

УДК 621.311

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКРЫТЫХ КАРЬЕРОВ ДЛЯ
ГИДРОАККУМУЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
USE OF CLOSED QUARRIES FOR HYDRO STORAGE
OF ELECTRIC ENERGY**

А.А. Мильяненко, Н.Е. Чирич

Научные руководители – Т.А. Петровская, старший преподаватель,
Г.Г. Соколовская, преподаватель физики.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь,
petrovskaya@bntu.by

Supervisor– T. Petrovskaya, Senior Lecturer, G. Sokolovskaya, physics teacher
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной работе рассмотрено применение закрытых карьеров вместо новых водохранилищ для постройки гидроаккумулирующей электростанции, рассмотрены различные места для постройки данного объекта на территории Республики Беларусь. В практической части произведен ряд расчётов различных характеристик ГАЭС, созданы калькулятор и сайт по данной теме.*

***Abstract:** This paper examines the use of closed quarries instead of new reservoirs for the construction of a pumped storage power station and considers various places for the construction of this facility on the territory of the Republic of Belarus. In the practical part, a number of calculations of various characteristics of pumped storage power plants were made, a calculator and a website on this topic were created.*

***Ключевые слова:** Гидроаккумулирующая электростанция, закрытый карьер, график энергетической нагрузки, мощность, прибыль.*

***Key words:** Pumped storage power plant, closed quarry, energy load schedule, power, profit.*

Введение

Мы живем в мире, где не существует стран с равномерным суточным потреблением энергии. В любом государстве днем появляются пики потребления, а ночью потребление, наоборот, падает. Из-за этого сложнее управлять энергетической системой, особенно возобновляемыми источниками энергии, так как в зависимости от погоды их эффективность может падать. Но использование аккумуляторов не является выходом, так как они не могут запасать большое количество энергии, их невозможно утилизировать и при производстве выделяется большое количество вредных веществ. Для увеличения стабильности энергетики государств можно использовать гидроаккумулирующие электростанции они помогут уровнять энергопотребление в странах и обеспечить стабильную работу энергосистемы.

Основная часть

Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) — гидроэлектростанция, состоящая из здания ГАЭС (машинного зала), верхнего и нижнего бьефов, и

используемая для выравнивания суточной неоднородности графика электрической нагрузки.

Принцип работы основан на попеременной перекачке воды между верхним и нижним резервуаром. Вода с нижнего бьефа в ночное время суток, когда нет большой нагрузки в энергосистеме, насосами (отдельными или совмещенными с турбинами) закачивается в верхний объём. А утром и вечером в момент пиков, вода сливается в низ, раскручивая турбины и вырабатывая электроэнергию.

