

Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) с соответствующим комплексом сооружений и оборудования предназначены для преобразования электрической энергии, получаемой от других электростанций, в потенциальную энергию воды и обратно в электрическую.

## Гидроаккумулирующие электростанции Украины

Андрей Симонов, доктор техн. наук, Дмитрий Любас, г. Киев



ГАЭС работают в двух режимах: насосном, когда они, потребляя избыточную энергию от ТЭС и АЭС в часы минимальной нагрузки энергосистемы (обычно ночью, когда нагрузка в энергосистеме снижается), перекачивают воду из нижнего питающего водохранилища в вышерасположенный верхний аккумулирующий бассейн и тем самым заряжают ГАЭС; в турбинном режиме, когда они, сбрасывая воду из верхнего водохранилища в часы максимального потребления электроэнергии в энергосистеме, вырабатывают электроэнергию в энергосистему и тем самым разгружают ТЭС и АЭС от кратковременной пиковой нагрузки. Таким образом, ГАЭС по существу перераспределяют электроэнергию, вырабатываемую другими электростанциями, во времени в соответствии с требованиями электропотребителей.

*В состав ГАЭС входят:*

- нижнее питающее водохранилище (естественное озеро, существующее или специально создаваемое водохранилище гидроузла);
- верхний аккумулирующий бассейн (естественные высокогорные приточные или бесприточные озера, расположенные вблизи от нижнего водохранилища, или искусственно созданный водоем);
- здание станции;
- напорный водовод;

- водоприемник, предназначенный для приема воды в верхний бассейн при работе станции в насосном режиме и забора воды из него при ее работе в турбинном режиме.

Гидроагрегаты ГАЭС в зависимости от высоты напора оборудуются поворотными, диагональными, радиально-осевыми и ковшовыми гидротурбинами. Такие агрегаты высокоманевренны и в течение нескольких минут могут быть переведены из насосного режима в генераторный или в режим синхронного компенсатора. Регулировочный диапазон ГАЭС, определяемый принципом ее работы, близок к двукратной установленной мощности, что является одним из основных ее достоинств. КПД ГАЭС составляет 70 – 75 %.

В том случае, когда приток воды в верхний бассейн отсутствует, ГАЭС работает только на аккумулированной воде. Такую ГАЭС обычно называют «чистой». В отличие от нее, «смешанная» ГАЭС, или ГЭС–ГАЭС, имеет дополнительный естественный приток воды в верхний бассейн и, таким образом, работает на приточном стоке и аккумулированном объеме воды или в каскаде ГЭС. В последнем случае в здании ГАЭС приходится устанавливать дополнительно к основным турбинным агрегатам обратимые турбины или насосы для подкачивания воды в верхний бассейн водохранилища из нижнего.

По длительности цикла аккумулирования, то есть по периоду сработки и наполнения бассейна, различают ГАЭС суточного, недельного и сезонного аккумулирования воды.

Гидромеханическое и электротехническое оборудование в здании ГАЭС обычно располагают либо по традиционной схеме трехмашинной компоновки, при которой в агрегат входят насос, генератор-электродвигатель и турбина, либо по современной, наиболее совершенной, двухмашинной компоновке, состоящей из обратимой турбины (турбина-насос) и генератора-электродвигателя.

ГАЭС стремятся сооружать вблизи крупных электропотребителей в районах, где сосредоточены мощные электростанции и имеются благоприятные геологические и гидрологические условия, допускающие устройство верхнего бассейна, которым может быть озеро или искусственный водоем, и расположенного поблизости нижнего водохранилища.

### Участие электростанций различного типа в покрытии суточного графика нагрузки

Суточный график нагрузки энергосистемы, состоящий из нагрузок электропотребителей, присоединенных к электросетям системы, мощности собственных производственных нужд электростанций, а также потерь мощности в электросетях, покрывается генерирующими мощностями конденсационных электростанций (КЭС), ТЭС, АЭС, ГЭС, а также ГАЭС. Поскольку потребление электроэнергии неравномерно в течение суток и времени года, этот график существенно неравномерен.

