

УДК 621.3

**Гидроаккумулирующие электростанции**

Казак А.А.

Научные руководители – ассистент РАКЕВИЧ С.И., ст. препод. ПАВЛОВСКАЯ А.А.

Гидроэлектростанции с насосным хранилищем можно найти во всем мире. Спрос на хранение, связанный с распределенными системами использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности с ветряной и солнечной энергией, открыл рынок для установок нового поколения, которые можно построить в гораздо меньших масштабах, будучи экономически жизнеспособными и экологически более приемлемыми, чем большие растения.

В настоящее время в Южной Африке действуют две крупные схемы хранилищ для перекачиваемой воды (ГАЭС): Drakensburg и Ingula. Оба они находятся в диапазоне до гигаватта, и два поменьше, один принадлежит Eskom (Palmiet, мощность которого составляет 400 МВт), а другой (Steenbras, мощностью 180 МВт), который принадлежит Кейптауну. Метро. Термин ГАЭС обычно ассоциируется с крупной станцией, включающей туннели и огромные плотины, и на ее завершение уходят годы.

До настоящего времени целью ГАЭС было сетевое хранилище, то есть объемное хранение «избыточной» энергии в сети, чтобы сбалансировать потребности во время пиковых нагрузок. Рост возобновляемой энергии и переход к распределенной генерации, микросетям и выживанию участков энергосистемы создали спрос на более мелкие единицы хранения, чтобы либо сбалансировать объем производства, либо обеспечить безопасность поставок.

Таблица 1 – Требования к объему воды для различных напорных

| Напор | Объемное требование (м <sup>3</sup> ) | Приблизительные размеры резервуара |
|-------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1000  | 366                                   | 100 м 2 х 3,66 м                   |
| 500   | 732                                   | 200 м 2 х 3,66 м                   |
| 250   | 1464                                  | 400 м 2 х 3,66 м                   |
| 100   | 3660                                  | 1000 м 2 х 3,66 м                  |
| 50    | 7320                                  | 1000 м 2 х 7,32 м                  |
| 20    | 18 300                                | 2500 м 2 х 7,32 м                  |

Небольшие мощности в диапазоне десятков МВт или даже нескольких сотен МВт могут быть построены над землей и с использованием существующей инфраструктуры. Такие объекты, как заброшенные шахты, карьеры или даже высотные здания, были исследованы в качестве средств обеспечения необходимого хранения, и в настоящее время в мире осуществляется несколько проектов. Небольшие хранилища для перекачиваемой воды были успешно объединены с ветровыми электростанциями в островных приложениях, но в настоящее время рассматриваются и материковые районы.

В дополнение к сетевому хранилищу в сотни МВт, используемому для балансирования всей выработки ветра в регионе, небольшие системы ГАЭС рассматриваются в качестве дополнительного хранилища для ветряных и солнечных ферм размером от 15 до 300 МВт. Требуемый объем хранения зависит от режима работы станции, но, как правило, небольшие установки ГАЭС имеют размеры от 10 до 300 МВт при хранении в диапазоне от одного до четырех часов при полной мощности.

Существует много неправильных представлений о насосном хранилище и гидроэнергетике, и ГАЭС часто предлагается в качестве решения без учета вовлеченных факторов. Будет хорошо начать с некоторых основ. Важны два вопроса, а именно потенциальная энергия и мощность.

**Потенциальная энергия**

Потенциальная энергия, запасенная в водоеме на возвышенности, определяется как:

$$E_p = m * g * h \quad (1)$$

где

$E_p$  - потенциальная энергия в джоулях

$m$  - масса воды в кг

$g$  - гравитационная постоянная =  $9,81 \text{ м / с}^2$

$h$  - высота (напор) воды в м.

Используя эту формулу, мы видим, что  $\text{м}^3$  (1000 кг) воды с напором 1000 м имеют потенциальную энергию 2725 кВтч.

Должно быть совершенно очевидно, что гидроэнергетика, особенно ГАЭС, требует как большого количества воды, так и высокого напора. Для выработки 1 МВтч энергии с помощью вышеуказанной системы потребуется  $366 \text{ м}^3$  воды, что примерно эквивалентно водохранилищу с площадью поверхности  $100 \text{ м}^2$  и глубиной 3,66 м.

