый напор, всего 66 метров.

На Северном Кавказе в 1960-е годы были построены основные гидроэлектростанции каскада Кубанских ГЭС. Первыми в 1962 году ввели гидроагрегаты Егорлыкской ГЭС мощностью 30 МВт. В отличие от большинства станций каскада, построенных по деривационной схеме, эта ГЭС возведена по плотинной схеме, с плотиной высотой 33 м, отсыпанной из суглинков. Интересна конструкция водосброса этой ГЭС — башенный водоприемник расположен в водохранилище, а водовод проложен под плотиной.

В 1957 году началось строительство Большого Ставропольского канала, призванного обеспечить водой Кубани населенные пункты

и поля Ставропольского края. Трасса канала в нескольких местах имеет значительный уклон, что позволяло построить там гидроэлектростанции. Но в свете взятого курса на всеобщую экономию сооружение этих ГЭС оказалось под вопросом, всерьез рассматривался вариант возведения вместо гидроэлектростанций обычных водобросных сооружений. В этом случае напор воды просто бесполезно гасился бы на бетонных быстротоках и в водобойных колодцах.

С большим трудом гидроэнергетикам удалось доказать целесообразность строительства ГЭС, но для этого пришлось прибегнуть к поиску конструктивных решений, обеспечивающих максимальную экономию средств. Для удешевления строительства была принята максимальная унификация станций каскада по используемому оборудованию и конструктивным решениям. Впервые в практике отечественного гидроэнергетического строительства были широко использованы экономичные водоприемники сифонного типа. Использование специальных алгоритмов закрытия направляющих аппаратов гидротурбин позволило отказаться от дорогостоящих уравнильных резервуаров (хотя и снизило скорость реакции ГЭС на изменения нагрузки в энергосистеме, т.е. уменьшило их регулирующие возможности).



Кубанская ГАЭС



Машинный зал Кубанской ГАЭС

Головной станцией каскада является Кубанская ГАЭС — первая гидроаккумулирующая электростанция в СССР, ее гидроагрегаты были пущены в 1968 году. В отличие от классических ГАЭС, предназначенных для компенсации суточных неравномерностей в энергопотреблении, Кубанская ГАЭС работает в режиме сезонного регулирования. Летом, когда на Кубани начинается паводок, эта ГАЭС работает в турбинном режиме, сбрасывая воду из канала в Кубанское водохранилище и вырабатывая при этом электроэнергию. В зимнюю межень, когда сток в реке резко сокращается, ги-

дроагрегаты ГАЭС переходят в насосный режим, закачивая воду из водохранилища в канал, после чего она, спускаясь по каналу, крутит турбины всех нижележащих станций каскада.

Конструкция Кубанской ГАЭС мощностью 15,9 МВт имеет много специфических особенностей. Само здание ГАЭС расположено на дне водохранилища в 100 метрах от берега, с которым оно соединяется мостом. Над водой при полном заполнении водохранилища возвышается лишь самая верхняя часть здания ГАЭС с кранами. В здании располагаются шесть обратимых гидроагрегатов, созданных на базе конструкции насосной установки. В ходе проектирования рассматривалось несколько вариантов конструкции ГАЭС, в частности размещение ее здания в шахте на берегу водохранилища, а также вариант плавающего здания ГАЭС, способного перемещаться вместе с уровнем водохранилища.

Конструкции остальных ГЭС каскада, пущенных в 1967-70 годах и незамысловато названных ГЭС-1, ГЭС-2, ГЭС-3 и ГЭС-4, имеют много общих элементов. Это чисто деривационные ГЭС с бассейнами суточного регулирования (за исключением ГЭС-1, которая такого бассейна не имеет). Вода к агрегатам подается по протяженным (длинной до 1,5 км) водоводам унифицированного диаметра 4 м. Из всех станций можно отметить ГЭС-2 мощностью 184 МВт, которая до пуска Чиркейской ГЭС в Дагестане являлась самой крупной гидроэлектростанцией в Северо-Кавказском регионе.

В Дагестане со строительства Чирюртского гидроэнергетического комплекса началось освоение гидроэнергетического потенциала реки Сулак. Комплекс состоит из двух станций: плотинно-деривационной Чирюртской ГЭС-1 мощностью 72 МВт и расположенной на ее отводящем канале деривационной Чирюртской ГЭС-2 мощностью 9 МВт.



ГЭС-3 каскада Кубанских ГЭС



Чирюртская ГЭС-1

В состав сооружений комплекса входят земляная плотина высотой 37 м с суглинистым ядром, образующее небольшое водохранилище (которое, впрочем, было довольно быстро заилено отложениями, в массе переносимыми горной рекой). ГЭС-1 пустили в 1963 году, а ГЭС-2, имеющую собственное имя «Пионер Дагестана» — в 1964 году.

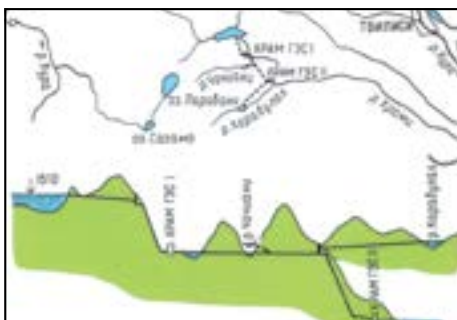


Схема каскада ГЭС на реке Храми

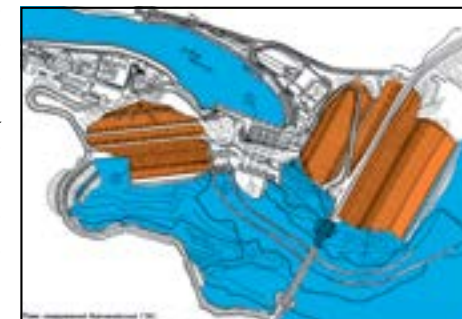
В Закавказье по сравнению с 1950-ми годами темп гидроэнергетического строительства несколько снизился. В Грузии в 1962 году была пущена Храми ГЭС-2 мощностью 120 МВт. Это деривационная станция, довольно примечательная по конструкции. Она интересна своей сложной тоннельной деривацией общей длиной 13 км, собирающей сток сразу трех рек — Храми, Чочияни и Карабулах. Подобная схема, типичная для горных ГЭС Западной Европы, в СССР была применена впервые. В подземном здании ГЭС размещены две радиально-осевые турбины, работающие на напоре 307 м — рекордном для турбин подобного типа в СССР.

В Армении с пуском в 1962 году Ереванской ГЭС-1 мощностью 44 МВт было завершено создание Севан-Разданского каскада. Как и другие станции каскада, это чисто деривационная гидроэлектростанция, ее спецификой является подземное здание ГЭС, расположенное прямо в центре столицы республики — Еревана. В 1970 году был пущен первый гидроагрегат Татевской ГЭС — первой станции Воротанского каскада. Станция построена по деривационной схеме, отличается целым рядом уникальных конструктивных особенностей. Ее деривационный тоннель имеет длину 18,4 км — рекордный в СССР. Тоннель такой протяженности позволил создать напор 569 м, второй в СССР (после Верхне-Алматинской ГЭС в Казахстане). В здании ГЭС смонтированы три ковшовые турбины мощностью по 52 МВт, крупнейшие подобного типа в стране. Наконец, водоприемник в водохранилище ГЭС имеет более нигде не используемую многолепестковую форму, напоминающую цветок маргаритки.

В Азербайджане в 1970 году пустили относительно небольшую ГЭС мощностью 44 МВт на пограничной с Ираном реке Аракс. Эта станция с грунтовой плотиной интересна тем, что име-

ет два здания ГЭС с гидроагрегатами идентичной мощности, расположенных по обе стороны плотины — с иранской и азербайджанской стороны соответственно.

В Казахстане с 1965 года велось строительство Капчагайской ГЭС, первый агрегат которой был пущен в 1970 году. Эта станция имеет ряд оригинальных конструктивных решений, связанных со стремлением проектировщиков максимально использовать природные условия створа, а именно — наличия в нем скального останца (большой скалы). В результате здание ГЭС разместили за останцом на прочных породах, подведя воду к турбинам по тоннельным водоводам. Справа и слева от останца расположили две плотины, насыпную и намывную — при этом намыв плотины высотой 50 метров в зоне 70-балльной сейсмичности был произведен впервые в мировой практике. Интересны и гидроагрегаты Капчагайской ГЭС — на них были применены двухперовые поворотные лопастные турбины (со спаренными лопастями), которые позволили эксплуатировать ГЭС в широком диапазоне напоров.



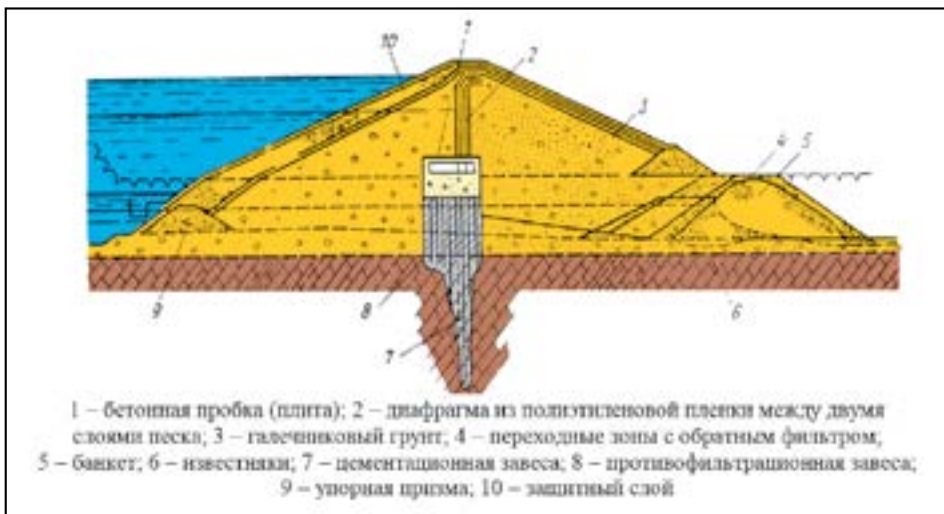
План сооружений Капчагайской ГЭС

Капчагайская ГЭС построена на реке Или, впадающей в бессточное озеро Балхаш. Этот факт в итоге негативно отразился на ее судьбе — опасения за судьбу озера привели к тому, что водохранилище ГЭС так и не было полностью заполнено («недобор» составил 5 м). В результате станция так и не смогла достигнуть проектной мощности 434 МВт.

Также в 1960-67 годах на реке Сырдарья была построена Чардаринская ГЭС мощностью 100 МВт — типичная русловая станция, главной задачей которой является не выработка электроэнергии, а регулирование стока в целях орошения засушливых земель.

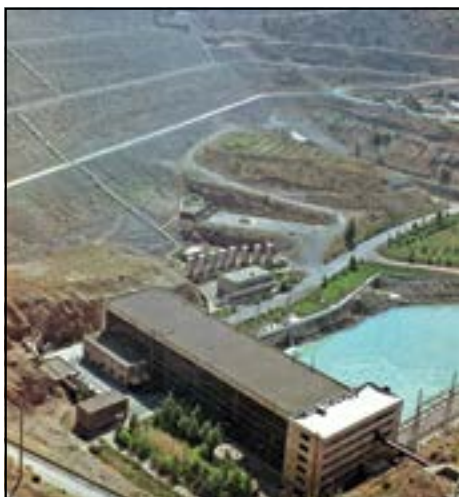
В 1960-х годах началось развитие большой гидроэнергетики Киргизии. В 1956 году началось строительство Уч-Курганской ГЭС мощностью 180 МВт — первой гидроэлектростанции Нарынского каскада. По конструкции это вполне обычная русловая ГЭС с грунтовой плотиной, интересная тем, что в ее здании впервые в мире была смонтирована экспериментальная двухперовая турбина. Первый гидроагрегат этой станции пустили в 1962 году, помимо вы-

работки электроэнергии водохранилище ГЭС позволило оросить 45 тысяч га засушливых земель.



Плотина Атбашинской ГЭС в разрезе

В 1970 году заработал первый гидроагрегат Атбашинской ГЭС мощностью 40 МВт на реке Ат-Баши. Эта небольшая станция интересна тем, что в качестве противофильтрационного элемента в ее плотине высотой 79 метров впервые применена диафрагма из полиэтиленовой пленки.

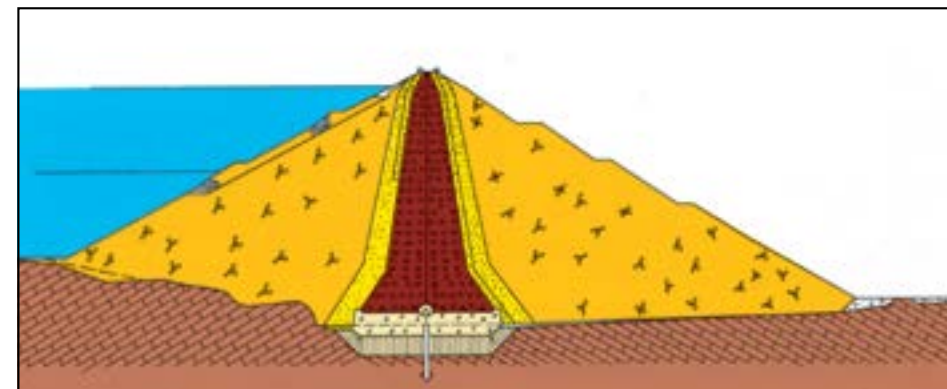


Чарвакская ГЭС

В Узбекистане в 1963 году началось строительство Чарвакской ГЭС — крупнейшей на тот момент гидроэлектростанции в Средней Азии, ее первый гидроагрегат был пущен в 1970 году. Эта станция является головной и самой мощной в Чирчик-Бозсуйском каскаде, осуществляя в своем водохранилище регулирование стока в интересах всех 18-ти нижележащих ГЭС. Ее конструкция стала классической для крупных ГЭС с грунтовыми плотинами в регионе.

Чарвакская ГЭС — плотинная станция с береговым здани-

ем ГЭС. Ее плотина — каменно-набросная, с суглинистым ядром, высотой 168 метров. На тот момент это была самая высокая плотина такого типа в СССР. Вода к турбинам подается по тоннельным водоводам, также в тоннельном варианте реализован и водосброс.



Плотина Чарвакской ГЭС в разрезе

Мощность Чарвакской ГЭС — 600 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 2 млрд кВт·ч. Плотина ГЭС образовала водохранилище полной емкостью 2 кубических километра. Оно позволило зарегулировать сток Чирчика и повысить выработку электроэнергии на нижележащих станциях каскада, а также обеспечить орошение 145 тысяч гектаров земель.

Станция была построена очень быстро — от начала работ до пуска первого гидроагрегата прошло всего 5 лет, до окончания строительства — 7 лет. Вместе с ГЭС был возведен и благоустроенный поселок гидростроителей — Чарвак.

В Таджикистане продолжилось строительство гидроэлектростанций на реке Вахш. В 1962 году заработала Головная ГЭС мощностью 210 МВт — достаточно типичная русловая гидроэлектростанция с земляной плотиной и зданием ГЭС, совмещенным с донными водосбросами. Помимо выработки электроэнергии, станция обеспечивает орошение больших массивов земель, питая ирригационный канал, на котором в 1964 году была пущена небольшая Центральная ГЭС мощностью 18 МВт.

В части зарубежных проектов 1960-е годы стали для советских гидроэнергетиков настоящим прорывом — проектирование и строительство ГЭС велось сразу в нескольких странах. Настоящим же триумфом отечественной гидроэнергетической школы стал проект Асуанской ГЭС в Египте, на реке Нил.



Перекрытие Нила
на строительстве Асуанской ГЭС

Проектирование новой плотины на Ниле началось в 1952 году английскими фирмами. Но к середине 1950-х отношения между Египтом и западными странами резко обострились, дело дошло до войны Египта с Францией и Англией в 1956 году (известной как «Суэцкий кризис»). Одновременно Египет стал быстро сближаться с СССР. В итоге в 1958 году между Египтом и СССР было заключено соглашение, согласно которому Советский Союз оказывал техническую и финансовую помощь в строительстве станции. Проект Асуанской ГЭС был разработан институтом «Гидропроект» под руководством главного инженера проекта Н.И. Малышева и прошел международную экспертизу.

Условия строительства станции были беспрецедентно сложными. Высотную плотину предстояло возвести на песчаном основании толщиной 130 метров, без использования перемычек и осушения основания, в действующем водохранилище глубиной 35 метров. Все это потребовало применения целого ряда неординарных технических решений.



Схема плотины Асуанской ГЭС

В предложенных условиях мог быть реализован только один тип плотины — грунтовая. В ее центре размещена песчаная насыпь, водопроницаемость которой (а также песчаного основания до корен-

ных пород) обеспечивается мощнейшей цементационно-глинистой завесой. В песок через специальные скважины под давлением закачивали цементный раствор и глинистую суспензию, которые превращали песок в водонепроницаемый монолит. При высоте 165 метров и общем объеме заинъектированных грунтов в 2,1 миллиона кубометров завеса является уникальной и не имеющей аналогов.

Над песчаной насыпью в центре плотины размещено глиняное ядро, упорные призмы плотины отсыпаны из камня. Высота плотины — 111 метров, длина — 3820 метров, в ее тело уложено более 41 миллиона кубометров грунта (это объем шестнадцати пирамид Хеопса).

Здание ГЭС, совмещенное с донными водосбросами, расположено на правом берегу, на участке, сложенном скальными породами. Вода к турбинам и водосбросам подводится с помощью тоннелей диаметром 15 метров. Особенностью водосбросов является то, что они отводят воду и под уровень нижнего бьефа, как обычно, а в атмосферу с отбросом струи на расстояние 120-150 м. Такое конструктивное решение было применено в мировой практике впервые. Еще одно водосбросное сооружение расположено отдельно от плотины на левом берегу, оно включается в работу только в случае катастрофических паводков.



Асуанская ГЭС



Работа водосброса Асуанской ГЭС

Мощность Асуанской ГЭС — 2100 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 10 млрд кВт·ч. Это крупнейшая гидроэлектростанция на Африканском континенте, она сыграла огромную роль в экономическом развитии Египта. Плотина станции образовала водохранилище площадью 5250 квадратных километров и полным объемом 157 кубических километров — одно из

крупнейших в мире. Водохранилище позволило обеспечить орошение 700 тысяч га засушливых земель, а также защитило огромные густонаселенные территории от разрушительных наводнений.

Строительство Асуанской ГЭС началось в 1960 году и велось быстрыми темпами. На стройплощадке работали более 30 тысяч человек, в том числе около 5 тысяч советских специалистов. Основное оборудование станции (радиально-осевые турбины и гидрогенераторы) было изготовлено в СССР. Река на строительстве ГЭС была перекрыта в 1964 году, а еще через три года были пущены первые гидроагрегаты.

Возведение Асуанской ГЭС признано специалистами одним из самых выдающихся достижений в области строительства в XX веке.

Советские специалисты оказывали техническую помощь при сооружении таких крупных гидроузлов, как Джердап-I (крупнейшая ГЭС на Дунае, мощность 2136 МВт) и Бхакра (самая большая на тот момент ГЭС в Индии, мощность 600 МВт). Была спроектирована и построена ГЭС Наглу мощностью 100 МВт, которая и по сей день является крупнейшей гидроэлектростанцией Афганистана.

В 1960-е годы впервые обозначилось стремление к учету экологических последствий создания крупных ГЭС, минимизации затопляемых площадей (что проявилось, в частности, в выборе отметки водохранилища Красноярской ГЭС). По соображениям сохранения Волго-Ахтубинской поймы и предотвращения ущерба рыбному хозяйству был отвергнут проект Нижне-Волжской ГЭС. После долгих дискуссий признали нецелесообразным строительство Нижне-Обской ГЭС мощностью 6500 МВт и среднегодовой выработкой 31 млрд кВт·ч, которая должна была создать крупнейшее в мире водохранилище площадью 83 000 квадратных километра. Здесь главным аргументом стало наличие на затопляемой территории месторождений нефти. Так и не был принят к реализации проект другой ГЭС на Оби — Каменской, мощностью 650 МВт и с водохранилищем объемом 54 кубических километра. Была пересмотрена концепция понижения уровня озера Севан в Армении, для поддержания уровня озера начали строительство уникального 48-километрового тоннеля, перебрасывающего в озеро часть стока реки Арпа.

Советская гидроэнергетическая школа в 1960-е годы благодаря строительству Братской, Красноярской и Асуанской ГЭС вышла на лидирующие позиции в мире. Была освоена технология строительства крупнейших гравитационных бетонных и ка-

менно-набросных плотин, созданы гидроагрегаты мощностью до 500 МВт включительно.

Было начато новое направление — строительство крупных плотин на Крайнем Севере, в условиях вечной мерзлоты. В части возведения ГЭС на равнинных реках успешно освоили новое направление — строительство низконапорных гидроэлектростанций с крупногабаритными поворотными лопастными турбинами и горизонтальными капсульными агрегатами.

Были построены первые гидроаккумулирующие электростанции — Кубанская и Киевская, а также первая приливная электростанция. Строительство ГАЭС было продолжено в последующие годы, приливная энергетика же была сочтена малоперспективной — впрочем, аналогичное мнение тогда возобладало и в мировой практике.

Татевская ГЭС с ее рекордным по длине тоннелем и самыми крупными в СССР ковшовыми турбинами стала венцом развития деривационных станций. Советская гидроэнергетика сделала окончательный поворот в сторону строительства крупных плотинных (иногда — плотинно-деривационных) ГЭС. Возведение деривационных ГЭС продолжалось и в последующие годы, но это уже были по сути единичные проекты. Наконец, именно в 1960-х годах в СССР практически прекратилось строительство малых ГЭС.

В 1960-х годах произошло и еще одно важное событие — после многочисленных преобразований наконец была создана единая проектная организация в области гидроэнергетики — Гидропроект. Она включала в себя центральный институт в Москве, мощное отделение в Ленинграде, а также ряд региональных отделений. Отделения разделили между собой сферы ответственности. Центральное московское отделение занялось зарубежными проектами, гидроэлектростанциями на Ангаре и некоторыми объектами в Европейской части страны. Ленинградское отделение взяло на себя все ГЭС в Сибири и на Дальнем Востоке (кроме расположенных на Ангаре), станции на Северо-Западе Европейской части страны, а также объекты в Дагестане. Украинское, среднеазиатское, казахское, грузинское и другие региональные отделения специализировались на объектах в своих республиках.

Гидропроект быстро стал одной из мощнейших в СССР проектных организаций. Помимо ГЭС и гидротехнических объектов, он занимался проектированием целых городов со всей необходимой инфраструктурой, дорог, атомных электростанций и многих других объектов.

Гидроэлектростанции, построенные в 1961-1970 годах

| Название ГЭС | Мощность, МВт | Регион | Река | Год начала строительства | Год пуска первого агрегата | Тип ГЭС | Напор, м | Тип турбин |
|-------------------|---------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|----------|---|
| Борисоглебская | 56 | Мурманская область | Паз | 1960 | 1962 | Плотинно-деривационная | 19 | Поворотные лопастные |
| Хевоскоски | 47 | Мурманская область | Паз | 1956 | 1970 | Плотинная | 17 | Поворотные лопастные |
| Верхне-Тулумская | 278 | Мурманская область | Тулума | 1961 | 1964 | Плотинно-деривационная | 59 | Поворотные лопастные |
| Серебрянская-1 | 201 | Мурманская область | Воронья | 1964 | 1970 | Плотинно-деривационная | 76 | Поворотные лопастные |
| Кислобская ПЭС | 0,4 | Мурманская область | Губа Кислая, Баренцево море | 1967 | 1968 | Приливная | 5 | Горизонтальные капсульные |
| Кумская | 80 | Карелия | Ковда | 1955 | 1962 | Плотинно-деривационная | 32 | Поворотные лопастные |
| Выгостровская | 40 | Карелия | Нижний Выг | 1959 | 1961 | Плотинная | 12 | Поворотные лопастные |
| Беломорская | 27 | Карелия | Нижний Выг | 1961 | 1962 | Плотинная | 7 | Поворотные лопастные |
| Палокоргская | 30 | Карелия | Нижний Выг | 1963 | 1967 | Плотинная | 8 | Поворотные лопастные |
| Путкинская | 82 | Карелия | Кемь | 1963 | 1967 | Плотинная | 20 | Поворотные лопастные |
| Плявиньская | 825 | Латвия | Западная Двина | 1961 | 1965 | Плотинная | 34 | Радиально-осевые |
| Киевская | 361 | Украина | Днепр | 1960 | 1965 | Плотинная | 8 | Горизонтальные капсульные |
| Киевская ГАЭС | 225 | Украина | Днепр | 1962 | 1970 | Гидроаккумуляторная | 66 | Радиально-осевые |
| Днепродзержинская | 352 | Украина | Днепр | 1956 | 1963 | Плотинная | 10 | Поворотные лопастные |
| Воткинская | 1020 | Пермский край | Кама | 1955 | 1961 | Плотинная | 18 | Поворотные-лопастные |
| Саратовская | 1360 | Саратовская область | Волга | 1956 | 1967 | Плотинная | 10 | Поворотные лопастные, горизонтальные капсульные |

| | | | | | | | | |
|-----------------|------|---------------------|---------------------------------------|------|------|------------------------|-----|--|
| Шекснинская | 84 | Вологодская область | Шексна | 1958 | 1965 | Плотинная | 11 | Горизонтальные капсульные |
| Нугушская | 9 | Башкирия | Нугуш | 1965 | 1967 | Плотинная | ? | Радиально-осевые |
| Егорлыкская | 30 | Ставропольский край | Большой Егорлык | 1956 | 1962 | Плотинная | 28 | Поворотные лопастные |
| Кубанская ГАЭС | 16 | Карачаев-Черкесия | Большой ставропольский канал (Кубань) | 1961 | 1968 | Гидроаккумуляторная | 24 | Радиально-осевые |
| Кубанская ГЭС-1 | 37 | Карачаев-Черкесия | Большой ставропольский канал (Кубань) | 1961 | 1967 | Деривационная | 48 | Радиально-осевые |
| Кубанская ГЭС-2 | 184 | Карачаев-Черкесия | Большой ставропольский канал (Кубань) | 1961 | 1967 | Деривационная | 118 | Радиально-осевые |
| Кубанская ГЭС-3 | 87 | Ставропольский край | Большой ставропольский канал (Кубань) | 1964 | 1970 | Деривационная | 59 | Радиально-осевые |
| Кубанская ГЭС-4 | 76 | Ставропольский край | Большой ставропольский канал (Кубань) | 1964 | 1970 | Деривационная | 54 | Радиально-осевые |
| Павлодольская | 2,6 | Северная Осетия | Терек | ? | 1965 | Плотинная | 8 | Поворотные лопастные |
| Чирюртская-1 | 72 | Дагестан | Сулак | 1954 | 1961 | Плотинно-деривационная | 41 | Поворотные лопастные |
| Чирюртская-2 | 9 | Дагестан | Сулак | 1959 | 1964 | Деривационная | 7 | Поворотные лопастные |
| Братская | 4500 | Иркутская область | Ангара | 1955 | 1961 | Плотинная | 100 | Радиально-осевые |
| Красноярская | 6000 | Красноярский край | Енисей | 1956 | 1967 | Плотинная | 93 | Радиально-осевые |
| Мамаканская | 100 | Иркутская область | Мамакан | 1957 | 1961 | Плотинная | 45 | Поворотные лопастные |
| Виллоиская | 680 | Якутия | Виллой | 1960 | 1967 | Плотинная | 55 | Поворотные лопастные, радиально-осевые |
| Усть-Хантайская | 441 | Красноярский край | Хантайка | 1963 | 1970 | Плотинная | 46 | Поворотные лопастные |
| Храмская-2 | 120 | Грузия | Храми | ? | 1962 | Деривационная | 307 | Радиально-осевые |

Окончание таблицы

| | | | | | | | | |
|----------------|-----|------------------|-----------------------|------|------|---------------|-----|----------------------|
| Бреванская-1 | 44 | Армения | Раздан | ? | 1962 | Деривационная | 84 | Радиально-осевые |
| Татевская | 157 | Армения | Воротан | 1961 | 1970 | Деривационная | 569 | Ковшовые |
| Аракс | 44 | Азербайджан/Иран | Аракс | ? | 1970 | Плотинная | ? | Поворотные лопастные |
| Капчагайская | 434 | Казахстан | Или | 1965 | 1970 | Плотинная | 41 | Поворотные лопастные |
| Чардаринская | 100 | Казахстан | Сырдарья | 1960 | 1967 | Плотинная | ? | Поворотные лопастные |
| Уч-Курганская | 180 | Киргизия | Нарын | 1956 | 1961 | Плотинная | 29 | Поворотные лопастные |
| Албашинская | 40 | Киргизия | Ат-Баши | 1963 | 1970 | Плотинная | 68 | Радиально-осевые |
| Чарвакская | 600 | Узбекистан | Чирчик | 1963 | 1970 | Плотинная | 148 | Радиально-осевые |
| Талиулянская-3 | 9 | Узбекистан | Зеравшан | ? | 1963 | Деривационная | ? | ? |
| ЮФК-1 | 2 | Узбекистан | Южно-Ферганский канал | ? | 1965 | Деривационная | ? | ? |
| ЮФК-2 | 7 | Узбекистан | Южно-Ферганский канал | ? | 1966 | Деривационная | ? | ? |
| Головная | 210 | Таджикистан | Вахш | ? | 1962 | Плотинная | 23 | Поворотные лопастные |
| Центральная | 18 | Таджикистан | Вахш | ? | 1964 | Деривационная | ? | Поворотные лопастные |

Глава XI

Золотое десятилетие

В 1970-е годы советская гидроэнергетика вошла со статусом мирового лидера, и отдавать его не собиралась. Это десятилетие запомнилось целым созвездием уникальных объектов, которые и сейчас являются предметом заслуженной гордости отечественной гидроэнергетической школы. Именно в 1970-е гидроэнергетика в нашей стране достигла вершины своего развития.

Главной гидроэнергетической стройкой 1970-х стала, без сомнения, Саяно-Шушенская ГЭС — крупнейшая гидроэлектростанция (и электростанция вообще) нашей страны.

1956-1960 годах «Ленгидропроектом» была разработана схема гидроэнергетического использования верхнего Енисея, в ходе работы над которой была установлена целесообразность использования падения реки в районе Саянского коридора одной мощной ГЭС, что позволяло создать водохранилище с емкостью, достаточной для сезонного регулирования. 4 ноября 1961 года в Абакан прибыл первый отряд изыскателей «Ленгидропроекта», изучивший пять возможных створов — Майнский, Кибикский, Мраморный, Карловский и Джойский. Первоначально наиболее перспективным казался Джойский створ, но в ходе изысканий он был исключен из рассмотрения в связи с неблагоприятными геологическими условиями. Наиболее оптимальным оказался Карловский створ, выбранный Государственной комиссией в 1962 году.

В 1962-1965 годах «Ленгидропроектом» велись активные работы в рамках разработки проекта Саяно-Шушенской ГЭС. В ходе проектирования рассматривались варианты компоновки будущего гидроузла с каменно-набросной, бетонной гравитационной, арочной и арочно-гравитационной плотиной. Из всех возможных вариантов наиболее предпочтительным оказался вариант с арочно-гравитационной плотиной (так, вариант с каменно-набросной плотиной, потенциально несколько более дешевый, был отвер-

гнут по причине необходимости строительства крупных тоннельных водосбросов, требовавших сооружения сложных в эксплуатации двухъярусных водоприемников и создававших тяжелый гидравлический режим реки в нижнем бьефе). Проектное задание Саяно-Шушенской ГЭС было утверждено Советом Министров СССР в 1965 году и предусматривало сооружение ГЭС с 12 гидроагрегатами мощностью по 530 МВт (с подводом воды по типу использованного на Красноярской ГЭС), расположенными в здании ГЭС, по центру арочно-гравитационной плотины. Пропуск паводковых вод должен был осуществляться двумя поверхностными водосбросами без водобойных колодцев, расположенных слева и справа от здания ГЭС, и предусматривавших гашение энергии потока воды в яме размыва в нижнем бьефе.



*Перекрытие Енисея
на строительстве
Саяно-Шушенской ГЭС*

После утверждения проектного задания начались работы по созданию технического проекта Саяно-Шушенской ГЭС. В ходе работы над ним некоторые элементы конструкции станции претерпели изменения. Так, по предложению Министерства энергетики СССР и заводо-производителей оборудования было решено увеличить единичную мощность гидроагрегатов до 640 МВт, что позволило уменьшить их количество до 10. Было принято решение об использовании однониточных трубопроводов, в результате чего удалось существенно уменьшить длину здания ГЭС. Также в связи со значительными прогнозируемыми размерами воронки размыва и возможным развитием неблагоприятных процессов в нижнем бьефе было решено изменить конструкцию водосбросных сооружений в пользу водосброса с водобойным колодцем, расположенного в правой части гидроузла. Технический проект Саяно-Шушенской ГЭС был утвержден коллегией Минэнерго СССР в 1971 году.

Подготовительный этап строительства Саяно-Шушенской ГЭС начался в 1963 году со строительства дорог, жилья для строителей и других объектов инфраструктуры. Головной организацией, ответственной за строительство гидроузла, стал «КрасноярскГЭСстрой». Согласно проектному заданию, строительство ГЭС предпо-

лагалось осуществить в 1963—1972 годах. Однако объемы финансирования строительства с первых лет подготовительного периода значительно отставали от проектных, что привело к затягиванию сроков сооружения станции.

Непосредственные работы по сооружению собственно ГЭС были начаты 12 сентября 1968 года с отсыпки перемычек котлована первой очереди. После осушения котлована 17 октября 1970 года в основные сооружения станции был уложен первый кубометр бетона. К моменту перекрытия Енисея, осуществленного 11 октября 1975 года, были построены основание водосбросной части плотины с донными водосбросами первого яруса, значительная часть водобойного колодца и рисберма.



*Строительство
Саяно-Шушенской ГЭС*



*Доставка рабочих колес турбин
Саяно-Шушенской ГЭС*

После перекрытия реки были развернуты работы по сооружению левобережной части плотины со зданием ГЭС. Вплоть до 1979 года сток реки пропусклся через 9 донных водосбросов, а также поверх строящейся водосбросной части плотины через так называемую «гребенку», образованную наращиванием нечетных секций плотины по отношению к четным. Первый гидроагрегат Саяно-Шушенской ГЭС (со сменным рабочим колесом) был поставлен под промышленную нагрузку 18 декабря 1978 года. К 1988 году строительство ГЭС было в основном завершено, в 1990 году водохранилище было впервые заполнено до отметки НПУ.



Пропуск паводья 1979 года

Строительство станции не обошлось без серьезных трудностей. К 1976 году стало очевидно, что реальные темпы строительства значительно отстают от проектных предположений. Согласно техническому проекту станции, к моменту пуска первых гидроагрегатов планировалось возвести плотину на высоту 170 м и уложить в основу главных сооружений более 75% бетона от общего объема; для пропуска половодья в этот период планировалось использовать 10 временных водосбросов второго яруса. Отставание темпов работ при сохранявшихся директивных сроках пуска гидроагрегатов привело к необходимости изменения проектных параметров сооружения. В частности, было принято решение о снижении уровня верхнего бьефа, необходимого для пуска первых гидроагрегатов, что позволило снизить необходимый для укладки к этому моменту объем бетона с 7,31 до 4,13 миллионов м³, количество водосбросов второго яруса было уменьшено с 10 до 6 при сохранении их общей пропускной способности.

Однако обеспечить необходимые темпы укладки бетона даже в сокращенном варианте не удалось, что привело к невозможности пропуска половодья 1979 года с использованием только водосбросов второго яруса (донные водосбросы первого яруса подлежали заделке). Возникла необходимость использования также и открытых водосливов, т.е. переливом через верх водосбросной части плотины. Тем не менее, к началу половодья 1979 года водосбросной участок плотины не был подготовлен к пропуску воды и в этом варианте — в необходимые для безопасного пропуска половодья сооружения не было уложено более 100 000 м³ бетона. В результате 23 мая 1979 года при пропуске половодья произошел перелив воды через отдельную стенку и затопление котлована ГЭС с введенным в строй гидроагрегатом № 1.

Перед затоплением гидроагрегат был остановлен и частично демонтирован, что позволило после откачки воды быстро восстановить его работоспособность — уже в сентябре того же года агрегат был вновь введен в работу.

К моменту пуска второго и третьего гидроагрегатов профиль плотины также не соответствовал проекту — основные усилия строителей были направлены на интенсификацию возведения I столба плотины при недостаточных объемах бетонирования остальных столбов, что при заполнении водохранилища привело к непрочным напряжениям в I столбе и образованию трещин в бетоне. Их заделывали уже в 1990-х годах.

Еще одной проблемой стали разрушения в водобойном колодце станции. После пропуска половодья 1985 года при осмотре водобойного колодца было выявлено наличие в нем значительных разрушений. На площади около 70% поверхности дна колодца плиты крепления были полностью разрушены и выброшены потоком за водобойную стенку. На площади, составляющей порядка 25% от общей площади дна колодца, были разрушены все плиты крепления, бетонная подготовка и скала на глубину от 1 до 6 м ниже основания плит. В настоящее время причиной разрушения водобойного колодца считается разрушение бетонной «пломбы», которой были заделаны повреждения дна водобойного колодца, возникшие в 1981 году, с последующим проникновением потоков воды между плитами крепления и их основанием, что вызвало отрыв плит.



*Разрушения в водобойном колодце
Саяно-Шушенской ГЭС*

Сразу же после обследования осушенного колодца комиссией Минэнерго СССР было принято решение о его восстановлении, причем конструкция нового крепления принималась принципиально отличной от исходного. Вместо плит толщиной 2,5 м было решено устроить крепление из бетонных блоков толщиной 4-8 м. Устойчивость блоков обеспечивалась за счет их веса, цементации основания и использования анкерров.