Примерный суточный график нагрузки энергосистемы для зимних суток (рис.1) имеет приблизительно такие максимумы и минимумы:

- дневной  $P_{дн\ max}$  (с 8 до 11 ч по местному времени) и вечерний  $P_{вч\ max}$  (с 16 до 20 ч) максимумы;
- ночной  $P_{нч\ min}$  (с 0 до 6 ч) и дневной  $P_{дн\ min}$  (с 11 до 13 ч) минимумы («провалы») нагрузок.

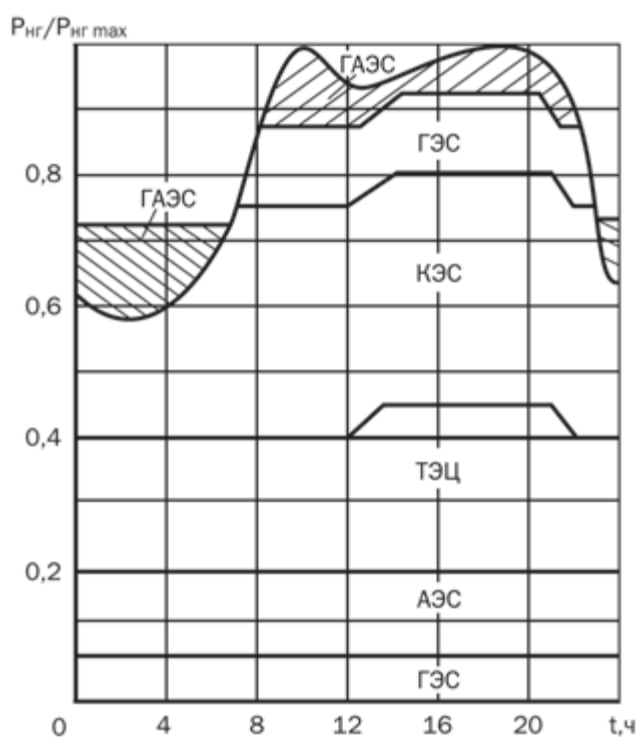


Рис.1

Кроме того, в суточном графике нагрузки различают: базовую часть, соответствующую нагрузке  $P \leq P_{нч\ min}$ ; полупиковую часть, соответствующую условию  $P_{нч\ min} \leq P \leq P_{дн\ min}$ ; пиковую часть, соответствующую условию  $P \geq P_{дн\ min}$ .

Нагрузка электрической системы должна быть распределена между всеми электростанциями, суммарная установленная мощность которых несколько превышает наибольший максимум системы. Покрытие базовой части суточного графика нагрузки возлагают на такие станции: АЭС, регулирование мощности которых затруднительно; ТЭС, максимальная экономичность которых достигается тогда, когда их электрическая мощность соответствует тепловому потреблению; ГЭС – в размере, соответствующем минимальному пропуску воды по санитарным требованиям и условиям судоходства.

Пиковую часть графика нагрузки обычно покрывают за счет генерирующих мощностей ГЭС и ГАЭС, агрегаты которых допускают частые включения и отключения, а также быстрое изменение нагрузки. Остальная часть графика нагрузки, частично выровненная нагрузкой ГАЭС при работе их в насосном режиме, может быть покрыта компенсирующей электростанцией (КЭС).

Очевидно, что чем неравномернее график нагрузки системы, тем большая мощность ГЭС и ГАЭС необходима для обеспечения экономичной работы КЭС, без резкого снижения их нагрузки в ночные часы, а также в выходные и предпраздничные дни или для отключения части агрегатов в эти часы. Таким образом, участие ГЭС и ГАЭС в покрытии графика нагрузки системы при достаточной мощности их позволяет выровнять графики нагрузки КЭС, ТЭС и АЭС и тем самым обеспечить наибольшую экономичность работы энергосистемы в целом.