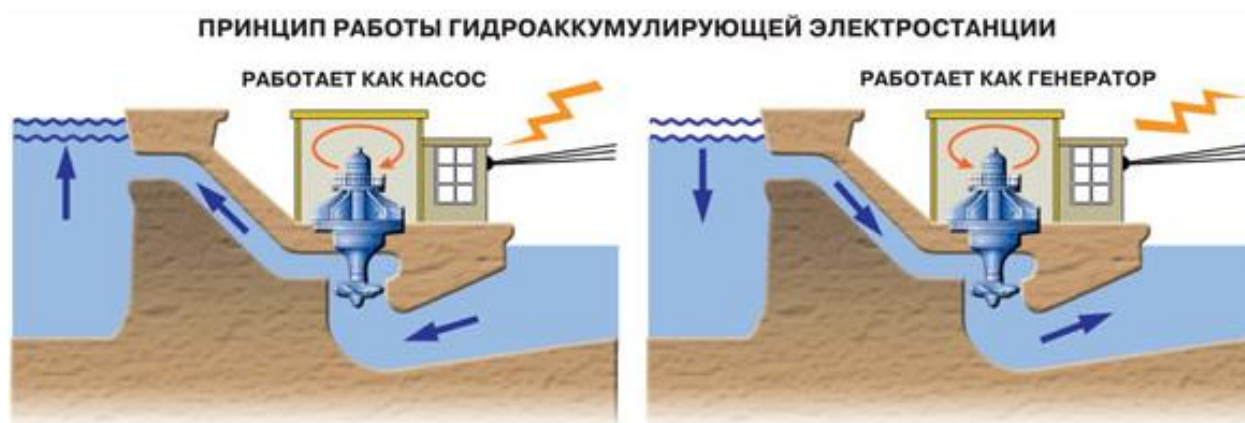


Рисунок 1 – Принцип работы ГАЭС

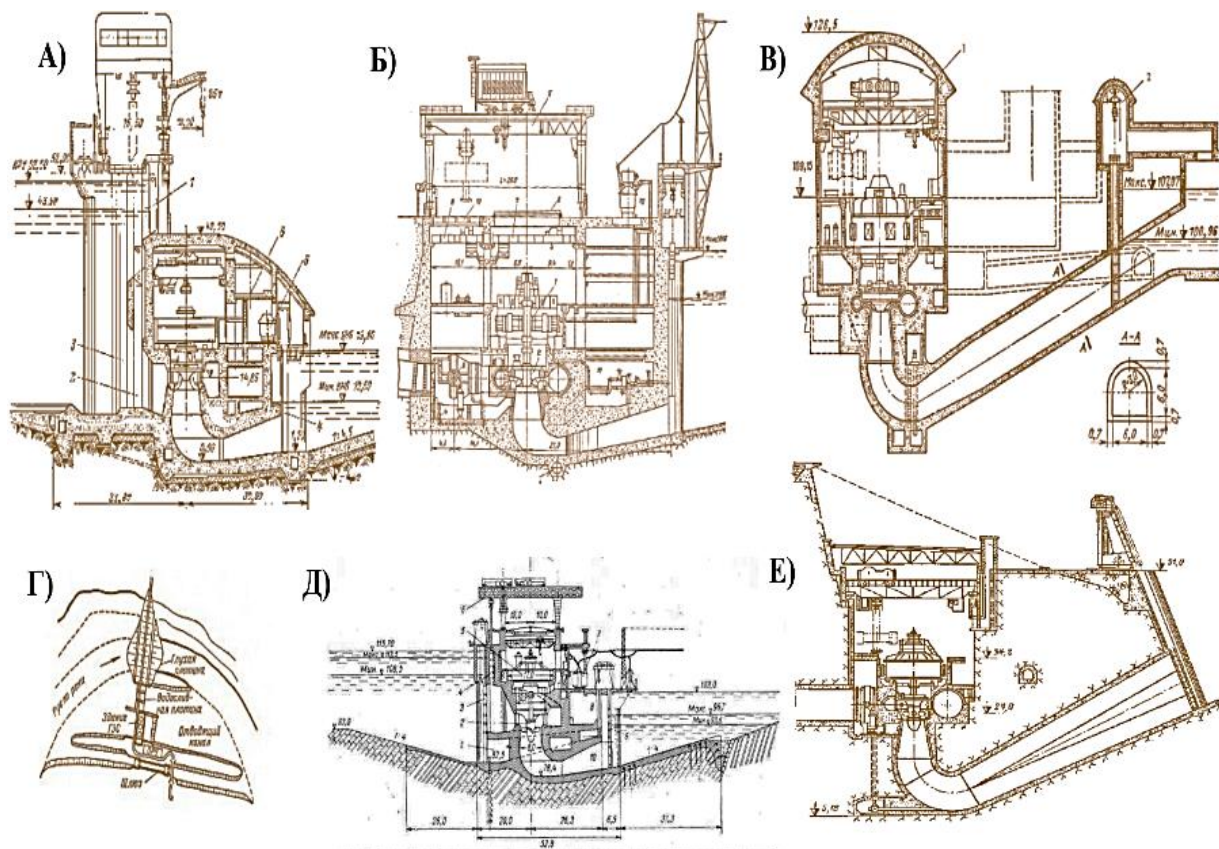
Существует три разновидности ГАЭС: ГАЭС с плотинной схемой, деривационные ГАЭС, ГАЭС с подземными бассейнами.

Здания ГАЭС выполняются по той же схеме, что и здания ГЭС: русловыми, приплотинными, береговыми, открытыми, подземными и полуподземными, но имеют отличительные особенности, связанные с составом и типом основного гидросилового оборудования, которое может выполняться по двухмашинной, трехмашинной и четырехмашинной схемам. [1]

Как ранее было сказано обратимые гидроагрегаты используются для ГАЭС, так как они могут работать в режиме насоса и турбины. Тип агрегата зависит от напора на ГАЭС:

- При низком напоре до 15 метров можно применять горизонтальные капсульные обратимые гидроагрегаты.
- При напорах до 150 м возможно использование диагональных насосотурбин.
- При напорах от 60 до 600–700 м наиболее широкое распространение в мире получили вертикальные радиально-осевые насосотурбины. [6]

Мы рассмотрели различные площадки с закрытыми карьерами на территории всей страны для постройки ГАЭС. Нами были изучены методы постройки гидроаккумулирующих станций по всему миру, и мы пришли к выводу, что самым лучшим решением для нас будет деривационная ГАЭС.