После пропуска половодья 1988 года были вновь обнаружены значительные разрушения в водобойном колодце. Общая площадь повреждений составила примерно 14% общей площади дна колодца. В зоне наибольших разрушений бетонное крепление было разрушено полностью, до скального грунта, с образованием в последнем воронки размыва. Бетонные блоки крепления весом до 700 тонн каждый были либо разрушены, либо отброшены потоком к водобойной стенке. Причиной разрушения водобойного колодца являлось образование трещин в бетонных блоках в ходе подготовки основания под блоки второй очереди с применением взрывных работ.

Разрушения в водобойном колодце были устранены путем установки новых блоков, но с тщательной герметизацией их швов и обязательной установкой анкерров. После завершения рекон-

струкции, в ходе дальнейшей эксплуатации значительных разрушений в водобойном колодце больше не наблюдалось.

Самым значительным элементом гидротехнических сооружений Саяно-Шушенская ГЭС является ее арочно-гравитационная плотина высотой 245 метров и длиной по гребню 1074 метра. Уникальность плотины заключается в ее длине — арочные плотины в столь широком створе ранее никто не возводил. Устойчивость и прочность плотины обеспечивается действием собственного веса (на 60%) и частично упором верхней арочной части в берега (на 40%). Арочно-гравитационных плотин в СССР было построено всего две — второй является возведенная еще в 1930-е годы плотина Гергебильской ГЭС в Дагестане. В плотину Саяно-Шушенской ГЭС уложено 9 миллионов кубометров бетона — рекордное для советских плотин количество.



*Работа водосброса
Саяно-Шушенской ГЭС*

Для пропуска паводковых вод на Саяно-Шушенской ГЭС был построен водосброс с гашением потока воды (до 13 000 кубометров в секунду) в водобойном колодце. Такая конструкция водосброса ранее на крупных ГЭС в нашей стране не применялась.

Для пропуска паводковых вод на Саяно-Шушенской ГЭС был построен водосброс с гашением потока воды (до 13 000 кубометров в секунду) в водобойном колодце. Такая конструкция водосброса ранее на крупных ГЭС в нашей стране не применялась.

В машинном зале ГЭС смонтированы 10 гидроагрегатов мощностью 640 МВт — крупнейшие в нашей стране. Конструкция исполь-

пользованных на Саяно-Шушенской ГЭС мощных и высоконапорных радиально-осевых турбин была еще недостаточно отработана, что привело к ряду проблем при их последующей эксплуатации. Саяно-Шушенская ГЭС мощностью 6400 МВт и среднегодовой выработкой 23,5 млрд кВт·ч является самым мощным источником покрытия пиковых перепадов потребления электроэнергии в Единой энергосистеме России. Гидроэлектростанция является основой и источником энергоснабжения Саянского территориально-производственного комплекса, включающего в себя крупные алюминиевые заводы — Саянский и Хакасский, Абаканвагонмаш, угольные разрезы и другие предприятия.

Плотина станции создала крупное водохранилище полным объемом 31,34 км³ и площадью 621 км². Помимо выработки электроэнергии, водохранилище играет важную роль в борьбе с наво-

днениями. Например, в ходе половодья 2010 года расходы воды в Енисее за Майнской ГЭС были снижены практически вдвое — с угрожающих серьезными затоплениями 10 000 м³/с до безопасных 5 700 м³/с.

Из зоны затопления водохранилища было переселено около 10 тысяч человек, в основном из небольшого города Шагонар, перенесенного в новое место. В ложе водохранилища находилось более 3 млн м³ древесины. В связи с мелкоконтурностью и разбросанностью территорий произрастания деловой древесины, труднодоступностью лесных массивов из-за отсутствия подъездов, а также невозможностью обеспечения безопасной работы на крутых склонах каньона Енисея, было принято решение о затоплении этой древесины в водохранилище на корню. В результате значительная часть древесины всплыла, что потребовало проведения специальных работ по ее утилизации.

Помимо Саяно-Шушенской ГЭС в Сибири в 1970-х годах была построена еще одна крупная ГЭС — Усть-Илимская. Эту станцию, третью на Ангаре, начали строить в 1963 году, на спаде работ по возведению Братской ГЭС, тем же коллективом строителей. Они столкнулись с теми же трудностями — отсутствие в глухой тайге дорог, жилья, производственной базы. Опираясь на уже имеющуюся базу строительства Братской ГЭС, за три года выполнили работы подготовительного этапа и в 1966 году приступили к строительству основных сооружений — перемычек котлована. Первый кубометр бетона уложили в 1968 году, а в 1974 году запустили первый агрегат станции.

Усть-Илимская ГЭС имеет мощность 3840 МВт и среднегодовую выработку 21,8 млрд кВт·ч. По конструкции она очень похожа на Братскую ГЭС — та же гравитационная бетонная плотина (длиной 1475 м и высотой 105 м), сопрягающаяся по берегам с грунтовыми плотинами (намывной и каменно-земляной). Тот же водосброс с отбросом струи и ее гашением в яме размыва. Гидроагрегаты также очень похожи — у Братской ГЭС они имеют мощность 250 МВт, у Усть-Илимской — 240 МВт.



Усть-Илимская ГЭС

Усть-Илимская ГЭС создала крупное водохранилище площадью 1922 км² и полным объемом 58,9 км³. Из его зоны затопления было переселено около 14 тысяч человек — намного меньше, чем из ложа водохранилища Братской ГЭС.

Строительство Усть-Илимской ГЭС дало очередной толчок развитию промышленности Сибири, обеспечив электроэнергией новый Усть-Илимский территориально-промышленный комплекс, основным предприятием которого стал крупный лесоперерабатывающий комбинат. Посреди тайги вырос новый город Усть-Илимск с населением более 100 тысяч человек. В целом, строительство ГЭС в Сибири и на Дальнем Востоке, помимо всего прочего, решало задачу освоения ранее малообжитых земель. Гидроэлектростанция не только обеспечивала регион дешевой электроэнергией, при ее строительстве создавалась вся необходимая инфраструктура — дороги, связь, жилье, строительные мощности, что позволяло быстро развивать новые производства.



Строительство Зейской ГЭС

На Дальнем Востоке в 1970-х годах со строительства Зейской ГЭС на реке Зея началось гидроэнергетическое освоение бассейна реки Амур. Предварительный проект этой станции был разработан в 1961 году и предусматривал строительство грунтовой плотины. Но вскоре выяснилось, что строительная организация построить такую

плотину не готова, в частности по причине отсутствия необходимого количества большегрузных самосвалов. В итоге в 1966 году было решено строить станцию с бетонной плотинной, которая разрабатывалась в двух вариантах — гравитационном и массивно-контрфорсном. Выбор между ними был сделан в 1968 году, когда Министерство энергетики, руководствуясь экономическими соображениями, утвердило вариант контрфорсной плотины (которая была дешевле гравитационной на 15%).

Нужно отметить, что на тот момент в СССР отсутствовал опыт строительства крупных контрфорсных плотин, да еще и в суровых климатических условиях (небольшие плотины на станциях Пазского каскада в Мурманской области, которые к тому же возводились иностранными фирмами — не в счет). Такие плотины требуют

меньше бетона, но предъявляют особые требования к качеству выполнения бетонных работ.

Подготовительный этап строительства Зейской ГЭС начался в 1964 году, первый бетон уложили в 1970 году. В 1972 году строителям пришлось бороться с мощным наводнением, затопившем близлежащий город Зея — но котлован удалось отстоять, и в том же году состоялось перекрытие русла реки. Первый гидроагрегат пустили в 1975 году — причем его ввод был произведен на напоре всего 40 метров, в два раза меньше проектного. Это стало возможным за счет использования диагональных турбин, которые могут работать в широком диапазоне напоров.



Зейская ГЭС



Машинный зал Зейской ГЭС

Зейская ГЭС имеет мощность 1330 МВт и среднегодовую выработку электроэнергии 4,91 млрд кВт·ч. Станция построена в суровых климатических условиях (зимой температура нередко опускается ниже минус 40 градусов), в зоне 9-балльной сейсмичности.

Плотина Зейской ГЭС — массивно-контрфорсная, высотой 115,5 м и длиной 714 м (одна из самых крупных плотин такого типа в мире). Низовая грань плотины закрыта бетонными плитами, пространство между контрфорсами обогревается электрокалориферами, что позволяет обеспечить оптимальный температурный режим плотины. В здании ГЭС размещены 6 гидроагрегатов мощностью 215 — 225 МВт с диагональными гидротурбинами — крупнейшими турбинами такого типа в мире.

Зейская ГЭС благодаря размерам водохранилища и особенностям турбин стала основной регулирующей станцией энергосистемы Дальнего Востока. Важнейшей функцией Зейской ГЭС, помимо выработки электроэнергии, является предотвращение наводнений. С этой целью создано крупное водохранилище площадью 2 419 км² и полной емкостью 68 км³. Особенностью водохранилища являет-

ся значительный резервный объем, предназначенный для задержки паводковых вод. Зейская ГЭС неоднократно демонстрировала свою высокую эффективность в борьбе с наводнениями. Так, максимальные расходы воды в Зее в сильнейший паводок 2007 года были снижены втрое, с 15 200 м³/с до менее чем 5000 м³/с. В ходе катастрофического наводнения 2013 года (сильнейшего за весь период наблюдений) работа Зейской ГЭС позволила снизить расходы более чем вдвое, с 11 200 м³/с до 5000 м³/с, и в целом задержать около двух третей паводкового стока.

Благодаря расположению водохранилища в малонаселенной местности, переселить понадобилось относительно немного людей — около 4000 человек.

На Северном Кавказе в 1970-е годы была построена лишь одна ГЭС — Чиркейская в Дагестане, но ее мощность больше, чем общая мощность всех гидроэлектростанций, построенных в регионе до нее.

Впервые полевые изыскания и проектные проработки по гидроэнергетическому использованию реки Сулак были проведены в 1928—1930 годах. Итогом этих работ стала «Схема использования гидроэнергии р. Сулак», на которой впервые была намечена Чиркейская ГЭС. Учитывая благоприятные природные условия, позволяющие строительство мощной ГЭС с высотной плотиной и регулирующим водохранилищем, Чиркейская ГЭС рассматривается как первоочередной объект строительства, на ней концентрируются проектные и изыскательские работы. В 1933 году с целью исследования свойств горных пород в створе ГЭС в нескольких метрах от русла реки была пройдена шахта глубиной 61 м, из которой в сторону русла была пробита штольня длиной 27 м — русло реки находилось прямо над штольней, в нескольких метрах выше. Наблюдения показали высокую прочность и водонепроницаемость пород, их пригодность для строительства высотной плотины.

В 1931 году к консультациям привлекаются иностранные специалисты (немцы К. Терцаги и Н. Келен, итальянец А. Омодео и другие). Мнения специалистов о возможности возведения высотной плотины в данном створе разошлись, наибольшие опасения вызывало состояние бортов ущелья, сложенных трещиноватыми породами. В 1933 году был закончен эскизный проект ГЭС с арочно-гравитационной бетонной плотиной, который после доработок и длительной экспертизы был отклонен. Было отмечено, что в связи со сложными инженерно-геологическими условиями необходимо продолжить изыскательские работы в створе Чиркейской ГЭС,

а в качестве первоочередного объекта на Сулаке принять меньшую по размерам Чирюртскую ГЭС.

Масштабные изыскательские работы в створе Чиркейской ГЭС были вновь начаты в 1956 году Бакинским отделением Гидропроекта. Этим институтом к 1960 году было разработано проектное задание Чиркейской ГЭС, в котором рассматривалось два варианта компоновки ГЭС — с арочной и грунтовой плотинами. После прохождения необходимых согласований и экспертиз вариант с арочной плотиной был утвержден в 1962 году.

Строительство станции началось до утверждения технического проекта, при разработке которого Бакинское отделение Гидропроекта столкнулось с рядом трудностей, кроме того, сравнительно малочисленный коллектив института не справлялся с выпуском рабочей документации. В этой ситуации функции генерального проектировщика станции были переданы институту «Ленгидропроект» (главный инженер проекта — М.А. Миронов). В ходе разработки технического проекта и последующего рабочего проектирования изначальная компоновка сооружений была существенно изменена. В числе этих изменений наиболее существенными были следующие:

- разработка новой конструкции водосброса. Принятый в проекте задании водосброс поверхностного типа, расположенный на правом берегу, был заменен на правобережный тоннельный водосброс.

- отказ от подземного здания ГЭС в пользу приплотинного в связи с сомнениями в его надежности в сложных геологических условиях. Приплотинное здание сначала было спроектировано в традиционном виде с фронтальным последовательным расположением агрегатов, что в условиях узкого ущелья требовало больших объемов врезок в борта. В связи с этим было спроектировано здание ГЭС с двухрядным расположением гидроагрегатов, что позволило сократить длину здания вдвое.

- изменение конструкции строительного тоннеля с увеличением его длины с 350 м до 730 м, что позволило вынести его за пределы неустойчивого участка склона.

Подготовительный этап строительства Чиркейской ГЭС был начат в 1963 году с сооружения временных автодорог к строительной площадке ГЭС, а также линий электропередач, необходимых для энергоснабжения строительства. В августе 1963 года началось освоение площадки строительства станции. Поскольку со стороны нижнего бьефа створ был совершенно недоступен, временный поселок строителей было решено разместить со стороны верхнего

бьефа, в ложе будущего водохранилища, где изыскателями была проложена дорога. Одновременно в ноябре 1964 года была выбрана площадка для постоянного поселка гидроэнергетиков Дубки.



Строительство Чиркейской ГЭС

Через три месяца после начала строительных работ в 200 метрах выше створа плотины после затяжных дождей на левом берегу произошел обвал скального массива объемом около 23 тыс. м³, который перекрыл русло реки. За 5 часов вода поднялась на 22 м, после чего размыла тело завала. Это событие заставило внести существенные изменения в конструкцию гидроузла и технологию его строительства: в частности, был полностью перепроектирован строительный тоннель, увеличена высота временной перемычки.

Перекрытие реки Сулак было произведено 29 октября 1967 года при помощи направленного взрыва. Заряд взрывчатых веществ весом 37 тонн был размещен в трех штольнях. Взрывом было обрушено более 65 тыс. м³ породы, образовалась перемычка высотой более 20 м. Теперь вода реки шла по строительному тоннелю.

Значительно осложнил строительство крупный обвал левобережного склона объемом несколько десятков тысяч кубометров, заваливший котлован здания ГЭС. Он обошелся без жертв (пострадала только строительная техника), но разрушил уже отработанный борт котлована и обнажил новые трещины и потенциально неустойчивые блоки склона, требовавшие срочного закрепления. Вывал склона котлована пришлось срочно заполнять специальной бетонной «пломбой». Для крепления потенциально неустойчивых склонов левого берега была в короткие сроки разработана и реализована сложная система закрепления, состоявшая из шести ярусов продольных (вдоль русла реки) штолен, проложенных в гарантированно устойчивом массиве. От продольных штолен до склона ущелья прокладывались поперечные штольни (от 3 до 5 в каждом ярусе), на концах которых бетонировались мощные балки, стягиваемые стальными анкерами. Таким образом, неустойчивый массив склона высотой более 190 м и длиной до 100 м как бы «пришивался» к устойчивым породам. Сложность и опасность реализации данного варианта заключались в необходимости проходки поперечных штолен буров-

зрывным методом в неустойчивых и, более того, медленно движущихся скальных массивах, грозящих обрушением.

Первый бетон в основание плотины был уложен 28 февраля 1970 года. А уже 14 мая 1970 года строящаяся ГЭС оказалась в зоне воздействия разрушительного (сила толчков 8-9 баллов) Дагестанского землетрясения. Оно вызвало ряд обвалов и оползней в ущелье выше по течению, которые на некоторое время перекрыли русло реки, после чего

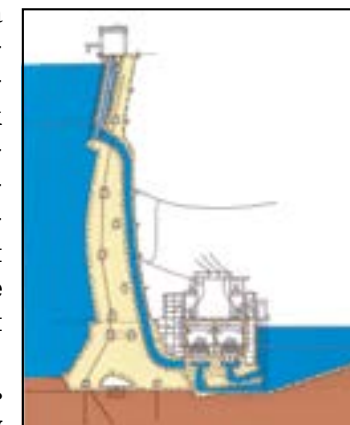


Панорама Чиркейской ГЭС

были размыты переливом воды через гребень. Однако перемычка котлована ГЭС удержала волну прорыва, а строительный тоннель справился с пропуском повышенных расходов. Строительство станции пострадало мало — из-за остановки водоотлива был частично затоплен котлован вместе со строительной техникой, но стройка была остановлена на полгода из-за необходимости оборки склонов и подъездов от осыпавшихся камней.

Специфика условий строительства (узкое ущелье) предопределила особенности бетонных работ. Подача бетона велась сверху, с помощью трех кабельных кранов грузоподъемностью по 25 т и пролетом 500 м, использующих цилиндрические радиоуправляемые бады емкостью 8 м³. Высокий уровень организации и механизации работ обусловил быстрое возведение плотины — уже 22 декабря 1974 года был пущен первый гидроагрегат.

Чиркейская ГЭС имеет мощность 1000 МВт и среднегодовую выработку электроэнергии 2,47 млрд кВт·ч. Плотина — бетонная арочная, высотой 232,5 м и длиной 338 м. Это первая арочная плотина высотой более 100 м в СССР, в настоящее время — вторая по высоте плотина в России (первая — плотина Саяно-Шушенской ГЭС). Природные условия строительства (узкий горный каньон) благоприятствовали строительству плотины именно такого типа.



Разрез по плотине и зданию Чиркейской ГЭС

Водосбросное сооружение реализовано в виде тоннеля, входное отверстие которого перекрывается затвором высотой 14 метров. В здании ГЭС расположено четыре гидроагрегата с радиально-осевыми турбинами, при этом впервые была использована двухрядная компоновка гидроагрегатов — они расположены не в одну линию, а в две, друг за другом. При этом отсасывающие трубы турбин (по которым происходит сброс воды в нижний бьеф) расположены друг над другом. Такое решение позволило значительно сократить длину здания ГЭС и уместить его в узкий каньон.

Чиркейская ГЭС является крупнейшей гидроэлектростанцией Северного Кавказа. Имея высокие маневренные возможности, она является основной регулирующей станцией в Объединенной энергосистеме Юга России, работая в пиковой части графика нагрузок. Также, она выполняет функции своеобразной «скорой помощи» в энергосистеме, позволяя в случае аварийного выхода блоков 150-300 МВт на тепловых электростанциях быстро заместить выбывшую мощность. Осуществляя глубокое регулирование стока, Чиркейская ГЭС повышает выработку на нижележащих станциях каскада (Миатлинской и трех Чирюртских), а также обеспечивает надежное водоснабжение населенных пунктов и орошение.

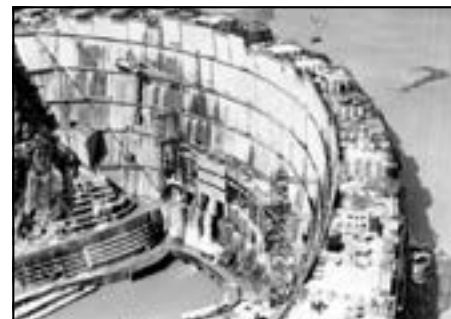
Плотина Чиркейской ГЭС удерживала статус самой высокой арочной плотины СССР всего несколько лет, уступив ее плотине Ингурской ГЭС в Грузии. Ингурская ГЭС, первые гидроагрегаты которой начали работать в 1978 году, представляет собой уникальный и сложный гидроэнергетический комплекс, включающий в себя несколько гидроэлектростанций, деривационный тоннель и высотную плотину.

Концепция Ингурского гидроэнергокомплекса предусматривает переброску большей части стока реки Ингури в бассейн другой реки, Эрисцкали. Напор при этом создается как при помощи плотины, так и деривацией — таким образом, Ингурская ГЭС является плотинно-деривационной станцией.

На реке Ингури построена арочная бетонная плотина высотой 271,5 м и длиной 728 м. До ввода в эксплуатацию в 2010 году китайской ГЭС Сяовань с плотиной высотой 292 м плотина Ингурской ГЭС была третьей по высоте плотиной мира, а также самой высокой на планете арочной плотиной.

Интересной особенностью Ингурской плотины является наличие сразу трех ярусов водосбросов. Первый, расположенный в самом низу, использовался в строительный период и впоследствии был за-

бетонирован. Выше расположен второй ярус из 7 отверстий диаметром по 5 метров. Наконец, на гребне плотины находится 12 поверхностных водосливов, рассчитанных на пропуск 2500 м³/с воды.



Строительство Ингурской ГЭС



Плотина Ингурской ГЭС

Из образованного плотиной водохранилища полным объемом 1,1 кубический километр берет начало напорный деривационный тоннель диаметром 9,5 м и длиной более 15 км. По нему вода попадает в подземное здание ГЭС, в котором размещены пять гидроагрегатов с радиально-осевыми турбинами, работающими на напоре 325 м. Этот напор — рекордный для турбин такого типа в СССР. Отработав на турбинах, вода по отводящему каналу попадает в реку Эрисцкали.

Мощность Ингурской ГЭС — 1300 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 4,43 млрд кВт·ч. Это крупнейшая гидроэлектростанция на Кавказе.

Оставшийся после Ингурской ГЭС перепад высот использован на каскаде из четырех ГЭС, также входящих в состав Ингурского гидроэнергокомплекса. Его верхней ступенью является плотинная Перепадная ГЭС-1 мощностью 220 МВт с поворотно-лопастными турбинами. После нее вода забирается в деривационный канал, на котором размещены три однотипные по конструкции (очень редкий случай в гидроэнергетике) Перепадные ГЭС-2, -3 и 4. Каждая из них имеет мощность 40 МВт и снабжена двумя горизонтальными капсульными гидроагрегатами. Интересно, что Перепадные ГЭС были вве-



Строительство Перепадной ГЭС-1

дены в работу значительно раньше Ингурской — в 1971 году, и для обеспечения их работы в этот период была сооружена временная галерея переброски воды из Ингури в Эрисцкали.

Помимо выработки электроэнергии, с вводом в работу Ингурского гидроэнергокомплекса была решена задача осушения больших массивов заболоченных земель, и наоборот, орошения других земель, испытывающих недостаток воды.

Судьба у этого энергокомплекса оказалась непростой. Дело в том, что плотина и часть тоннеля находится на территории Грузии, оставшаяся часть тоннеля, здание ГЭС и Перепадные ГЭС — на территории Абхазии. В ходе грузино-абхазской войны 1992-93 годов Перепадные ГЭС были остановлены и частично разрушены. Перепадную ГЭС-1 удалось восстановить в 2004 году, восстановление остальных трех станций по состоянию на 2014 год только планируется. Собственно Ингурская ГЭС осталась работоспособной и эксплуатируется совместно Грузией и Абхазией.

Помимо Ингурской ГЭС, в 1970-х годах в Грузии ввели в эксплуатацию две станции каскада Варцихских ГЭС. Этот каскад из четырех однотипных ГЭС мощностью по 46 МВт каждая расположен в нижнем течении реки Риони. Станции построены на отходящем от реки деривационном канале общей длиной 27 километров. По конструкции — обычные деривационные станции со зданиями ГЭС. Совмещенными с донными водосбросами, оснащенные гидроагрегатами с поворотно-лопастными турбинами. Варцихская ГЭС-I была пущена в 1976 году, ГЭС-II — в 1978 году, ГЭС-III — в 1985 году и ГЭС-IV — в 1988 году.

В Армении в 1978 году была пущена вторая ступень Воротанского каскада — Шамбская ГЭС мощностью 171 МВт (вторая по мощности ГЭС в Армении). Это довольно крупная плотинно-деривационная станция с двумя водохранилищами (высота плотин 23 и 69 м) и деривационными тоннелями общей длиной 16 км. Совмещение плотин и деривации позволило создать на ее радиально-осевых турбинах напор в 272 м.



Тертерская ГЭС

В Азербайджане в описываемый период была построена Тертерская ГЭС мощностью 50 МВт, интересная своей грунтовой гравийно-галечниковой плотиной с суглинистым ядром, имеющей высоту 125 м. Это самая высокая грунтовая плотина на Кавказе.

В Средней Азии в 1970-х годах были пущены гидроагрегаты на двух уникальных станциях — Нурекской и Токтогульской.

Нурекская ГЭС на р. Вахш (одна из составляющих Амударьи), расположена в Таджикистане. Река Вахш, имеющая горный характер, обладает большими запасами гидроресурсов, в связи с чем на ней был запроектирован каскад гидроэлектростанций. Первыми из них в нижнем течении реки были созданы относительно небольшие Головная, Перепадная и Центральная ГЭС. Строительство мощной Нурекской ГЭС началось в 1961 году, подготовительный период продолжался до 1969 года. Столь значительная его продолжительность связана с трудными условиями района строительства — узкий горный каньон с отсутствием подъездных дорог. В 1972 году пустили первый гидроагрегат, в 1979 году ГЭС была выведена на полную мощность.



Строительство подземных сооружений Нурекской ГЭС. Фото Всеволода Тарасевича

Плотина Нурекской ГЭС каменно-земляная, с противодиффузионным суглинистым ядром. Ее высота — 300 метров, длина — 714 метров, в тело плотины уложено 54 миллиона кубометров грунта.

Плотина Нурекской ГЭС долгое время (вплоть до ввода в строй в 2014 году китайской ГЭС Жиньпинь-1 с арочной плотиной высотой 305 метров) являлась самой высокой плотиной в мире. По состоянию на 2014 год она занимала второе место в мире по высоте и первое среди грунтовых плотин. Стоит отметить, что плотина такой высоты построена в зоне 9-балльной сейсмичности и устойчива к очень сильным землетрясениям.



Плотина Нурекской ГЭС. Фото Ибрагима Рустамова

При строительстве Нурекской ГЭС был создан сложный комплекс подземных сооружений общей длиной около 40 километров — три яруса строительных водосбросных тоннелей, эксплуатационный тоннельный водосброс, турбинные водоводы (в том числе и временные — первые гидроагрегаты пускались на пони-

женных напорах). Здание Нурекской ГЭС наземное, в нем размещены 9 гидроагрегатов с радиально-осевыми турбинами, работающими на расчетном напоре 230 м. Перед турбинами смонтированы уникальные шаровые затворы диаметром 4,2 м.

Мощность Нурекской ГЭС — 3000 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 11,2 миллиарда кВт·ч. Это крупнейшая гидроэлектростанция Средней Азии, основа электроэнергетики Таджикистана. В зоне влияния ГЭС сформировался территориально-промышленный комплекс, включающий в себя алюминиевый завод.

Плотина Нурекской ГЭС образовала крупное водохранилище объемом 10,5 кубических километров, которое помимо выработки электроэнергии имеет большое значение как источник воды для орошения. Из водохранилища берет начало ирригационный Дангаринский тоннель длиной более 14 километров, перебрасывающий воду на засушливые земли.

В Киргизии в 1975 году заработала крупнейшая станция Нарынского каскада — Токтогульская ГЭС. Подготовительные работы по строительству станции начались в 1962 году, уже на следующий год начали пробивать строительный тоннель. Русло Нарына перекрыли в 1966 году, через два года уложили первый бетон. К слову, на строительстве станции был разработан новый метод бетонных работ, без применения кранов, названный «токтогульским». Его особенность — перемещение бетона на автосамосвалах, комплексная механизация бетонных работ, укладка бетона большими блоками.



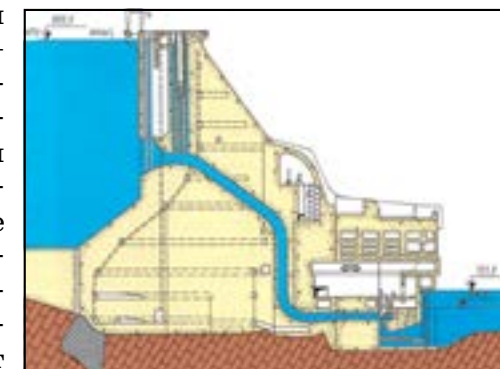
Токтогульская ГЭС

Условия строительства ГЭС оказались очень сложными, что потребовало применения оригинальных технических решений. Створ ГЭС располагается в узком горном ущелье глубиной около 1500 м, склоны которого сложены известняками, разбитыми многочисленными трещинами. Такая слабость склонов привела к необходимости спроектировать плотину таким образом, чтобы исключить передачу нагрузки на борта. Другая проблема — 9 балльная сейсмичность района строительства.

В результате была спроектирована уникальная гравитационная бетонная плотина высотой 215 метров. Ось плотины слегка искривлена и выгнута к нижнему бьефу. Береговые секции выполнены

без врезки в борта таким образом, чтобы вся нагрузка передавалась на основание и центральную секцию. В разрезе плотина Токтогульской ГЭС выглядит достаточно необычно, отличаясь от классического для гравитационных бетонных плотин «треугольника». Потребовались специальные сложные инженерные мероприятия по закреплению потенциально неустойчивых скальных блоков, объем которых составил около 10 миллионов кубометров. Чтобы забетонировать некоторые особенно крупные и опасные трещины, к ним пришлось прокладывать специальные тоннели.

Необычно реализованы и водосбросные сооружения — плотина имеет и поверхностные, и глубинные водосбросы, причем их трамплины расположены на одном уровне над зданием ГЭС. Здание гидроэлектростанции интегрировано в плотину, агрегаты радиально-осевыми турбинами мощностью по 300 МВт расположены в два ряда, как и на Чиркейской ГЭС.



Разрез по плотине и зданию Токтогульской ГЭС

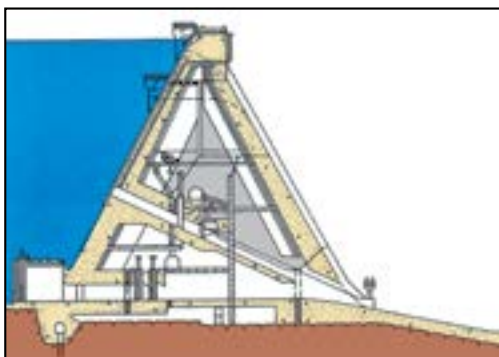
Мощность Токтогульской ГЭС — 1200 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 4,4 млрд кВт·ч. Это крупнейшая гидроэлектростанция в Киргизии и вторая по мощности ГЭС Средней Азии.

Токтогульская ГЭС образовала крупное водохранилище многолетнего регулирования полным объемом 19,5 кубических километров. Водоохранилище позволяет накапливать воду в многоводные годы и расходовать ее в маловодные. Выравнивая колебания стока, Токтогульское водохранилище способствует увеличению выработки нижележащих ГЭС на Нарыне и Сырдарье за счет минимизации холостых сбросов воды.

Токтогульское водохранилище имеет также большое ирригационное значение, позволяя дополнительно оросить около полутора миллиона гектаров засушливых земель.

В Узбекистане в 1980 году было завершено строительство второй (после Зейской ГЭС) гидроэлектростанции с массивно-контрфорсной плотинной — Андижанской. Строительство станции было санкционировано в 1963 году, работы на основных сооружениях были начаты в 1969 году.

Гидроузел построен на реке Карадарье (вторая, после Нарына, составляющая Сырдарьи) и его главной задачей является обеспечение орошения засушливых земель — 44 тысяч га. Выработка электроэнергии на ГЭС мощностью 140 МВт носит вспомогательный характер.

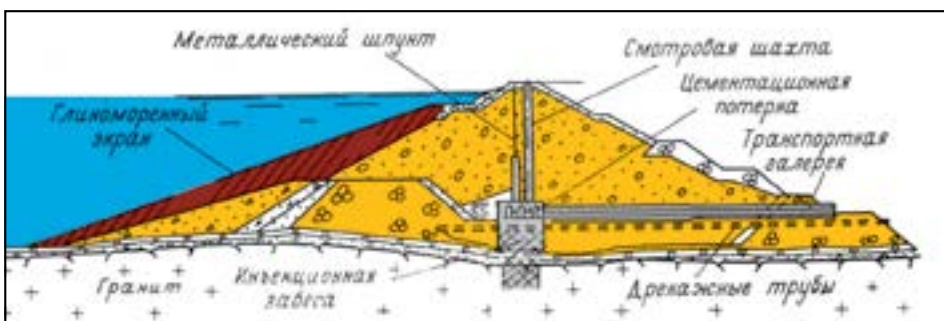


Разрез по плотине Андиганской ГЭС

По конструкции Андиганская ГЭС — плотинная станция с массивно-контрфорсной плотиной высотой 112 м и приплотинным зданием ГЭС. Помимо типа плотины, с Зейской ГЭС ее сближает и использованное гидросиловое оборудование — это одна из немногих гидроэлектростанций, на которой смонтированы диагональные турбины.

Продолжилось строительство ГЭС на Чирчике — была введена в эксплуатацию Ходжикентская ГЭС мощностью 165 МВт, выполняющая функции контррегулятора мощной Чарвакской ГЭС. Кроме этого, в низовьях Амударьи построили Туямуюнскую ГЭС мощностью 150 МВт, основная задача которой — обеспечение орошения засушливых земель. Обе этих станции представляют собой обычные русловые ГЭС с грунтовыми плотинами.

В центральной России были пущены первые гидроагрегаты на Чебоксарской и Нижнекамской ГЭС. Об этих станциях, строительство которых сильно затянулось и сопровождалось рядом специфических проблем, мы подробнее расскажем в разделе, посвященном 1980-м годам.



Разрез по плотине Серебрянской ГЭС

В Мурманской области в 1972 году пустили вторую станцию каскада ГЭС на Вороньей, Серебрянскую ГЭС-2 мощностью 150 МВт.

Грунтовая плотина высотой 65 м этой станции примечательна тем, что в качестве противофильтрационного элемента на ней применен металлический шпунт.

В Карелии ввели в эксплуатацию две станции Кемского каскада — Подужемскую мощностью 48 МВт (в 1971 году) и Юшкозерскую мощностью 18 МВт (в 1980 году). Обе станции по своей конструкции — типичные русловые ГЭС.

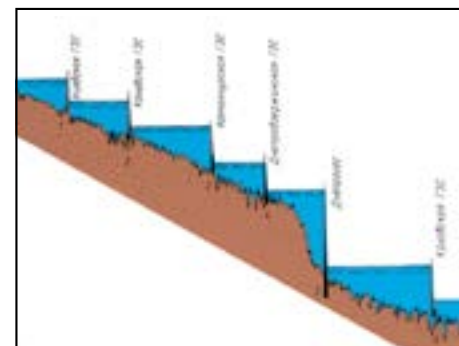


Серебрянская ГЭС-2. Фото ТГК-1

Юшкозерская станция, не смотря на свою небольшую мощность, образовала достаточно солидное водохранилище полным объемом 1,5 кубических километра, регулирующее сток реки в интересах всего каскада.

В Латвии в 1976 году было завершено начатое в 1966 году строительство Рижской ГЭС на Западной Двине. Особенностью этой русловой станции мощностью 384 МВт является расположение на окраине столицы республики — города Риги и большая длина земляных плотин — около 15 км. Кроме того, в 1976-79 годах была расширена построенная еще в 1939 году Кегумская гидроэлектростанция — к ее плотине пристроили новое здание ГЭС с тремя гидроагрегатами общей мощностью 192 МВт, что позволило увеличить мощность ГЭС до 260 МВт.

На Украине в 1972 году была пущена последняя станция Днепровского каскада — Каневская ГЭС мощностью 444 МВт. Эта русловая ГЭС примечательна очень низким используемым напором — 7,6 метров, что привело к необходимости монтажа сразу 24 горизонтальных капсульных гидроагрегатов. Здание ГЭС совмещено с водосбросной плотиной, также в состав гидроузла входят земляные плотины протяженностью около 15 км. Прототипом Каневской ГЭС послужила возведенная в предыдущем десятилетии Киевская ГЭС, с которой она имеет много схожих элементов конструкции, в частности — идентичные гидроагрегаты.



Профиль каскада ГЭС на Днепре



Схема сооружений Днепрогэс-I и II

переправив высвободившуюся воду на турбины.

ДнепроГЭС-II строился с 1969 по 1975 год, в новом здании были установлены 8 гидроагрегатов общей мощностью 835 МВт — больше, чем мощность изначальной станции. В результате Днепрогэс вновь стал самой мощной гидроэлектростанцией на Днепре. Кроме того, построили еще одну нитку шлюза, причем прогресс в области гидротехнического строительства позволил обойтись одной шлюзовой камерой вместо использованных в первой нитке трех.

В Молдавии на пограничной реке Прут в 1975 году были пущены агрегаты небольшой ГЭС Костешты-Стынка мощностью 32 МВт. Ее особенностью является наличие двух зданий ГЭС с одинаковыми по мощности гидроагрегатами, размещенными соответственно на молдавской и румынской стороне.



Плотина Евфратского гидроузла

За рубежом в 1970-е крупнейшим проектом отечественных гидроэнергетиков стал Евфратский гидроузел в Сирии (также известный как ГЭС Табка), первый агрегат которого был пущен в 1974 году. Мощность этой станции составляет 800 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 1,6 млрд кВт·ч. По конструкции это русловая гидроэлектростанция, интересная совмещени-

ем здания ГЭС с поверхностными водосбросами, а также высокой (58 м) и протяженной (более 4 км) намывной грунтовой плотиной. Строительство станции велось в тяжелых климатических условиях — температура нередко превышала 40 градусов.

Помимо выработки электроэнергии, эта ГЭС имеет большое ирригационное значение, ее водохранилище объемом 12 кубических километров позволило оросить 640 тысяч га засушливых земель.

Из других зарубежных объектов стоит отметить проект здания ГЭС Докан в Ираке, на реке Малый Заб. Арочная плотина высотой 116 м этой станции была построена в 1950-х годах по проекту британской фирмы, а вот здание ГЭС спроектировали специалисты отечественного института «Гидропроект». Мощность ГЭС — 400 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 1,13 млрд кВт·ч.

Также в 1970-х годах по советским проектам были построены ГЭС во Вьетнаме (ГЭС Тхак Ба, 120 МВт), Индии (ГЭС Балимела, 480 МВт — только здание ГЭС), Марокко (ГЭС Мулей-Юсеф, 24 МВт — только здание ГЭС, ГЭС Мансур-Эддахи, 10 МВт). Была оказана техническая помощь по строительству двух ГЭС в Болгарии.