Следует обратить особое внимание на то, что на Украине очень остро ощущается дефицит генерирующих мощностей ГАЭС, что не позволяет достичь экономичной работы КЭС, ТЭС и АЭС в те периоды времени, когда Объединенная энергосистема Украины (ОЭС Украины) должна покрывать суточные пики графика нагрузки. Поэтому необходимо ускоренными темпами строить новые ГАЭС, о чем более подробно будет сказано в дальнейшем.

Однако скорейший ввод в эксплуатацию новых ГАЭС необходим не только для этого. Без него невозможно решать ряд других энергетических задач ОЭС Украины, таких как:

- создание резерва мгновенного ввода и реактивной мощности (при работе ГАЭС в режиме синхронного компенсатора);
- регулирование частоты и режима работы ТЭС и АЭС и др.

Во многих случаях при решении вопроса о целесообразности строительства АЭС возможность ее аварийно-резервного использования является решающим фактором, так как при эксплуатации энергосистем не всегда удается полностью устранить возникновение аварийных ситуаций, приводящих к нарушениям и даже прекращению электроснабжения. Поэтому в зарубежных энергосистемах часто предусматривают дополнительные запасы воды в верхних бассейнах ГАЭС, рассчитанные на кратковременное использование станции в течение 1,5...3 ч при возникновении аварийных ситуаций, что позволяет отказаться от строительства других резервных пиковых электростанций.

Отметим также, что ГАЭС могут быть построены не только на местности, обладающей некоторым перепадом высот, необходимым для создания напора, но и на совершенно ровной территории — при этом машинный зал станции и нижний бассейн размещают под землей.

Самыми крупными украинскими ГАЭС являются:

- Киевская ГАЭС, суммарная установленная мощность которой составляет 235,5 МВт;
- Каневская ГАЭС (достраивается);
- Ташлыкская ГАЭС (Южноукраинский энергокомплекс);
- Днестровская ГАЭС (достраивается). Проектная мощность станции в турбинном режиме составляет 2268 МВт, в насосном режиме – 3010 МВт. После завершения строительства этой станции она должна стать крупнейшей ГАЭС Европы.

### Угроза прорыва плотин Киевской и Каневской ГЭС

Оборудование и плотины большинства отечественных ГЭС, таких как Киевская и Каневская ГЭС и др., построенных на Днепре еще в середине прошлого века, к настоящему времени оказались сильно изношенными (даже несмотря на частичное обновление оборудования), из-за чего Украина столкнулась не только с проблемой возможного выхода из строя этого оборудования, но и со страшной, непредсказуемой по своим последствиям (хотя и крайне маловероятной) проблемой прорыва плотин Киевской и Каневской ГЭС.

Поэтому исключительно актуальными являются следующие проблемы безопасности этих гидросооружений:

- прогнозирование последствий прорывов плотин Киевской и Каневской ГЭС;
- экспертные оценки экологами и представителями различных международных организаций технического состояния плотин этих станций;
- долгосрочные государственные меры (уже осуществленные и планируемые) по предотвращению прорыва плотин Киевской и Каневской ГЭС.

### Чем грозит прорыв плотин Киевской и Каневской ГЭС

Киевская ГЭС находится в городе Вышгороде – центре Вышгородского района Киевской области, расположенном на правом берегу Днепра, на созданном в 1960-е годы Киевском водохранилище, в 18 км от северного предместья Киева.