А – русловое; Б – приплотинное; В – подземное; Г – береговое;
 Д – открытое; Е – полуподземное
 Рисунок 2 – Типы зданий ГАЭС

У нас было несколько критериев для выбора площадки:

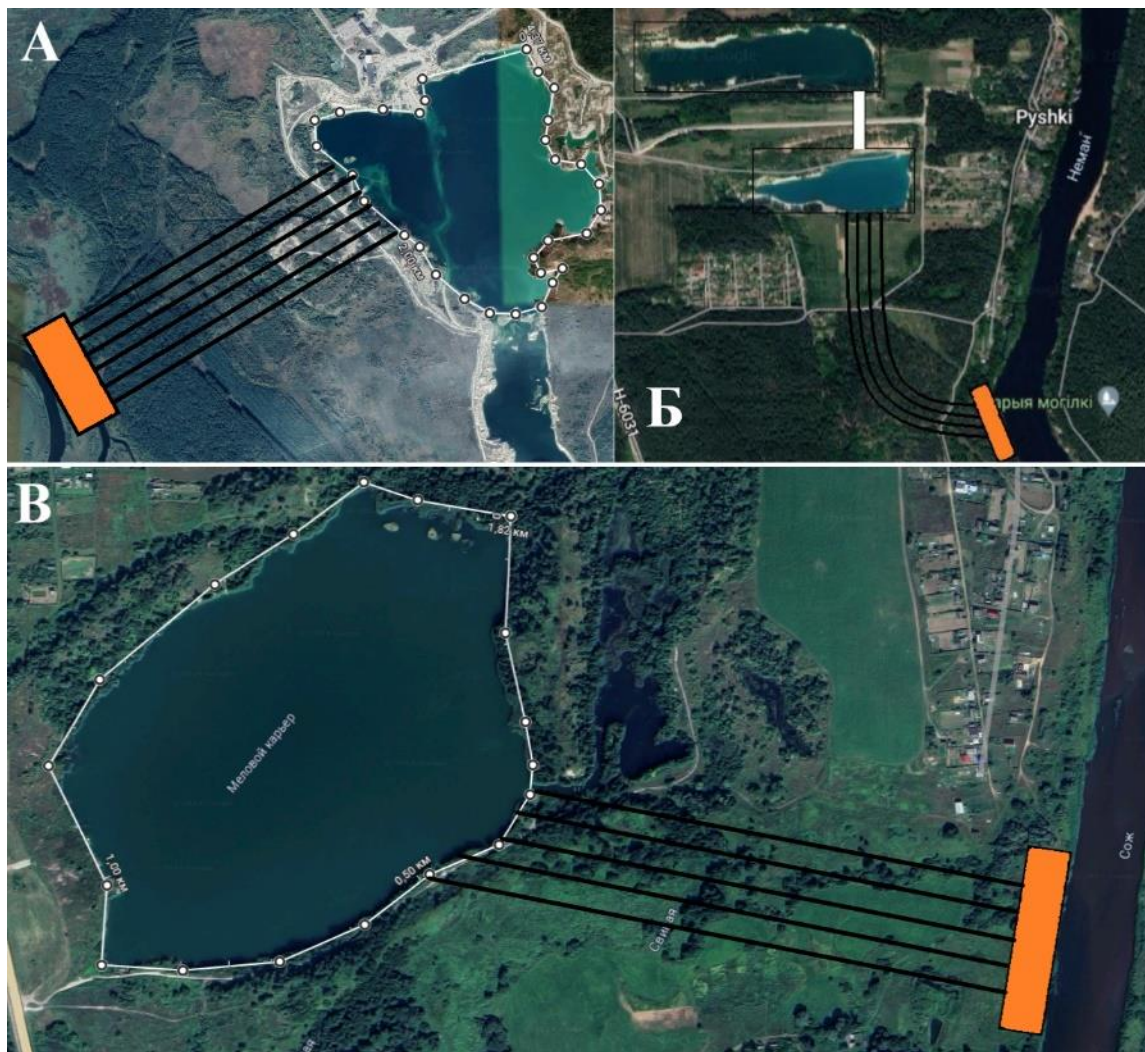
- Близость с водоёмом (рекой или озером) для использования в качестве нижнего водоёма, и чтобы не тянуть далеко водоводы;
- Уклон местности для того, чтобы создавался напор и ГАЭС вырабатывала электроэнергию;
- Достаточный объём карьера, чтобы ГАЭС запасала большое количество электроэнергии.