Малые ГАЭС обычно не связаны с высоким напором воды, и ясно, что необходимый объем воды может быть ограничивающим фактором для небольших систем. Там, где ожидаются искусственные верхние резервуары, это может быть ограничивающим фактором.

Мощность, вырабатываемая ГАЭС, будет зависеть от скорости потока и напора воды.

Для гидроэнергетической системы на основе реки или плотины скорость потока будет определяться скоростью потока, доступного из питающей реки. Для системы ГАЭС расход будет определяться требуемой мощностью генерации и типом турбины. Размеры труб будут определяться требуемым расходом.

Скорость потока будет ограничена напором и размером трубы. Это серьезно ограничивает использование некоторой существующей инфраструктуры, например шахтных стволов, поскольку плотина на уровне земли будет значительной по размеру, а подземное хранилище будет состоять из туннелей, которые могут потребовать герметизации.

### **Технологии**

Требования к технологии малого ГАЭС значительно проще, чем у больших реверсивных насосных турбин, используемых в больших схемах, и во многих случаях может быть использована обратная технология насоса. В одной конфигурации используются два насоса в двойной конфигурации.

Такая конфигурация имеет то преимущество, что скорости накачки и скорости генерации могут различаться, что невозможно при фиксированной или даже с переменной скоростью насоса / турбины. Скорость накачки может быть скорректирована в соответствии с количеством доступной запасной энергии.

Преимущество использования существующей инфраструктуры состоит в том, что используется земля, которая уже деградировала и не может быть восстановлена. Строительство ГАЭС на деградированных землях обычно не приведет к дальнейшей деградации и даже может привести к улучшению. Кроме того, строительство соответствующей солнечной электростанции на старой шахте также не приведет к деградации. Таким образом, есть и экологические преимущества. Кроме того, ожидается, что затраты на строительство будут намного ниже, чем традиционные ГАЭС, так как большая часть земляных работ уже выполнена

### **Заброшенные шахты**

Приблизительно 6000 заброшенных шахт в Южной Африке - это вариант, который заслуживает рассмотрения. Некоторые из них имеют глубины более 500 м, и почти у всех есть накопленная вода в подземных выработках. Использование заброшенных шахтных стволов в качестве водоёма ГАЭС регулярно предлагается при обсуждении накопления энергии, но насколько мне известно, детальное исследование не проводилось. Самая большая проблема - это резервуар в шахте, так как для хранения, скажем, 20 МВтч при глубине шахты 500 м потребуется, возможно, 20 000 м<sup>3</sup> хранения воды с учетом эффективности. В некоторых случаях шахтный отвал или шламовая плотина могут рассматриваться как существующая инфраструктура, на которой будет основано водохранилище, но детальное исследование не проводилось.

### **Карьеры**

Проект Kidston в Австралии является типичным примером карьера, планируемого для повторного использования в качестве ГАЭС. Как и предполагалось, планировалось

разработать гидроэнергетический проект накачки мощностью 330 МВт на старом золотодобывающем руднике Kidston, предусматривающий передачу воды между двумя карьерами на разных высотах.

Queensland является хорошим местом для разработки такого проекта, поскольку пиковая мощность в основном обеспечивается газотурбинными генераторами. Ожидается существенный рост цен на газ, что делает проект финансово интересным

#### **Заброшенные подземные шахты**

В разных странах существует несколько предложений использовать подземные шахты в качестве основы для ГАЭС. Среди более изобретательного использования существующие шахтные полости как для верхнего, так и для нижнего резервуаров, таким образом устраняя необходимость в новых резервуарах над уровнем земли. Это позволяет полностью сохранить проект с насосным хранилищем в существующих полостях шахты.

ГАЭС рассчитан на выработку около 200 МВт с емкостью хранения 4 часа. В верхнем резервуаре планируется вместить 600 000 м<sup>3</sup> воды, а глубина шахты около 600 м. Горнопромышленный комплекс состоит из 26 км горизонтальных стволов, которые будут использоваться в качестве нижнего резервуара. Конструкция шахты имеет дополнительное преимущество благодаря воздушным шахтам, которые будут выпускать горячий воздух по мере заполнения нижнего резервуара, и тепло будет извлекаться с использованием теплообменников.