Поводя итоги десятилетия, необходимо отметить, что советская гидроэнергетическая школа закрепила свои лидирующие позиции в мире, построив станции с самыми высокими арочными, арочно-гравитационными и грунтовыми плотинами. Со строительством контрфорсных плотин Зейской и Андижанской ГЭС было освоено возведение всех распространенных типов плотин. Освоено производство крупных диагональных турбин — пожалуй, самого высокотехнологичного образца гидротурбинного оборудования.

Стала очевидной тенденция ухода гидроэнергетического строительства в горные районы и малообжитые пространства Восточной Сибири. Причинами этого стали как высокая степень освоения гидропотенциала европейской части страны, так и возросшие требования по минимизации зоны затопления. Кроме того, в 1970-е годы у гидроэнергетики появились новые, и очень серьезные конкуренты — тепловая энергетика на газе и атомная энергетика.

Получила продолжение тенденция укрупнения ГЭС, концентрации усилий на строительстве ограниченного количества очень крупных станций. Строительство ГЭС мощностью менее 100 МВт стало относительно редким явлением, что впоследствии стало поводом для обвинения гидроэнергетиков в «гигантомании».

Гидроэлектростанции, построенные в 1971-1980 годах

| Название ГЭС | Мощность, МВт | Регион | Река | Год начала строительства | Год пуска первого агрегата | Тип ГЭС | Напор, м | Тип турбин |
|----------------------|---------------|-----------------------|----------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|----------|-----------------------|
| Серебрянская-2 | 150 | Мурманская область | Воронья | 1968 | 1972 | Плотинная | 63 | Поворотного-лопастные |
| Подужемская | 48 | Карелия | Кемь | 1968 | 1971 | Плотинная | 11 | Поворотного-лопастные |
| Юшозерская | 18 | Карелия | Кемь | 1971 | 1980 | Плотинная | 9 | Поворотного-лопастные |
| Чебоксарская | 1404 | Чувашия | Волга | 1968 | 1980 | Плотинная | 12 | Поворотного-лопастные |
| Нижнекамская | 1248 | Татарстан | Кама | 1963 | 1979 | Плотинная | 12 | Поворотного-лопастные |
| Саяно-Шушенская | 6400 | Хакасия | Енисей | 1963 | 1978 | Плотинная | 194 | Радиально-осевые |
| Усть-Илимская | 3840 | Иркутская область | Ангара | 1963 | 1974 | Плотинная | 86 | Радиально-осевые |
| Зейская | 1330 | Амурская область | Зeya | 1964 | 1975 | Плотинная | 79 | Диагональные |
| Чиркейская | 1000 | Дагестан | Сулак | 1963 | 1974 | Плотинная | 170 | Радиально-осевые |
| Рижская | 384 | Латвия | Западная Двина | 1966 | 1974 | Плотинная | 13 | Поворотного-лопастные |
| Кекумская-2 | 192 | Латвия | Западная Двина | 1976 | 1979 | Плотинная | 13 | Поворотного-лопастные |
| Каневская | 444 | Украина | Днепр | 1963 | 1972 | Плотинная | 8 | Горизонтальные Kaplan |
| Днепрогэс-2 | 835 | Украина | Днепр | 1969 | 1974 | Плотинная | 34 | Пропеллерные |
| Костешты-Стынка | 32 | Молдавия, Румыния | Прут | ? | 1975 | Плотинная | 27 | Поворотного-лопастные |
| Ингульская | 1300 | Грузия | Ингури | ? | 1978 | Плотинно-деривационная | 325 | Радиально-осевые |
| Перепадная-1 | 220 | Грузия | Эрицкали | ? | 1971 | Плотинная | 59 | Поворотного-лопастные |
| Перепадные-2, -3, -4 | 3x40 | Грузия | Эрицкали | ? | 1971 | Деривационная | 3x11 | Горизонтальные Kaplan |
| Варцхские-1,-2 | 2x46 | Поворотного-лопастные | Риони | ? | 1976, 1978 | Деривационная | 2x15 | Поворотного-лопастные |
| Шамбская | 171 | Армения | Воротан | ? | 1978 | Деривационная | 272 | Радиально-осевые |
| Тертерская | 50 | Азербайджан | Тергер | ? | 1976 | Плотинная | ? | Радиально-осевые |
| Токтогульская | 1200 | Киргизия | Нарын | 1962 | 1975 | Плотинная | 140 | Радиально-осевые |
| Анджиданская | 140 | Узбекистан | Карадарья | 1963 | 1980 | Плотинная | 83 | Диагональные |
| Ходжикентская | 165 | Узбекистан | Чирчик | 1971 | 1976 | Плотинная | 34 | Поворотного-лопастные |
| Туямуковская | 150 | Узбекистан | Амударья | ? | 1980 | Плотинная | ? | Поворотного-лопастные |
| Нурекская | 3000 | Таджикистан | Вахш | 1961 | 1972 | Плотинная | 230 | Радиально-осевые |
| Хорогская | 8,5 | Таджикистан | Гунт | ? | 1973 | Деривационная | 59 | Радиально-осевые |

Глава XII

Прерванный полет

К 1980-м годам советская гидроэнергетика подошла в зените своей славы и возможностей. Проектировщики получили опыт создания крупнейших в мире ГЭС в любых, в том числе самых сложных условиях. Мощные строительные организации, такие как Братскгэсстрой, Красноярскгэсстрой, Нарынгидроэнергострой, Таджикгидроэнергострой и другие, были готовы воплотить идеи проектировщиков в жизнь. Отечественные заводы освоили выпуск всего спектра оборудования для ГЭС, в том числе крупнейших в мире турбин различных типов.

Руководство страны, стремясь уменьшить в электроэнергетике долю работающих на газе тепловых станций (газ тогда, как и сейчас, был важным источником валютной выручки) сделало ставку на форсированное развитие атомной и гидроэнергетики. Было начато проектирование и строительство целого ряда новых крупных ГЭС в Сибири, на Дальнем Востоке, в Средней Азии и на Кавказе. В Европейской части страны масштабная программа строительства АЭС подкреплялась не менее крупной программой возведения гидроаккумулирующих станций, необходимых для оптимизации работы энергосистемы.

Перспективы казались самыми радужными, но с середины десятилетия гидроэнергетика стала подвергаться все более ожесточенной и зачастую малокомпетентной критике о стороны общественности. Эта ситуация была не уникальной (аналогичным нападениям подвергся практически весь промышленный сектор). Причиной происходящего стали масштабные изменения в общественно-политической жизни страны — начало Перестройки, ослабление советской системы и государства в целом. К концу десятилетия к этому добавился нарастающий экономический кризис. В итоге к концу 1980-х годов развитие гидроэнергетики в СССР было практически приостановлено — почти все новые проекты

были отменены, уже начавшееся строительство ряда станций приостановлено. А вскоре прекратил свое существование и сам СССР.

Тем не менее, в 1980-х годах в СССР начали работу достаточно большое количество гидроэлектростанций, начатых строительством в 1960-е и 1970-е годы.

На Дальнем Востоке были пущены гидроагрегаты первой ГЭС в Магаданской области — Колымской. Впервые идею строительства ГЭС на Колыме выдвинул геолог Д.В. Вознесенский, который в 1932 году обследовал верховья реки. Изыскания возможности строительства гидроэлектростанции в районе Больших Колымских порогов с целью энергоснабжения объектов Дальстроя (организация, входившая в состав НКВД и занимавшаяся организацией на Колыме добычи золота) были начаты в 1934 году. Уже в следующем году был разработан проект ГЭС мощностью 50 МВт с грунтовой плотинной высотой 76 м. Этот проект не был реализован по причине высокой стоимости. В 1938 году изыскания были продолжены, было пробурено несколько скважин глубиной 60 м, составлен проект ГЭС мощностью 148 МВт при высоте плотины 65 м, также не реализованный. В 1948 году была составлена схема гидроэнергетического использования верхней Колымы, включавшая в себя Верхнепорожскую, Нижнепорожскую и Усть-Среднеканскую ГЭС, общей мощностью 1080 МВт. Однако вместо строительства ГЭС более эффективным было признано использование местных углей.



*Водосбросное сооружение
Колымской ГЭС*

Интерес к строительству ГЭС на Колыме вновь возник в 1960-х годах. В июне 1964 года была начата топографическая съемка в районе будущей ГЭС. В 1965 году в Магадан вместе с большой группой гидротехников прибыл министр энергетики СССР П.С. Непорожний; по итогам этой поездки было принято решение о начале изыскательских работ на створе Колымской ГЭС. Институту «Ленгидропроект» поручалось начать проектные проработки станции.

Предварительный проект станции был утвержден в 1970 году, тогда же был окончательно выбран створ станции. В ходе рабочего проектирования и строительства в проект были внесены существенные изменения — в частности, возросла мощность станции

(с 720 до 900 МВт — был добавлен еще один гидроагрегат), высота плотины увеличена на 5,5 м, изменена конструкция временной плотины (в качестве противофильтрационного элемента был принято ядро вместо экрана). Была значительно изменена конструкция эксплуатационного водосброса — за счет увеличения высоты плотины и соответственно объемов аккумуляции стока в водохранилище появилась возможность уменьшить его пропускную способность и габариты (из шестипролетного он стал трехпролетным).

6 ноября 1969 года был подписан приказ о создании в составе «Виллюйгэстроя» управления строительства «Колымагэстроя». Начальником строительства станции стал Ю.И. Фриштер. 17 февраля 1970 года с Виллюйской ГЭС в Якутии был отправлен первый автопоезд со строительной техникой. Одновременно выдвигались люди и техника со стороны Магадана — в марте 1970 года в районе поселка Уптар была выбрана площадка для перевалочной базы строительства. Начался подготовительный этап стройки — сооружение жилья, дорог, базы строительства и другой инфраструктуры.

В 1971 году было официально начато возведение поселка гидростроителей Синегорье, тогда же началось строительство постоянной автодороги Дебин — Синегорье, завершенное в 1973 году. В 1972 году строительство получило постоянное энергоснабжение по линии 35 кВ. Подготовительный этап строительства был завершён в 1977 году, с открытием моста через Колыму, что позволило в полном объеме развернуть работы на основных сооружениях.

Схема строительства станции предусматривала ее сооружение в две очереди. В первую очередь станции входило сооружение цементационной галереи основной плотины, временных плотин, водосбросного сооружения, водоприемника и тоннельных водоводов, а также части машинного зала на три агрегата, включаемых в работу на пониженных напорах (40-56 м).

Во вторую очередь строится основная плотина, постоянные водосброс и водоприемник, здание ГЭС в полном объеме.

Земельно-скальные работы в створе Колымской ГЭС начались в 1974 году, в 1976 году в основные сооружения гидроузла был уло-



*Строительство временного
водосбросного сооружения
Колымской ГЭС*

жен первый бетон. Параллельно велись работы на обширных подземных сооружениях станции.

Строительство не обошлось без ряда проблем. Так, в 1980 году в железобетонной обделке свода машинного зала была обнаружена трещина длиной 30 м, которая продолжала расти и вскоре достигла длины 84 м. Причиной образования трещины стала разгрузка горных пород в результате их оттаивания в условиях наличия в породе естественных тектонических трещин. Для решения проблемы были проведены специальные мероприятия по укреплению стен и свода машинного зала, в частности, крепление их анкерами длиной 9-12 м. Возникли сложности с котлованом — в первый раз из-за повышенной фильтрации через перемычки откачать из него воду не удалось. Пришлось изменить схему строительства в пользу полного перекрытия реки с сооружением строительного тоннеля длиной 300 м для пропуска расходов реки. Не обошлась без проблем и эксплуатация временного водосбросного сооружения.

Сооружение высотной (более 100 м) плотины в условиях вечной мерзлоты не имело аналогов. Ее работа была проверена на опытной плотине высотой 16 м в русле местного ручья, представляющей собой модель плотины Колымской ГЭС.



Машинный зал Колымской ГЭС

Директивное давление партийных органов (первый гидроагрегат требовалось пустить к открытию XXVI съезда КПСС в феврале 1981 года) в условиях недофинансирования строительства и имеющихся технических проблем привело к урезанию пускового комплекса с целью обеспечить пуск станции в заданные сроки. 24 февраля 1981 года был произведен пуск первого гидроагрегата. В условиях недостроенной временной плотины и незначительных расходов в реке в зимний период накопленной в водохранилище воды хватило только на 8 дней работы гидроагрегата, после чего он был остановлен. Информация об этом дошла до Комитета народного контроля СССР, результатом проверки которого стало аннулирование акта о приемке в эксплуатацию гидроагрегата и лишение коллектива строителей правительственных наград. Повторный пуск гидроагрегата № 1 был произведен в июне 1982 года. Интересно, что строительство здания ГЭС велось

одновременно с эксплуатацией первых агрегатов. В одном конце подземного машинного зала работали агрегаты, в другом велись взрывные работы по проходке оставшейся части помещения.

В ходе строительства второй очереди были возведены основная плотина, постоянный водоприемник, водоводы и водосброс, а также здание ГЭС в полном объеме. Отсыпка основной плотины Колымской ГЭС велась в 1981-1988 годах, наиболее интенсивно — в 1983 году. В июне 1988 года началось наполнение Колымского водохранилища до проектного уровня, были введены в работу постоянный водоприемник и водоводы, что позволило пустить гидроагрегат № 4 на расчетном напоре. Перевод первых трех гидроагрегатов на полный напор был завершён в 1991 году, последний гидроагрегат был пущен уже в 1994 году.



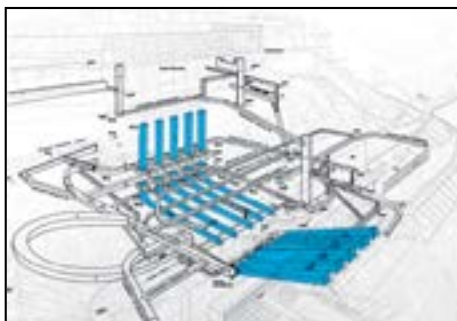
Колымская ГЭС

Колымская ГЭС имеет мощность 900 МВт и среднегодовую выработку электроэнергии 3,3 млрд кВт·ч. Станция является основным источником энергоснабжения Магаданской области, обеспечивая около 95% ее энергопотребления. Ввод ГЭС в эксплуатацию позволил вывести в резерв Аркагалинскую ГРЭС и существенно сократить потребление угля на Магаданской ТЭЦ (с прекращением отопительного периода ТЭЦ останавливается и используется электрокотельная). Ежегодно предотвращается сжигание около одного миллиона тонн угля, преимущественно привозного.

Плотина Колымской ГЭС каменно-набросная, с суглинистым ядром, высотой 134,5 м и длиной 683 м. В настоящее время это самая высокая грунтовая плотина России, к тому же построенная в экстремальных природных условиях — в зоне развития вечной мерзлоты, с зимними температурами воздуха, доходящими до минус 60 градусов. Водосброс поверхностный, берегового типа, заканчивается трамплинами. Гашение энергии водного потока происходит в яме размыва. Каждый из трех пролетов водосброса перекрывается уникальными затворами шириной 13 м и высотой 21 м.

Здание ГЭС расположено под землей — это самая крупная ГЭС в России с подземным машинным залом. В нем размещены пять гидроагрегатов с диагональными турбинами мощностью по 180 МВт (позднее одна из турбин была заменена на радиально-осевую).

Интересна конструкция распределительного устройства — оно смонтировано в закрытом помещении на крыше административного корпуса. В те годы такое решение применялось редко — как правило, использовались открытые распределительные устройства.



Подземные сооружения
Колымской ГЭС



Разработка подземного
машинного зала Колымской ГЭС

Плотина станции образовала крупное Колымское водохранилище площадью 454 квадратных километра и полезным объемом 15 кубических километров. Столь емкое водохранилище позволяет накапливать воду летом, в паводковый период, и расходовать ее зимой, когда потребление электроэнергии возрастает, а естественный сток рек падает почти до нуля. Кроме того, водохранилище защищает земли ниже по течению от наводнений и обеспечивает судоходство на Колыме.

Еще одной крупной ГЭС, построенной на Крайнем Севере, стала Курейская гидроэлектростанция в Красноярском крае. Это вторая станция (после Усть-Хантайской ГЭС), предназначенная для энергоснабжения изолированной Норильской энергосистемы.

Ее строительство началось в 1975 году, к 1980 году были закончены первоочередные работы подготовительного этапа и начато возведение основных сооружений. В 1983 году уложили первый бетон, еще через два года перекрыли реку Курейку. Паводок 1986 года пропускался не только через строительный тоннель, но и поверх недостроенной каменно-набросной плотины, укрепленной со стороны нижнего бьефа бетонной стенкой. Первый агрегат ГЭС пустили в 1987 году, последний — только в 1994 году.

При строительстве станции была отработана технология заготовки и укладки в плотины глинистых грунтов при отрицательных температурах наружного воздуха. Применена технология подготовки основания грунтовых плотин на озерно-ледниковых отло-

жениях без откачки котлована. Впервые в отечественной практике использовался укатанный жесткий малоцементный бетон (из него возвели переливную стенку временной плотины).

Курейская ГЭС имеет достаточно необычную конструкцию. Ее напорный фронт сформирован тремя отдельными каменно-набросными плотинами с суглинистым ядром — правобережной, русловой и левобережной. Общая длина плотин — 4000 м, максимальная высота — 80 м. Также в русле реки расположено водосборное сооружение поверхностного типа, рассчитанное на пропуск более 9000 кубометров воды в секунду.



Курейская ГЭС. Фото ОАО «НТЭК»

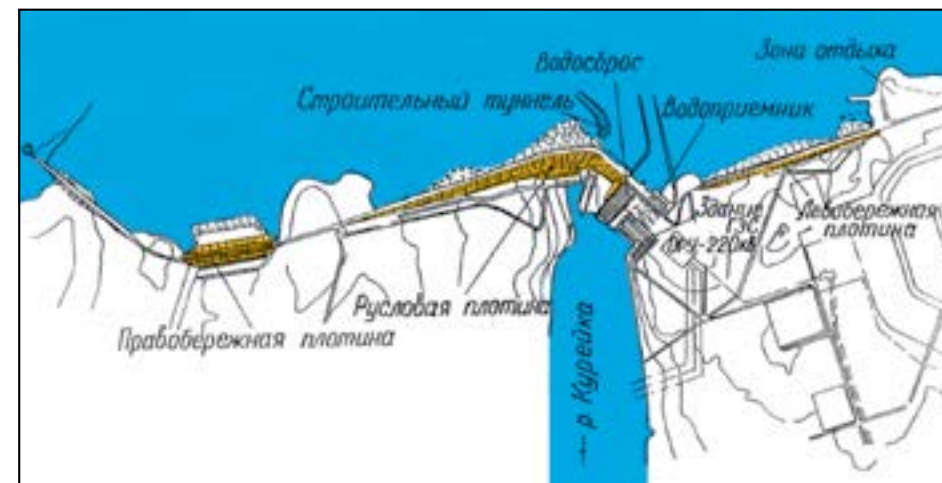


Схема сооружений Курейской ГЭС

Здание ГЭС наземное, врезано в скальный массив со стороны нижнего бьефа. Подвод воды к турбинам осуществляется по тоннельным водоводам. Мощность Курейской ГЭС — 600 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 2,6 млрд кВт·ч.

Подпорные сооружения ГЭС создали крупное водохранилище площадью 558 квадратных километров и полным объемом 10 кубических километров. Столь емкое водохранилище обеспечивает надежную работу станции в маловодный зимний период.



Майнская ГЭС

В 1984 году был пущен первый гидроагрегат Майнской ГЭС на Енисее. Эта станция мощностью 321 МВт выполняет роль контррегулятора Саяно-Шушенской ГЭС. В ее водохранилище сглаживаются неравномерные в течение суток расходы воды, возникающие при изменении мощности Саяно-Шушенской ГЭС при ее работе в соответствии

с потребностями энергосистемы. Майнская же ГЭС работает в базовом режиме с одной и той же мощностью и соответственно равномерным расходом воды в нижний бьеф. Станция изначально входила в состав проекта Саяно-Шушенского гидрокомплекса, по конструкции это обычная низконапорная русловая ГЭС.

В 1980-х годах были введены в эксплуатацию последние станции Волжско-Камского каскада — Чебоксарская и Нижнекамская. Их судьба оказалась очень непростой.

Чебоксарская ГЭС появилась в проектных проработках еще в 1930-х годах. В послевоенные годы ее намечалось построить сразу после Горьковской, Куйбышевской и Волгоградской. В 1950-х годах институтом «Гидроэнергопроект» было разработано проектное задание на строительство Чебоксарской ГЭС в Пихтулинском створе (4 км ниже Чебоксар). На основании данного задания в 1959 году Совет Министров РСФСР своим распоряжением запретил новое строительство в зоне будущего Чебоксарского водохранилища. В 1960 году дальнейшее проектирование Чебоксарской ГЭС было поручено Куйбышевскому филиалу Гидропроекта, который пришел к выводу, что выбор створа, компоновка основных сооружений ГЭС и отметка уровня водохранилища требуют корректировки, которая и была проведена в 1963 году. Створ гидроузла был изменен с Пихтулинского на Ельниковский, отметка верхнего бьефа была определена в 68 метров, в здании ГЭС предполагалось установить 32 горизонтальных капсульных агрегата мощностью 51,2 МВт каждый. В дальнейшем по предложению госэкспертизы от горизонтальных гидроагрегатов отказались в пользу вертикальных.

Проектное задание на строительство ГЭС было утверждено в 1967 году. Для организации работ по строительству ГЭС в 1967-1968 годах были созданы Управление строительства

«Чебоксаргэсстрой» и Дирекция строящейся Чебоксарской ГЭС. Строительство станции было объявлено Всесоюзной стройкой. В 1968 году начались подготовительные работы по сооружению гидроузла, в 1973 году на строительстве ГЭС уложили первый бетон.

Река Волга была перекрыта в ноябре 1980 года. Первый агрегат пустили 31 декабря 1980 года, последний — в 1986 году. С весны 1981 года и по настоящее время станция продолжает работать на промежуточной отметке водохранилища — 63 метра, вместо проектной — 68 метров.

Строительство Чебоксарской ГЭС в полной мере испытало на себе ужесточение подходов к минимизации зон затопления. Проект водохранилища постоянно перерабатывался, по настоянию местных властей в него включали все новые и новые инженерные защиты (дамбы обвалования, насосные станции, дренажи и т.п.). Их строительство сильно отставало от введения самой ГЭС, которое тоже изрядно затянулось.



Начальный этап строительства Чебоксарской ГЭС



Монтаж турбины Чебоксарской ГЭС



Строительство Чебоксарской ГЭС

В итоге к пуску первого гидроагрегата выяснилось, что зона затопления водохранилища под проектную отметку не готова. Было решено пустить станцию на временной, промежуточной отметке водохранилища, а полностью его заполнить после достройки инженерных защит. Но защиты продолжали строиться медленными темпами, а с середины 1980-х годов станция, как и вся гидроэнергетика, попала под каток ожесточенной критики.

В 1989 году проект был направлен на повторную экспертизу, которая не приняла окончательного решения по отметке водохранилища, но при этом фактически заморозила сложившуюся ситуацию. Довершили дело экономические проблемы в стране. Строительство Чебоксарской ГЭС официально так и не было завершено, станция работает на промежуточной отметке водохранилища без аккумулирующей емкости, что породило массу проблем:

- ГЭС используется не более чем на 60% проектной мощности, ежегодная недовыработка электроэнергии составляет 1,43 млрд кВт·ч. Длительная работа гидроагрегатов ГЭС на непроектном напоре приводит к их ускоренному износу;

- стратегическая задача по увеличению гарантированной глубины на Единой глубоководной системе Европейской части России с 365 до 400 см оказалось не реализованной. На участке от Городца до Нижнего Новгорода (около 60 км) необходимая гарантированная глубина 4 метра обеспечивается только при среднесуточном расходе на Нижегородской ГЭС свыше 1400 м³/с, кроме этого, не обеспечивается нормальное функционирование шлюзов Нижегородской ГЭС. В итоге данный участок речные суда проходят с двадцатипроцентным недогрузом в течение двух суток, а пассажирские суда пропускаются только в течение 3 часов в сутки, когда производятся повышенные сбросы с Нижегородской ГЭС. Следующие транзитом крупнотоннажные суда вынуждены сгружать часть грузов на суда с меньшей осадкой, проходить мелководный участок (при этом очередь на шлюзование достигает двух недель), после чего вновь грузиться. Такая ситуация приводит к значительным экономическим потерям, особенно значительным в маловодные годы.

- водохранилище имеет большую фактическую площадь мелководий (31,5% вместо 20,7% проектных), что не соответствует санитарным нормам и приводит к ухудшению качества воды;

- не обеспечивается нормальная работа водозаборов в нижнем бьефе гидроузла вследствие недостаточного уровня минимального санитарного стока;

- не завершено строительство системы инженерной защиты, что привело к подтоплению 3500 га территории и 536 жилых строений;

- не решена проблема подтопления заречной части Нижнего Новгорода, где в настоящее время по причинам, не связанным с Чебоксарской ГЭС, подтоплено около 33% территории. Проект Чебоксарской ГЭС подразумевал создание дренажной системы для

ликвидации существующего и возможного подтопления, однако ее строительство не было завершено;

- происходит разрушение возведенных защитных сооружений, не рассчитанных на работу на отметке 63 м;

- водохранилище не имеет полезной емкости и не может осуществлять регулирование стока в интересах всей системы Волги, в частности, в интересах обводнения Волго-Ахтубинской поймы;

- отсутствие полезной емкости водохранилища может привести к крупным затоплениям в нижнем бьефе гидроузла в случае сильных паводков;

- не организована водоохранная зона водохранилища, что ведет к усилению его загрязнения и несанкционированной застройке зоны затопления и подтопления;

- омертвлены значительные средства, вложенные в сооружения портов, водозаборов, систем инженерной защиты, рассчитанных на работу при проектной отметке.

По своей конструкции, Чебоксарская ГЭС — типичная русловая станция с грунтовой плотиной, небольшой водосбросной плотиной и зданием ГЭС, совмещенным с донными водосбросами. Проектная мощность ГЭС — 1404 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 3,64 млрд кВт·ч.



Чебоксарская ГЭС

Ровно те же самые проблемы возникли и при строительстве Нижнекамской ГЭС, по конструкции практически идентичной Чебоксарской. Отличается она тем, что в ее машинном зале установлено на два гидроагрегата меньше, соответственно и ее проектная мощность ниже — 1248 МВт. Уровень ее водохранилища остался на отметке 63,3 м вместо проектной 68 м.

В 1987 году был пущен первый гидроагрегат Загорской ГАЭС в Московской области — пилотного объекта амбициозной программы строительства в СССР гидроаккумулирующих электростанций.

Загорская ГАЭС проектировалась институтом «Гидропроект» как головная в предполагаемой серии унифицированных гидроаккумулирующих электростанций с напорами 100—200 м, которые планировалось разместить в Европейской части России. На ней планировалось отработать целый ряд инженерных решений, ранее

не применявшихся в отечественной практике гидроэнергетического строительства. Это мощные насос-турбины и двигатели-генераторы, протяженные железобетонные напорные водоводы большого диаметра, дамбы верхнего бассейна с креплением железобетоном и т. п. В связи с этим строительство Загорской ГАЭС являлось экспериментальным. Выбор площадки размещения станции был обусловлен несколькими факторами:

- возможность создания необходимого напора;
- удобное расположение — вблизи границ трех областей, в зоне влияния ряда крупных тепловых электростанций и мощной энергосистемы «Мосэнерго»;
- небольшая длина линий электропередачи, необходимых для присоединения к энергосистеме;
- благоприятные условия организации строительства (близость транспортных магистралей, строительных баз и предприятий);
- небольшие площади отчуждаемых сельскохозяйственных земель.

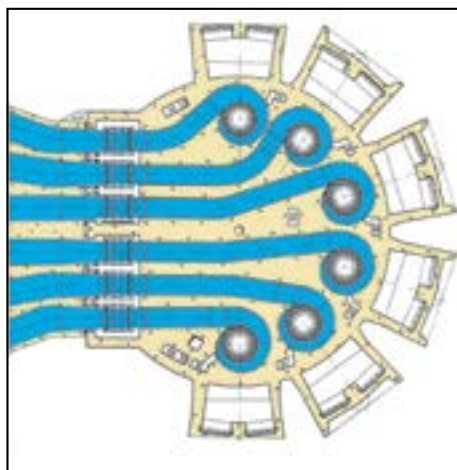


Схема одного из проектных вариантов Загорской ГАЭС

роль в этом сыграли и последовавший после распада СССР экономический кризис, а также ряд проблем технического характера. В частности, в июне 1979 года в результате подрезки склона при строительстве автодороги и плохой организации отвода грунтовых вод в южном углу котлована здания ГАЭС активизировался крупный древний оползень объемом около одного миллиона кубометров. Стабилизацию этого оползня удалось осуществить только

Технический проект Загорской ГАЭС был утвержден в августе 1976 года, строительство основных сооружений станции было начато в 1980 году. Интересно, что изначальные проектные проработки предусматривали строительство здания станции оригинальной круглой формы, которое впоследствии было заменено на более традиционное.

По причине недостаточного обеспечения стройки рабочей силой и материально-техническими ресурсами сооружение станции сильно затянулось. Свою

в 1987 году после реализации сложного комплекса противооползневых мероприятий. Тем не менее, оползень привел к необходимости увеличения земляных работ по котловану здания ГАЭС с 1,8 до 4,3 млн м³ выемки и с 1,6 до 3,9 млн м³ насыпи. Кроме этого, в ходе строительства произошли еще три оползня меньших масштабов.

Технология, предусматривающая отсыпку дамб верхнего бассейна только в сухую погоду, привела к очень низким темпам их сооружения. Запасы местных карьеров песчано-гравийной смеси (необходимой для приготовления бетона) оказались недостаточными, и с 1986 года стройка обеспечивалась этим материалом за счет привоза. В 1986 году в результате отступления от технологии производства строительных работ произошло обрушение левой подпорной стенки водоприемника.



Загорская ГАЭС



Напорные водоводы Загорской ГАЭС

До 1991 года удалось пустить 4 гидроагрегата из 6. В связи с экономическим кризисом 1990-х завершение строительства ГАЭС затянулось, и станция долгое время функционировала с неполным составом гидроагрегатов и уменьшенной емкостью верхнего бассейна (9,7 млн м³). Последний, шестой гидроагрегат, а также верхний и нижний бассейны в проектных параметрах были введены в эксплуатацию 25 августа 2000 года.

Конструктивно Загорская ГАЭС состоит из верхнего бассейна, водоприемника, водоводов, здания ГАЭС и нижнего бассейна. Верхний бассейн образован с помощью дамб общей длиной около 9 км и максимальной высотой 30 м. На берегу бассейна смонтирован водоприемник, из которого вода по шести напорным водоводам длиной около 700 м подается к зданию ГАЭС (или от здания ГАЭС, когда станция работает в насосном режиме). Возведение столь протяженных водоводов диаметром 7,5 м потребовало создания специальной технологии их сооружения.

Водоводы набирались из отдельных железобетонных колец весом 140 тонн каждое, которые изготавливались на специальной площадке и затем перемещались к месту монтажа.



Машинный зал Загорской ГАЭС.
Фото Вадима Кондратьева

В здании ГАЭС размещены шесть обратимых насос-турбинных гидроагрегатов мощностью по 200 МВт. Нижний бассейн создан путем перекрытия плотинной небольшой речки Куньи.

Мощность Загорской ГАЭС в турбинном режиме — 1200 МВт, в насосном режиме — 1320 МВт. Станция является важным структурным элементом системы энергоснабжения Московского региона и энергосистемы Центра России, выполняя ряд важных общесистемных функций:

— Потребление электроэнергии в период провалов нагрузки и ее выработка в период пиков потребления. Суточный график нагрузки энергосистемы отличается хорошо выраженными утренними и вечерними пиками и глубоким провалом в ночное время. При этом в энергосистеме московского региона преобладают маломаневренные (неспособные к быстрому изменению мощности) ТЭЦ и ГРЭС. В связи с этим для прохождения ночного провала Системному оператору приходится прибегать к разгрузке тепловых электростанций, что, учитывая их конструктивные особенности, приводит к нерациональному расходу топлива и повышенному износу оборудования. Также активно используются масштабные перетоки мощности из энергосистемы Центра в энергосистему Урала и обратно, что приводит к потерям электроэнергии и повышает риск аварий. Загорская ГАЭС, потребляя избыточную электроэнергию в ночные часы и вырабатывая ее в пиковое время, существенно облегчает работу энергосистемы и повышает ее эффективность, даже учитывая неизбежные потери электроэнергии при гидроаккумулировании (КПД гидроаккумулирования Загорской ГАЭС составляет 73%).

— Потребление электроэнергии в период провалов нагрузки и ее выработка в период пиков потребления. Суточный график нагрузки энергосистемы отличается хорошо выраженными утренними и вечерними пиками и глубоким провалом в ночное время. При этом в энергосистеме московского региона преобладают маломаневренные (неспособные к быстрому изменению мощности) ТЭЦ и ГРЭС. В связи с этим для прохождения ночного провала Системному оператору приходится прибегать к разгрузке тепловых электростанций, что, учитывая их конструктивные особенности, приводит к нерациональному расходу топлива и повышенному износу оборудования. Также активно используются масштабные перетоки мощности из энергосистемы Центра в энергосистему Урала и обратно, что приводит к потерям электроэнергии и повышает риск аварий. Загорская ГАЭС, потребляя избыточную электроэнергию в ночные часы и вырабатывая ее в пиковое время, существенно облегчает работу энергосистемы и повышает ее эффективность, даже учитывая неизбежные потери электроэнергии при гидроаккумулировании (КПД гидроаккумулирования Загорской ГАЭС составляет 73%).

— Парирование различных проблем в энергосистеме, в том числе аварийных. Высокая маневренность ГАЭС (агрегаты которой имеют возможность изменения мощности в течение нескольких минут, а в ряде случаев — и менее чем за минуту) позволяет использовать их для оперативного реагирования на различные возмущения в энергосистеме. Фактически Загорская ГАЭС используется Систем-

ным оператором как оперативный быстровводимый резерв мощности, в связи с чем число пусков гидроагрегатов станции может достигать до 30-ти в сутки и нескольких сотен в месяц. Таким образом, снижается риск возникновения крупной системной аварии.

— Повышение качества энергоснабжения путем потребления избыточной реактивной мощности. С целью снижения реактивной мощности (приводящей к повышению напряжения выше нормативных значений) гидроагрегаты Загорской ГАЭС активно используются для работы в режиме так называемого синхронного компенсатора. При этом из камеры рабочего колеса сжатым воздухом вытесняется вода, а гидроагрегат начинает работать как электродвигатель, потребляя реактивную мощность. Так, в конце 1990-х годов практически ежедневно в режиме синхронного компенсатора работали от одного до трех гидроагрегатов ГАЭС, а суммарное время работы всех гидроагрегатов в этом режиме достигало 10 000 часов в год.

Продолжилось возведение гидроэлектростанций на Северо-Западе Европейской части страны. В Мурманской области в описываемый период были построены две гидроэлектростанции на реке Териберка — Верхне-Териберская мощностью 130 МВт и Нижне-Териберская мощностью 26,5 МВт. Верхне-Териберская ГЭС построена по плотинно-деривационной схеме, с несколькими грунтовыми плотинами максимальной высотой 43 м. Деривация реализована в виде туннеля диаметром 8 м и длиной более километра.



Нижне-Териберская ГЭС.
Фото ТГК-1

Особенностью этой станции является установка в машинном зале всего одного гидроагрегата, что для крупных ГЭС является уникальным явлением — обычно монтируют не менее двух агрегатов. Плотинная Нижне-Териберская ГЭС примечательна тем, что ее единственный гидроагрегат с поворотной-лопастной турбиной находится в зоне воздействия приливно-отливных явлений и не боится воздействия морской воды.

В Карелии в 1990 году пустили первый гидроагрегат самой крупной ГЭС Кемского каскада — Кривопорожской. Эта русловая ГЭС мощностью 180 МВт интересна расположением здания станции — на берегу реки, в связи с чем для отвода воды в Кемь был прорыт специальный канал.



Кривопорожская ГЭС.
Фото ТГК-1

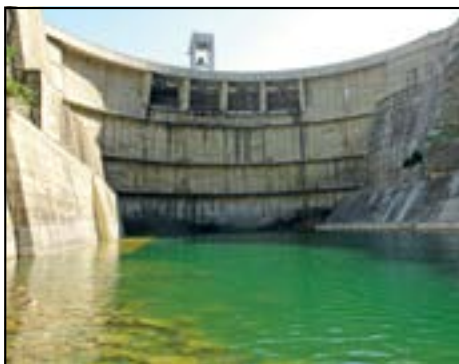
На Украине в 1981-83 годах были пущены гидроагрегаты Днестровской ГЭС-1. Строительство этой станции на реке Днестр начали в 1973 году, планировалось создать целый каскад гидроэлектростанций. По конструкции это русловая ГЭС со зданием станции, совмещенным с водосбросом (использована схема, ранее примененная на Камской ГЭС — вода сбрасывается поверх машинного зала). Напорный фронт образован каменно-земляными плотинами с суглинистым ядром, высотой 60 м, что довольно нетипично для русловых ГЭС — там чаще всего применяются плотины, намытые из песка.

Мощность Днестровской ГЭС-1 — 702 МВт, это вторая по мощности гидроэлектростанция Украины, уступающая только Днепрогэсу. Ниже по течению было начато строительство небольшой контррегулирующей Днестровской ГЭС-2, завершить которое удалось только в 2000 году.



Строительство Миатлинской ГЭС

Он предполагал строительство станции с арочной плотиной высотой 76 м, приплотинным зданием ГЭС и береговым строительно-эксплуатационным водосбросом.



Плотина Миатлинской ГЭС

В Дагестане в 1986 году запустили Миатлинскую ГЭС мощностью 220 МВт — контррегулятор Чиркейской ГЭС. Строительство этой станции шло с 1974 года и сильно затянулось из-за возникших проблем геологического характера. Изыскания по этой станции были начаты в 1966 году, а в 1973 году был утвержден технический проект.