В состав сооружений Киевского гидроузла входят:

- здание ГЭС;
- совмещенная бетонная водосливная плотина (рис.2), образующая Киевское водохранилище шириной 20 км и площадью 922 км<sup>2</sup> с полным и полезным объемами 3,73 и 1,17 км<sup>3</sup> соответственно;



Рис.2

- судоходный однокамерный шлюз;
- земляные плотины и дамбы;
- ОРУ 110 кВ;
- комплекс сооружений расположенной в 2,5 км от Киевской ГЭС Киевской ГАЭС, в состав которой входят верхний водоем, водоприемник с подводящим каналом, 6 ниток напорных трубопроводов (рис.3), здание ГАЭС и другие сооружения.

Уникальность Киевской ГЭС – первой низконапорной ГЭС не только в Советском Союзе, но и во всем мире, –



Рис.3

состоит в применении на ней не вертикального, как в классической архитектуре ГЭС, а горизонтального расположения гидроагрегатов, что позволило построить здание станции, объединенное с водосливом, и, таким образом, отказаться от строительства отдельной водосливной плотины.

Особенностью этой станции является то, что она была построена из сборных железобетонных конструкций с использованием экспериментальных технологий состава бетона и включением золы-уноса ТЭЦ в гидротехнический бетон, что, как показали последующие исследования, вызывает разрушение бетонных конструкций изнутри, из-за чего затруднена оценка теперешнего технического состояния всего фронта плотины.

По легенде, при проектировании днепровского каскада в 1930-х годах И. Сталин потребовал, чтобы при разрушении плотины Киевской ГЭС в случае войны водяной вал уничтожил бы и все остальные плотины и мосты ниже по течению, создав таким образом естественную водную преграду. Эта легенда, а также опасения о техническом состоянии плотины станции, постоянно вызывают дискуссии об угрозе Киеву со стороны плотины этой станции.

Отечественный и мировой опыт эксплуатации земляных дамб и железобетонных плотин гидросооружений свидетельствуют о возможном их прорыве с многочисленными человеческими жертвами и огромными материальными потерями. Так, полвека тому назад, 13 марта 1961 г., Киев пережил страшнейшую Куреневскую трагедию, вызванную прорывом дамбы, перекрывавшей Бабий Яр, куда в течение 10 лет сливались отходы с Петровских кирпичных заводов. Тогда вал тяжелой жидкой грязи высотой в 14 метров (с 4-х этажный дом) за полтора часа снес на своем пути множество зданий, автомобилей, сотни людей... Причиной аварии стали допущенные ошибки в конструкции дамбы, которая в какой-то момент просто не справилась с нагрузкой.

Еще большими были трагические последствия случившейся три года тому назад, 17 августа 2009 г., аварии на крупнейшей в России Саяно-Шушенской ГЭС, где в результате внезапного разрушения одного из гидроагрегатов станции и поступления через шахту этого гидроагрегата под большим напором значительных объемов воды погибло 75 человек, а оборудованию и помещениям станции был нанесен значитель-

ный ущерб. Согласно официальному заключению парламентской комиссии РФ катастрофа на станции явилась «...следствием целого ряда причин технического, организационного и нормативного правового характера», большинство из которых «...носит системный многофакторный характер, включая недопустимо низкую ответственность эксплуатационного персонала»...

Совершенно очевидно, что эти и многие другие крупномасштабные аварии не могут не вызывать (и вызывают!) постоянную тревогу о техническом состоянии плотин Киевской и Каневской ГЭС и жаркие дискуссии об угрозе Киеву со стороны этих плотин в случае их прорыва.