#### **Малые прибрежные системы ГАЭС**

Малые водоёмы довольно часто встречаются рядом с крупными реками, но их вместимость ограничена, во-первых, наличием напора и земли для верхнего водохранилища.

#### **Резервуар для перекачки воды**

Концепция, разработанная Австралийским национальным университетом и основанная на ГАЭС небольшого масштаба, представляет собой пары водохранилищ, обычно по 10 га каждый, разделенные перепадом высот от 300 до 700 м, в холмистой местности или на рудниках и вдали от рек, и соединены трубой с насосом / турбиной. Вода циркулирует между верхним и нижним резервуарами в замкнутом контуре для накопления и выработки энергии.

По-видимому, требуется очень мало воды по сравнению с обычными электростанциями на ископаемом топливе. Предполагаемые станции могут иметь мощность от 50 до 500 МВт и время хранения от 4 до 20 часов.

Проблемы с начальным заполнением и компенсацией за испарение и утечку. Утверждается, что такая сеть малых ГАЭС способна обеспечить достаточную емкость хранилища, чтобы обеспечить работу на 100% возобновляемых источников энергии.

#### **Комбинированная ветроэнергетическая инфраструктура ГАЭС**

Сочетает в себе идею объединения энергии ветра с аккумулирующей гидроэлектростанцией в проекте Gaildorf, расположенном в Германии на возвышенности Limburger Berge.

Проект будет включать в себя четыре новые турбины мощностью 3,4 МВт и насосную гидроэлектростанцию мощностью 16 МВт, поставляемую по отдельному соглашению. Германия хранит воду для гидроэлектростанций внутри башен ветряных турбин, что позволяет башням действовать как массивные батареи после ветра перестает дуть. Это первый важный пример физической интеграции двух технологий для обеспечения надежной возобновляемой энергии.

Проект с четырьмя турбинами накапливает энергию, закачивая воду примерно на 35 м вверх внутри самой турбины. Бассейны вокруг каждой базы будут хранить еще 45 м<sup>3</sup>. Когда ветер прекращается, вода стекает вниз для выработки гидроэлектроэнергии. Искусственное озеро в долине внизу собирает воду, пока турбины снова не накачают воду. Резервуары соединены полиэтиленовой заглушкой. Электростанция с насосным хранилищем имеет стандартную модульную конструкцию.

Основание каждой ветряной турбины должно использоваться в качестве резервуара для воды, увеличивая высоту башни на 40 м и увеличивая высоту наконечника до рекордных 246,5

м. Нижний резервуар для насосного хранилища находится в соседней долине, на 200 м ниже ветряных турбин. По словам Дженерал Электрик, ветряная и гидроэлектростанция сможет обеспечить балансирующую мощность для быстрой стабилизации сети. Это стало бы дополнительным источником доходов помимо обычного участия в оптовом рынке электроэнергии.

В периоды пикового спроса и высоких цен на электроэнергию гидроэлектростанция будет работать в режиме производства. Когда спрос и цены низкие, гидроэлектростанция будет работать в режиме насоса, перекачивая и сохраняя воду в верхнем резервуаре для дальнейшего использования. Конечным эффектом будет использование накопленной гидроэнергетики для уравнивания прерывистой природы энергии ветра за счет оптимального использования энергии в разное время дня.

В ветропарке будут представлены самые высокие турбины в мире на 246,5 м. Генераторы ветряных турбин будут располагаться на высоте ступицы 178 м, а нижние 40 м каждой башни и ее окрестности будут использоваться в качестве активных резервуаров для хранения энергии. На своей полной мощности он будет производить 13,6 МВт вместе с еще 16 МВт от гидроэлектростанции.

Турбины планируется ввести в эксплуатацию к концу 2017 года, а полная электростанция в Gaildorf, как ожидается, будет введена в эксплуатацию к концу 2018 года. Будет ли коммерческий проект пилотным, пока неизвестно. Немецкие насосные хранилища изо всех сил пытаются прибыльно работать, и цены на балансирующем рынке падают, поскольку все больше игроков выходят на рынок.