Здание Миатлинской ГЭС

В 1977 году при производстве земельно-скальных работ в створе гидроузла сошел оползень объемом 1,5 миллиона кубометров. Строительство было приостановлено, начались изыскания и экспертизы. Был поставлен вопрос об отказе от возведения ГЭС, но проектировщикам удалось создать такой вариант ее конструкции, который был признан безопасным.

Новый проект, разработанный в 1980 году, менял компоновку ГЭС на плотинно-деривационную. Высота плотины увеличивалась до 86,5 м, на ее гребне появились водосливные пролеты. Здание ГЭС было отнесено ниже по течению, для доставки воды к турбинам спроектировали напорный деривационный тоннель длиной 1,7 км с уравнильной шахтой. Кроме того, были запроектированы специальные противооползневые мероприятия.

После возобновления строительства по уточненному проекту ГЭС была возведена очень быстро. Так, арочная часть плотины высотой 66 м была построена всего за 8,5 месяцев, с максимальным темпом 12 метров в месяц. Это стало возможным в результате применения впервые в нашей стране поярусной технологии бетонирования — «от берега до берега».

В Грузии в 1985 году пустили Жинвальскую ГЭС на реке Арагви. Эта станция мощностью 130 МВт также построена по плотинно-деривационной схеме. Ее плотина — насыпная из галечникового грунта с ядром из суглинков, высотой 102 м. Здание ГЭС подземное, размещено вблизи плотины, деривация представлена отводящим тоннелем длиной 8,5 км. Помимо выработки электроэнергии, Жинвальская ГЭС играет важную роль в обеспечении водой столицы Грузии — города Тбилиси. Также, были построены две заключительные Варцихские ГЭС на реке Риони, входящие в состав комплекса из четырех однотипных деривационных гидроэлектростанций.

Еще одна плотинно-деривационная станция была пущена в 1989 году в Армении. Это Спандарянская ГЭС мощностью 76 МВт, головная по своему расположению и последняя по времени создания гидроэлектростанция Воротанского каскада. В состав ее сооружений входит грунтовая плотина с суглинистым ядром, высотой 83 м, образующая водохранилище полным объемом 267 миллионов кубометров.

Водоохранилище является регулирующим для всего каскада, кроме того, в нем берет начало тоннель длиной более 20 км, перебрасывающий часть стока Воротана в реку Арпу и далее в озеро Севан. Вода к радиально-осевым турбинам Спандарянской ГЭС, ра-

ботающим на напоре 295 м, подается при помощи деривационного тоннеля длиной 8 км.

В Азербайджане в 1983 году пустили первый гидроагрегат Шамхорской ГЭС мощностью 380 МВт на реке Куре. Это комплексный гидроузел, который помимо выработки электроэнергии обеспечивает орошение 75 тысяч га засушливых земель, а также надежное водоснабжение промышленного района вблизи города Кировобада (ныне Гянджа).

Сооружения Шамхорской ГЭС включают в себя две каменно-земляные плотины — русловую и пойменную. Русловая плотина высотой 70 м имеет суглинистое ядро, пойменная высотой 40 м — суглинистый экран. Строительно-эксплуатационный водосброс расположен под плотиной, использует достаточно редкий в ССР башенный водоприемник. Здание ГЭС вынесено в нижний бьеф, вода к двум поворотно-лопастным турбинам подается по двум водоводам диаметром 9 м и длиной 93 м.

В Казахстане в 1987 году заработал первый гидроагрегат Шульбинской ГЭС — третьей, и наиболее мощной ступени каскада гидроэлектростанций на Иртыше. Эта станция строилась с 1976 года, причем планировалось ее возведение в две очереди. Первая очередь подразумевала строительство ГЭС мощностью 702 МВт и выработкой 1,66 млрд кВт·ч. Во вторую очередь планировалось нарастить плотину, что позволило бы увеличить объем водохранилища и напор на турбинах (на 20 м). При этом мощность ГЭС возросла бы вдвое — до 1350 МВт, выработка — до 2,9 млрд кВт·ч. Фактически же удалось построить только первую очередь, причем последний гидроагрегат пустили в 1994 году, а отделочные работы по состоянию на 2014 год не завершены.

По конструкции Шульбинская ГЭС — русловая станция с намывной грунтовой плотиной и зданием ГЭС, совмещенным с донными водосбросами. Турбины — поворотно-лопастные, идентичные тем, что установлены на Днестровской ГЭС.

Также в Казахстане в 1980-е годы произошел единственный в нашей стране случай вывода из эксплуатации гидроэлектростанции заметных размеров. Ей стала Ульбинская ГЭС мощностью 27 МВт, пущенная в 1937 году. В 1979 году сильным паводком была разрушена входящая в состав гидроузла Тишинская плотина, а в 1985 году вышел из строя и был демонтирован деревянный водовод (крупнейшее в мире сооружение подобного типа). Станцию решили не восстанавливать и вывели из эксплуатации, законсер-

вировав сохранившиеся сооружения. По состоянию на 2014 год ведутся работы по восстановлению этой ГЭС.

В Киргизии в 1980-е годы гидроэнергетическое строительство велось очень быстрыми темпами. «Нарынгидроэнергострой» освоил так называемый каскадный метод строительства — на спаде работ по строительству одной станции на Нарыне тут же начиналось строительство новой. При этом широко использовалась уже созданная инфраструктура — производственные мощности, дороги, жилье. У створа гидроузлов организовывались только минимально необходимые объекты инфраструктуры, что позволило резко сократить продолжительность подготовительного периода.

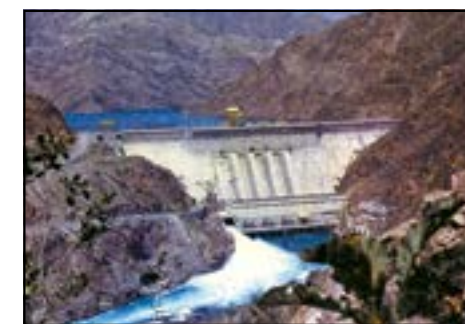


Схема Нарынского каскада ГЭС

Первой станцией, построенной каскадным методом, стала Курпсайская ГЭС мощностью 800 МВт и среднегодовой выработкой электроэнергии 2,63 млрд кВт·ч. Подготовительный этап строительства этой весьма солидной станции начался в 1975 году, уже в 1978 году перекрыли реку и уложили первый бетон. В 1981 году пустили первый гидроагрегат и в следующем году полностью завершили строительство ГЭС.



Строительство Курпсайская ГЭС



Курпсайская ГЭС

Курпсайская ГЭС — станция с гравитационной бетонной плотиной высотой 113 м и длиной 360 м. По итогам строительства плотина оказалась самой экономичной из плотин такого типа в СССР. Оригинально реализованы водосбросные сооружения — один водосброс глубинный, в теле плотины, и один поверхностный, который

начинается в плотине и затем продолжается тоннелем в горных породах правого берега. Здание ГЭС приплотинное, в нем размещены четыре гидроагрегата с радиально-осевыми турбинами.



Ташкумырская ГЭС

При строительстве следующей ГЭС на Нарыне, Такшкумырской мощностью 450 МВт, от начала работ до пуска первого гидроагрегата прошло всего три года. Станцию начали строить в 1982 году, первый гидроагрегат пустили в 1985 году, последний — в 1987 году. Особенностью Ташкумырской ГЭС стала ее гравитационная бетонная плотина высотой 74 м, при строительстве которой был впервые в СССР широко использован малоцементный укатанный бетон.

При использовании обычного бетона возникает проблема с его охлаждением. При застывании бетона выделяется значительное количество тепла, в результате бетонный блок из-за перепадов температуры может потрескаться. Для предотвращения этого применяют специальные мероприятия — монтируют системы водяного охлаждения бетонной смеси, а главное — ограничивают размеры бетонизируемых блоков.

В укатанном бетоне содержание цемента значительно меньше, чем в обычном, что дает большой экономический эффект. Такой бетон меньше разогревается, что позволяет вести бетонирование большими блоками — целыми слоями толщиной 0,5-1 м по всей площади плотины. Уплотняется такой бетон тяжелыми катками или просто груженными автомашинами. Минусом укатанного бетона является его неоднородность, плохая морозостойкость и повышенная фильтрация, поэтому снаружи его защищают слоем обычного бетона. В настоящее время большинство гравитационных бетонных плотин в мире сооружаются из укатанного бетона.

В остальном Ташкумырская ГЭС довольно традиционна — два водосброса (поверхностный на плотине и строительно-эксплуатационный тоннельный), приплотинное здание ГЭС с тремя гидроагрегатами.

Возведение следующей ступени, Шамалдысайской ГЭС, пришлось на конец 1980-х годов, когда в стране нарастали политические и экономические проблемы. В результате ее строитель-

ство затянулось, первый гидроагрегат удалось пустить только в 1992 году, уже в независимом Киргизстане. На полную же мощность ГЭС вывели только в 2002 году. Шамалдысайская ГЭС — русловая станция мощностью 240 МВт со зданием ГЭС, совмещенным с донными водосбросами. В здании ГЭС установлены три гидроагрегата с поворотными турбинами.

В отличие от вышележащих Токтогульской, Курпсайской и Ташкумырской ГЭС основная плотина Шамалдысайской ГЭС не бетонная, а грунтовая, максимальной высотой 37 м. Необычно решен вопрос ее водонепроницаемости — вместо обычного глинистого ядра или экрана применена цементация ее центральной части, т.е. заполнение пор между частицами тела плотины цементным раствором.



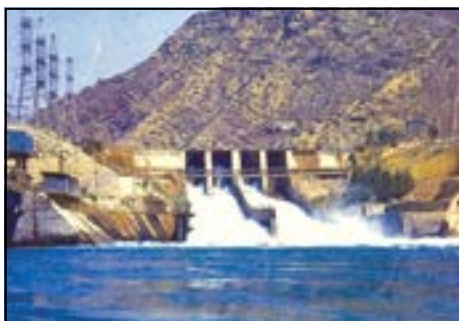
Строительство Шамалдысайской ГЭС

В Узбекистане с пуском в 1981 году Газалкентской ГЭС мощностью 120 МВт было завершено создание самого большого в СССР по количеству станций Чирчик-Бозсуйского каскада. В его состав в итоге вошло 19 гидроэлектростанций мощностью от 4 до 600 МВт. По конструкции Газалкентская ГЭС — обычная русловая станция с грунтовой плотиной и поворотными турбинами.

В Таджикистане в 1985 году заработал первый гидроагрегат Байпазинской ГЭС очень примечательной конструкции. Байпазинская плотина на реке Вахш была создана еще в 1968 году с целью накопления воды для орошения. При этом плотина была возведена уникальным, ранее не применявшимся методом — при помощи направленного взрыва.

Задача была очень непростой — нужно было создать плотину высотой 65 м, при этом не повредив уже построенные водосбросные сооружения и ирригационный водовыпуск, располагавшиеся всего в нескольких сотнях метров от места расположения зарядов.

В результате подрыва 1900 тонн взрывчатых веществ на правом склоне горного каньона в реку обрушилось 1,5 миллиона тонн горных пород, при этом построенные сооружения не получили никаких повреждений. Водонепроницаемость тела плотины была обеспечена сооружением глинистого экрана.



Водосброс Байпазинской ГЭС

В 1980-х годах этот ирригационный гидроузел был трансформирован в гидроэлектростанцию. Для этого плотину нарастили на 10 м, а также построили здание ГЭС, вода к которому подается по тоннельным водоводам. Мощность Байпазинской ГЭС — 600 МВт, среднегодовая выработка — 2,5 млрд кВт·ч. Помимо выработки элект

троэнергии и накопления воды для орошения Байпазинская ГЭС играет роль контррегулятора мощной Нурекской ГЭС.

В 1980-е годы с участием советских гидроэнергетиков были возведено сразу несколько крупных гидроэлектростанций за рубежом.

При техническом содействии СССР и с участием советских проектировщиков была построена гидроэлектростанция Хадита (Аль Кадиссия) на реке Евфрат. Это русловая станция с протяженной грунтовой плотиной (длина 9 км и максимальная высота 57 м) оригинальной конструкции — ее центральная часть создана отсыпкой, а боковые призмы — намывом. Эта ГЭС стала первой возведенной по советскому проекту станцией, в плотине которой в качестве противофильтрационного элемента применена асфальтобетонная диафрагма.

В здании ГЭС, совмещенном с поверхностным водосбросом, расположены 6 гидроагрегатов с поворотно-лопастными турбинами. Станция строилась с 1977 года, введена в эксплуатацию в 1987 году. Помимо выработки электроэнергии, водохранилище ГЭС используется для орошения засушливых земель и борьбы с наводнениями.

На Евфрате советскими инженерами была спроектирована и построена и еще одна ГЭС, на этот раз — в Сирии. Это станция Аль Баас, контррегулятор крупного Евфратского гидроузла, возведенная в 1983-89 годах. По конструкции это низконапорная русловая ГЭС мощностью 81 МВт с горизонтальными капсульными агрегатами.

Довольно интересна по конструкции ГЭС Малка Вакана, введенная в эксплуатацию в 1988 году в Эфиопии. Это плотинно-деривационная ГЭС мощностью 153 МВт и среднегодовой выработкой 543 млн кВт·ч. расположена на реке Уаби Шебелле недалеко от экватора.

Каменно-земляная (с суглинистым ядром) плотина станции длиной 1800 м и максимальной высотой 38 м образует регулирую-

щее водохранилище объемом 0,76 км³. Из водохранилища берет начало деривационный канал длиной 7,2 км, который заканчивается тоннельным водоводом, подающим воду на гидроагрегаты ГЭС. При этом на радиально-осевых турбинах станции удалось создать напор 297 м. Создание столь высокого напора при помощи деривационного канала (а не тоннеля) является очень редким случаем.

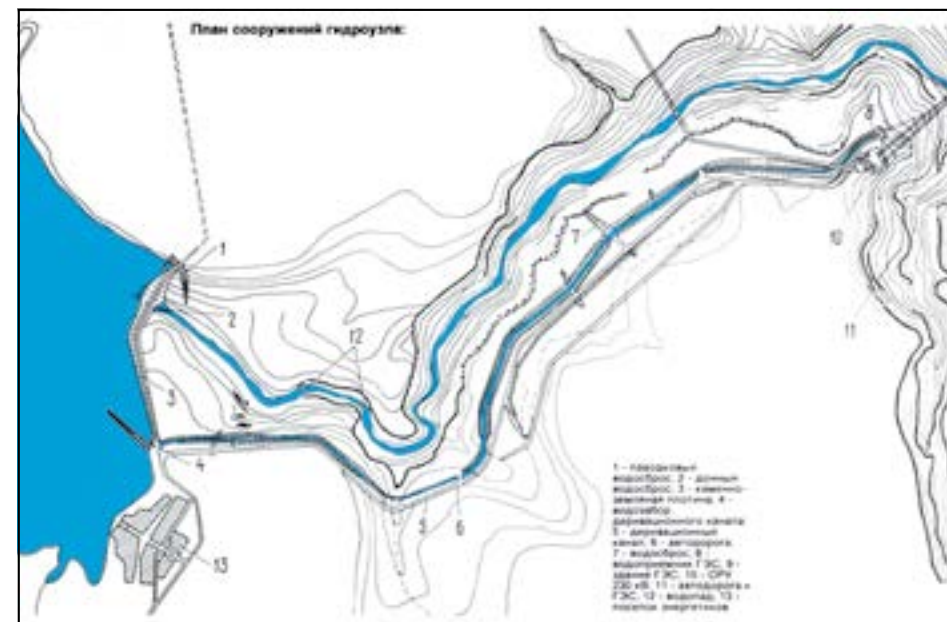


Схема сооружений ГЭС Малка Вакана

К 1982 года специалисты «Гидропроекта» завершили проектирование очень интересного и технически сложного проекта — ирригационно-энергетического комплекса Ольмос в Перу. Он предусматривал межбассейновую переброску стока — из многоводной реки Уанкабамба (входящей в бассейн Амазонки) на другую сторону Анд, в бассейн испытывающей дефицит водных ресурсов реки Ольмос. При этом засушливое Тихоокеанское побережье Перу обеспечивалось водой, а на двух ГЭС общей мощностью 600 МВт вырабатывалось 4 миллиарда кВт·ч. электроэнергии.

Проект комплекса состоял из большого количества сооружений, в том числе подземных. Для увеличения стока Уанкабамбы в ее бассейн по преимущественно тоннельным водоводам общей длиной 21 км планировалось перебросить воды еще двух рек. Далее из созданного на Уанкабамбе водохранилища объединенный сток трех рек должен

был перебрасываться через Анды по 19-километровому тоннелю диаметром 4,8 м. Далее вода по двум тоннелям общей длиной около 19 км перебрасывалась на две ГЭС мощностью по 300 МВт каждая.

К сожалению, в 1980-х годах проект реализовать не удалось по политическим и экономическим причинам. Комплекс был построен уже в 2000-х годах с рядом изменений первоначального проекта.

Активно развивалось сотрудничество в области гидроэнергетики со странами Юго-Восточной Азии. В 1986 году при технической помощи со стороны СССР была введена в эксплуатацию ГЭС Чيان во Вьетнаме мощностью 400 МВт, специалисты «Гидропроект» спроектировали ГЭС Мрича мощностью 180 МВт в Индонезии и ГЭС Саманала Вева мощностью 120 МВт в Шри-Ланке. Крупнейшим же реализованным проектом в этом регионе стала ГЭС Хоабинь во Вьетнаме мощностью 1920 МВт.

Гидроэлектростанцию Хоабинь на реке Да начали возводить в 1979 году, первый гидроагрегат был пущен в 1988 году, а еще через шесть лет строительство было завершено. При проектировании станции специалисты института «Гидропроект» столкнулись с рядом трудностей: тропический климат с годовой суммой осадков 2000 мм, 8-балльная сейсмичность, наличие карстовых и оползневых явлений, а также водопроницаемых аллювиальных отложений мощностью до 60 м в основании плотины.



ГЭС Хоабинь

В итоге был спроектирован гидроузел весьма интересной конструкции. Плотина станции каменно-земляная, с суглинистым ядром. Высота плотины — 128 м, длина — 734 м. С левого берега к плотине примыкает водосбросное сооружение в виде контрфорсной плотины с шестью поверхностными и двенадцатью донными отверстиями. Здание ГЭС — подземное, в нем размещены 8 гидроагрегатов мощностью по 240 МВт с радиально-осевыми турбинами. При мощности 1920 МВт выработка станции составляет 8,16 млрд кВт·ч. в год.

Как мы уже отмечали выше, с середины 1980-х годов гидроэнергетика стала подвергаться ожесточенной, но зачастую малоком-

петентной критике. Возникшая ситуация была во многом связана с общественно-политическими изменениями в стране, ослаблением контроля государства над средствами массовой информацией, развернувшейся политической борьбой. В качестве основных аргументов критики приводили следующие тезисы:

— большие площади затопления водохранилищами ГЭС и значительное количество переселенных людей. При этом реальные масштабы затопления и переселения (ранее не афишируемые) зачастую значительно превышали. Критики не учитывали ни экономическую, ни общественно-политическую ситуацию 1930-х — 1960-х годов, когда и были построены водохранилища с наибольшими площадями затопления. Не было попыток проанализировать причины принятия таких решений. Не учитывался тот факт, что с 1970-х годов строительство крупных водохранилищ в густонаселенных районах практически прекратилось, гидроэнергетика стала развиваться преимущественно в Сибири, на Дальнем Востоке и в горных регионах.

— затопление объектов, имеющих культурную ценность (дело доходило до обвинений в том, что «Гидроэнергетики уничтожили великую русскую культуру»). При этом как количество таких потерянных объектов (большинство из которых пострадало еще в 1930-х годах), так и их реальная культурная ценность сильно преувеличивались.

— обвинения гидроэнергетики в ухудшении качества воды, совершенно безосновательные. Снижение качества воды связано со сбросами плохо очищенных стоков промышленностью и жилищно-коммунальной сферой, которое к 1980-м годам действительно достигло угрожающих масштабов. Водоохранилища же за счет своих возможностей по самоочистке стоков, наоборот, позволили сгладить остроту проблемы.

— обвинения в создании проблем в снабжении страны продовольствием, в результате затопления плодородных земель. При этом игнорировался тот факт, что в результате создания водохранилищ было введено в оборот большое количество высокопродуктивных орошаемых земель. Основной же причиной перманентных продовольственных затруднений в СССР являлась низкая эффективность сельского хозяйства.

— затопление больших массивов леса. Эта критика имела под собой основу, поскольку в ряде случаев лесосводка ложа водохранилища была проведена недостаточно эффективно. Был плохо ор-

ной сработки в случае необходимости можно было вырабатывать в год около 70 млрд кВт·ч. электроэнергии.

При столь значительных размерах, масштабы затопления ценных земель и переселения населения были очень невелики — под воду уходило всего около 2000 га сельхозугодий (сенокосов). Водохранилище затрагивало около 10 тысяч человек, живущих в поселках с изношенным жильем и зачастую не имеющих элементарных удобств. Их планировалось переселить в заново построенные поселки с современным жильем и всей необходимой инфраструктурой. В основном водохранилищем затапливался низкокачественный, убыточный в заготовке лес.

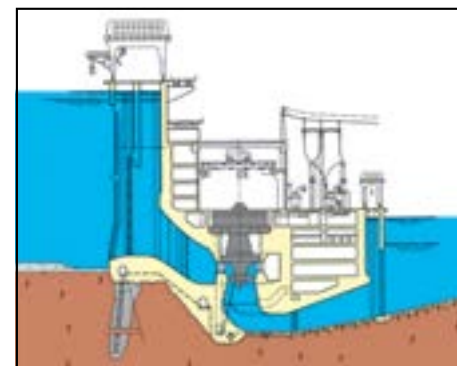
Проект Туруханской ГЭС вызвал оживленную общественную дискуссию, а с нарастанием экономических проблем вопрос о начале строительства отпал сам собой. В 2000-х годах была сделана попытка реанимировать проект станции, переименованной в Эвенкийскую ГЭС, на новом техническом уровне, но с сохранением основных параметров гидроузла. В проекте появилась контррегулирующая станция мощностью 800 МВт, а выдачу мощности запланировали по линиям постоянного тока напряжением 1500 кВ. Ситуация в зоне затопления к этому моменту стала еще более благоприятной для гидроэнергетического использования — население сократилось практически вдвое, жилье и инфраструктура изнашивались еще больше. Шесть поселков в планируемой зоне затопления вообще прекратили свое существование естественным путем — все население из них выехало. Но перезапустить столь грандиозный проект не удалось — его реализация возможна только при условии государственного финансирования.

Вторым по масштабам закрытым гидроэнергетическим проектом стала Среднеенсейская ГЭС, створ которой располагался на Енисее вблизи Лесосибирска (ниже слияния Ангары и Енисея). Мощность Среднеенсейской ГЭС должна была составить 6000 МВт, среднегодовая выработка — 30 млрд кВт·ч. Конструктивно, станция спроектирована как уникальная, крупнейшая в мире ГЭС руслового типа, с напорами на гидроагрегатах в диапазоне 45-55 м. В здании ГЭС длиной 560 м планировалось разместить 16 крупнейших в мире поворотно-лопастных гидроагрегатов мощностью по 375 МВт, с диаметром рабочего колеса 10 м.

Основная плотина ГЭС земляная, максимальной высотой 67 м, состоит из нескольких участков общей длиной 4200 м. Около половины плотины планировалось намыть из песка, остальное отсыпать из

него же. Бетонная водосбросная плотина с глубинными водосбросами, рассчитана на пропуск до 31400 м³/с воды. Пропуск судов и плотов леса через ГЭС обеспечивался двумя нитками двухкамерных судходных шлюзов, наполняемых-осушаемых всего за 8-10 минут.

Плотина ГЭС создала бы крупное Среднеенсейское водохранилище полным объемом 74 км³ и полезным — 18 км³, площадью 2720 км². В зону затопления попадало 59 тысяч га сельхозугодий (в т.ч. 22 тыс. га пашни — это примерно два-три крупных колхоза), 88 населенных пунктов с населением 47 тысяч человек, около 19 млн. км³ товарного леса. На подготовку зоны затопления выделились огромные деньги — 1,866 млрд тогдашних рублей, около половины сметной стоимости всего гидроузла.



Разрез по зданию Среднеенсейской ГЭС

Планировалось полностью возместить ущерб сельскому хозяйству путем освоения и мелиорации новых земель, переселить население в новые благоустроенные населенные пункты с полным комплексом социальной инфраструктуры (при балансовой стоимости затапливаемых строений в 200 млн рублей на строительство новых выделялось 800 млн рублей). Около 5000 га ценных земель, а также ряд населенных пунктов защищались от затопления дамбами обвалования. Предусматривалась специальная и довольно сложная инженерная защита крупного свинцово-цинкового Горевского месторождения. Планировалось осуществить полную лесосводку всей товарной древесины в зоне затопления.

Работая на выровненном стоке и имея собственное крупное водохранилище, Среднеенсейская ГЭС работала бы довольно равномерно, без больших колебаний выработки. В энергосистему Сибири ее мощность планировалось выдавать с помощью трех ЛЭП напряжением 500 кВ, в перспективе по линиям сверхвысокого напряжения часть выработки станции планировалось выдавать и в Европейскую часть страны. Создание ГЭС, помимо энергетических, решало и ряд других задач: обеспечивалось нормальное глубоководное судоходство по Енисею и нижней Ангаре, затрудненное порогами и шиверами, по плотине ГЭС плани-

ровалось проложить мостовой переход через Енисей (сейчас ниже Красноярска через Енисей нет ни одного моста). В Лесосибирске планировалось создать крупный территориально-промышленный комплекс с преобладанием металлургической, лесохимической и целлюлозно-бумажной промышленности.

Среднеенисейскую ГЭС планировали построить примерно за 14 лет, пустив первые гидроагрегаты на 7 году строительства. Водохранилище планировалось наполнить в два этапа. При стоимости в 3,88 миллиарда рублей, ГЭС окупалась за 7 лет и по экономическим показателям почти не уступала аналогичной по мощности тепловой станции на канско-ачинских углях.

Схемы освоения гидропотенциала нижней Ангары и Енисея ниже Красноярской ГЭС рассматривались с 1960-х годов, основной проблемой являлась защита от затопления крупнейшего Горевского свинцово-цинкового месторождения в устье Ангары. Рассматривались варианты строительства ГЭС отдельно на Ангаре и Енисее, и даже переброски стока Ангары в Енисей по каналу. В итоге остановились на варианте строительства одной крупной ГЭС, общей для двух рек. Технико-экономическое обоснование Среднеенисейской ГЭС было утверждено в 1983 году, в 1985 году началась разработка рабочего проекта и подготовительные работы на площадке строительства. В условиях развернувшейся критики гидроэнергетики от строительства гидроузла со столь значительным количеством переселяемого населения быстро отказались.

Крупную ГЭС планировали возвести и на притоке Лены — Витиме. К этой реке начали присматриваться еще в 1930-е годы, но в связи с ее удаленностью от возможных потребителей строительство ГЭС на ней было отнесено на дальнюю перспективу. Интерес к ГЭС на Витиме вновь возник в 1970-е годы в связи со строительством БАМа, проходящего недалеко от возможных створов ГЭС. Но строительство БАМа затянулось, строительство объектов промышленности в зоне его влияния затянулось еще больше, и в итоге к решению о строительстве ГЭС было решено приступить лишь к концу 1980-х.

На Витиме планировалось создать целый каскад ГЭС, и начать хотели с верхней и самой мощной — Мокской ГЭС. Согласно проекту, Мокская ГЭС должна была иметь мощность 2010 МВт (6 агрегатов по 335 МВт), среднегодовую выработку — 6,7 млрд кВт·ч. Плотина гравитационная, из малоцементного укатанного бетона, высотой 153 м. Плотина создала бы крупное водохранилище полным объемом 51,4 км³, которое зарегулировало бы сток реки, обе-

спечив повышенную выработку электроэнергии на нижележащих ГЭС каскада. Впервые в практике отечественного гидростроительства вместо открытого распределительного устройства планировалось устроить закрытое элегазовое распределительное устройство (КРУЭ).

Проект был всем хорош. Сельское хозяйство от затопления не страдало, более того, снижение высоты паводков позволяло бы ввести в оборот в нижележащей Муйско-Куандинской котловине 21 тысячу гектаров земель. Переселять практически никого не пришлось бы, зато вблизи ГЭС вырос бы город на 24 тысячи человек. Станцию планировалось построить за 10 лет. Даже экологи особо против нее не возражали. Но увы, развал СССР сделал его реализацию невозможной.

Тем не менее, проект окончательно не умер. В 1990-х проект активно перерабатывался, в итоге трансформировавшись в станцию мощностью 1200 МВт с контррегулятором — Ивановской ГЭС мощностью 210 МВт. В 1997 году было разработано ТЭО нового проекта. В 2007 году проект появился в инвестиционной программе ОАО «Рус-Гидро» (тогда еще «ГидроОГК»), под него была создана специальная «Корпорация развития Забайкалья», но начавшийся финансово-экономический кризис отодвинул его в неопределенное будущее.

Недалеко от Мокской ГЭС на притоке Витима Мамакане в 1980-е годы начались подготовительные работы по строительству Тельмамской ГЭС мощностью 450 МВт. Станция предназначалась для энергоснабжения проекта разработки крупных золоторудных месторождений. Предусматривалось возведение каменно-набросной плотины с асфальтобетонной диафрагмой, высотой 140 м и длиной 1100 м. Гидроагрегаты должны были размещаться в подземном здании ГЭС. В начале 1990-х строительство ГЭС было заморожено из-за прекращения финансирования и более не возобновлялось.

Очень интересной станцией могла бы стать Адычанская ГЭС, планировавшаяся к возведению в нижнем течении реки Адыча, самого многоводного притока реки Яна в Якутии. Гидроэлектростанция должна была снабжать электроэнергией перспективные проекты в области горнодобывающей промышленности, а также разработки нефти и газа. Ее возведение планировалось в очень тяжелых климатических условиях — отрицательные температуры в этом районе держатся около 230 дней в году, а абсолютный минимум температуры составляет минус 66 градусов.

Планировалось построить каменно-набросную плотину с асфальтобетонной диафрагмой, высотой 74 м и длиной 1100 м. В здании ГЭС берегового типа должны были быть размещены гидроагре-

гаты общей мощностью 500 МВт. Увы, экономические проблемы страны похоронили и этот проект.

В 1985 году был утвержден проект Амгуэмской ГЭС на одноименной реке в Чукотском автономном округе. В состав ее сооружений были включены каменно-земляная плотина с суглинистым ядром, высотой 85 м и длиной 574 м, водосброс тоннельного типа и наземное здание ГЭС. Имея мощность 300 МВт и среднегодовую выработку электроэнергии 1,21 млрд кВт·ч, обеспеченные крупным водохранилищем полной емкостью 16 кубических километров, Амгуэмская ГЭС обеспечила бы все существующие и перспективные потребности энергосистемы Чукотки. Но развернувшаяся экологическая дискуссия и экономические проблемы не позволили приступить к реализации этого проекта. В итоге Чукотка до сих пор не имеет единой энергосистемы, а тарифы на электроэнергию там самые высокие в России — завоз туда топлива обходится очень дорого.

Похожая история произошла и с проектом Петропавловской ГЭС на реке Жупанова, Камчатка. Эта станция проектной мощностью 270 МВт могла в значительной степени решить энергетические проблемы полуострова, но построена не была. В результате в 1990-е годы регион погрузился в перманентный энергетический кризис.

В бассейне Амура были спроектированы сразу несколько станций. Самая мощная из них — Шилкинская ГЭС мощностью 736 МВт и среднегодовой выработкой 2,9 млрд кВт·ч. станция должна была образовать крупное водохранилище полной емкостью 15,4 км³. Плотина грунтовая, высотой 105 м. Створ станции расположен на реке Шилка, левой составляющей Амура, в Забайкальском крае. Благодаря емкому водохранилищу, Шилкинская ГЭС может эффективно бороться с наводнениями на верхнем Амуре. Проект был неплохо проработан — в 1989 году выпущен 1 этап ТЭО.

Створ Гилюйской ГЭС расположен на реке Гилюй — крупнейшем притоке Зеи, впадающем в нее выше створа Зейской ГЭС. Гилюйское водохранилище позволит облегчить работу Зейского — уменьшатся объемы холостых сбросов воды, сдвинется время их начала, т.е. противопаводковый эффект очевиден. Проектная мощность станции — 462 МВт, среднегодовая выработка 1,15 млрд кВт·ч. По этой ГЭС дело дошло до хорошо проработанного проекта — был определен тип плотины (бетонная, высотой 104 м), тип гидроагрегатов и т.п.

На реке Большая Уссурка (крупнейший приток пограничной реки Усури), в Приморском крае был запланирован к строитель-

ству каскад из двух Дальнереченских станций (ГЭС-1 и ГЭС-2). Их общая мощность — 370 МВт, выработка — 0,83 млрд кВт·ч. Проект этих станций был разработан в 1987 году, потом в течение еще 6 лет дорабатывался, пока экономический кризис 1990-х не поставил на нем крест.

На Алтае жертвой развязанной против гидроэнергетиков информационной кампании стал проект Катунской ГЭС. Река Катунь является левой составляющей реки Обь и главной водной артерией Горного Алтая. Катунь очень привлекательна в гидроэнергетическом отношении — река довольно мощная и с большим падением (около 2 км), река горная, т.е. зоны затопления относительно невелики. Однако гидроэнергетическое освоение Катунь долгое время откладывалось — рядом не было значительных потребителей электроэнергии, а все силы гидростроителей были брошены на Ангарский и Енисейский каскады.

В 1970-е годы в институте «Гидропроект» под руководством инженера Маслова была разработана схема каскада ГЭС на Катунь, первоочередной из которых была намечена ГЭС в так называемом Еландинском створе, по которой под руководством А.С. Пигалева начались более детальные проработки, завершившиеся созданием проекта гидроэнергетического комплекса — Катунской ГЭС с контррегулятором. В 1982 году начались подготовительные работы по строительству гидроузлов.

Катунский гидроэнергетический комплекс был запроектирован в составе двух ГЭС: основной Катунской ГЭС мощностью 1600 МВт и контррегулирующей Чемальской ГЭС мощностью 300 МВт. В год обе станции должны были вырабатывать в сумме 7,6 миллиардов кВт·ч электроэнергии. Плотина Катунской ГЭС гравитационная бетонная, высотой 179 м (самая высокая плотина такого типа в СССР) и длиной 760 м. В нее планировалось уложить около 5 млн. м³ малоцементного укатанного бетона, использующего в качестве вяжущего компонента отходы металлургического производства и золу из отвалов тепловых электростанций. В приплотинном здании ГЭС была запроектирована установка 5 гидроагрегатов мощностью по 320 МВт.

Чемальская ГЭС была предназначена для выравнивания сбросов с Катунской ГЭС, это русловая станция с насыпанной из галечника плотиной высотой 65 м. В совмещенном с водосбросами здании ГЭС планировалось установить 4 гидроагрегата по 75 МВт.

Плотина Катунской ГЭС создала бы компактное, но при этом достаточно емкое водохранилище. Оно должно было иметь пло-

щадь 87 км² и полный объем 5,8 км³. При этом, затапливалось 5930 гектаров сельхозугодий (площадь не крупного колхоза), из которых пашни — 1690 гектаров, остальное в основном пастбища. Затапливаемые земли не отличались большой продуктивностью (урожайность зерновых не выше 10 центнеров с гектара), в ландшафтном отношении представляли собой в основном галечниковые террасы, не покрытые снегом зимой и выжженные солнцем летом. Леса и кустарников по проекту затапливалось всего 813 гектаров, была предусмотрена полная лесочистка.

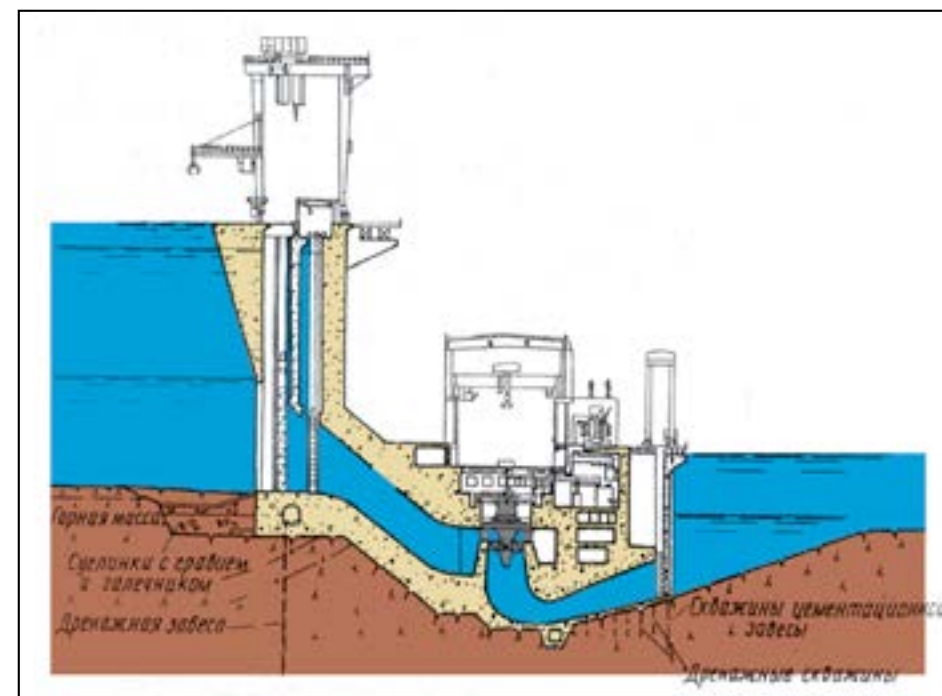
При создании водохранилища, требовалось переселить всего около 550 человек. По удельным показателям затопляемых земель и переселяемого населения Катунская ГЭС входила в число лучших гидроэлектростанций в стране. Создаваемые водохранилища имели бы качество воды не хуже, чем в реке, а по некоторым показателям и лучше. Режим заполнения водохранилища был выбран таким образом, чтобы не наносить ущерба пойме в нижнем бьефе, а наоборот, облегчать ее использование за счет срезки летних паводков.