После тщательного изучения карты Беларуси было найдено несколько перспективных площадок для постройки:

- Площадка возле деревни Пышки, Гродненского района;
- Площадка возле деревень Глушнево и Зуи, Кричевского района;
- Площадка возле деревни Каменка, Кричевского района.

Мы рассчитали площадь данных водоёмов и нашли информацию про их глубину, благодаря чему мы смогли высчитать объём карьеров.

Далее мы рассмотрим каждый карьер по отдельности и более тщательно, рассчитаем характеристики перспективных ГАЭС.



А – Площадка возле деревни Каменка, Кричевского района; Б – Площадка возле деревни Пышки, Гродненского района; В – Площадка возле деревень Глушнево и Зуи, Кричевского района
Рисунок 3 – Карта расположения станций

Таблица 1 – Сравнительная таблица характеристик ГАЭС по нашему проекту

	Площадка у деревни Пышки	Площадка у деревень Зуи и Глушнево	Площадка у деревни Каменка
Объём верхнего бьефа, м ³	6223739, 2	7700000	22500000
Напор в турбинном режиме, м	38	24	35
Напор в насосном режиме, м	42	26	37
Скорость воды в турбинном режиме, м ³ /с	288,136	427,778	892
Время разрядки, с	21600	18000	22500
Мощность в турбинном режиме, МВт	107,411	100,716	306,268
Скорость воды в насосном режиме, м ³ /с	216,102	305,556	694,4
Время зарядки, с	28800	25200	32400
Мощность в насосном режиме, МВт	89,038	77,935	252,046
Теоретический КПД, %	90,48	92,3	84,3
Реальный КПД, %	75–80	77–82	69–74

Мы изучили цены на электроэнергию в различные периоды времени (для расчётов мы использовали дифференцированный тариф по трем временным периодам) и вычислили какую прибыль будет получать предприятие ГАЭС за сутки.

Рассмотрим цены на электроэнергию в различные часы:

Цена электричества с 23:00 до 6:00 – 0,1254 белорусских рубля за 1 кВт·ч;

Цена электричества с 17:00 до 23:00 – 0,3762 белорусских рубля за 1 кВт·ч;

Цена электричества в остальное время суток – 0,1463 белорусских рубля за 1 кВт·ч.[3]

Таблица 2 – Сравнительная таблица прибыли ГАЭС по нашему проекту

	Площадка у деревни Пышки	Площадка у деревень Зуи и Глушнево	Площадка у деревни Каменка
Период зарядки	С 23:00 до 7:00	С 23:00 до 6:00	С 23:00 до 8:00
Зарядка, бел. руб	91183,8158	68411,343	294994,638
Период разрядки	С 17:00 до 23:00	С 17:00 до 22:00	С 16:00 до 23:00
Разрядка, бел. руб	242448,109	189446,796	736115,138
Потери при разрядке, бел. руб	55763,0651	39783,8272	213473,39
Реальная разрядка, бел. руб	186685,044	150262,969	522641,748
Прибыль, бел. руб	95501,2282	81851,626	227647,11

Мы рассчитали прибыль трех ГАЭС и пришли к выводу, что данные проекты рентабельные и принесут дополнительную прибыль и помогут немного выровнять энергетический баланс страны, несмотря на потери при аккумуляции.

Нами был создан калькулятор на базе Microsoft Excel в котором можно теоретически рассчитать различные характеристики ГАЭС, введя всего 5 параметров. Данный калькулятор может помочь в расчётах проектирования новых ГАЭС.