Авария на одной из крупнейших в мире Саяно-Шушенской ГЭС заставила отечественных и международных специалистов серьезно задуматься над ситуацией на украинских ГЭС и ГАЭС. *Состояние четырех из шести станций Днепровского каскада вызывает определенную тревогу, причем самыми опасными считаются Киевская и Каневская ГЭС.* Так, по утверждению главы независимой международной группы ученых (НМГУ) по прогнозированию последствий катастроф В. Кредо, за рубежом наше водохранилище и Киевскую ГЭС считают одними из самых опасных объектов в мире, справедливо указывая, что с учетом столь большого количества находящейся в Киевском водохранилище воды (3,73 км<sup>3</sup>) структура Киевской ГЭС должна быть гораздо прочнее. Кроме того, специалисты НМГУ утверждают: дамба покрыта трещинами, которые увеличиваются из-за вибрации, что и может привести к катастрофе. Отечественные экологи с этой оценкой также согласны, так как ГЭС имеет большое количество трещин на дороге, которая пролегает над Киевской ГЭС; вызывают беспокойство и шлюзы, которые вряд ли справятся с аварийным сбросом воды. Поэтому, если запустить все 20 турбин ГЭС на полную мощность, то, по утверждению ряда экологов, перегорodka может не выдержать и плотина может быть прорвана. В связи с этим весьма тревожно прозвучало на одной из пресс-конференций в январе 2012 года выступление директора Киевского эколого-культурного центра В. Борейко, который заявил, что «при наличии малейшей трещины плотина Киевской ГЭС может развалиться. Руководство заявляет, что все хорошо. Когда мы спросили, есть ли на станции соответствующая техника, оказалось, что нет. Когда спросили, есть ли в штате водолазы – тоже нет. Получается, что дамбу никто не проверяет».

Насколько эти опасения обоснованы будет рассмотрено далее, а сейчас кратко охарактеризуем последствия возможного (хотя и крайне маловероятного) прорыва плотин Киевской и Каневской ГЭС.

*Основные последствия прорыва плотины Киевской ГЭС:*

- Водяной вал Днепра после прорыва плотины в течение 20 минут затопит Оболонь, Троещину, Подол, Русановку, Корчеватое и Харьковский массив в последовательности, указанной на карте Киева (рис.4); расчетное количество жертв – около 100 тыс. человек. В общей сложности может быть уничтожено 27 украинских городов, сотни сел и поселков, а также Запорожская АЭС.

- Территорию, по которой пройдет значительная часть из 500 млн. т высокорadioактивного ила, скопившегося на



Рис.4

дне Киевского моря за 26 лет после чернобыльской катастрофы, по заключению экологов, невозможно будет реабилитировать в течение тысячи лет...

Как вариант избавления от дамоклов меча киевской плотины уже несколько лет предлагается просто... спустить Киевское море и засыпать его терриконами из Кривого Рога и Донбасса. На проект потребуется «всего» 5 млрд. USD. Ну а пока будут отыскиваться необходимые средства, можно было бы, по утверждению экологов, опустить уровень воды в Киевском море хотя бы на 7 м. Они считают, что это никому не повредит, так как с экономической точки зрения весь цикл «Ирпень – Киевское море – плотина» «абсурден и абсолютно убыточен». Против этого категорически возражают проектировщики, инженеры, строители и, естественно, власти, которые в один голос заверяют: «Плотина Киевской ГЭС простоит тысячу лет!», «Киевляне могут спать спокойно».

Не меньшие опасения вызывает также техническое состояние фронта плотины Каневской ГЭС, построенной в 1972–1975 годах с использованием тех же, что и при строительстве Киевской ГЭС, экспериментальных технологий состава бетонов и включением золы-уноса ТЭЦ в гидротехнический бетон. К тому же, из-за отсутствия аварийных водосбросов, ограниченных водопропускных возможностей шлюзов и водосбросов сооружение Каневской ГЭС не удовлетворяет международным нормам гидрологической безопасности. С учетом того, что плотина этой станции сдерживает 2,5 км<sup>3</sup> воды Каневского водохранилища, это, безусловно, является серьезнейшим нарушением международных норм безопасности. Прорыв каневской плотины, по оценкам Института гидробиологии НАН Украины, приведет к выбросу на поверхность и перераспределению 5,3 млн. т песчаных и глинистых отложений, максимальная радиоактивность которых достигает 529 Бк/кг по радиоцезию и 24,6 Бк/кг по стронцию-90.

(Продолжение следует)