Строить Катунскую ГЭС должен был «Красноярскгэсстрой», чьи мощности высвободились после завершения строительства Саяно-Шушенской ГЭС. Началось возведение дорог, мостов, ЛЭП, жилья, строительной базы. Но тут грянула Перестройка, и проект стал мишенью критики разного рода общественных организаций и отдельных инициативных граждан — совершенно некомпетентных ни в гидроэнергетике, ни в экологии, но весьма энергичных. В чем только они не обвиняли несчастную станцию — от накопления ртути в водохранилище (пришлось проводить специальные исследования, показавшие отсутствие проблемы) до размывания алтайского этноса приезжими строителями. В результате в 1989 году проект Катунской ГЭС был закрыт, строительные работы остановлены, построенные объекты брошены. На момент остановки строительства, была выполнена значительная часть работ подготовительного этапа.

В итоге, республика Алтай и Алтайский край являются энергодефицитными регионами с самой высокой отпускной ценой на электроэнергию в Сибири. В Республике Алтай до сих пор вообще практически нет своих генерирующих мощностей (несколько маленьких ГЭС, работающих на конкретные деревни, не в счет). Вся республика снабжается по одной линии напряжением 220 кВ, авария на которой приведет к отключению электроэнергии во всем регионе.

Еще более трагично сложилась судьба Крапивинской ГЭС на реке Томь в Кемеровской области. К началу 1970-х годов в бас-

сейне р.Томь (крупный приток Оби) резко обострилась экологическая ситуация. Томь является главной водной артерией Кузбасса, насыщенному разного рода экологически небезопасными предприятиями, которые активно используют ее для водоснабжения, и одновременно сбрасывают в нее сточные воды. Кроме того, река является источником питьевого водоснабжения для многих населенных пунктов как в Кузбассе, так и ниже по течению. При этом, размещение городов и предприятий на Томи имеет определенную специфику — в верхнем течении расположены такие крупные промышленные города, как Междуреченск и Новокузнецк, затем идет относительно слабозаселенный участок реки, далее на реке размещены крупные города Кемерово, Томск, Северск.



Разрез по плотине и зданию Крапивинской ГЭС

Высокая концентрация промышленных предприятий в верхнем и среднем течении реки привела к сильному загрязнению ее вод, в результате чего в 1970-х годах в Томске пришлось закрыть водозабор из реки и перейти на водоснабжение из подземных вод. В 1973 году на правительственном уровне было принято решение о принятии мер по улучшению экологической обстановке в бассей-

не Томи, включающее комплекс мероприятий, одним из которых являлось строительство Крапивинского гидроузла.

Место для гидроузла было выбрано в среднем течении Томи. Планировалось перекрыть реку насыпной плотиной высотой 52 м, создать водохранилище объемом 11,7 куб.км. Водохранилище должно было регулировать сток реки, аккумулируя паводковые воды и сбрасывая относительно чистую воду в межень, когда концентрация загрязняющих веществ в реке особенно возрастала, обеспечивая таким образом улучшение качества воды ниже по течению за счет эффекта разбавления. Кроме того, водохранилище должно было обеспечить гарантированное водоснабжение, улучшить условия работы речного транспорта, создать переправу через реку (по плотине должна была быть проложена автодорога). Заодно, при плотине сооружалась ГЭС мощностью 300 МВт и среднегодовой выработкой 1,89 млрд кВт·ч., с перспективой увеличения до 375 МВт и 2,5 млрд кВт·ч.

Строительство гидроузла началось в 1975 году. Планировалось завершить строительство за 6 лет, но стройка сильно затянулась, первый куб бетона на строительстве плотины был уложен лишь в 1986 году. Тем не менее, к 1989 году общая готовность сооружений составляла не менее 60%, до пуска первых гидроагрегатов оставалось порядка двух лет. Была отстроена инфраструктура строительства — дороги, карьеры, бетонные заводы, поселок Зеленогорский на 9 тысяч человек со всей социальной инфраструктурой. Активно велась подготовка зоны затопления — 3000 человек было переселено, еще 1400 подготовлены к переселению, вырублен лес на площади 42 тысяч га.

Но тут Крапивинская ГЭС попала под вал «экологической» критики. По иронии судьбы, ее мишенью стал проект, призванный решать в первую очередь экологические задачи. К общественникам подключились шахтеры Кузбасса, устроившие забастовки; одним из выдвигаемых ими требований была остановка строительства Крапивинского гидроузла. Растерявшаяся власть в 1989 году остановила строительство объекта вплоть до проведения детальных экологических исследований. А через два года СССР рухнул. В 1992 году деньги на объект поступать перестали, и он был попросту брошен.

Роковую роль в истории гидроузла сыграла его ведомственная принадлежность. После развала СССР, все недостроенные гидроэнергетические объекты отошли к РАО «ЕЭС», которое даже в самые тяжелые времена выделяло минимальное финансирование, позволяв-

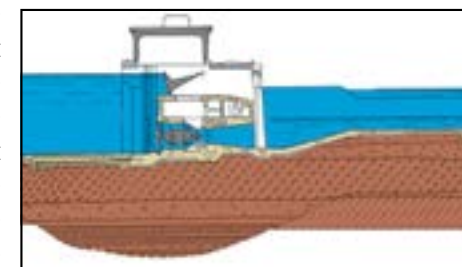
шее поддерживать уже построенные сооружения и базу строительства от разрушения. На некоторые объекты даже удалось найти финансирование, достаточное для реального продолжения строительства.

Крапивинский гидроузел, принадлежавший не Минэнерго, а Минводхозу, остался в 100% государственной собственности, в настоящее время за него отвечает Министерство природных ресурсов в лице Федерального агентства водных ресурсов. За прошедшие 20 лет, было проведено несколько исследований, показавших необходимость завершения строительства гидроузла, сторонником возобновления стройки выступило правительство Кемеровской области. Вопрос возобновления строительства неоднократно рассматривался на разных уровнях, но так и не был решен. По состоянию на 2014 год не принято решения и о демонтаже уже построенных сооружений.

Текущее состояние объекта печально. Толком не законсервированный, он разрушается и разворовывается. Поселок Зеленогорский потерял всякие перспективы и постепенно вымирает, ибо никакой работы в нем нет. Оставшееся в зоне затопления население находится в подвешенном состоянии. Недостроенная, зарастающая лесом плотина так и остается впечатляющим, но довольно грустным памятником эпохе больших перемен.

В конце 1980-х был разработан и в начале 1992 года утвержден проект Белопорожской ГЭС — одной из завершающих станций Кемеровского каскада. Планировалось построить русловую ГЭС мощностью 130 МВт со среднегодовой выработкой электроэнергии 328 млн кВт·ч. Строительство началось в 1992 году и в вялотекущем темпе продолжалось до 1999 года, когда было заброшено при примерно 20% готовности объекта.

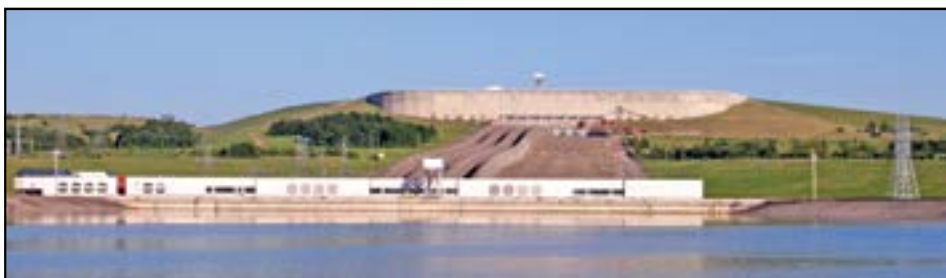
Печально сложилась судьба и Даугавпилской ГЭС, верхней ступени каскада ГЭС на Западной Двине. Планировалось возвести русловую станцию с земляной плотиной высотой до 28 м и зданием ГЭС, совмещенным с поверхностными водосбросами. Проектная мощность ГЭС — 300 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 565 млн кВт·ч, в здании ГЭС должны были быть установлены горизонтальные капсульные агрегаты. Создаваемое водохранилище должно было быть регулирующим для всего каскада.



Разрез по плотине и зданию Даугавпилской ГЭС

Строительство станции велось с 1979 года. К сожалению, протест против него стал своего рода символом для националистических организаций, боровшихся за независимость Латвии. В итоге в 1987 году стройку остановили, хотя к этому моменту был сделан большой объем работ — создан котлован, подготовлена зона затопления. На данный момент о проекте напоминает лишь озеро, образовавшееся на месте затопленного котлована.

В Литве в 1980-х годах велось строительство Кайшядорской ГАЭС проектной мощностью 1600 МВт. Станция была призвана работать в связке с мощной Игналинской АЭС, в качестве нижнего бассейна использовалось водохранилище Каунасской ГЭС. По конструкции Кайшядорская станция очень похожа на Загорскую ГАЭС, отличаясь количеством гидроагрегатов и конструкцией верхнего бассейна — вместо земляных дамб там использованы бетонные подпорные стенки. До распада СССР пустить ГАЭС не удалось, первый агрегат пустили в уже независимой Литве в 1992 году. Литовцы достроили станцию в урезанном варианте (4 гидроагрегата вместо проектных 8), заодно переименовав ее в Круонисскую ГАЭС.



Круонисская ГАЭС

На Украине жертвой общественных дискуссий и экономических проблем стал проект Южно-Украинского гидроэнергетического комплекса. Он предусматривал сооружение сразу нескольких объектов гидроэнергетики на реке Южный Буг, которые должны были работать в связке с крупной Южно-Украинской атомной станцией.

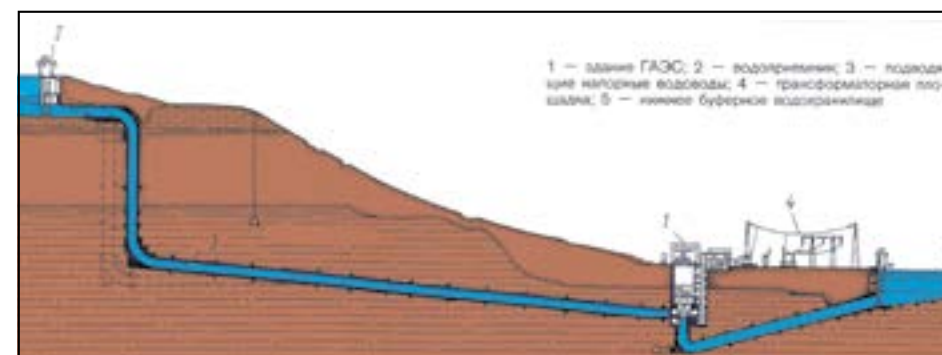
Изначальный проект включал в себя Ташлыкскую ГАЭС мощностью 1900 МВт, Константиновскую ГЭС-ГАЭС мощностью 384 МВт и небольшую Александровскую ГЭС, водохранилище которой используется как нижний бассейн Ташлыкской ГАЭС.

Строительство Ташлыкской ГАЭС начали в 1981 году, Александровской ГЭС — в 1985 году. В конце 1980-х под давлени-

ем общественности проект был пересмотрен. Из него исключили Константиновскую ГЭС-ГАЭС — очень интересный объект, фактически — русловую гидроэлектростанцию с бетонной плотиной и зданием ГЭС, совмещенным с поверхностным водосбросом. Ее изюминкой являлись уникальные гидроагрегаты с диагональными турбинами, способными работать и в насосном режиме, т.е. превращающие гидроэлектростанцию в гидроаккумулирующую станцию.

Проект Ташлыкской ГАЭС был пересмотрен. Изначально он предусматривал установку 6 обратимых агрегатов мощностью по 150 МВт и четырех обычных гидротурбин мощностью по 250 МВт. В дальнейшем от турбин отказались, остались только обратимые гидроагрегаты, мощность станции снизилась с 1900 МВт до 900 МВт. Но даже в таком урезанном виде полностью Ташлыкскую ГАЭС по состоянию на 2014 год не удалось — в 2006-2007 годах были введены в эксплуатацию первые два агрегата, после чего стройка была фактически приостановлена. Александровскую ГЭС пустили в 1999 году при пониженном уровне воды в водохранилище, на котором ее мощность составляет 11,5 МВт.

Долгостроем с неопределенной судьбой оказался и проект Днестровской ГАЭС — крупнейшей в Европе и четвертой в мире. Строительство этой станции проектной мощностью 2268 МВт (7 агрегатов по 324 МВт) началось в 1983 году, но первый гидроагрегат удалось пустить только в 2009 году, второй — в 2013 году, достройка станции продолжается.



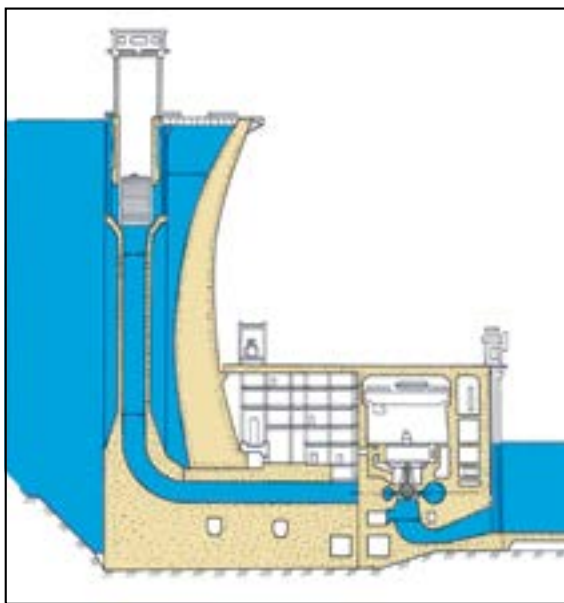
Разрез по сооружениям Днестровской ГАЭС

Днестровская ГАЭС интересна своей конструкцией — ее здание состоит из 7 отдельных, заглубленных в скальный массив шахт, в каждой из которых расположен один гидроагрегат. Шахты представляют собой фактически отдельные машинные залы, об-

щими для них являются козловые краны, расположенные на поверхности земли и перемещающиеся между шахтами. Турбинные водоводы, соединяющие гидроагрегаты с верхним и нижним бассейном, проложены под землей в тоннельных выработках.

Вообще гидроаккумулирующим станциям в СССР откровенно не повезло. В 1970-х -1980-х годах была создана обширная программа строительства ГАЭС, на разных этапах проектных проработок находилось более десятка станций. Помимо уже описанных выше станций, в конце 1980-х начались подготовительные работы по сооружению Ленинградской ГАЭС мощностью 1560 МВт, вскоре прекращенные. По другим объектам дело не дошло и до этого.

В Грузии в 1989 году было начато строительство Худонской ГАЭС на реке Ингури. Ее проект предусматривал возведение арочной плотины высотой 200 м и приплотинного здания ГАЭС с тремя гидроагрегатами общей мощностью 700 МВт. В 1989 году из-за протестов общественности проект был остановлен при степени готовности 25-30%.



Разрез по сооружениям
Намахванской ГАЭС

Похожая судьба постигла проект Намахванского каскада на реке Риони. Первый проект Намахванских ГАЭС был разработан в 1972 году и предусматривал освоение участка двумя ступенями — арочной плотиной высотой 161 м и нижележащей небольшой русловой станцией-контррегулятором. Однако, этот вариант после рассмотрения был отвергнут. Во-первых, при этом происходило масштабное подтопление так называемого Гонского массива — громадной

оползневой системы, что грозило сходом масштабного оползня и перекрытием водохранилища. Во-вторых, пришлось бы переселить большое количество населения, в зону затопления попа-

ли бы площади, на которых выращивается уникальный сорт винограда «Твиши».

В 1980-х годах проект был переработан, и вместо двух ступеней стало три. При этом, Гонский массив не затрагивается, уменьшается количество переселяемого населения, почти не затрагиваются виноградники «Твиши». ТЭО Намахванских ГАЭС было утверждено в 1985 году, в 1988 году были начаты подготовительные работы, но уже в 1989 году строительство было прекращено.

Намахванский каскад должен был состоять из трех станций — Твиши, Намахвани и Жонети общей мощностью 450 МВт и среднегодовой выработкой 1,681 млрд кВт·ч. Из них наиболее интересна ГАЭС Намахвани мощностью 250 МВт с арочной плотиной высотой 111 м.

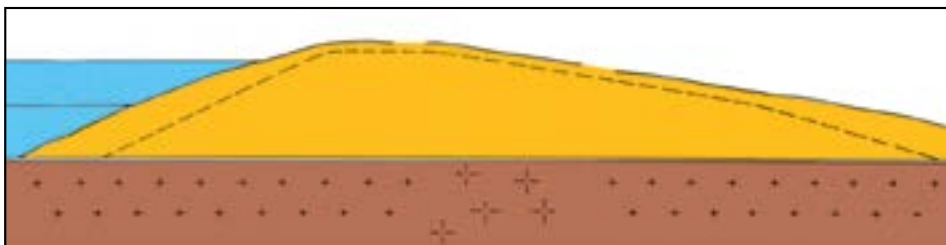
В Азербайджане в 1984 году было начато строительство Еникендской ГАЭС мощностью 150 МВт на реке Кура. В 1990 году стройка была остановлена, но в 1995 году проект удалось реанимировать и в 2000 году пустить эту русловую станцию в работу. Строительство следующей ступени каскада, Кирзанской ГАЭС, начать так не удалось.

Непросто сложилась судьба двух ГАЭС на пограничной реке Аракс, строительство которых предусматривалось заключенным в 1988 году межгосударственным соглашением — Худаферинской мощностью 200 МВт и ее контррегулятора ГАЭС Гыз-Галасы мощностью 80 МВт. Участок строительства оказался в зоне карабахского конфликта и с начала 1990-х годов контролируется армянской стороной. Тем не менее Иран продолжил строительство станций и ориентировочно в 2010 году (точная дата из-за щекотливости политической ситуации не сообщалась) ввел Худаферинскую ГАЭС в работу. Эта станция с грунтовой плотиной и регулирующим водохранилищем, а также (что традиционно для ГАЭС на пограничных реках) с двумя зданиями ГАЭС, расположенными на противоположных берегах. О пуске ГАЭС Гыз-Галасы ничего не известно.

В Казахстане в 1985 году начали строить Мойнакскую ГАЭС мощностью 300 МВт на реке Чарын. Эта гидроэлектростанция плотинно-деривационного типа, с созданным каменно-набросной плотиной высотой 96 м регулирующим водохранилищем и деривационным тоннелем длиной 9 км. Такая конструкция станции позволила создать напор 522 м, вращающий ковшовые турбины мощностью 150 МВт — по состоянию на 2014 год, крупнейшие турбины такого типа на постсоветском пространстве.

В 1992 году строительство было прекращено при готовности плотины около 70%, сооружение деривационного тоннеля и зда-

ния ГЭС начато не было (общая готовность сооружений ГЭС на момент остановки строительства — около 10%). Консервация недостроенных сооружений не была произведена должным образом, в результате чего они частично пришли в негодность. Комплекс сооружений ГЭС был приватизирован и продан частной компании, которая организовать работы по достройке ГЭС не смогла. Интерес к проекту вновь возник в начале 2000-х годов, в связи с ростом энергопотребления в Казахстане. В 2005 году было принято решение о возобновлении строительства ГЭС, в этом же году начались работы по расконсервации строительной площадки. Агрегаты ГЭС были пущены в 2011 году.



Профиль плотины Камбаратинской ГЭС-1

В Киргизии в 1986 году начались подготовительные работы по строительству двух ГЭС на реке Нарын, выше Токтогульской ГЭС — Камбаратинской ГЭС-1 и ГЭС-2. К моменту приостановки строительства наиболее продвинулось строительство менее мощной ГЭС-2. Возобновить его удалось в 2007 году, а в 2010 году был пущен первый гидроагрегат мощностью 120 МВт (проектная мощность ГЭС — 360 МВт). По состоянию на 2014 год, он остается и единственным — станция не достроена.

Станция интересна своей плотиной проектной высотой 70 м, которая была создана в 2009 году направленным взрывом, в ходе которого использовали 2916 тонн взрывчатки. Правда, взрыв оказался не вполне удачным — проектной высоты плотины достичь не удалось, и ее досыпали традиционным способом. Здание ГЭС наземное, вода к турбинам подается по тоннельным водоводам.

Куда более масштабна Камбаратинская ГЭС-1 проектной мощностью 1900 МВт и среднегодовой выработкой электроэнергии 5 млрд кВт·ч. Наиболее примечательный конструктивный элемент этой станции — ее плотина. Ее планировалось создать с помощью крупномасштабного взрыва, обрушив в русло реки горные породы левобережного склона. Крупномасштабно-

го — это мягко сказано; планировалось взорвать 247 000 тонн смеси аммиачной селитры и дизельного топлива. Напомним, что сброшенная на Хиросиму ядерная бомба имела мощность около 20 килотонн, т.е. в 12 раз меньше. Всего планировалось взорвать 259 миллионов кубометров породы, из которых 112 миллионов кубометров должны были уложиться в плотину высотой 275 м — третью по высоте в СССР, после строящейся Рогунской и Нурекской, и одну из самых высоких в мире. Камбаратинский взрыв должен был стать самым мощным промышленным взрывом в истории, намного опережая предыдущие как обычные, так и ядерные взрывы, производившиеся в мирных целях.

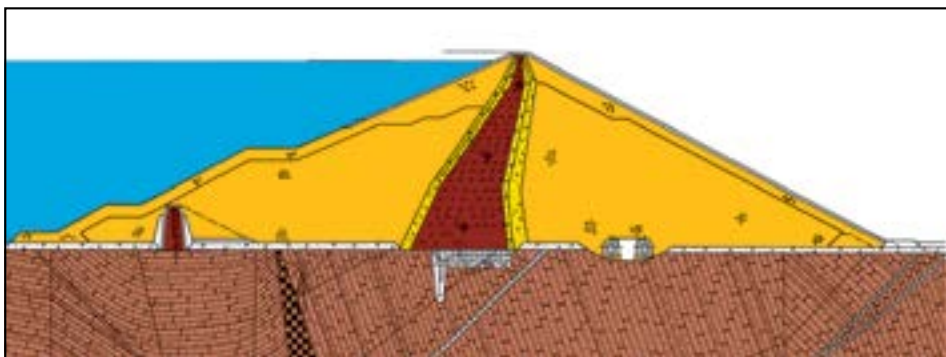
Интересно, что фактически таким образом копировался природный процесс образования так называемых завальных озер, самое знаменитое из которых — Сарезское в Таджикистане. Надо сказать, что тут природа значительно опередила человека — образовавшая это озеро в 1911 году естественная плотина имеет высоту 567 м и массу около 6 млрд тонн. Правда, имелось и некоторое отличие — чтобы предотвратить повышенную фильтрацию через Камбаратинскую плотину, планировалось создать своеобразный экран, путем замыка напорной грани плотины мелкозернистым песком.

Остальные параметры станции менее экзотичны. Здание ГЭС располагается на правом берегу, в нем планировалось разместить 4 радиально-осевых гидроагрегата мощностью по 485 МВт, с расчетным напором 165 м. Для подвода воды к гидроагрегатам в скалах пробивалось два тоннеля, плюс еще один тоннель водосброса строительного периода. Водохранилище ГЭС должно было иметь полный объем 4,65 км³ (полезный — 3,43 км³) и осуществлять сезонное регулирование стока, как в интересах гидроэнергетики, так и орошаемого земледелия в долине Сырдарьи.

К проекту готовились серьезно. В июне 1989 года был проведен эксперимент — на реке Уч-Терек взрывом была создана плотина высотой 45 м, моделирующая плотину Камбаратинской ГЭС-1. Но после развала СССР стало очевидно, что небольшая Киргизия самостоятельно потянуть столь грандиозный объект не может. Ситуация изменилась в 2012 году, когда между Россией и Киргизией было подписано соглашение о совместной реализации проекта. С российской стороны, оператором проекта выступит компания «Интер РАО ЕЭС». Проект ГЭС будет переработан, и вероятнее всего ее плотина будет гораздо более традиционной по конструкции, чем изначально запланированная.

В Узбекистане в 1980-х годах была спроектирована Пскемская ГЭС на одноименной реке (одной из составляющих Чирчика). Станция должна была иметь каменно-земляную (с ядром из суглинка) плотину высотой 195 м. В наземном здании ГЭС планировалось смонтировать два гидроагрегата общей мощностью 450 МВт. К строительству станции так и не приступили.

В Таджикистане еще в 1976 году было начато строительство Рогунской ГЭС с уникальной плотиной проектной высотой 335 м — самой высокой в мире.



Профиль плотины Рогунской ГЭС

Природные условия строительства этой станции далеко не просты. Сейсмичность 9 баллов, узкое горное ущелье, селеопасность, залегающий в основании плотины пласт каменной соли — все это потребовало как особых технических решений, так и продолжительного подготовительного периода строительства.



Порталы тоннелей Рогунской ГЭС



Подземная выработка машинного зала Рогунской ГЭС

Конструкция плотины, учитывая условия строительства и возможности подрядчика, соорудившего 300-метровую плотину Ну-

рекскую ГЭС, была predetermined — каменно-земляная, с противофильтрационным ядром из суглинка. Впрочем, в отличие от Нурекской, ядро здесь запланировали наклонным.

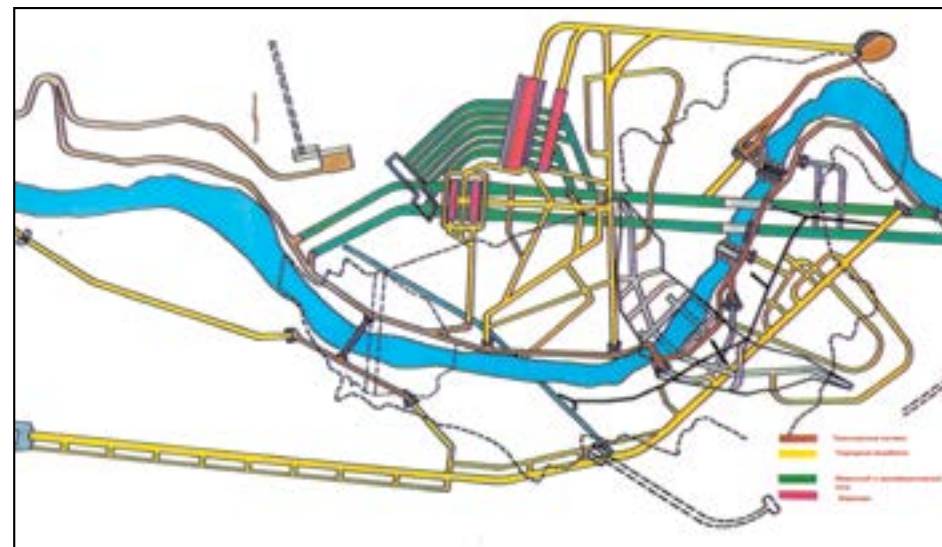


Схема подземных сооружений Рогунской ГЭС

Проектная высота плотины — 335 м, длина по гребню — 612 м. Для защиты от размыва пласта каменной соли потребовались сложные цементационные мероприятия, а также проходка специальных тоннелей для подачи в пласт насыщенного солевого раствора. В плотину должно быть уложено 71,7 миллионов м³ грунта (для сравнения, в плотину Нурекской ГЭС уложено «всего» 43 миллиона м³). Грунт в плотину планировали подавать с помощью специальных конвейеров.

А вот машинный зал с шестью гидроагрегатами мощностью по 600 МВт решили разместить под землей, а точнее, в скальном массиве. Такое решение в практике гидроэнергетического строительства в Средней Азии ранее не применялось. Вообще, Рогунская ГЭС отличается беспрецедентно большим количеством различных подземных сооружений — одних тоннелей должно быть пробито длиной 63 км. Под землей, помимо машинного зала (к слову, крупнейшего подобного сооружения в СССР), располагаются отдельные помещения для трансформаторов и затворов, подводящие и отводящие водоводы, эксплуатационный водосброс на правом берегу, два яруса водосброса строительного периода, огромное количество

транспортных тоннелей, подходных выработок, дренажных и вентиляционных штолен — всего более 5 млн м³ подземной выломки.

Итак, советским гидроэнергетикам было чем гордиться — станция получалась без всяких оговорок уникальная. Но эта уникальность сыграла ей плохую службу — начатое строительство затянулось. Тем не менее, к моменту развала СССР был выполнен большой объем работ — подготовлена база строительства, построен город гидростроителей Рогун, проложено более 20 км тоннелей, на 70-80% пройдены помещения машинного и трансформаторного залов. В 1987 году Вахш был перекрыт перемычкой, к началу 1990-х ее высота достигла 40 м. Была поставлена большая часть оборудования первых двух гидроагрегатов.

Непосредственно после распада СССР, в 1992 году в Таджикистане началась гражданская война. В этих условиях ни о каком строительстве уникальной ГЭС не могло быть и речи, стройка оставалась, причем объекты не консервировались, а просто бросались. А 8 мая 1993 года перемычка была смыта мощным селевым потоком, строительные водосбросы повреждены, машинный и трансформаторный зал затоплены.

В 1997 году гражданская война завершилась, оставив после себя бедную страну с дефицитом электроэнергии в зимний период. Дело в том, что максимум выработки на таджикских ГЭС приходится на лето, в период паводка. В зимнюю межень выработка снижается; в советское время, производились поставки электроэнергии с тепловых электростанций Туркмении и Узбекистана, но с переходом на рыночные отношения импортная электроэнергия стала Таджикистану не по карману, да и отношения с Узбекистаном по ряду причин у него напряженные. В этой ситуации, достройка Рогунской ГЭС выглядит очень привлекательно — при полной мощности, она не только полностью закроет все потребности Таджикистана в электроэнергии, но и позволит заработать на ее экспорте.

Однако, самостоятельно построить столь сложный объект небогатой стране непросто. Было решено найти внешнего инвестора, которым стала российская алюминиевая компания «Русал», с которой в 2004 году было заключено соответствующее соглашение. Однако, работа не заладилась — стороны не сошлись в вопросе оптимальных параметров плотины, и в 2007 году соглашение было расторгнуто. Таджикистан решил достроить ГЭС своими силами, для чего даже была организована всенародная подписка на акции Рогунской ГЭС. Стройплощадка была расконсервирована, нача-

лись восстановительные работы в тоннелях. Но к этому времени строительство Рогунской ГЭС стало предметом большой политики.

Против строительства станции стал резко выступать Узбекистан, опасаящийся проблем с водой для орошения после заполнения водохранилища ГЭС, имеющего довольно приличную емкость — полный объем 13,3 км³, полезный — 10,3 км³. Узбекистан на пару с Туркменией почти полностью разбирают Амударью на орошение (в результате чего, к слову, высохло Аральское море), и изменение режима реки — довольно чувствительный момент (хотя из общего среднего расхода в Амударье Вахш дает лишь около трети). В итоге, конфликт пошел по нарастающей — от словесной перепалки дело дошло до частичной транспортной блокады Таджикистана со стороны Узбекистана, когда узбекская железная дорога отказывается пропускать грузы с материалами, которые могут использоваться на строительстве ГЭС (а временами и вообще все грузы). Интересно, что генпроектировщик Рогунской ГЭС находился в Узбекистане — это бывшее среднеазиатское отделение Гидропроекта; впрочем, сейчас Рогунскую ГЭС проектирует московский «Гидропроект».

В 2010 году между Таджикистаном и Всемирным Банком было заключено соглашение о проведении международной экспертизы проекта, которая с одной стороны должна снять опасения Узбекистана, с другой — помочь привлечению иностранных инвестиций в проект. До завершения экспертизы, Таджикистан обязался на производить строительных работ, ограничившись лишь ремонтно-восстановительными. Результаты экспертизы банка показали, что проект Рогунской ГЭС жизнеспособен и станция может быть достроена.

Помимо Рогунской ГЭС в Таджикистане в 1980-х годах началось строительство Сангтудинских ГЭС (о них мы поговорим более подробно в следующем разделе), а также небольшой деривационной Памирской ГЭС мощностью 28 МВт на реке Гунт, первый агрегат которой пустили в 1994 году.

Общественная критика гидроэнергетики, в частности обвинения в «гигантомании», вызвали возрождение интереса к малым ГЭС. Было проведено обследование ранее выведенных из эксплуатации малых гидроэлектростанций, с целью оценки возможности их восстановления, а также составлен ряд проектов новых малых ГЭС. Но развернуть строительство малых гидроэлектростанций так и не удалось.

Гидроэлектростанции, построенные в 1981-1991 годах

| Название ГЭС | Мощность, МВт | Регион | Река | Год начала строительства | Год пуска первого агрегата | Тип ГЭС | Напор, м | Тип турбин |
|--------------------|---------------|------------------------|-----------|--------------------------|----------------------------|------------------------|----------|--------------------------------|
| Верхне-Териберская | 130 | Мурманская область | Териберка | 1976 | 1985 | Плотинно-деривационная | 111 | Радиально-осевые |
| Нижне-Териберская | 26,5 | Мурманская область | Териберка | 1976 | 1987 | Плотинная | 21 | Поворотно-лопастные |
| Кривопорожская | 180 | Карелия | Кемь | 1977 | 1990 | Плотинная | 26 | Поворотно-лопастные |
| Загорская ГАЭС | 1200 | Московская область | Кунья | 1980 | 1987 | Гидроаккумуляторная | 100 | Радиально-осевые насос-турбины |
| Мяглицкая | 220 | Дагестан | Сулак | 1974 | 1986 | Плотинно-деривационная | 46 | Поворотно-лопастные |
| Майнская | 321 | Хакасия | Енисей | 1979 | 1984 | Плотинная | 17 | Поворотно-лопастные |
| Кольская | 900 | Магаданская область | Кольма | 1970 | 1981 | Плотинная | 108 | Диагональные |
| Курейская | 600 | Плотинно-деривационная | Курейка | 1975 | 1987 | Плотинная | 57 | Радиально-осевые |
| Днепровская-1 | 702 | Украина | Днестр | 1973 | 1981 | Плотинная | 34 | Поворотно-лопастные |
| Жинвальская | 130 | Грузия | Арагви | ? | 1985 | Плотинно-деривационная | 128 | Радиально-осевые |
| Варцхские-3 и -4 | 2x46 | Грузия | Риони | ? | 1985, 1988 | Деривационная | 2x15 | Поворотно-лопастные |
| Спандарянская | 76 | Армения | Воротан | ? | 1989 | Плотинно-деривационная | 295 | Радиально-осевые |
| Шамхорская | 380 | Азербайджан | Кура | ? | 1983 | Плотинная | 48 | Поворотно-лопастные |
| Шульбинская | 702 | Казахстан | Иртыш | 1976 | 1987 | Плотинная | 24 | Поворотно-лопастные |
| Курпсайская | 600 | Киргизия | Нарын | 1975 | 1981 | Плотинная | 92 | Радиально-осевые |
| Ташкумырская | 450 | Киргизия | Нарын | 1982 | 1985 | Плотинная | 53 | Радиально-осевые |
| Гаалякентская | 120 | Узбекистан | Чирчик | ? | 1981 | Плотинная | 25 | Поворотно-лопастные |
| Байпазинская | 600 | Таджикистан | Вахш | ? | 1985 | Плотинная | 54 | Радиально-осевые |

Глава XIII

Гидроэнергетика новой России

Советский Союз прекратил свое существование в конце 1991 года, разделившись на 15 новых государств. Вместе с ним разделилась и единая ранее гидроэнергетическая отрасль — к новообразовавшимся государствам отошли оказавшиеся на их территории гидроэлектростанции, строительные организации и проектные институты.

1990-е годы стали для российской гидроэнергетики очень тяжелым периодом, на ней в полной мере отразился поразивший страну глубокий экономический кризис. Строительство новых ГЭС практически прекратилось, более того, было заморожено либо велось очень низкими темпами возведение уже начатых строительством в предыдущие годы станций.

Очень сильно пострадали проектные, научные и строительные организации в области гидроэнергетики. Единая система проектных институтов оказалась разрушена, региональные отделения Гидропроекта оказались в новообразованных государствах. Оставшиеся в России головной московский «Гидропроект» и находящийся в Санкт-Петербурге «Ленгидропроект» едва сводили концы с концами, занимаясь зарубежными проектами, сопровождением как-то теплящихся строек и уже построенных ГЭС. Произошло значительное сокращение численности их сотрудников, особенно сильно пострадали подразделения, занимающиеся инженерными изысканиями в створах строительства новых ГЭС. В научные и проектные организации почти прекратился приток молодых специалистов.

Большинство строительных организаций в области гидроэнергетики либо прекратили свое существование, либо отошли от гидротехнического строительства.

С начала 1990-х годов начались процессы акционирования, а затем — и приватизации энергетической отрасли, в том числе и гидроэнергетики. В итоге к концу десятилетия под контроль

частных компаний перешли Красноярская, Иркутская, Братская, Усть-Илимская ГЭС.

Недофинансирование ремонтных программ, а также мероприятий по модернизации оборудования действующих станций привело к снижению надежности работы оборудования, усилению его физического износа и морального устаревания.

Тем не менее, развитие гидроэнергетики продолжалось. Хотя и очень медленными темпами. В 1998 году заработал первый гидроагрегат Ирганайской ГЭС, в 1999 году — Зеленчукской ГЭС. Было завершено строительство Загорской ГАЭС, продолжалось возведение Усть-Среднеканской ГЭС. В 1993 году удалось начать возведение первых гидроэлектростанций новой России — Аушигерской и Кашхатау ГЭС в Кабардино-Балкарии.

В конце 1990-х годов было принято решение сконцентрировать все ресурсы на строительстве нескольких станций, находящихся в высокой степени готовности. Ими стали Бурейская, Ирганайская, Зеленчукская и Аушигерская ГЭС. На остальные стройки выделялось минимальное количество средств, необходимых для их поддержания в безопасном состоянии.