Теоритический расчёт основных параметров ГАЭС					
Введите начальные коэффициенты: Vв.б., Н1, Н2, tраз, tзар					
Vв.б., м3	Н1, м	Н2, м	tраз, ч	tзар, ч	
7000000	40	80	7	9	
Ответ:	η= 90,48%		tраз, с	tзар, с	
			25200	32400	
	Рг= 103,55 МВт				
	Рн= 89,02 МВт				
Расчёты					
Qt	277,77778				
Рг	103550000				
Нг	38				
Qн	216,04938				
Рн	89016667				
Нн	42				
η	90,48%				

Рисунок 4 – Калькулятор расчёта ГАЭС

С помощью сервиса «Сайты Google» мы сделали свой сайт, на котором описан принцип работы ГАЭС, их виды, наши проекты и ссылка на наш калькулятор для расчёта теоретических характеристик ГАЭС. Был создан логотип для нашего сайта.



Рисунок 5 – Общий вид сайта

Мы рассмотрели данные энергопотребления и выдачи электроэнергии в сеть Республики Беларусь и составили график данных параметров до ввода наших ГАЭС и после.

Как видно, благодаря ГАЭС смогли немного стабилизировать потребление ночью, а также смягчить нагрузку на ТЭЦ в вечерний пик, за счёт потребления энергии с 23:00 до 6:00 электроэнергии и отдачи с 17:00 до 23:00.

Также это помогает сэкономить немного топлива на ТЭЦ за счёт уменьшения отдачи электроэнергии в вечерний пик.

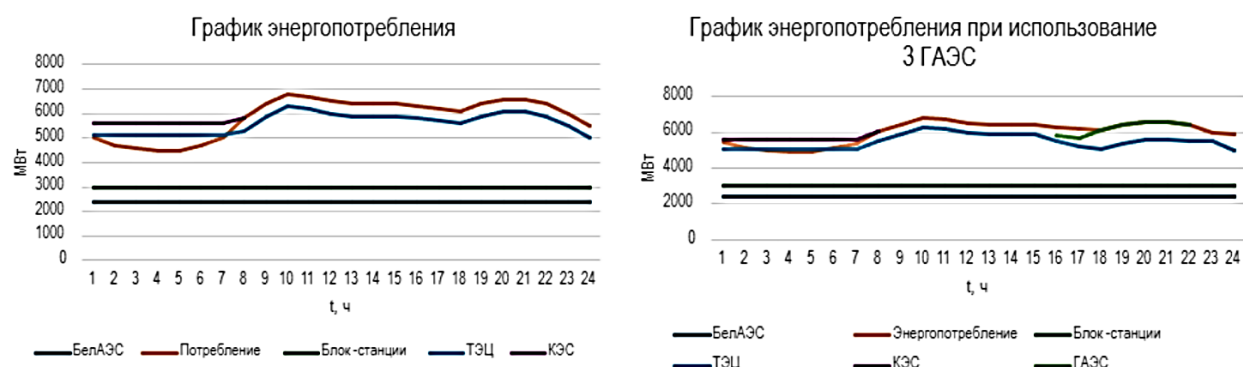


Рисунок 6 – Графики потребления и производства электроэнергии до и после ввода ГАЭС

Заключение

Как доказано выше проекты с ГАЭС на месте закрытых карьеров имеют ряд неоспоримых достоинств. Они характеризуются способностью запасать

большое количество электроэнергии и отдавать её в течение нескольких часов с постоянной мощностью, при не самом плохом КПД в 70–80%, что при получении энергии по ночному тарифу и отдаче во время пиков нивелируется ценами на электроэнергию. Также использование закрытых меловых карьеров поможет избежать несчастные случаи из-за любителей поплавать в данных водоёмах, так как они будут под охраной.

Использование ГАЭС является перспективной технологией, которая поможет Беларуси тратить немного меньше топлива для ТЭЦ, так как с них снимут часть нагрузки, которую будут отдавать ГАЭС, а ночью они будут потреблять энергию, чтобы она не уходила впустую. Данные станции помогут выровнять график энергопотребления в Беларуси и заново использовать карьеры, чтобы не рекультивировать их.

Литература

1. Особенности сооружений ГАЭС [Электронный ресурс]: Режим доступа: - <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/section-4/4-4/>. — Дата доступа: 21.04.2024
2. Гидротурбины и обратимые гидромашины [Электронный ресурс]: Режим доступа: - <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/sectoin-5/5-2/>. — Дата доступа: 21.04.2024
3. Тарифы на электрическую и тепловую энергию [Электронный ресурс]: Режим доступа: - <https://www.energo.grodno.by/tarify-na-elektricheskuyu-i-teplovuyu-energiyu/>. — Дата доступа: 21.04.2024