Здание Ирганайской ГЭС



Плотина Ирганайской ГЭС

Проектирование Ирганайской ГЭС на реке Аварское Койсу в Дагестане началось в 1973 году, через два года технико-экономическое обоснование проекта станции было завершено. Район строительства отличается сложными геологическими условиями, в частности обширным развитием оползневых явлений, что препятствовало возведению очень высокой плотины по типу Чиркейской. В итоге сопоставления различных вариантов была выбрана плотинно-деривационная схема гидроэлектростанции.

Плотина Ирганайской ГЭС — каменно-набросная, с асфальтобетонной диафрагмой. Такая конструкция противифльтрационного

элемента была применена в нашей стране впервые. Высота плотины — 101 м, длина по гребню — 317 м. Водосбросное сооружение реализовано в виде тоннеля. Плотина возведена на 60-метровой толще рыхлых аллювиальных отложений, для обеспечения водонепроницаемости которых были проведены масштабные цементационные работы, а также создана «стена в грунте» из глинобетона.

Деривационная часть ГЭС реализована в виде тоннеля длиной 5,2 км, переходящего расположенные на горном склоне напорные водоводы. Здание ГЭС берегового типа, заглублено под нормальный подпорный уровень Чиркейского водохранилища. Краны, обслуживающие машинный зал, расположены на его крыше, доступ к агрегатам производится через съемные крышки в крыше.



Водоприемник и плотина Ирганайской ГЭС со стороны водохранилища

По первоначальному проекту, в здании ГЭС планировалось разместить 4 гидроагрегата мощностью по 200 МВт, таким образом, мощность ГЭС составляла 800 МВт. Позднее было решено отказаться от проходки второго деривационного тоннеля и монтажа двух агрегатов. Мощность станции сократилась вдвое, но среднегодовая выработка электроэнергии (1,2 млрд кВт·ч) практически не изменилась. Исключенные гидроагрегаты должны были работать в пиковой части графика нагрузок (несколько часов в сутки), выдавая энергосистеме свою мощность в случае необходимости. В новых экономических условиях механизма окупаемости работы таких агрегатов создано не было.

Непростой задачей стал выбор транспортной схемы обеспечения строительства, расположенного в труднодоступном районе. Оптимальным по стоимости был вариант снабжения стройки водным транспортом по Чиркейскому водохранилищу. Но в итоге был выбран более дорогой вариант с возведением Гимринского автодорожного тоннеля длиной 4,3 км (самый длинный автодорожный тоннель в России). Строительство тоннеля позволило не только обеспечить строительство ГЭС, но и создать короткую транспортную связь 9 районов Дагестана с железной дорогой и столицей республики.

Подготовительные работы на строительстве Ирганайской ГЭС были начаты в 1979 году, земельно-скальные работы на основных

сооружениях — в 1985 году. В конце 1980-х годов в связи с экономическими проблемами в стране возникла угроза приостановки строительства, и проектировщики внесли в конструкцию станции ряд изменений, направленных на ускорение пуска ГЭС. Так, верховая строительная перемышка была переустроена в плотину первой очереди высотой 37 м, что позволило пустить гидроагрегаты на пониженном напоре до возведения основной плотины. К слову, конструкция гидротурбин Ирганайской ГЭС необычна — в состав турбины впервые был включен кольцевой затвор, что позволило отказаться от установки дорогостоящего дискового предтурбинного затвора.

Технология проходки деривационного тоннеля диаметром 8,5 м была разработана в двух вариантах — традиционным, но медленным буровзрывным способом и современным, но ранее не применявшимся способом механизированной проходки с помощью специального щита. В СССР горнопроходческих комплексов под такие параметры не выпускалось, но руководству строительства удалось убедить правительственные инстанции в необходимости закупки иностранного оборудования. Был закуплен современный комплекс американской фирмы «Роббинс», с помощью которого в 1990-95 годах была произведена проходка тоннеля. Использование данного проходческого комплекса вызвало необходимость оперативной корректировки проекта, в частности напорные водоводы из подземных тоннелей были перенесены на склон горы. По технологическим соображениям была значительно изменена и конструкция уравнильного резервуара.



Новый машинный зал
Гергебильской ГЭС

В 1990-е годы строительство серьезно недофинансировалось, но тем не менее в 1998 году удалось пустить первый гидроагрегат станции, а в 2001 году — второй. Далее работы были сконцентрированы на возведении плотины, которое было завершено в 2008 году, тогда же водохранилище было заполнено до проектной отметки. По состоянию

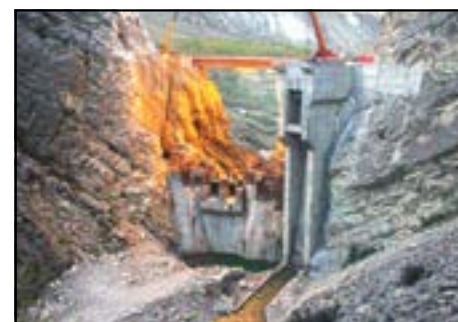
на 2014 год на Ирганайской ГЭС ведутся остаточные работы, связанные с пересмотром утвержденного еще в советские годы проекта станции мощностью 800 МВт на мощность 400 МВт.

В 1989-1992 годах в Дагестане была проведена реконструкция введенной в эксплуатацию еще в 1930-х годах на реке Кара-

койсу Гергебильской ГЭС, гидроагрегаты которой полностью выработали свой ресурс. Было принято решение о строительстве рядом с историческим машинным залом, в котором оставались в работе два старых агрегата, нового здания ГЭС. При этом мощность станции увеличилась с 8 МВт до 17,8 МВт. Арочно-гравитационная плотина ГЭС была обследована и оказалась в хорошем состоянии, не требующем реконструкции.

В 1995 году было начато строительство еще одной ГЭС на Каракойсу — Гунибской. Впервые возможность гидроэнергетического использования реки Каракойсу выше Гергебильской ГЭС была рассмотрена в «Водно-энергетической схеме Северного Кавказа», разработанной в 1935 году. Согласно данной схеме, намечалось сооружение трех деривационных ГЭС общей мощностью 58 МВт. В 1970 году институтом «Ленгидропроект» была составлена «Схема использования рек Андийское и Аварское Койсу», в которой подробно рассматривалась схема использования Каракойсу, включавшая в себя три ГЭС — Магарскую, Боцадахскую и Гунибскую общей мощностью 120 МВт.

Технико-экономический расчет строительства Гунибского гидроузла был разработан в 1987 году и утвержден в 1990 году. В ходе проектирования, были рассмотрены два варианта плотины (арочные с пробкой и глубинным водосбросом и без пробки с поверхностным водосбросом) и водоподводящего тракта.



Строительство плотины
Гунибской ГЭС



Монтаж агрегатов Гунибской ГЭС

Строительство станции началось с подготовки базы строительства, дороги и инженерных коммуникаций. Уже в 1996 году были начаты работы по основным сооружениям гидроузла — строительному тоннелю и зданию ГЭС. До 2001 года финансирование строительных работ осуществлялось в небольшом объеме и нерегулярно,

что привело к значительному затягиванию сроков строительства.

С 2002 года финансирование было значительно увеличено, что позволило в течение трех лет завершить строительство станции. В том же году река Каракойсу была перекрыта насыпной перемычкой, ее сток был перенаправлен в строительный тоннель. Под защитой перемычки начата разработка котлована плотины. В следующем году были завершены основные строительные работы по водоприемнику, зданию ГЭС, распределительному устройству, производственно-технологическому корпусу, начат монтаж гидросилового и электротехнического оборудования.

Плотина станции была возведена менее чем за год в 2004 году, в конце которого пустили гидроагрегаты станции. В следующем году все строительные работы были завершены и Гунибская ГЭС была принята в постоянную эксплуатацию.



Панорама Гунибской ГЭС



Машинный зал Гунибской ГЭС

Мощность Гунибской ГЭС — 15 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 57,6 млн кВт·ч. Плотина станции арочная бетонная, высотой 73 м и длиной 59 м, с размещенным в теле плотины глубинным водосбросом. Здание ГЭС берегового типа, вода к трем гидроагрегатам с радиально-осевыми турбинами подводится по тоннельному водоводу.

Также в 1997 году в Дагестане пустили первый гидроагрегат небольшой деривационной Ахтынской ГЭС мощностью 1,8 МВт. Эта станция была построена еще в 1957 году, но в 1971 году остановлена и законсервирована. При восстановлении была полностью перестроена.

В Карачаево-Черкесии с 1975 года велось строительство Зеленчукской ГЭС. Это уникальная деривационная гидроэлектростанция, концепция которой предусматривала переброску в реку Кубань объединенного стока трех ее притоков — Большого Зеленчука, Марухи

и Аксаута. Помимо выработки электроэнергии на самой Зеленчукской ГЭС, это давало возможность увеличения забора воды в Большой Ставропольский канал и соответственно увеличения выработки электроэнергии на станциях каскада кубанских ГЭС.



Зеленчукская ГЭС



Водозаборный узел на Большом Зеленчуке



Схема сооружений Зеленчукской ГЭС

Зеленчукская ГЭС — пожалуй, самая конструктивно сложная гидроэлектростанция России, в ее состав входит множество сооружений. Это три водозаборных гидроузла, протяженная система каналов,

тоннелей и дюкеров, бассейн суточного регулирования, напорные тоннельные водоводы с уравнительными резервуарами и здание ГЭС. Общая длина деривационного тракта составляет рекордные 33 км, в том числе почти 10 км различных тоннелей. Столь протяженная деривация позволила создать на радиально-осевых турбинах станции напор 234 м — один из самых больших на ГЭС России (по этому параметру Зеленчукская ГЭС уступает только Гизельдонской ГЭС).

Строительство столь сложного гидротехнического сооружения ожидаемо затянулось, плюс с конца 1990-х годов проект стал критиковаться экологическими организациями. В результате в 1993 году проект был пересмотрен, количество отбираемой в деривацию воды было значительно уменьшено (с 77% стока до 50%). В результате мощность ГЭС сократилась вдвое — с 320 МВт до 160 МВт. Уже созданный строительный задел под два «лишних» гидроагрегата был впоследствии использован для создания на базе Зеленчукской ГЭС гидроаккумулирующей электростанции.

Первый пусковой комплекс Зеленчукской ГЭС (один гидроагрегат и водозабор на реке Аксаут) был введен в эксплуатацию в 1999 году. В 2002 году заработал второй пусковой комплекс — еще один гидроагрегат и водозабор на реке Марухе. Наконец, в 2006 году с вводом в эксплуатацию третьего пускового комплекса (водозабор на реке Большой Зеленчук) строительство станции было завершено и она достигла своих проектных параметров — мощность 160 МВт и среднегодовая выработка электроэнергии 501 млн кВт·ч.



Аушигерская ГЭС

В Кабардино-Балкарии в 1993 году началось строительство двух деривационных гидроэлектростанций на реке Черек — Аушигерской и Кашхатау (изначально — Советской ГЭС). Первоначально технический проект строительства каскада был разработан институтом «Еревангидропроект» (мощность Советской ГЭС по данному проекту должна была составить 55,4 МВт, Аушигерской ГЭС — 32 МВт). Затем московский институт «Гидропроект» выполнил существенную доработку проекта с увеличением мощности ГЭС каскада. Поскольку дорогостоящее строительство деривационного туннеля Кашхатау ГЭС в сложившихся экономических услови-

ях могло сильно затянуть строительство, в первую очередь работы были сконцентрированы на сооружении второй ступени Аушигерской ГЭС. Так как по проекту забор воды в деривацию производился на верхней ступени каскада, для обеспечения работы Аушигерской ГЭС без ввода Кашхатау ГЭС было предусмотрено сооружение резервного водозаборного узла на реке Черек.

Первые годы строительные работы велись низкими темпами и были активизированы лишь в 1999 году, что позволило в 2002 году ввести Аушигерскую ГЭС в работу. По конструкции это типичная деривационная ГЭС с каналом длиной 6 км и бассейном суточного регулирования. Мощность Аушигерской ГЭС — 60 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 228 млн кВт·ч.



МГЭС-3

Помимо Аушигерской ГЭС, в Кабардино-Балкарии пустили две малые ГЭС, расположенные на оросительных каналах — Акбашскую мощностью 1,1 МВт в 1995 году и МГЭС-3 мощностью 3,5 МВт в 2000 году. Обе станции деривационного типа. В Северной Осетии в 2000 году ввели в эксплуатацию также деривационную малую Кора-Урсдонскую ГЭС мощностью 0,6 МВт.

На Камчатке, столкнувшейся в 1990-е годы с жестоким энергетическим кризисом, связанным с дороговизной завозимого морем мазута для местных ТЭЦ, с 1997 года начали строить каскад из трех малых ГЭС на небольшой реке Толмачева. Строительство изначально велось по инициативе и на средства рыбодобывающих предприятий, в дальнейшем — на средства федерального бюджета.

Концепция каскада предусматривает создание регулирующего водохранилища путем подпора грунтовой плотиной ГЭС-1 озера Толмачева. Ниже на реке расположены деривационные (деривация реализована с помощью каналов и металлических водоводов) ГЭС-2 и ГЭС-3.

Толмачевская ГЭС-1 мощностью 2 МВт с 20-метровой плотинной заработала в 1999 году, ГЭС-3 мощностью 18,4 МВт — в 2001 году. Строительство ГЭС-2 мощностью 24,8 МВт сильно затянулось, ее пустили только в 2010 году.



Толмачевская ГЭС-1



Толмачевская ГЭС-3



Деривационный водовод

Толмачевские ГЭС полностью обеспечивают энергоснабжение Усть-Большерецкого района, что позволило отказаться от эксплуатации дизельных электростанций, использующих дорогостоящий привозной мазут, и уменьшить загрязнение окружающей среды. Кроме того, Толмачевские ГЭС используются для работы в пиковой части

графика нагрузок Центрального энергоузла Камчатки.

Также, в 1992-1995 годах на Камчатке построили небольшую деривационную Быстринскую ГЭС мощностью 1,7 МВт, интересную тем, что ее водозаборное сооружение реализовано без использования плотины. Такое конструктивное решение было принято в связи с высоким рыбохозяйственным значением реки.

В части зарубежных проектов, в 1990-х годах были введены в эксплуатацию несколько станций, построенных по проектам отечественных гидротехников. Работа по этим объектам очень серьезно помогла отечественным проектным и научным организациям пережить трудные времена.

Так, в 1991-1999 годах была возведена ГЭС Тишрин на реке Евфрат в Сирии, мощностью 630 МВт с 40-метровой грунтовой плотинной. Во Вьетнаме в 1993 — 2002 годах была построена ГЭС Яли

на реке Сесан. Станция создана по плотинно-деривационной схеме, с грунтовой плотинной и двумя деривационными тоннелями длиной по 3750 м. В подземном здании ГЭС размещены 4 гидроагрегата с радиально-осевыми турбинами, работающими на напоре 190 м. Мощность ГЭС — 720 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 3,6 млрд кВт·ч.



Водосброс ГЭС Яли



ГЭС Тишрин

Еще один интересный проект — ГЭС Аль-Вахда на реке Уэрга в Марокко. Станция построена по проекту института «Гидропроект» в 1991-1997 годах. Конструкция ГЭС включает в себя грунтовую плотину с суглинистым ядром, высотой 88 м и длиной 2600 м. В центральной части плотины расположен поверхностный водосброс максимальной пропускной способностью 13 000 м³/с. Здание ГЭС приплотинное, примыкает к водосбросу слева, в нем размещены три гидроагрегата с радиально-осевыми турбинами. Мощность ГЭС — 247 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 400 млн кВт·ч.

С начала 2000-х годов ситуация в гидроэнергетике начала постепенно изменяться в лучшую сторону. Страна выползла из экономического кризиса, начался рост энергопотребления, в достройке станций и сооружениях новых появился экономический смысл. Реформа РАО «ЕЭС России» и изменения в законодательстве создали гарантии окупаемости проектов, что позволило привлечь в отрасль финансовые ресурсы.

К концу 2000-х годов в результате реформы электроэнергетики сложилась новая система управления отраслью. В 2004 году было создано ОАО «РусГидро», более половины акций которого принадлежит государству. В его состав вошло большинство гидроэлектростанций России (в том числе почти все строящиеся ГЭС), проектные и научные институты в области гидроэнергетики, а также ряд

отраслевых ремонтных и строительных организаций. Гидроэлектростанции Мурманской, Ленинградской областей и республики Карелия отошли к ОАО «ТГК-1», которое также через ОАО «Газпром» контролируется государством. Еще несколько ГЭС, преимущественно некрупных, оказались в собственности других частных либо контролируемых государством компаний.

С середины 2000-х годов не только возобновилось строительство всех ГЭС еще советского периода (в том числе и самой мощной строящейся ГЭС России — Богучанской), но и началось возведение нескольких новых станций. Были пущены мощная Бурейская ГЭС, Вилюйская ГЭС-3 (Светлинская), Юмагузинская, Гельбахская и ряд других станций. Началось строительство Загорской ГАЭС-2 и Гоцатлинской ГЭС. Увеличение финансирования позволило стабилизировать положение в научных и проектных институтах, а также в строительных организациях.



Укладка первого кубометра бетона

Крупнейшей гидроэнергетической стройкой первой половины 2000-х годов стала Бурейская ГЭС на реке Буре в Амурской области. История этого проекта уходит в 1950-е годы — в 1957 году на Буре начинаются изыскательские работы с целью обоснования строительства ГЭС, на их основе составляется «Схема комплексного использования р.

Буреи». В 1969 году Ленгидропроект начинает разработку технико-экономического обоснования Желундинской ГЭС, позднее переименованной в Бурейскую ГЭС.

В ходе проектирования рассматривались варианты компоновки будущего гидроузла с каменно-набросной и бетонной гравитационной плотиной, но большие паводковые расходы реки, наличие вблизи достаточных объемов песка и гравия, а также технологическая оснастка строительной организации (возводившей в то время Зейскую ГЭС с массивно-контрфорсной бетонной плотиной) привели к принятию варианта бетонной гравитационной плотины. В 1973 году государственная комиссия утвердила местом постройки станции Талаканский створ. В 1975 году было утверждено ТЭО проекта, включавшее в себя строительство гидроэнергетического комплекса в составе двух ГЭС: Бурейской

в Талаканском створе и ее контррегулятора Долдыканской (позднее Нижне-Бурейской) ГЭС.

1 марта 1976 года в Талаканском створе высадился десант «Зейгэстроля» — организации, которой было поручено строительство Бурейской ГЭС. Начался подготовительный этап строительства гидроузла, включавший в себя сооружение дорог, линий электропередачи, жилья и базы строительства. К 1984 году работы подготовительного периода были завершены.

Работы по строительству основных сооружений Бурейской ГЭС были начаты 22 сентября 1984 года с отсыпки перемычек правобережного котлована первой очереди. На следующий год в тело плотины был уложен первый кубометр бетона. В период с 1984 по 1988 год строительство велось в соответствии с проектным графиком, но с 1989 года в связи с экономическими трудностями в стране финансирование строительства резко сокращается.

В начале 1990-х годов финансирование строительства практически прекратилось. В апреле 1994 года строителями, не получающими зарплату, была начата забастовка, продолжавшаяся с перерывами до 1999 года. Начался отток со строительства квалифицированных кадров, продажа за бесценок и разворовывание техники и строительных материалов. Оставшиеся без зарплаты строители выживали за счет огородов, охоты и рыбалки.

В 1999 году гидроэнергетическая комиссия РАО «ЕЭС России», учитывая кризисное положение в энергетике Дальнего Востока, предложила Бурейскую ГЭС в качестве приоритетного объекта финансирования. Это предложение было поддержано руководством компании во главе с Анатолием Чубайсом. На уровне правительства страны было принято принципиальное решение о достройке станции.

С конца 1999 года финансирование строительства Бурейской ГЭС стало резко возрастать, в связи с чем строительные работы активизировались. Строительство станции стало приоритетной программой РАО «ЕЭС России». В январе 2000 года было осуществле-



Поселок изыскателей в створе Бурейской ГЭС

но перекрытие Буреи, в июле того же года в сооружения ГЭС был уложен миллионный кубометр бетона. Резко увеличилось количество задействованных на строительстве людей и техники (к началу 2001 года на строительстве основных сооружений ГЭС работало 2090 человек, к концу года — 4950 человек). К работам были привлечены подразделения наиболее квалифицированных в области гидротехнического строительства организаций страны.



Строительство Бурейской ГЭС



Доставка рабочего колеса турбины

В феврале 2002 года на станцию прибыли 2 рабочих колеса, доставленных на самолете Ан-124 в аэропорт Завитинска, а далее в сцепке из двух тягачей и платформы на стройплощадку. Бурейская ГЭС стала первой гидроэлектростанцией в России, на которую рабочие колеса гидротурбин доставлялись воздушным транспортом.



Бурейская ГЭС



Машинный зал Бурейской ГЭС

В 2002 году была окончательно утверждена новая схема выдачи мощности станции, подразумевавшая сооружение современного распределительного устройства с элегазовой изоляцией — КРУЭ-500 кВ, кабельного тоннеля и шахты.

Пуск первого гидроагрегата Бурейской ГЭС на сменном рабочем колесе был осуществлен 20 июня 2003 года. Оставшиеся гидро-

агрегаты пустили в 2003 — 2007 годах, а в 2009 году после замены у первых гидроагрегатов временных рабочих колес на штатные и наращивания водоводов станция достигла проектной мощности.

Водохранилище Бурейской ГЭС было впервые заполнено до проектной отметки летом 2009 года, в 2013 году оно сыграло важную роль в смягчении последствий катастрофического наводнения в Приамурье. Завершение остаточных строительных работ со сдачей ГЭС государственной комиссии в постоянную эксплуатацию запланировано на 2014 год.

Бурейская ГЭС имеет мощность 2010 МВт и среднегодовую выработку электроэнергии 7,1 млрд кВт·ч. Это самая мощная электростанция на Дальнем Востоке. Плотина Бурейской ГЭС — гравитационная бетонная, высотой 140 м и длиной 736 м, самая высокая плотина подобного типа в стране.

Водосбросные сооружения расположены на плотине, реализованы по хорошо зарекомендовавшей себя схеме с отбросом струи и гашением энергии ее потока в яме размыва. При этом конструкция водосброса была усовершенствована — созданы специальные виражные поверхности, направляющие боковые потоки воды в центр. Таким образом, происходит взаимное гашение энергии потоков — они соударяются друг с другом в воздухе.

Здание ГЭС приплотинного типа, в нем расположено шесть гидроагрегатов с радиально-осевыми турбинами мощностью по 335 МВт. Электроэнергия на распределительное устройство впервые на ГЭС в России передается с помощью высоковольтного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена, проложенного в специальных тоннеле и шахте. Также



КРУЭ-500 кВ Бурейской ГЭС

впервые было использовано комплектное распределительное устройство с элегазовым оборудованием (КРУЭ) напряжением 500 кВ. Такое распределительное устройство, по сравнению с ранее использованными устройствами открытого типа, занимает намного меньше места, гораздо более удобно, надежно, безопасно и экономично в эксплуатации. С середины 2000-х годов КРУЭ получают все большее распространение, становясь стандартом распределительных устройств для новых и реконструируемых гидроэлектростанций.

С апреля 1975 года начались изыскательские работы в створе следующей ступени каскада гидроэлектростанций на реке Вилюй в Якутии — Вилюйской ГЭС-3. В 1978 году было утверждено разработанное «Ленгидропроектом» технико-экономическое обоснование строительства новой станции, в следующем году на площадке строительства начались подготовительные работы.



*Строительство Вилюйской ГЭС-3.
Фото ОАО «Вилюйская ГЭС-3»*



*Вилюйская ГЭС-3.
Фото ОАО «Вилюйская ГЭС-3»*

Природные условия в створе Вилюйской ГЭС-3 отличаются особой сложностью. Склоны речной долины сложены вечномёрзлыми грунтами с содержанием льда до 40%. После заполнения водохранилища лед будет неизбежно таять, что вызовет значительные просадки грунта. Размещать бетонные сооружения на таких породах нельзя. Поэтому проектировщики поместили здание ГЭС, совмещенное с донными водосбросами, на узком участке речного русла, где воды реки естественным путем растопили мерзлоту.

Проектная мощность Вилюйской ГЭС-3 составляет 360 МВт, среднегодовая выработка — 1,2 млрд кВт·ч. Станция построена по русловому типу, такая компоновка была впервые применена для столь суровых климатических условий в нашей стране. Основная плотина — каменно-земляная с суглинистым ядром, максимальной высотой 50 м. В здании ГЭС размещены 4 гидроагрегата с поворотными турбинами. Впервые в нашей стране на Вилюйской ГЭС-3 для выдачи мощности в энергосистему было применено КРУЭ.

Земляные работы на стройплощадке начались в 1983 году, в 1986 году перекрыли русло реки и в следующем году приступили к бетонным работам. С начала 1990-х годов на стройке начался тяжёлый период — строителям задерживали зарплаты, стройка неоднократно приостанавливалась. В 1998 году в ходе сильного паводка с трудом удалось спасти котлован от затопления.

С 1999 года строящаяся станция перешла под контроль компании АЛРОСА, обеспечившей финансирование для продолжения строительства. В 2004 году пустили первый гидроагрегат, в 2005 году — второй и в 2008 году — третий. По состоянию на 2014 год станция не достигла проектной мощности — последний гидроагрегат не смонтирован, водохранилище не наполнено до проектной отметки. Экономическая целесообразность достройки Вилюйской ГЭС-3 появится после присоединения пока что изолированного энергоизбыточного Западного энергорайона Якутии к единой энергосистеме страны.

Еще одной крупной гидроэнергетической стройкой 2000-х годов стал береговой водосброс Саяно-Шушенской ГЭС. После выявления повторных разрушений в водобойном колодце станции в 1988 году было предложено, с целью снижения нагрузок на водобойный колодец, рассмотреть возможность сооружения дополнительного водосброса тоннельного типа пропускной способностью 4000 — 5000 м³/с. К 1991 году была проведена предварительная проработка ряда вариантов тоннельных водосбросов. В 1993 году экспертной комиссией Инженерной академии РФ были детально рассмотрены вопросы надежности плотины и водосбросных сооружений Саяно-Шушенской ГЭС. В выводах комиссии декларировалась нецелесообразность рассмотрения вопроса о строительстве дополнительного водосброса.

Одновременно предпринимались попытки заделки трещин в плотине и основании Саяно-Шушенской ГЭС. Эти трещины возникли по причине преждевременного заполнения водохранилища станции в период ее строительства, когда недостроенная плотина еще не в полной мере была готова воспринимать напор.

Сначала в 1991-1994 годах трещины пытались заделать с помощью цементации, но неудачно — цементирующий состав вымывался из трещин. В 1993 году было принято решение воспользоваться услугами французской фирмы «Солетанш Баши», имевшей опыт ремонтных работ на гидротехнических сооружениях с использованием эпоксидных смол. Работы по инъецированию трещин в бетоне плотины с помощью эпоксидного состава были проведены в 1996-1997 годах и показали хороший результат — фильтрация была подавлена до значений, меньших проектных. Опираясь на этот опыт, в 1998-2002 годах уже с помощью отечественного состава были проведены работы по инъецированию трещин в основании плотины, также с положительным результатом.

После проведения работ по заделке трещин в плотине было принято решение на метр снизить уровень водохранилища, чтобы не допустить повторного возникновения трещин. Это привело к снижению регулирующей емкости водохранилища. Кроме того, были введены ограничения на скорость заполнения водохранилища. Исходя из изменившихся условий, было принято решение о возобновлении работ по береговому водосбросу.



*Береговой водосброс
Саяно-Шушенской ГЭС*



*Строительство
берегового водосброса*

Проектирование берегового водосброса велось с 1997 года, в 2001 году его технико-экономическое обоснование было одобрено государственной экспертизой. Строительство водосброса было начато в 2005 году, первая очередь сооружения была введена в эксплуатацию в 2010 году. В следующем году строительство сооружения было полностью завершено.



Тоннель берегового водосброса



*Панорама Саяно-Шушенской ГЭС
с работающим береговым водосбросом*

Береговой водосброс расположен на правом берегу и предназначен для пропуска паводков редкой повторяемости. Конструктивно водосброс состоит из водоприемного сооружения, двух без-

напорных тоннелей, пятиступенчатого перепада и отводящего канала. Безнапорные тоннели длиной по 1130 м имеют сечение 10x12 м (для сравнения, сечение тоннеля метро — 5,1x5,1 м).

Пятиступенчатый перепад представляет собой пять колодцев гашения шириной 100 м и длиной от 55 до 167 м, разделенных водосливными плотинами. Максимальная пропускная способность берегового водосброса составляет 4000 м³/с. С завершением строительства сооружения Саяно-Шушенская ГЭС гарантированно справится с паводками, которые бывают реже, чем один раз в 10 000 лет.

В Европейской части страны «с нуля» была построена Юмагузинская ГЭС на реке Белая в Башкирии, причем главной его задачей является не выработка электроэнергии, а обеспечение надежного водоснабжения и борьба с наводнениями. Создание водохранилища для решения проблем водоснабжения промышленных районов Башкирии проектировалось с 1970-х годов. В 1982 были начаты подготовительные работы по созданию Иштугановского водохранилища на р. Белой, в 14 км ниже створа Юмагузинской ГЭС. Строительство этого водохранилища встретило активные протесты экологов, пользовавшихся в конце 1980-х годов большой общественной поддержкой, и было остановлено в 1989 году.

В последующем, вместо Иштугановского водохранилища был разработан проект каскада из трех водохранилищ на реке Белой с меньшими площадями затопления. В 1998 году началось строительство первого из них — Юмагузинского. Строительство гидроузла шло быстрыми темпами — в 2003 году было перекрыто русло реки, а в 2004 году пущен первый гидроагрегат. В 2007 году гидроузел введен в эксплуатацию.



*Юмагузинская ГЭС.
Фото Tsibin Konstantin*

Мощность Юмагузинской ГЭС — 45 МВт. Плотина станции — каменно-земляная, с суглинистым ядром. Высота плотины — 70 м, длина — 605 м. Водосброс поверхностный, береговой. Здание ГЭС берегового типа, вода к турбинам подводится по тоннелю.

В 2009 году состоялся пуск первой очереди Зарамагского гидроэнергетического комплекса на реке Ардон в Северной Осетии — уникального проекта с очень трудной судьбой.

Зарамагский гидроузел представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных сооружений, который разделяется на две группы: сооружения головного узла (Головная ГЭС) и сооружения Зарамагской ГЭС-1. Головная ГЭС мощностью 15 МВт (10 МВт после пуска Зарамагской ГЭС-1) создана по приплотинной схеме и использует напор, создаваемый грунтовой плотиной высотой 39 м. После Головной ГЭС вода попадает в деривацию Зарамагской ГЭС-1.

Зарамагская ГЭС-1 деривационного типа, использует напор, создаваемый при помощи деривационного тоннеля. Длина тоннеля — 14 226 м, это рекорд среди гидротехнических тоннелей в России. Сечение тоннеля — 4,5x4 м. Из тоннеля вода должна попадать в бассейн суточного регулирования, созданный прямо на вершине горы. Из бассейна по поверхностному водоводу длиной 602 м, вертикальной шахте глубиной 507 и горизонтальным тоннельным водоводам длиной 928 м вода будет поступать на турбины здания ГЭС.

Такая схема позволяет создать рекордный для электростанций России и всего постсоветского пространства напор на турбинах — 619 метров. В здании ГЭС должны быть установлены два гидроагрегата мощностью по 171 МВт с ковшовыми турбинами — также крупнейшими турбинами подобного типа в стране. Суммарная установленная мощность комплекса ГЭС — 352 МВт, суммарная среднегодовая выработка — 812 млн кВт·ч.

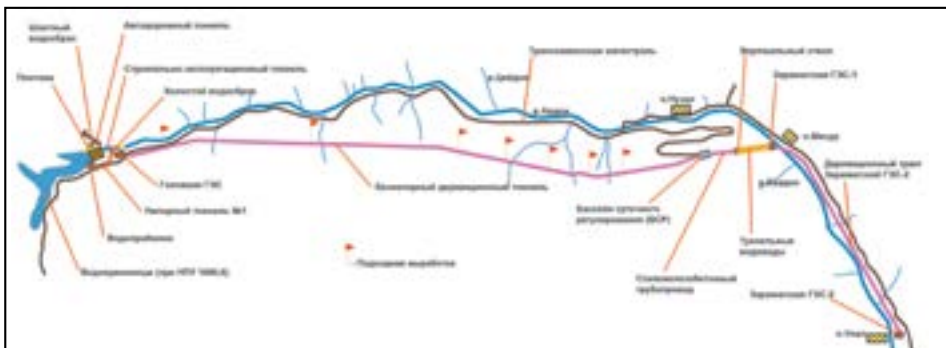


Схема сооружений Зарамагской ГЭС

С 1966 по 1968 годы институт «Гидропроект» на основе многолетних изысканий разработал «Схему использования водных ресурсов р. Ардон». Данной схемой предусматривалось создать на реке каскад из трех гидроэлектростанций совокупной мощностью 562 МВт и средней годовой выработкой электроэнергии 1,4 млрд кВт·ч. В дальнейшем параметры отдельных гидроэлектростанций каскада неоднократно

уточнялись, увеличилось и их число — появилась дополнительная ступень каскада, Головная ГЭС мощностью 35 МВт.

Проектирование Зарамагской ГЭС велось с учетом существовавшей в то время масштабной программы строительства маломаневренных атомных электростанций, в связи с чем ГЭС была запроектирована как пиковая, то есть предназначенная для работы в пиковой части графика нагрузок. Техничко-экономическое обоснование строительства Зарамагских ГЭС было разработано Армянским отделением института «Гидропроект» в 1973 — 1974 годах. Первоначальный проект неоднократно корректировался по различным причинам — из-за ужесточения экологических требований, пересмотра сейсмичности района строительства, выявления ранее неучтенных геологических особенностей, появления новых технологий и т. п.

Первое значительное изменение проекта произошло в 1993 году, когда по экологическим соображениям отметка водохранилища была снижена на 40 м, что лишило водохранилище регулирующей емкости. Это повлекло за собой снижение высоты плотины, и уменьшение мощности Головной ГЭС с 35 МВт до 15 МВт. В то же время сооружения и оборудование гидроузла позволяют при необходимости довести параметры станции до первоначальных — так, водоприемники водосброса и Головной ГЭС построены с учетом возможности работы на первоначальной отметке водохранилища, турбина и генератор Головной ГЭС также имеют значительный запас мощности, а конструкция плотины предусматривает возможность наращивания ее в высоту.

В 1995 году функции генпроектировщика станции были переданы институту «Ленгидропроект», который внес значительные изменения в конструкцию гидроэнергетического комплекса. Так, было полностью перепроектировано здание Зарамагской ГЭС-1 и ее бассейн суточного регулирования, изменена конструкция плотины и положение здания Головной ГЭС.

Подготовительные работы по сооружению Зарамагских ГЭС были начаты в июне 1976 года силами Чиркейгэсстроя, а с 1979 года началось возведение основных сооружений. С самого начала работ строительство столкнулось с проблемами финансирования, материально-технического снабжения, организации работ. Кроме того, в конце 1980-х годов проект стал активно критиковаться экологическими организациями. В итоге в 1989 году строительно-монтажное управление по строительству Зарамагских ГЭС было

ликвидировано по причине систематического срыва плановых сроков работ, строительство ГЭС было приостановлено, начался пересмотр проекта. Тем не менее, к 1990 году удалось выполнить значительную часть деривационного и строительного тоннелей, вскрыть котлован бассейна суточного регулирования.



Головная ГЭС



Строительство бассейна суточного регулирования Зарамагской ГЭС-1

В 1994 году руководство РАО «ЕЭС России» приняло ряд организационных мер по упорядочиванию процесса управления строительством, но вплоть до 2001 года в связи с небольшими объемами финансирования темпы работ были очень низкими, наиболее заметным событием на строительстве стало завершение сооружения строительного водосброса и перекрытие реки в декабре 1998 года.



Площадка здания Зарамагской ГЭС-1

С 2001 года финансирование было несколько увеличено (хотя и в недостаточном для полномасштабного разворота работ объеме), что позволило активизировать строительные работы. Была выработана концепция опережающего строительства Головной ГЭС, в связи с чем основные работы были сконцентрированы на объектах головного узла.

18 сентября 2009 года состоялся официальный пуск Головной ГЭС, в течение 2010 года было завершено сооружение эксплуатационного водосброса станции, включая ремонт эксплуатировавшегося с 1999 года строительного тоннеля. В 2011 году было развернуто строительство сталежелезобетонного водовода, в основном завершены земляные и начаты бетонные работы на бассейне суточного регулирования.

К середине 2013 года было пройдено 12 км деривационного тоннеля, начат монтаж субгоризонтальных водоводов и облицовки шахты. В связи с дефицитом средств инвестиционной программы ОАО «РусГидро» принято решение о приостановке строительства, пуск Зарамагской ГЭС-1 при условии возобновления финансирования возможен в 2018 году.

В Дагестане менее чем за три года, с ноября 2004 по март 2007 года была построена Гельбахская ГЭС мощностью 44 МВт. Станция пристроена к плотине Чирюртской ГЭС-1 и работает в период паводков, а также при ремонтах гидроагрегатов ГЭС-1. Кроме того, было построено несколько небольших деривационных ГЭС мощностью от 0,6 до 1,4 МВт — Амсарская, Аракульская, Шиназская, Магинская, Агульская.



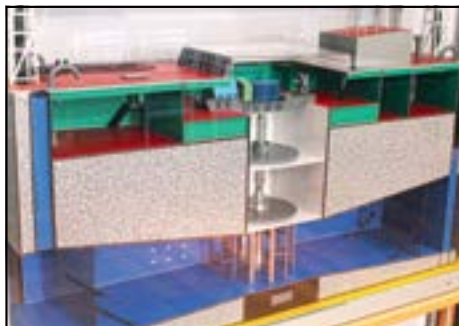
Гельбахская ГЭС

В 2007 году получила новую жизнь экспериментальная Кислогубская приливная электростанция. В 1994 году эта станция была остановлена и законсервирована в связи со сложной экономической ситуацией. В начале 2000-х годов руководством РАО «ЕЭС России» было принято решение о восстановлении Кислогубской ПЭС в качестве экспериментальной базы для отработки новых гидроагрегатов для приливных электростанций, а также технологий сооружения ПЭС.

В конце 2004 года на станции был установлен новый ортогональный гидроагрегат мощностью 0,2 МВт с диаметром рабочего колеса 2,5 м (старый гидроагрегат при этом был демонтирован), станция была введена в эксплуатацию. 5 мая 2006 года на Севмаше состоялась закладка нового экспериментального блока для Кислогубской ПЭС. В ноябре 2006 года блок был спущен на воду и в начале 2007 года отбуксирован по морю на Кислогубскую ПЭС, где и был установлен напротив второго водовода станции. Испытания новой ортогональной турбины мощностью 1,5 МВт прошли успешно и подтвердили проектные параметры.

Ортогональная турбина является инновационной разработкой отечественных гидроэнергетиков, адаптированной для монтажа на приливных станциях. Дело в том, что напор приливной станции невелик. В этой ситуации для получения значительной мощности

нужно устанавливать десятки (а то и сотни) относительно маломощных гидроагрегатов. При использовании классических агрегатов, изготавливаемых на специализированных заводах, стоимость и продолжительность строительства приливной станции оказываются очень высокими. Использование же простой по конструкции и дешевой ортогональной турбины, которая может изготавливаться на непрофильных предприятиях, кардинально меняет ситуацию.



Макет блока приливной электростанции с ортогональной турбиной

Для дальнейшей отработки технологий строительства приливных станций и их оборудования был разработан проект Северной ПЭС мощностью 12 МВт. К сожалению, этот интересный проект, предусматривающий использование трехъярусных ортогональных турбин, так и не удалось довести до реализации по экономическим соображениям.

В части зарубежных проектов в 2000-х годах начали работать агрегаты на двух весьма интересных станциях, спроектированных институтом «Гидропроект» — Тери и Капанда.

Проект ГЭС Тери на реке Бхагиратхи (верхнее течение Ганга) имеет довольно длинную историю. Первые изыскания в створе ГЭС были выполнены еще в 1960-х годах, а в 1972 году появился проект станции мощностью 600 МВт. Ее строительство было начато в 1978 году, но уже в 1980 году под давлением общественных организаций заморожено.



ГЭС Тери

ГЭС Тери — это сложный гидроэнергетический комплекс, включающий в себя собственно ГЭС Тери мощностью 1000 МВт, контррегулирующую ГЭС Котешвар мощностью 400 МВт, а также ГАЭС Тери мощностью 1000 МВт.

В 1986 году между Индией и СССР был подписан договор о дружбе и сотрудничестве, один из пунктов которого предусматривал участие советских специалистов в проектировании и строительстве ГЭС Тери. Новый проект был разработан в 1989 — 1992 годах, строительство станции было возобновлено в 1980-х.

ГЭС Тери — это сложный гидро-

Плотина ГЭС Тери — каменно-набросная с суглинистым ядром, высотой 260,5 м. Это самая высокая плотина в Индии, также входит в десятку высочайших плотин мира.

Водосбросные сооружения включают в себя как поверхностный водосброс, так и тоннельные водосбросы, переоборудованные из строительных тоннелей, с уникальными шахтными водоприемниками. Здание ГЭС — подземное, в нем размещены 4 гидроагрегата мощностью по 250 МВт с радиально-осевыми турбинами. Также под землей расположен машинный зал ГАЭС, а также единые для ГЭС и ГАЭС трансформаторный зал и помещение распределительного устройства.

Первый гидроагрегат ГЭС Тери был пущен в 2003 году, а в 2006 году строительство станции было завершено. Возведение контррегулирующей ГЭС Котешвар было завершено в 2012 году, пуск ГАЭС намечен на 2016 год.

Проектирование ГЭС Капанда на реке Кванза в Анголе велось в соответствии с межгосударственным соглашением, подписанным в 1982 году. Проект был завершен в 1989 году, но еще до этого в 1987 году начались подготовительные работы на площадке строительства. В том же 1989 году был перекрыт створ реки.



ГЭС Капанда. Фото Игоря Морозова

Строительство станции велось в условиях непрекращающейся гражданской войны в Анголе. 4 ноября 1992 года строительная площадка была захвачена отрядом повстанческой организации УНИТА. Во время нападения погибло около 20 человек ангольцев и трое российских специалистов. После захвата недостроенный гидроузел простоял безо всякой консервации вплоть до 2000 года.

После поражения УНИТА строительство было возобновлено. Во время проведения обследования на напорной грани плотины были обнаружены следы мощных взрывов, а башенные краны были найдены отброшенными в реку на десятки метров. Все жилые бараки были сожжены, и строители некоторое время жили в армейских палатках. Все дороги, ведущие на строительную площадку, были заминированы. Несмотря на работу саперов, практически сразу после возобновления строительства на минах подорвалось, по меньшей мере, два больших карьерных самосвала. Тем не

менее, все трудности были преодолены, и первый агрегат станции заработал в 2004 году.

Мощность станции — 520 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 3 млрд кВт·ч. ГЭС Капанда является крупнейшей электростанцией Анголы и играет важнейшую роль в обеспечении страны, в том числе и ее столицы, электроэнергией. Плотина станции — гравитационная бетонная, высотой 110 м, построена из укатанного бетона. Здание ГЭС берегового типа, размещено в скальной выемке, вода к турбинам подводится по тоннельным водоводам.

Еще одним знаковым зарубежным объектом стала Сангтудинская ГЭС-2 в Таджикистане. Изначально гидроэнергетический потенциал участка реки Вахш между Головной и Байпазинской ГЭС планировалось использовать одной ступенью. Но проектные проработки 1980-х годов показали, что в этом случае из-за сложной геологии створа строительство очень высокой плотины затруднительно, кроме того, водохранилище затопило бы значительные площади ценных земель.



Сангтудинская ГЭС

Для решения этих проблем было решено построить две ступени — Сангтудинскую ГЭС-1 мощностью 670 МВт с грунтовой плотиной и Сангтудинскую ГЭС-2 мощностью 220 МВт с бетонной плотиной. В результате из зоны затопления была выведена освоенная часть долины реки и железная дорога. Строительство Сангтудинских ГЭС началось в 1987 году, но в 1992 году в связи с распадом СССР и экономическими проблемами было прекращено. Готовность ГЭС-1 к этому моменту составляла около 13%. Вскоре в Таджикистане началась гражданская война.

После завершения войны, остро нуждающийся в электроэнергии Таджикистан стал искать возможности для завершения строительства Сангтудинских ГЭС. Построить станции своими силами Таджикистан не мог и обратился за помощью к России. В 2005 году

было заключено соглашение о создании российско-таджикского акционерного общества «Сангтудинская ГЭС-1», в котором российской стороне принадлежит 75% акций, Таджикистану — 25% (в качестве вноса Таджикистана были засчитаны уже построенные объекты). Достройкой Сангтудинской ГЭС-2 занялся Иран, их специалисты несколько переработали проект и пустили эту станцию в 2011 году.

Вскоре после подписания соглашения было развернуто активное строительство. Уже в декабре 2006 года был перекрыт Вахш, а 20 января 2008 года пущен первый гидроагрегат. В 2009 года строительство Сангтудинской ГЭС-1 было завершено. В настоящее время Сангтудинская ГЭС-1 на 75% принадлежит России через контролируемые государством компании Росатом и Интер РАО ЕЭС.

Плотина Сангтудинской ГЭС-1 каменно-земляная с суглинистым ядром, максимальной высотой 75 м. Водосбросное сооружение тоннельного типа. Здание ГЭС — берегового типа, вода к турбинам подводится по тоннельным водоводам. Установленная мощность ГЭС — 670 МВт, среднегодовая выработка — 2,7 млрд кВт·ч.

Увы, 2000-е года завершились крупнейшей аварией в истории отечественной гидроэнергетики. 17 августа 2009 года напором воды был выброшен в машинный зал гидроагрегат №2 Саяно-Шушенской ГЭС. Потoki воды быстро затопили все здание ГЭС, выведя из строя остальные гидроагрегаты. Автоматические защиты не были рассчитаны на такое развитие событий и не успели сработать, поток воды к агрегатам сразу не был перекрыт. Станция была обесточена, и сбрасывать затворы на гребне плотины пришлось вручную.

В результате аварии погибли 75 человек из числа оперативного персонала станции и сотрудников ремонтных организаций.

Причиной аварии стали усталостные разрушения крепежных элементов — шпилек крышки турбины. В результате постепенного развития усталостных трещин шпильки утратили свою несущую способность, что вызвало их разрушение, после чего гидроагрегат был выброшен напором воды из шахты. Процесс разрушения



Последствия аварии на Саяно-Шушенской ГЭС

шпилек происходил незаметно для персонала станции, который не имел возможности обнаружить трещины — необходимая для этого ультразвуковая диагностика была внедрена уже после аварии.

Восстановление крупнейшей гидроэлектростанции России стало делом чести гидроэнергетиков. Аварийно-восстановительные работы были начаты еще в августе 2009 года. К октябрю того же года были разобраны завалы в машинном зале, к ноябрю — восстановлены стены и крыша машзала, что позволило создать тепловой контур и обеспечить проведение работ холодное время года.



Обледенение Саяно-Шушенской ГЭС

к негативным последствиям — критически важные элементы ГЭС были защищены от обледенения, а лед на водосбросе растаял самостоятельно весной.



Восстановление Саяно-Шушенской ГЭС

В 2010 году были восстановлены четыре наименее пострадавших в ходе аварии гидроагрегата, что позволило отказаться от работы водосброса в холодное время года. Осенью 2010 года водосброс, проработавший более года, был остановлен, а его водобойный колодец осушен и тщательно обследован — никаких повреждений обнаружено не было.

Серьезным испытанием стала работа станции в зиму 2009/2010 года. Обычно пропуск воды в зимний период проводится исключительно через гидроагрегаты, но в данном случае такой возможности не было и пришлось задействовать водосброс. В результате его конструкции покрылись толстым слоем льда, что, впрочем, не привело



Перенос ротора нового гидрогенератора

В конце 2011 года был пущен первый новый гидроагрегат, изготовленный на предприятиях отечественного концерна «Силловые машины». Особую трудность представляла доставка самых крупных элементов турбины — рабочих колес. Она производилась по воде, через Северный морской путь и Енисей. По пути корабли с крупногабаритным грузом преодолели судоподъемник Красноярской ГЭС. У не имеющей шлюзов Майнской ГЭС корабли были разгружены, а рабочие колеса преодолели оставшийся небольшой участок пути по автомобильной дороге.

В 2012 — 2014 годах ежегодно вводилось в работу по три новых гидроагрегата, в том числе были заменены на новые и те четыре машины, которые были восстановлены после аварии. Последним был введен в работу наиболее пострадавший в ходе аварии гидроагрегат №2.

Работы на станции затронули не только гидроагрегаты, заменялось на новое и другое оборудование, в том числе и не пострадавшее в ходе аварии. Так, станция получила новые силовые трансформаторы, а устаревшее открытое распределительное устройство было заменено на новое КРУЭ. В результате восстановленная Саяно-Шушенская ГЭС стала одной из самых современных гидроэлектростанций России.

Авария на Саяно-Шушенской ГЭС заставила гидроэнергетиков по новому посмотреть на вопросы обеспечения безопасности действующих и строящихся ГЭС. В нормативную документацию было внесено множество изменений, действующие станции были дооборудованы в соответствии с новыми требованиями. Изменились алгоритмы работы противоаварийной автоматики, ГЭС получили автоматически включаемые аварийные дизель-генераторы (что исключает полное обесточивание станции), шпильки крышки



Доставка рабочих колес новых турбин Саяно-Шушенской ГЭС

турбины стали обязательно исследовать с помощью ультразвуковых устройств, что позволяет заблаговременно выявить трещины.

Помимо восстановления Саяно-Шушенской ГЭС, в 2010-е годы начали работу несколько новых гидроэлектростанций. Крупнейшей из них стала Богучанская ГЭС на реке Ангаре в Красноярском крае.

В 1936 году Госпланом СССР была одобрена «рабочая гипотеза комплексного использования Ангары», в которой в качестве нижней ступени каскада впервые рассматривалась Богучанская ГЭС. Работы по непосредственному проектированию Богучанской ГЭС были начаты институтом «Гидропроект» в 1964 году. На первом этапе были выбраны створ ГЭС (при этом вместо первоначально рассматриваемого Богучанского створа был выбран Кодинский створ, но название ГЭС осталось прежним — Богучанская), отметка нормального подпорного уровня водохранилища, а также дано технико-экономическое обоснование строительства. В 1968 году этот этап был завершен, его материалы рассмотрены и утверждены Госпланом. В 1969 году был открыт титул на проектно-изыскательские работы по Богучанской ГЭС. Начались работы по проектированию основных сооружений гидроузла.

Технический проект Богучанской ГЭС был утвержден в 1979 году, в соответствии с этим проектом, мощность ГЭС составляла 3000 МВт, нормальный подпорный уровень водохранилища — 208 м. В проекте рассматривалось два типа плотины станции — каменно-набросная и намывная из песка. Второй вариант был несколько дешевле, но учитывая отсутствие опыта создания столь крупных намывных плотин, да еще и в таких достаточно суровых климатических условиях, от него решили отказаться. В дальнейшем проект был несколько скорректирован — мощность ГЭС увеличили до 4000 МВт за счет установки трех дополнительных гидроагрегатов с целью повышения выработки «пиковой» электроэнергии.

Работы подготовительного этапа строительства Богучанской ГЭС были начаты в октябре 1974 года, когда на площадку строительства прибыл первый десант «БратскГЭСстроя», завершавшего строительство Усть-Илимской ГЭС. В 1980 году было начато строительство основных сооружений Богучанской ГЭС, первый кубометр бетона в тело плотины уложили в 1982 году. 25 октября 1987 года на строительстве Богучанской ГЭС было произведено перекрытие Ангары, сток реки переведен на 5 временных отверстий водосбросной плотины. Для пропуска судов и плотов с лесом был оборудован временный шлюз.

Изначально пуск первых агрегатов Богучанской ГЭС был намечен на 1988 год, а завершение строительства — на 1992 год. По причине недостаточного финансирования срок пуска станции неоднократно переносился: в 1987 году — на 1993 год; в 1988 году — на 1994 год; в 1989 году — на 1995 год.

После распада СССР темпы работ по строительству Богучанской ГЭС значительно снизились, а с 1994 года стройка была фактически законсервирована — выделяемых средств хватало в основном лишь на поддержание в безопасном состоянии уже построенных сооружений, резко сократился коллектив строителей, достигавший в 1980-х годах 6000 человек. С целью минимизации затрат рассматривался вариант строительства Богучанской ГЭС в две очереди, с вводом первой из них на отметке водохранилища 185 м, однако данный проект получил отрицательное заключение Главгосэкспертизы и не был реализован.



*Строительство
Богучанской ГЭС*



*Возведение водосброса №2
Богучанской ГЭС*

Возобновить строительство станции удалось в рамках частно-государственного партнерства. В 2005 году РАО «ЕЭС России» и алюминиевая компания «Русал» подписали меморандум о намерениях по достройке Богучанской ГЭС и строительству нового алюминиевого завода. В следующем году вступило в силу соглашение между ОАО «ГидроОГК» (позднее переименованного в «РусГидро») и «Русалом» о реализации проекта «БЭМО» (Богучанское энергометаллургическое объединение), включающего в себя достройку Богучанской ГЭС и строительство Богучанского алюминиевого завода проектной мощностью 600 тыс. тонн алюминия в год.

На момент разворота работ по достройке станции ее готовность составляла около 58%, в частности были смонтированы и забетонированы закладные части первых четырех гидроагрегатов. Весной

2006 года строительная площадка Богучанской ГЭС была полностью расконсервирована, в том же году были заказаны гидроагрегаты.

В 2006 — 2008 годах институтом «Гидропроект» была выполнена корректировка проекта Богучанской ГЭС, необходимость которых диктовалась изменением нормативной базы и моральным устареванием некоторых решений первоначального проекта. В частности, ужесточение требований по пропуску паводковых расходов привело к необходимости проектирования водосброса № 2, который был размещен в стационарной плотине на месте гидроагрегатов № 10—12 (таким образом, мощность Богучанской ГЭС была вновь пересмотрена с 4000 до 3000 МВт). Учитывая, что значительная часть сооружений уже была возведена, проектирование водосброса № 2 потребовало применения неординарных технических решений, в первую очередь — ступенчатой водосливной грани, ранее в практике гидротехнического строительства России не применявшейся.



Панорама Богучанской ГЭС

Вместо устаревших открытых распределительных устройств были приняты современные распределительные устройства закрытого типа (КРУЭ), пересмотрена схема организации строительных работ. Проведены дополнительные расчеты сейсмостойкости сооружений, подтвердивших их устойчивость при землетрясении 7 баллов.

Наполнение Богучанского водохранилища началось весной 2012 года, первые гидроагрегаты пустили осенью того же года. Завершение строительства станции и заполнение водохранилища до проектной отметки намечены на 2015 год.

Богучанская ГЭС является четвертой ступенью Ангарского каскада. Ее наиболее крупное подпорное сооружение — каменно-набросная плотина длиной 1961 м и наибольшей высотой 77 м. Водонепроницаемость плотины обеспечивается за счет асфальто-

бетонной диафрагмы — такое конструктивное решение для плотин в суровых климатических условиях было использовано в нашей стране впервые.



Подпись: Машинный зал Богучанской ГЭС



Центральный пульт управления Богучанской ГЭС

Бетонная плотина длиной 829 м и наибольшей высотой 96 м включает в себя глухую, стационарную и водосбросные части. ГЭС имеет два водосброса — один донный, второй поверхностный ступенчатого типа (примененный в нашей стране впервые).

Мощность Богучанской ГЭС — 3000 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 17,6 млрд кВт·ч. В здании ГЭС смонтированы 7 гидроагрегатов мощностью по 333 МВт с радиально-осевыми турбинами. Диаметр рабочих колес турбин составляет 7,5 м — последний раз рабочие колеса таких размеров изготавливались для Красноярской ГЭС.

Плотина ГЭС образовала крупное водохранилище площадью 2326 км² и полным объемом 58,2 км³. Из зоны затопления было переселено около 15 000 человек, значительная часть которых — в новый город гидроэнергетиков Кодинск.

В 2013 году были пущены первые гидроагрегаты еще одного долгостроя — Усть-Среднеканской ГЭС на реке Колыме в Магаданской области. Эта станция была спроектирована институтом «Ленгидропроект» в 1980-х годах, технико-экономическое обоснование строительства станции было утверждено в 1989 году. Строительство предполагалось осуществить в 1991—2000 годах, с вводом гидроагрегатов в 1999 году.

В 1991 году было создано управление строительства «СреднеканГЭСстрой», начаты работы подготовительного этапа — строительство автомобильной дороги до поселка Усть-Среднекан, подготовка строительной базы. В 1992 году в створе гидроузла были

начаты земляные работы — отсыпаны перемычки котлована основных сооружений, был введен в эксплуатацию временный бетонный завод. Первый кубометр бетона на строительстве ГЭС был уложен в 1993 году, в этом же году введен в эксплуатацию мост через Колыму, обеспечивший транспортную связь с левобережной площадкой строительства. Далее в 1990-х годах строительство велось низкими темпами ввиду недостаточного финансирования.

В 2001 году при пропуске ледохода в створе гидроузла образовался ледяной затор, что привело к нерасчетному подъему воды и затоплению строительного котлована, из которого были заблаговременно выведены люди и техника, что позволило свести ущерб к минимуму. В дальнейшем были разработаны специальные мероприятия по предотвращению заторов путем повышенных сбросов воды с Колымской ГЭС.



Строящаяся Усть-Среднеканская ГЭС в 2013 году



Водосбросная плотина Усть-Среднеканской ГЭС

Строительство станции долгое время было в «подвешенном» состоянии, окончательное решение о достройке было принято в 2005 году. Пуск первой очереди станции (два гидроагрегата на пониженных напорах) мощностью 168 МВт был произведен в 2013 году, тогда же недостроенная ГЭС с временной плотиной успешно перенесла экстремальное наводнение. По состоянию на 2014 год принято решение о строительстве второй очереди станции с монтажом третьего гидроагрегата, перспективы достройки станции до полной мощности зависят от темпов роста энергопотребления в регионе.

Проектная мощность Усть-Среднеканской ГЭС — 570 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 2,6 млрд кВт·ч. Плотина земляная, отсыпается из песчано-гравийного грунта, противофильтрационный элемент представлен суглинистым ядром. Длина плотины — 2100 м, максимальная высота — 66 м.

В напорный фронт гидроузла входят также бетонные водосбросная плотина и станционная плотина. Здание ГЭС приплотинное, в нем должны быть размещены 4 гидроагрегата с радиально-осевыми турбинами.

Ввод в строй Усть-Среднеканской ГЭС позволит:

- увеличить в 1,5 раза зимнюю гарантированную мощность и выработку Колымской ГЭС;
- создать предпосылки для развития горнодобывающих предприятий, в первую очередь — золотодобывающих (в качестве основного потребителя электроэнергии рассматривается строящийся Наталкинский ГОК);
- переключить на Усть-Среднеканскую ГЭС регулирование судоходных попусков, что позволит снять ограничения на режимы работы Колымской ГЭС;
- увеличить надежность энергоснабжения Магаданской области, обеспечить энергетическую безопасность региона;
- отказаться от строительства новых тепловых электростанций, сократить потребление привозного топлива и за счет этого улучшить экологическое состояние региона;
- снизить рост тарифов на электроэнергию в Магаданской области за счет снижения себестоимости ее производства;
- улучшить качество жизни населения за счет перевода котельных на электроотопление и горячее водоснабжение.

В качестве потребителей электроэнергии Усть-Среднеканской ГЭС рассматриваются новые крупные золотодобывающие предприятия, а также перспективный завод по производству жидкого водорода.

В 2010 году в Амурской области на реке Бурее было начато строительство новой Нижне-Бурейской ГЭС. В 1959 году была разработана схема каскада ГЭС на Бурее, где впервые появилась Нижне-Бурейская ГЭС (названная в схеме Долдыканской), в 1978 году для нее был выбран створ. Проект Нижне-Бурейской ГЭС, как составной части Бурейского гидроэнергетического комплекса, был разработан институтом «Ленгидропроект» в 1985 году, прошел все необходимые экспертизы и был утвержден в 1986 году.

Строительство станции намечалось на спаде работ по Бурейской ГЭС, но в тот период начато не было, были частично выполнены лишь мероприятия по переселению населения из зоны затопления (нижнего бьефа Бурейской ГЭС, одновременно являющегося ложем водохранилища Нижне-Бурейской ГЭС). В 2007 году были

начаты работы по корректировке проекта, результатом которых стало существенное изменение технических решений, в том числе:

- Вместо трех гидроагрегатов по 107 МВт было принято размещение четырех агрегатов по 80 МВт;
- Правобережная земляная плотина заменена на бетонную плотину;
- Водосливная плотина с донными водосбросами заменена на плотину с поверхностными водосбросами;
- Введена «стена в грунте» в основании ядра русловой земляной плотины;
- Изменена схема выдачи мощности — вместо открытых распределительных устройств введено современное КРУЭ 220 кВ.



*Проектный вид
Нижне-Бурейской ГЭС*



*Строительство Нижне-Бурейской
ГЭС в 2014 году*

В 2011 году было начато возведение котлована основных сооружений, в 2013 году котлован был осушен и в нем начались бетонные работы. Пуск станции намечен на 2016 год.

Мощность Нижне-Бурейской ГЭС — 320 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 1,65 млрд кВт·ч. По конструкции это русловая станция с грунтовой плотинной длиной 400 м и высотой 42 м.

Нижне-Бурейская ГЭС станет контррегулятором Бурейской ГЭС, призванным сглаживать суточные колебания уровня воды в реке, образующиеся при работе этой мощной гидроэлектростанции. Это позволит снять ограничения на режимы работы Бурейской ГЭС и ликвидировать зимние подтопления ряда поселков, расположенных в нижнем бьефе этой станции.

Электроэнергией Нижне-Бурейской ГЭС, в соответствии с подписанными соглашениями, будут снабжаться такие объекты, как вторая очередь нефтепровода «Восточная Сибирь — Тихий океан», Эльгинское угольное месторождение, космодром «Восточный». Вы-

работка станцией возобновляемой электроэнергии позволит предотвратить сжигание около 700 тысяч тонн условного топлива в год.

Еще одной крупной гидроэнергетической стройкой 2010 годов стала Загорская ГАЭС-2 в Московской области.

Возможность строительства второй очереди Загорской ГАЭС с целью дальнейшего сокращения дефицита регулирующей маневренной мощности обсуждалась еще в 1980-е годы, но решение о реализации проекта было принято лишь весной 2006 года, после произошедшей 25 мая 2005 года масштабной аварии энергосистемы Московского региона.

В мае 2007 года были начаты работы по разработке котлована здания ГАЭС, в 2008 году на строительстве станции были начаты бетонные работы.

В декабре 2012 года начались испытания первых двух гидроагрегатов, пуск станции был намечен на конец 2013 года. К сожалению, этим планам не удалось осуществиться — в ночь с 17 на 18 сентября 2013 года здание строящейся станции было частично затоплено, строители не пострадали. Как показало расследование, из-за проектной ошибки вода из нижнего бассейна проникла под здание ГАЭС с правой стороны и прорвалась через основание, сложенное песчаными грунтами. В результате вымывания грунта правая часть здания станции осела более чем на метр. По состоянию на 2014 год, здание ГАЭС было стабилизировано, разрабатывался проект его выпрямления и завершения строительства. Пуск первого гидроагрегата был перенесен на 2017 год.



*Монтаж турбин и водоводов
Загорской ГАЭС-2*



*Общий вид строительства
Загорской ГАЭС-2*

Проектная мощность Загорской ГАЭС-2 — 840 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 1,1 млрд кВт·ч. Сооружения строящейся станции расположены в 700-800 м от действующей

Загорской ГАЭС. По конструкции две станции схожи, Загорская ГАЭС-2 отличается меньшим количеством гидроагрегатов (4 вместо 6). Применена новая технология возведения напорных водоводов — теперь они не набираются из железобетонных колец, а бетонируются на месте, с использованием скользящей опалубки. Это значительно сокращает сроки строительства водоводов.

Нижний бассейн у обеих станций общий (для ГАЭС-2 он был расширен), верхний бассейн у Загорской ГАЭС-2 новый, примыкающий к таковому действующей станции.

На Северном Кавказе в описываемый период велись работы по возведению сразу нескольких станций. В Дагестане с 2007 года строилась Гоцатлинская ГЭС на реке Аварское Койсу. Подготовительные работы по строительству ГЭС проводились в 1991-1995 годах, но затем были остановлены по причине нехватки средств. Долгое время строительство ГЭС было заморожено, и вновь начато в 2006 году. Перекрытие реки состоялось 18 марта 2009 года, в июле 2013 года в противофильтрационный элемент плотины был уложен первый асфальтобетон, после чего отсыпка плотины пошла быстрыми темпами.



*Здание строящейся
Гоцатлинской ГЭС*



*Асфальтобетонная диафрагма
Гоцатлинской ГЭС*

Мощность Гоцатлинской ГЭС — 100 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии — 350 млн кВт·ч. После завершения строительства Гоцатлинская ГЭС станет четвертой по мощности электростанцией Дагестана. Ввод ее в эксплуатацию позволит существенно сократить дефицит электроэнергии в республиканской энергосистеме, составляющий более 1 млрд кВт·ч. Пуск станции запланирован на конец 2014 года.

Сооружения Гоцатлинской ГЭС включают в себя грунтовую галечниковую плотину высотой 68 м, здание ГЭС берегового типа

с двумя гидроагрегатами и эксплуатационный водосброс тоннельного типа. Водосброс включается в работу автоматически при подъеме водохранилища выше предельной отметки.

В качестве противофильтрационного элемента плотины использована асфальтобетонная диафрагма — это проектное решение было ранее опробовано на строительстве Ирганайской ГЭС. Рассматривался вариант противофильтрационного элемента в виде глиноцементнобетонной «стены в грунте», но от него решили отказаться — опыта возведения столь высоких плотин подобной конструкции нет не только в России, но и в мире.

В Карачаево-Черкесии с 2010 года началось строительство Зеленчукской ГЭС-ГАЭС — уникального проекта, предусматривающего трансформацию действующей Зеленчукской ГЭС в гидроаккумулирующую станцию.

В начале 1990-х годов проект строящейся тогда Зеленчукской ГЭС был пересмотрен — количество отбираемой в деривацию воды было снижено, в результате мощность станции уменьшилась вдвое. Но к этому моменту уже был создан значительный строительный задел под два «лишних» агрегата — построены деривационный тоннель, водоприемник, в здании ГЭС смонтированы спиральные камеры и шаровые затворы под агрегаты.



*Строительство уравнительного
резервуара Зеленчукской ГЭС-ГАЭС*



*Монтаж водоводов
Зеленчукской ГЭС-ГАЭС*

Было решено использовать этот задел для создания на базе действующей ГЭС гидроаккумулирующей станции. В пустые кратеры монтируются два обратимых гидроагрегата, существующий бассейн суточного регулирования трансформируется в верхний аккумулирующий бассейн ГАЭС. Нижний бассейн создается заново, на другом берегу Кубани. Для соединения его со зданием ГАЭС по дну реки прокладываются железобетонные водоводы.

Проектная мощность Зеленчукской ГЭС-ГАЭС — 140 МВт. Станция повысит надежность энергоснабжения всего Северо-Кавказского региона, выдавая высокоманевренную «пиковую» мощность. Пуск гидроагрегатов запланирован на конец 2014 года.

В Кабардино-Балкарии продолжилось развитие каскада ГЭС на реке Черек — была пущена Кашхатау ГЭС и начато строительство Зарагижской ГЭС.

Строительство Кашхатау (ранее Советской) ГЭС было активизировано после пуска Аушигерской ГЭС в 2002 году. В 2006 году был введен в эксплуатацию головной узел станции, в следующем году уложен первый бетон в здание ГЭС. Наиболее сложной задачей при строительстве ГЭС оказалась проходка деривационного тоннеля в слабых и обводненных песчаных грунтах. Для решения данной проблемы была применена сложная и дорогостоящая технология, включающая предварительное закрепление грунта специальными отвердевающими противодиффузионными материалами, подаваемыми в предварительно прорезанные водой под высоким давлением щели. Необходимость освоения данной технологии привела к затягиванию сроков проходки тоннеля, что вызвало неоднократные переносы сроков пуска станции. Сбойка деривационного тоннеля Кашхатау ГЭС была произведена весной 2010 года, а в конце того же года агрегаты станции были пущены в работу.



Кашхатау ГЭС



Строительство Зарагижской ГЭС

Кашхатау ГЭС мощностью 65 МВт является деривационной ГЭС, деривация представлена железобетонным лотком длиной 2 км и тоннелем длиной 4 км. Станция является головной в каскаде, в ее отстойнике вода очищается от наносов, и отработав на турбинах станции, подается в деривацию Аушигерской ГЭС.

Строительство третьей ступени каскада — Зарагижской ГЭС мощностью 30,6 МВт началось в 2011 году. Изначально станция

была спроектирована как малая ГЭС мощностью 15 МВт, но затем ее проект был переработан и мощность увеличена вдвое. Это типичная деривационная ГЭС, которая даже не имеет какой-либо плотины — забор воды в ее деривационный канал производится непосредственно из отводящего канала Аушигерской ГЭС. Такое конструктивное решение снижает стоимость ГЭС и улучшает ее экономические показатели. Пуск станции намечен на 2015 год.

В 2000-х годах вновь возрос интерес к малым ГЭС, особенно после принятия государством в 2013 году специальных мер, направленных на стимулирование развития возобновляемой энергетики. В основном малые ГЭС строятся на Северном Кавказе и в Карелии. Помимо уже описанных выше малых ГЭС, можно отметить еще несколько станций.

В конце 2010 года была введена в эксплуатацию Егорлыкская ГЭС-2 мощностью 14 МВт в Ставропольском крае. Эта станция была пристроена к существующей плотине выравнивающего водохранилища действующей Егорлыкской ГЭС. Станция строилась с 1994 года медленными темпами, с 2006 года строительство было активизировано. Также на Ставрополье в 2017 году намечено построить сразу пять малых ГЭС — Сенгилеевскую, Барсучковскую, Егорлыкскую-3, Ставропольскую и Бекешевскую, мощностью от 1 МВт до 10 МВт.



Егорлыкская ГЭС-2



Строительство малой ГЭС Большой Зеленчук. Фото Игоря Ягубкова

В Карачаево-Черкесии в 2009 году была пущена Эшкаконская ГЭС мощностью 0,6 МВт, в 2014 году начато строительство малой ГЭС «Большой Зеленчук», пристраиваемой к водозаборному узлу Зеленчукской ГЭС. Пуск этой станции мощностью 1,2 МВт намечен на 2015 год. В 2017 году там должна заработать Усть-Джегутинская ГЭС мощностью 5 МВт, пристраиваемая к существующей плотине.

В Северной Осетии в 2009 году была пущена деривационная Фаснальская ГЭС мощностью 6,4 МВт, интересная использованием двух типов турбин — ковшовых и радиально-осевых. Ковшовая турбина смонтирована и на Малой Краснополянской ГЭС в Краснодарском крае, которая заработала в 2005 году.

В Карелии новые малые ГЭС создавались путем восстановления (с полной реконструкцией) ранее действующих, но давно заброшенных гидроэлектростанций. Так, на базе сооружений возведенной еще в 1899 году станции в 2011 году заработала ГЭС Ляскеля мощностью 4,8 МВт. В 2013 году была пущена ГЭС Рюмякоски мощностью 0,6 МВт, в следующем году начались работы по строительству ГЭС Каллиокоски мощностью 0,9 МВт.

В части зарубежных проектов было начато строительство Верхне-Нарынского каскада ГЭС в Киргизии. Первые проектные проработки по гидроэнергетическому использованию Верхнего Нарына относятся к 1960-м годам, когда на этом участке была предварительно выявлена возможность строительства Акбулунской ГЭС (55 МВт) и Нарынской ГЭС (150 МВт). В 1990 году было разработано «Уточнение Схемы гидроэнергетического использования верхнего течения р. Нарын (Верхнего Нарына)», в которой было рекомендовано освоение гидроэнергетического потенциала данного участка реки шестью ступенями: расположенными на Большом и Малом Нарыне соответственно Джанькельской ГЭС (100 МВт) и Оруктамской ГЭС (60 МВт) с регулирующими водохранилищами, и четырьмя деривационными ГЭС на Нарыне — Акбулунской ГЭС (67 МВт) и Нарынскими ГЭС 1-3 (около 40 МВт каждая).

В 2012 году было подписано межправительственное соглашение между Россией и Киргизией, согласно которому российская сторона обеспечивает финансирование строительства Верхне-Нарынского каскада ГЭС. Вклад киргизской стороны — земельные участки, подготовка зоны затопления, строительство схемы выдачи мощности и другие активы. Оператором проекта с российской стороны стало ОАО «РусГидро».

В 2012 году был объявлен конкурс на разработку технико-экономического обоснования проекта Верхне-Нарынских ГЭС, его победителем стало ОАО «Ленгидропроект». В ходе разработки были уточнены параметры станций каскада, определены основные проектные решения по основным сооружениям входящих в него ГЭС. Общая мощность ГЭС каскада возросла до 237,7 МВт (в том числе

за счет включения в состав гидроузлов малых головных ГЭС, что также позволило увеличить зимнюю выработку).



*Поселок строителей
Верхне-Нарынского каскада*



*Створ плотины
Акбулунской ГЭС*

Строительные работы подготовительного этапа — возведение вахтового поселка строителей, производственной базы, дорог, линий электропередач были начаты летом 2013 года. К строительству основных сооружений станций каскада приступили в конце 2014 года, пустить первые гидроагрегаты первоочередной Нарынской ГЭС-1 намечено в 2016 году, завершить строительство — в 2019 году.

Согласно проекту, каскад будет включать в себя 4 последовательно расположенные гидроэлектростанции: Акбулунскую ГЭС, а также Нарынские ГЭС-1, 2 и 3. Все станции запроектированы по плотинно-деривационной схеме (деривация реализована в основном в виде каналов), с небольшими водохранилищами, что снижает площади затопляемых земель. Выбранная схема каскада позволяет полностью использовать падение более чем 30-километрового участка реки — нижним бьефом вышележащих станций являются водохранилища нижележащих. Крупнейшей станцией каскада является Акбулунская ГЭС мощностью 87 МВт с 75-метровой грунтовой плотинной.

В части проектирования ГЭС за рубежом, активно развивалось сотрудничество с Индией и Вьетнамом. Во Вьетнаме по проекту института «Гидропроект» в 2005 году началось строительство ГЭС Шон Ла на реке Да, а в 2010 году на этой станции пустили первый гидроагрегат. Это крупнейшая ГЭС, спроектированная отечественными специалистами за рубежом — ее мощность составляет 2400 МВт, среднегодовая выработка электроэнергии составляет 10,2 млрд кВт·ч. Плотина этой ГЭС гравитационная, из укатанно-

го бетона, высотой 138 м и длиной 1000 м. На плотине расположен поверхностный водосброс пропускной способностью 35 000 м³/с. В приплотинном здании ГЭС размещены 6 гидроагрегатов мощностью по 400 МВт с радиально-осевыми турбинами.



ГЭС Шон Ла



Строительство ГЭС Лай Чау

В 2011 году началось строительство еще одной спроектированной российскими специалистами гидроэлектростанции во Вьетнаме, входящей в каскад на реке Да — ГЭС Лай Чау мощностью 1200 МВт. Пуск ее первого гидроагрегата намечен на 2016 год. По конструкции она похожа на ГЭС Шон Ла — гравитационная плотина высотой 137 м из укатанного бетона, водосбросная плотина, приплотинное здание ГЭС с тремя гидроагрегатами.

В Индии была спроектирована ГЭС Верхний Субаншири на реке Субаншири. Ее мощность — 1800 МВт, среднегодовая выработка — 5,7 млрд кВт·ч. Плотина ГЭС — гравитационная бетонная, высотой 233 м. По состоянию на 2014 год, строительство ГЭС не начато.

В 2014 году RusHydro International, дочерняя компания ОАО «Рус-Гидро», подписала контракт на проектирование ГЭС Siang Uppar II. Станция будет располагаться на реке Брахмапутра в Индии.

ГЭС Siang Uppar II запланирована с гравитационной бетонной плотинной высотой 140 м и длиной 515 м. Интересной особенностью станции является наличие трех зданий ГЭС: одного поверхностного (3 агрегата общей мощностью 750 МВт) и двух подземных (в каждом по 6 агрегатов общей мощностью 1500 МВт). Для подвода воды к подземным агрегатам нужно будет проложить 12 тоннелей диаметром 9 м длиной по 2 км каждый. Проектная среднегодовая выработка ГЭС — около 18 млрд кВт·ч. Изыскания и проектирование ГЭС продлятся около двух лет, после чего планируется приступить к строительству.

Интересный гидроэнергетический комплекс Халябия-Заля-

бия на реке Евфрат, включающий в себя ГЭС и ГАЭС, был спроектирован «Гидропроектом» в Сирии.

Ниже гидроузла Аль-Баас Евфрат течет в долине с низкими берегами, непригодной для строительства ГЭС. Исключение составляет короткий участок с высокими крутыми берегами, называемый «Халябия-Залябия» по именам двух расположенных в этом районе древних крепостей.

На этом-то участке и было решено построить гидроэнергетический комплекс, включающий в себя ГЭС, гидроаккумулирующую электростанцию (ГАЭС) и водозаборы оросительных систем. ГЭС Халябия-Залябия запроектирована в виде типичного низконапорного гидроузла, состоит из земляной намывной (из песчано-гравийного грунта) плотины, бетонной водосбросной плотины и здания ГЭС руслового типа с тремя горизонтальными капсульными гидроагрегатами общей мощностью 81 МВт. Напор на станции очень небольшой — всего 8 м, что позволило реализовать оригинальную концепцию защиты ГЭС от катастрофического паводка в виде т.н. «плавкой вставки». Это участок земляной плотины, чуть меньшей высоты и отделенный от основного тела плотины специальными дамбами. В случае катастрофического паводка, вода переливается через «плавкую вставку» и размывает ее, а после паводка размывтая часть с минимальными затратами восстанавливается. В плотины встраиваются два ирригационных водозабора.

Геологические условия строительства сложные — в основании мощная толща проницаемых галечников, в берегах — залежи легко размываемого гипса. Для подавления фильтрации запроектированы специальные мероприятия в виде масштабной цементационной завесы — в основании на глубину 70 м, в берегах — на 200 м.

Помимо ГЭС, гидроэнергетический комплекс включает в себя и ГАЭС, использующую в качестве нижнего бассейна водохранилище ГЭС. Верхний бассейн — искусственный, создается дамбами обвалования. Мощность ГАЭС — 890 МВт, 4 гидроагрегата, работающих на напоре 145 м. ГАЭС позволит регулировать пиковые нагрузки всей Сирии.

Особое внимание в проекте уделено инженерной защите древних крепостей. Сами они не попадают в зону затопления, но от подъема грунтовых вод могут пострадать их фундаменты, в связи с чем запроектирована их защита в виде противофильтрационной стены в грунте.

В связи с началом в Сирии гражданской войны реализация проекта была отложена.

Гидроэлектростанции, построенные и планируемые к вводу в эксплуатацию в 1992-2018 годах

| Название ГЭС | Мощность, МВт | Регион | Река | Год начала строительства | Год пуска первого агрегата | Тип ГЭС | Напор, м | Тип турбин |
|-------------------------------|---------------|---------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|--------------|--------------------------------|
| Гергебильская (реконструкция) | 15 | Дагестан | Каракойсу | 1989 | 1992 | Плотинная | 45 | Радиально-осевые |
| Ирганайская | 400 | Дагестан | Аварское Койсу | 1979 | 1998 | Плотинно-деривационная | 168 | Радиально-осевые |
| Гунибская | 15 | Дагестан | Каракойсу | 1995 | 2004 | Плотинная | 49 | Радиально-осевые |
| Гельбахская | 44 | Дагестан | Судак | 2004 | 2006 | Плотинная | 44 | Пропеллерные |
| Гоцатинская | 100 | Дагестан | Аварское Койсу | 2006 | 2014 | Плотинная | 72 | Радиально-осевые |
| МГЭС-3 | 3,7 | Кабардино-Балкария | Канал Баксан-Малка | 1995 | 2000 | Деривационная | 36 | Радиально-осевые |
| Аушигерская | 60 | Кабардино-Балкария | Черек | 1994 | 2002 | Деривационная | 93 | Радиально-осевые |
| Кашхатау | 65 | Кабардино-Балкария | Черек | 1994 | 2010 | Деривационная | 95 | Радиально-осевые |
| Зарагижская | 30,6 | Кабардино-Балкария | Черек | 2011 | 2015 | Деривационная | 44 | Радиально-осевые |
| Фаснальская | 6,4 | Северная Осетия | Сонгутидон | ? | 2009 | Деривационная | 127 | Радиально-осевые, ковшовые |
| Головная | 15 | Северная Осетия | Ардон | 1976 | 2009 | Плотинная | 19 | Поворотно-лопастные |
| Зараматская-1 | 342 | Северная Осетия | Ардон | 1976 | 2018 | Деривационная | 619 | Ковшовые |
| Зеленчукская | 160 | Карачаево-Черкесия | Большой Зеленчук, Маруха, Аксаут | 1976 | 1999 | Деривационная | 234 | Радиально-осевые |
| Зеленчукская ГЭС-ГАЭС | 140 | Карачаево-Черкесия | Большой Зеленчук, Маруха, Аксаут | 2010 | 2014 | Гидроаккумуляторная | 234 | Радиально-осевые насос-турбины |
| Усть-Джегутинская | 5 | Карачаево-Черкесия | Кубань | 2015 | 2017 | Плотинная | Не определен | Не определены |
| Егорлыкская-2 | 14,2 | Ставропольский край | Большой Егорлык | 1994 | 2010 | Плотинная | 17 | Радиально-осевые |

| | | | | | | | | |
|----------------------------------|------|---------------------|---------------------------------------|------|------|---------------------|--------------|--------------------------------|
| Егорлыкская-3 | 3,5 | Ставропольский край | Большой Егорлык | 2015 | 2017 | Плотинная | Не определен | Не определены |
| Малая Сенгилевская | 10 | Ставропольский край | Кубань (Невиномысский канал) | 2015 | 2017 | Деривационная | Не определен | Не определены |
| Барсучковская | 5 | Ставропольский край | Кубань (Большой Ставропольский канал) | 2015 | 2017 | Плотинная | Не определен | Не определены |
| Загорская ГАЭС-2 | 840 | Московская область | Кунья | 2007 | 2017 | Гидроаккумуляторная | 100 | Радиально-осевые насос-турбины |
| Кислобобская ПЭС (реконструкция) | 1,7 | Мурманская область | Кислая губа | 2004 | 2004 | Приливная | 5 | Ортогональные |
| Ляскеля | 4,8 | Карелия | Янисйоки | 2012 | 2013 | Деривационная | 14 | Пропеллерные |
| Юмагузинская | 45 | Белая | Башкирия | 1998 | 2004 | Плотинная | 40 | Поворотно-лопастные |
| Богучанская | 3000 | Ангара | Красноярский край | 1974 | 2012 | Плотинная | 66 | Радиально-осевые |
| Вилуйская-3 (Светлинская) | 360 | Вилуй | Якутия | 1979 | 2004 | Плотинная | 23 | Поворотно-лопастные |
| Бурейская | 2010 | Буряя | Амурская область | 1978 | 2003 | Плотинная | 103 | Радиально-осевые |
| Нижне-Бурейская | 320 | Буряя | Амурская область | 2010 | 2016 | Плотинная | 26 | Поворотно-лопастные |
| Усть-Среднеканская | 570 | Колыма | Магаданская область | 1991 | 2013 | Плотинная | 58 | Радиально-осевые |
| Толмачевская-1 | 2 | Толмачева | Камчатский край | 1997 | 1999 | Плотинная | 18 | Поворотно-лопастные |
| Толмачевская-2 | 24,8 | Толмачева | Камчатский край | 1997 | 2010 | Деривационная | 163 | Радиально-осевые |
| Толмачевская-3 | 18,4 | Толмачева | Камчатский край | 1997 | 2001 | Деривационная | 122 | Радиально-осевые |

Помимо строительства новых станций, не менее важной задачей является модернизация уже существующих ГЭС. Согласно нормативам, срок службы основного оборудования гидроэлектростанций (турбин и генераторов) составляет 30-40 лет. Таким образом, уже к концу 1980-х годов возникла необходимость в замене оборудования на ГЭС, введенных в эксплуатацию в 1920-х годах и ранее — а это довольно большое количество объектов.

В советские времена была начата разработка программы модернизации действующих ГЭС, но распад страны и последовавший за ним экономический кризис остановил этот процесс. В последующие 20 лет проводились главным образом точечные замены оборудования, находящегося в наихудшем состоянии. Это позволило поддержать работоспособность гидроэлектростанций, но не могло остановить тенденцию прогрессирующего старения оборудования.

В итоге к 2010 году сложилась ситуация, когда реконструкции стали требовать все ГЭС, введенные в работу до 1980-го года — т.е. подавляющее большинство гидроэлектростанций страны. Многие станции отработали по 50 и более лет, их оборудование износилось физически и поддерживается в работоспособном состоянии постоянными ремонтами. Впрочем, в ряде случаев и ремонт становится затруднительным — производство запасных частей для устаревшего оборудования давно прекращено.

Решение возникшей проблемы было только — комплексная модернизация с заменой всего устаревшего оборудования — турбин, генераторов, затворов, трансформаторов, распределительных устройств, систем управления и автоматики. Такая программа была принята в 2011 году в ОАО «РусГидро», модернизацией своих гидроэлектростанций занимаются и другие российские компании.

В отношении наиболее дорогостоящего гидросилового оборудования (турбины и генераторы) применяются две стратегии модернизации. Оборудование, отработавшее более 50 лет, как правило заменяется полностью. Для более молодого оборудования нередко применяется концепция замены наиболее ответственных узлов — рабочих колес турбин, обмотки статоров генераторов, что обходится дешевле. Гидромеханическое оборудование (затворы, сороудерживающие решетки), трансформаторы, оборудование распределительных устройств обычно заменяются полностью.

Замена гидроагрегатов, как правило, приводит к увеличению мощности станций. Новые турбины проектируются с учетом всех современных достижений в области энергетического машиностро-

ения и имеют более высокий КПД, что позволяет увеличить мощность до 10% и более.

Наиболее радикальные изменения претерпевает оборудование распределительных устройств. Традиционно оно размещалось открыто, образуя так называемые открытые распределительные устройства (ОРУ), на которых располагались воздушные или масляные выключатели. Открытые распределительные устройства имеют массу недостатков — они занимают много места, их оборудование не защищено от атмосферных воздействий (дождя, снега, обледенения и т.п.). В результате страдает надежность, оборудование (особенно устаревшее) требует частых ремонтов.



Оборудование открытого распределительного устройства

С конца 1980-х годов в мире начали распространяться компактные распределительные устройства с элегазовой изоляцией (КРУЭ). Они имеют массу преимуществ — занимают мало места, монтируются в небольших закрытых помещениях (что защищает оборудование от внешних воздействий), очень надежны и пожаробезопасны, требуют минимальных затрат на обслуживание и ремонт. На данный момент практически все новые ГЭС проектируются с КРУЭ, они же используются в большинстве случаев модернизации гидроэлектростанций.



Оборудование КРУЭ

Масштабные программы модернизации ГЭС позволили загрузить заказами отечественную энергомашиностроительную и электротехническую промышленность. Лишь когда российская промышленность не может обеспечить потребности гидроэнергетиков (например, КРУЭ у нас почти не производятся), закупается лучшее оборудование зарубежных фирм.

Наиболее масштабная программа по модернизации реализуется на Волжско-Камском каскаде. Оборудование самых старых ГЭС каскада — Угличской и Рыбинской, отработавших более 70 лет, меняется полностью. По состоянию на 2014 год на этих станциях заменена половина гидроагрегатов, реконструированы распределительные устройства, ведется монтаж новых затворов и трансформаторов.

В 2014 году замена гидроагрегатов Нижегородской ГЭС еще не была начата (хотя и запланирована на будущее), на станции реконструируется распределительное устройство и заменяются затворы плотины. Чебоксарская ГЭС — самая молодая станция каскада, но на ней также ведутся значительные работы по модернизации. Так, в заводских условиях реконструируются рабочие колеса турбин,

при проектировании которых была допущена ошибка, что привело к утрате возможности разворота лопастей и соответственно к снижению эффективности работы гидроагрегатов.



Монтаж реконструированного рабочего колеса турбины Чебоксарской ГЭС

На Жигулевской, Волжской и Саратовской ГЭС полностью заменяются турбины, реконструируются либо меняются на новые генераторы. При этом турбины для Саратовской ГЭС поставляются немецкой фирмой Voith, кроме того, на этой станции полностью обновлено силовое оборудование — генераторные выключатели, трансформаторы, токопроводы. На Камской ГЭС заменяются основные элементы турбин и реконструируются генераторы, эти работы по состоянию на 2014 год близятся к завершению — последний реконструированный гидроагрегат должен быть введен в работу в 2015 году. На Воткинской ГЭС устаревшее распределительное устройство заменено на новое КРУЭ, планируется замена гидроагрегатов.



▲ Замена силового оборудования Саратовской ГЭС

◀ Реконструкция Баксанской ГЭС

▼ Новое рабочее колесо турбины Миатлинской ГЭС



Из гидроэлектростанций Северо-Запада полностью реконструированы Светогорская и Лесогорская ГЭС — заменены гидроагрегаты и распределительные устройства. На Иовской ГЭС завершена замена рабочих колес турбин и реконструкция генераторов.

В Северо-Кавказском регионе принято решение о полной реконструкции станций каскада Кубанских ГЭС. На первом этапе их распределительные устройства заменяются на современные КРУЭ, далее планируется замена гидроагрегатов. Реконструкция затрагивает и гидротехнические сооружения — так, на Егорлыкской ГЭС строится новый водосброс. Новое КРУЭ монтируется и на Зеленчукской ГЭС.

В Кабардино-Балкарии получила второе рождение старейшая Баксанская ГЭС, пострадавшая в 2010 году в результате диверсии. В ходе реконструкции было заменено на новое все оборудование станции, капитально отремонтированы гидротехнические сооружения. Модернизация гидроэлектростанций Северной Осетии также запланирована, по состоянию на 2014 год начата реконструкция их головных узлов.

Из гидроэлектростанций Дагестана первой начали модернизировать Миатлинскую ГЭС — турбины этой относительно молодой станции оказались неудачно спроектированы. Запланированы работы по обновлению и других станций региона, в том числе крупнейшей — Чиркейской.

Модернизация крупнейшей гидроэлектростанции Сибири — Саяно-Шушенской была проведена в рамках работ по ее восстановлению после аварии 2009 года. На ее контррегуляторе, Майнской ГЭС, было смонтировано новое КРУЭ, запланирована замена рабочих колес турбин. На Новосибирской ГЭС ведется постепенная замена гидротурбин.

Модернизация Братской и Усть-Илимской ГЭС идет по пути постепенной замены рабочих колес гидротурбин. На Красноярской ГЭС реконструированы генераторы и также планируется замена рабочих колес. На Усть-Хантайской ГЭС ведется полная замена гидроагрегатов.

Согласно планам ОАО «РусГидро», к 2025 году на принадлежащих ей гидроэлектростанциях (всего компания эксплуатирует около 70 объектов возобновляемой энергетики) не должно остаться оборудования, выработавшего установленный срок эксплуатации.

Глава XIV

Перспективы российской гидроэнергетики

По состоянию на 2014 год экономический гидроэнергетический потенциал российских рек, оцениваемый в 852 млрд кВт·ч в год, использован примерно на 20%, что значительно меньше показателей развитых стран. По территории нашей страны степень освоенности гидропотенциала сильно варьирует — в Европейской части она составляет около 50%, в Сибири — 20%, на Дальнем Востоке — всего 5%.

С завершением строительства Волжско-Камского каскада в Европейской части страны остался не освоенным гидропотенциал крупных северных рек — Печоры, Северной Двины, Мезени, Онеги. Здесь технически возможно строительство ряда крупных гидроэлектростанций, но реализация новых проектов ограничена экономическими и экологическими соображениями и в близкой перспективе не рассматривается.

В Мурманской области проектными проработками прежних лет выявлена возможность строительства каскадов из двух ГЭС на реке Иоканьга общей мощностью 386 МВт, из четырех ГЭС на реке Рында общей мощностью 206 МВт, из двух ГЭС на реке Поной общей мощностью 770 МВт и ряда других станций. Но в настоящее время регион является энергоизбыточным, кроме того, реки Кольского полуострова имеют важное рыбохозяйственное значение как место нереста семги.

В Карелии возможно завершение строительства каскада ГЭС на реке Кемь и ее притоке Чирко-Кемь — это 4 ГЭС общей мощностью почти 200 МВт. Также разработаны проекты Сегозерской ГЭС мощностью 24 МВт, пристраиваемой к существующей плотине, а также каскада из двух ГЭС общей мощностью 52 МВт на реке Водле.

В Ленинградской области наиболее перспективным гидроэнергетическим объектом является Ленинградская ГАЭС мощ-

ностью 1560 МВт. Работы по проектированию этой станции начались еще в 1980-х годах, тогда же были проведены некоторые работы подготовительного периода. В 2010-х годах проект был актуализирован и получил положительное заключение государственной экспертизы.

Строительство Ленинградской ГАЭС давно назрело — регион испытывает дефицит высокоманевренных регулирующих мощностей, что приводит к неоптимальным режимам работы тепловых станций, а также большим потерям электроэнергии в сетях. Ситуация обострится после завершения строительства Ленинградской АЭС-2. По состоянию на 2014 год, разворот строительства Ленинградской ГАЭС сдерживается отсутствием механизма обеспечения окупаемости этого проекта (как и гидроаккумулирующих электростанций вообще).

В Центральном регионе также необходимо строительство новых ГАЭС, в качестве первоочередных объектов рассматриваются Центральная ГАЭС мощностью 2600 МВт вблизи Тверской АЭС и Курская ГАЭС мощностью около 500 МВт вблизи одноименной атомной станции. Прорабатывается очень интересный проект возведения вблизи Москвы крупной гидроаккумулирующей электростанции с подземным размещением нижнего бассейна и здания станции. Такая компоновка позволяет в равнинной местности создать очень высокие напоры (порядка 1 км), что экономически выгодно. Кроме того, сильно снижается площадь земель под затопление, поскольку нижний бассейн создается в подземной выработке, а в качестве верхнего бассейна можно использовать уже существующий водоем.

На Урале освоение гидропотенциала целесообразно вести с помощью малых ГЭС. Рассматривавшиеся в советское время проекты строительства крупных и средних ГЭС на Чусовой, Уфе, Белой в настоящее время труднореализуемы по экономическим и экологическим соображениям. Исключение составляет проект Нижне-Суянской ГЭС на реке Уфе, водохранилище которой также должно решать задачу обеспечения надежного водоснабжения и защиты от наводнений.

На Северном Кавказе возможно строительство значительного количества средних ГЭС в бассейнах рек Кубань, Терек, Сулак и Самур. На Кубани, после завершения возведения Зеленчукской ГЭС-ГАЭС, первоочередным объектом является Верхне-Красногорская ГЭС мощностью около 100 МВт. В перспективе возмож-

но строительство гидроэлектростанций в верховьях Кубани и ее притоках, в том числе и с регулирующими водохранилищами, что позволит увеличить выработку действующих Зеленчукской ГЭС и станций каскада Кубанских ГЭС. Также, возможна пристройка ГЭС мощностью 40-50 МВт к существующей плотине Краснодарского водохранилища.

Гидроэнергетический потенциал бассейна реки Терек в настоящее время освоен довольно слабо. Его дальнейшее использование предусматривается главным образом деривационными станциями, каскады которых можно разместить как на самом Тереке, так и на его крупных притоках — Череке, Ардоне, Урухе, Баксане, Малке, Аргуне. Возведение новых ГЭС позволит не только ликвидировать энергетический дефицит республик Северного Кавказа, но и наладить экспорт электроэнергии за пределы этих регионов.

В Дагестане на реке Аварское Койсу ниже завершаемой строительством Гцатлинской ГЭС возможно строительство деривационной Могохской ГЭС мощностью 80 МВт. На реке Андийское Койсу спроектирован целый каскад из 6 ГЭС общей мощностью около 1000 МВт, из которого наиболее интересна первоочередная Агвалинская ГЭС мощностью 220 МВт с арочной плотиной высотой более 200 метров. Еще один каскад ГЭС суммарной мощностью более 500 МВт можно создать на реке Самур.

В Западной Сибири значительным гидропотенциалом обладают верховья Оби — реки Бия и Катунь, протекающие в Алтае. В частности, на Катунь возможно строительство каскада ГЭС мощностью около 4500 МВт. Республика Алтай является одним из немногих российских регионов, не имеющих на своей территории электростанций заметной мощности. Строительство ГЭС позволит не только полностью обеспечить регион электроэнергией, но и наладить ее экспорт за пределы региона, а также обеспечить регулирование стока с целью борьбы с наводнениями. В то же время, возведение ГЭС на Алтае традиционно сталкивается с протестами экологических организаций.

В Восточной Сибири основные гидроэнергетические ресурсы сосредоточены в бассейне Енисея. В верховьях реки, расположенных в Туве, возможно строительство ряда крупных и средних ГЭС общей мощностью более 5000 МВт. Возведение этих станций позволит полностью обеспечить энергодефицитную Туву электроэнергией, а также будет иметь большое противопаводковое значение.

Освоение гидропотенциала Енисея ниже Красноярска технически возможно, но требует дополнительной проработки по экономическим и экологическим соображениям. Помимо закрытого проекта Средне-Енисейской ГЭС, в советское время здесь планировалось строительство сверхмощных Осиновской и Игаркской ГЭС, примерно по 6000 МВт каждая.

Освоение гидропотенциала Ангары ниже Богучанской ГЭС сейчас планируется тремя ступенями — Нижнебогучанской, Мотыгинской и Стрелковской ГЭС. Первые две ступени представляются наиболее перспективными, строительство Стрелковской ГЭС требует дополнительного обоснования.

На Подкаменной Тунгуске согласно проектным проработкам прежних лет возможно строительство крупной ГЭС мощностью 3000 МВт и ряда меньших по размеру станций. На Нижней Тунгуске существует уникальная возможность строительства одной из мощнейших ГЭС в мире — Эвенкийской (12 000 МВт и более).

Хорошо проработан и одобрен государственной экспертизой проект Нижне-Курейской ГЭС мощностью 150 МВт, его реализация сдерживается отсутствием механизма гарантирования возврата инвестиций.

На Дальнем Востоке и Забайкалье гидроэнергетический потенциал освоен очень слабо. Имеются возможности строительства большого количества крупных гидроэлектростанций, причем экологические и социальные риски в большинстве случаев оцениваются как незначительные. В то же время, регион мало населен и не испытывает потребностей в столь значительном количестве электроэнергии, что сдерживает развитие гидроэнергетики.

Наиболее значительные гидроэнергетические ресурсы сосредоточены в бассейне реки Лены. Наиболее перспективны для строительства ГЭС ее притоки — Вилуй, Витим, Олекма, Алдан. На Вилуе после завершения строительства Вилуйской ГЭС-3 возможно возведение Чиркуокской ГЭС и Вилуйской ГЭС-4, каждая мощностью примерно по 300 МВт. На Витиме возможно строительство целого каскада ГЭС, наиболее крупная из которых — Мокская мощностью не менее 1200 МВт.

На Алдане, его притоках Учуре и Тимптоне, а также реке Олекме возможно создание крупного Южно-Якутского гидроэнергетического комплекса из 7 станций общей мощностью более 8000 МВт. Крупнейшая из них — Средне-Учурская мощностью 3300 МВт. Хорошо проработан и одобрен государственной экс-

пертизой проект Канкунской ГЭС на реке Тимптон мощностью 1000 МВт, с гравитационной бетонной плотиной высотой 228 м.

Крупные гидроресурсы сосредоточены и в бассейне Амура. При этом места расположения перспективных ГЭС там расположены ближе к центрам потребления, кроме того, новые ГЭС будут решать очень важную задачу борьбы с наводнениями. Строительство ГЭС на самом Амуре сейчас не рассматривается по экологическим соображениям и из-за пограничного статуса реки, но возможно возведение ГЭС на его притоках.

После разрушительного наводнения на Дальнем Востоке в 2013 году была начата разработка программы строительства гидроэлектростанций в бассейнах Зеи и Буреи, имеющих противонаводковое значение. В качестве приоритетных объектов рассматриваются Нижне-Зейская ГЭС мощностью 400 МВт, а также станции на притоках Зеи и Буреи — Гилуйская, Селемджинская и Нижнениманская ГЭС. Возможно строительство ГЭС и на других притоках Амура — Шилке и Усури.

Существенные гидроресурсы сосредоточены в бассейнах рек Индигирка, Яна, Оленек, но строительство там ГЭС в связи с малонаселенностью региона и большой удаленностью от потребителей электроэнергии возможно в отдаленной перспективе. Аналогичная ситуация с бассейном реки Колыма, где после завершения строительства Усть-Среднеканской ГЭС возникает значительный избыток электроэнергии.

За счет гидроэнергии также можно полностью обеспечить все существующие и перспективные потребности в электроэнергии Чукотки и Камчатки.

Перспективы освоения богатейшего гидроэнергетического потенциала России зависят в первую очередь от экономической ситуации в стране, а также принятия политических решений по освоению богатых полезными ископаемыми, но малонаселенных территорий Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Глава XV

Российская гидроэнергетика в мире

Отечественная гидроэнергетика долгое время по политическим причинам развивалась в относительной изоляции от мировой. Иностраный опыт широко использовался лишь в самом начале ее развития, до начала 1930-х годов, когда многие гидроэнергетические стройки консультировали иностранные специалисты. Это позволило, не имея опыта строительства крупных ГЭС, в короткие сроки возвести ряд гидроэлектростанций, в том числе и с уникальными характеристиками.

В 1930-х годах безусловное первенство в гидроэнергетической отрасли было за США, где построили первую ГЭС мощностью более 1000 МВт — Дамбу Гувера. С возведением Днепротэса советская гидротехническая наука также вошла в число лидеров. В 1950-е годы благодаря строительству крупнейших ГЭС на Волге советские гидроэнергетики перехватили первенство и удерживали его до 1980-х годов.

Спецификой советской гидроэнергетики являлось стремление к простым, надежным и технологичным решениям. Предпочтение отдавалось крупным плотинным гидроузлам, имеющим наилучшие экономические показатели, с водохранилищами комплексного назначения. Деривационные ГЭС умеренных размеров, столь распространенные в Европе, строились главным образом до начала 1960-х годов.

Ориентация на крупные ГЭС обуславливалась несколькими причинами. В условиях плановой экономики государство стремилось комплексно решать проблемы целых отраслей и регионов за счет концентрации усилий на больших проектах. Гидроэлектростанции изначально проектировались как основа мощных территориально-производственных комплексов, которым требовались очень значительные объемы электроэнергии. Стремление к максимальной экономии в весьма небогатой стране стимулиро-

вало возведение объектов с наилучшими экономическими показателями — а чем крупнее ГЭС, тем она экономически эффективнее. При этом государство имело возможности концентрировать финансовые и трудовые ресурсы на строительстве сверхмощных объектов, быстро решать вопросы с выделением земель под зону затопления и переселением большого количества людей.

Существовавшая политическая система позволяла эффективно планировать развитие регионов на длительную перспективу, что давало возможность ставить и решать такие грандиозные задачи, как комплексное переустройство целых речных систем. При этом учитывались интересы многих отраслей экономики — энергетики, транспорта, промышленности, сельского хозяйства.

В то же время, плановая экономика накладывала и определенные ограничения. Так, по сравнению с западными странами советские гидротехники обладали значительно меньшим ассортиментом строительных машин и механизмов. Это стимулировало поиск максимально простых и технологичных решений, отказ от изящных, но трудных в реализации решений — так, в СССР не было построено ни одной многоарочной плотины, которые считаются одними из самых экономичных.

В качестве примера такого простого решения можно назвать технологию сооружения плотин методом намыва. Ее отработка позволила быстро и дешево создавать крупнейшие плотины протяженностью в несколько километров и высотой в десятки метров. Без нее возведение крупнейших гидроузлов на равнинных реках было бы затруднительно.

Еще одна подобная технология — возведение гравитационных бетонных плотин. Они просты и технологичны, в связи с чем получили в СССР очень широкое распространение. Такие станции, как Братская и Красноярская, построенные около 50 лет назад, и сейчас входят в число крупнейших ГЭС в мире.

Крупные каменные и каменно-земляные плотины в СССР начали строить с 1960-х годов, что объяснялось прогрессом в создании необходимой техники, в первую очередь большегрузных грузовиков. Примерно тогда же крупные плотины такого типа начали возводить и в мире. В этой области советские гидротехники сразу достигли крупных успехов, возведя самую высокую в мире Нурекскую плотину и уникальную по своей сложности Асуанскую плотину. Начав с сооружения плотин с суглинистым ядром, к 1980-м годам отечественные ученые создали ориги-

нальную технологию возведения грунтовых плотин с диафрагмой из литого асфальтобетона, в том числе и в суровых климатических условиях.

Еще одной прорывной технологией стало возведение плотин путем направленного взрыва, что можно считать отечественным ноу-хау. Увы, самое грандиозное сооружение, спроектированное по данной технологии, плотина Камбаратинской ГЭС-1, так и не была построена по политическим причинам.

Гордостью российских гидротехников является строительство высотных плотин в экстремально суровых северных условиях, на вечномерзлых грунтах. В этой области мы сохраняем лидерство и в настоящее время.

Арочных плотин в СССР было построено немного, но среди них — такие признанные шедевры гидротехники, как плотины Саяно-Шушенской, Чиркейской и Ингурской ГЭС. Последняя многие годы удерживала титул высочайшей в своем классе. Еще меньше возвели контрфорсных плотин — при меньших затратах бетона, по сравнению с гравитационными плотинами, они и менее технологичны.

Яркой чертой отечественной гидротехнической науки является ее смелость, выражавшаяся в строительстве уникальных по мировым меркам объектов без опыта возведения подобных сооружений. Так, плотина Днепргэса, а впоследствии Братской ГЭС намного превосходили по своим размерам плотины аналогичного типа, возводившиеся ранее. Уникальная Нурекская ГЭС с высочайшей плотинной в мире создавалась практически на пустом месте — до нее высотных каменно-земляных плотин в СССР попросту не проектировали. Арочная плотина Чиркейской ГЭС превзошла по высоте своего предшественника, плотину Ладжанурской ГЭС, сразу более чем в 3 раза. Высотная массивно-контрфорсная плотина Зейской ГЭС вообще не имела аналогов в Советском Союзе.

Обвальное сокращение темпов гидроэнергетического строительства (а особенно — проектирования новых станций) с конца 1980-х годов привело к утрате отечественного гидроэнергетического мирового первенства. На лидирующие позиции ворвались китайские ученые и инженеры, спроектировавшие и построившие целый ряд уникальных объектов, таких как крупнейшая в мире ГЭС Три ущелья мощностью 22500 МВт, арочная плотина Цзиньпин-1 высотой 305 м и т.п.

Российская гидроэнергетика стала отставать и в количественном отношении (по темпам ввода новых станций), и по техническим решениям. Так, в части технологий строительства плотин в настоящее время в мире наиболее распространены плотины из укатанного бетона и каменно-набросные плотины с железобетонными экранами. В России нет ни одной плотины, полностью построенной из укатанного бетона (этот материал использовался только для некоторых элементов конструкций очень небольшого количества плотин), хотя отечественные специалисты имеют опыт проектирования таких плотин за рубежом. Что касается плотин с железобетонным экраном, то какой-либо опыт по созданию таких плотин отсутствует вовсе.

Еще одним трендом мировой гидроэнергетики является возведение мощных высоконапорных деривационных ГЭС с протяженными тоннелями. Отечественная гидротехническая школа имеет довольно ограниченный опыт создания подобных станций.

В то же время, современная российская гидроэнергетика не стоит на месте и не только активно изучает мировой опыт, но и разрабатывает оригинальные технологии. К последним, в частности, можно отнести проработку грунтовых плотин с противофильтрационным элементом «стена в грунте».

Российские научные и проектные организации в области гидроэнергетики входят в состав ОАО «РусГидро». Московский институт «Гидропроект» специализируется на зарубежных проектах, сопровождении строительства Богучанской ГЭС и Загорской ГАЭС-2, выполняет большой объем проектных работ по программе модернизации действующих ГЭС. Распологающийся в Санкт-Петербурге институт «Ленгидропроект» занимается проектированием ГЭС на Дальнем Востоке и Северном Кавказе. Институт «Мособлгидропроект» сопровождает строительство Зеленчукской ГЭС-ГАЭС, модернизацию ГЭС Кубанского каскада, ведет проработки по ряду инновационных проектов, таких как ГАЭС с подземным бассейном.

Научное сопровождение гидроэнергетики ведут располагающийся в Москве институт «НИИЭС» и санкт-петербургский ВНИИГ им.Б.Е. Веденеева. Каждый из них обладает необходимой лабораторной и испытательной базой, в частности стендами, позволяющими производить гидравлические исследования с масштабными моделями гидроэлектростанций.

Отечественное энергетическое машиностроение, начав развиваться после 1917 года фактически «с нуля», быстро достигло значительных успехов. Уже в 1920-х годах было освоено производство крупных гидрогенераторов и небольших гидротурбин, в 1930-х отечественные предприятия начали производить крупные гидротурбины различных типов. С изготовлением в конце 1930-х годов крупнейших на тот момент в мире поворотно-лопастных турбин для Угличской и Рыбинской ГЭС советская энергомашиностроительная отрасль начала выходить на лидирующие позиции в мире.

В 1950-х и 1960-х годах были изготовлены крупнейшие в мире радиально-осевые и поворотно-лопастные турбины для Красноярской ГЭС и гидроэлектростанций на Волге. Советские машиностроители начали выходить на мировой рынок. В 1970-х годах были созданы уникальные диагональные турбины для Зейской ГЭС, поворотно-лопастные и горизонтальные капсульные турбины Саратовской ГЭС, радиально-осевые турбины Саяно-Шушенской ГЭС. К концу 1980-х годов советские производители гидротурбин и гидрогенераторов освоили изготовление гидроагрегатов всех типов и заняли прочные позиции на мировом рынке.

Распад СССР и фактическая остановка развития гидроэнергетики в 1990-е годы тяжело отразились на производстве гидроэнергетического оборудования в России. Один из двух основных заводов по производству гидротурбин, харьковский «Турбоатом», оказался на территории Украины, там же осталось одно из предприятий по производству генераторов. Прекратил производство гидрогенераторов «Уралэлектротяжмаш».

В настоящее время основным производителем гидротурбин и гидрогенераторов в России является концерн «Силловые машины». Входящие в его состав предприятия смогли не только сохранить весь наработанный в советское время опыт, но и развить его, выпуская оборудование, соответствующее современным мировым стандартам и востребованное не только в России, но и за рубежом. Именно они производят большую часть гидросилового оборудования как для вновь строящихся, так и для реконструируемых ГЭС России.

Оглавление

| | |
|---|----|
| Введение | 3 |
| Глава I | |
| Как устроена гидроэлектростанция | 5 |
| Глава II | |
| Развитие гидроэнергетики в России до 1917 года | 25 |
| Глава III | |
| Гидроэнергетическое строительство в СССР в 1920-х годах | 35 |
| Глава IV | |
| Развитие гидроэнергетики СССР в первой половине 1930-х годов | 49 |
| Глава V | |
| Проект «Большая Волга» и концентрация гидроэнергетического строительства в ведении НКВД (1936-1940 годы) | 59 |
| Глава VI | |
| Гидроэнергетика в годы Великой Отечественной войны (1941-1945) | 79 |

| | |
|--|-----|
| Глава VII | |
| Послевоенное восстановление | 91 |
| Глава VIII | |
| Великие стройки коммунизма | 97 |
| Глава IX | |
| Гидроэнергетики идут в Сибирь | 109 |
| Глава X | |
| Экономика должна быть экономной | 131 |
| Глава XI | |
| Золотое десятилетие | 165 |
| Глава XII | |
| Прерванный полет | 189 |
| Глава XIII | |
| Гидроэнергетика новой России | 237 |
| Глава XIV | |
| Перспективы российской гидроэнергетики | 290 |
| Глава XV | |
| Российская гидроэнергетика в мире | 295 |

Об авторе

Слива Иван Владимирович — ведущий эксперт департамента по связям с общественностью ОАО «РусГидро». Автор большого количества статей о гидроэлектростанциях в русском разделе Википедии. Участвовал в работе над рядом книг и статей о гидроэнергетике и возобновляемых источниках энергии. Ведет корпоративный блог РусГидро, а также сообщество компании в Живом Журнале.



**Молодая
Энергия**

**Программа опережающего развития
кадрового потенциала персонала ОАО «РусГидро»
«От Новой школы к рабочему месту»**

**Программа социально-профессиональной адаптации
воспитанников детских домов**

Сайт Программ - www.hydroschool.ru

Сайт Филиала ОАО «РусГидро» - «КорУнГ» - www.korong.rushydro.ru

Сайт ОАО «РусГидро» - www.rushydro.ru

Учебное издание

Слива Иван Владимирович

История гидроэнергетики России

Корректор Марчук О.Ю.

Верстка Бурова С.Ю.

Издательство: «Тверская Типография»

г. Тверь, ул. Веселова, 16А

т. (4822) 69-03-39, 32-23-42

www.tt69.ru

Подписано в печать 26.11.2014. Формат 70x100/16.

Бумага мелованная. Печать офсетная.

Гарнитура Школьная. Усл. печ. л. 19,0.

Тираж 1000 экз.