

ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ НА БЕРЕГУ МЕРТВОГО МОРЯ

PUMPED STORAGE POWER PLANT ON THE SHORE OF THE DEAD SEA

Брилон Александр

М-р., Иерусалим, Израиль, Почётный энергетик СССР.
Email: brilon.a@yandex.ru, тел.: +(972)039096815

Брилон Семен

М-р., Иерусалим, Израиль.
Email: shimon.brilon@gmail.com тел.: +(972)547399701

Качан Анатолий

Ph.D., Иерусалим, Израиль, Нетанийский филиал Израильской независимой академии развития науки
Email: kachanai1936@gmail.com, тел.: +(972) 25367332

Розенберг Семен

Ph.D., Лод, Израиль, Научно-техническая ассоциация «Экологический императив»,
Нетанийский филиал Израильской независимой академии развития науки
Email: semyon.rozenberg@gmail.com, тел. +(972)524854666

Brilon Alexander

М-р., Jerusalem, Israel, Honorary Power Engineer of the USSR,
Email: kachanai1936@gmail.com, tel.: +(972) 039096815

Brilon Shimon

М-р., Jerusalem, Israel,
Email: shimon.brilon@gmail.comб tel.:+(972) 547399701

Kachan Anatoly

Ph.D. Jerusalem, Israel, Laureate of the Prize of the Council of Ministers of the USSR,
Netanya Branch of Israeli Independent Academy of Development of Science
E-mail: kachanai1936@gmail.com, tel.: +(972) 25367332

Rosenberg Simyon

Ph.D., Lod, Israel, Scientific and Technical Association "Ecological imperative", Netanya Branch of
Israeli Independent Academy of Development of Science
Email: semyon.rozenberg@gmail.com, tel.: +(972)524854666

Аннотация

Авторы предлагают построить гидроаккумулирующий комплекс на берегу Мертвого моря, включающий гидроаккумулирующую электростанцию (ГАЭС), верхнее и нижнее водохранилища и турбинный водовод.

Ключевые слова: гидроаккумулирующий комплекс, гидроаккумулирующая электростанция,

ГАЭС, верхнее и нижнее водохранилища, дамба, турбинный водовод, замкнутый водный контур, тепловые электростанции, стоимость энергии, Мертвое море.

Annotation

The authors propose building on the Dead Sea a pumped storage power plant (PSP), an upper and lower reservoir, and a turbine conduit.

Key words: pumped storage complex, pumped storage power station, PSP, upper and lower reservoirs, dam, turbine conduit, closed water circuit, thermal power plants, energy cost, Dead Sea.

Цель предложения

Технический смысл предлагаемого строительства.

ГАЭС комплекса в ночное время, работая в насосном режиме, перекачивает воду из нижнего водохранилища в верхнее, а в дневное время, работая в режиме генераторном, отдает электроэнергию в электросеть страны. Суточное выравнивание мощности существующих тепловых электростанций (ТЭС) существенно повысит их надежность, а также позволит дать дополнительную мощность в сеть в дневное время. Около 80% ремонтных и аварийных остановок ТЭС вызвано изменением режима их работы.

Экономический смысл.

Гидроаккумулирующий комплекс способен вырабатывать наиболее ценную пиковую и аварийную энергию. По существу, с помощью ГАЭС, дешевая ночная электроэнергия переносится в дневное время, когда стоимость ее заметно выше. Это принесет прибыль, повысит уровень энергоснабжения страны и повысит ее обороноспособность – за счет выработки аварийной энергии.

Существующее положение

ГАЭС – устоявшаяся технология, существующая более века. Во многих странах построено множество ГАЭС мощностью в десятки, сотни и тысячи МВт. Например, согласно Отчету о состоянии рынка гидроэнергетики США за 2017 год, к концу 2016 года на определенном этапе разработки было 38 проектов ГАЭС, 32 из которых находились в процессе завершения технико-экономических обоснований [1].

ГАЭС считается самой зрелой технологией накопления энергии; большинство проектов берут свое начало с 1970-х и 1980-х годов, а концепция возникла задолго до того. На международном уровне в рабочем состоянии находятся мощности более 170 ГВт. В Израиле тоже опубликовано несколько предложений, предусматривающих строительство ГАЭС, например, [6, 7, 8]. Однако, ни один проект не реализуется.

В 2020 году суммарная мощность электростанций в Израиле превышает 13000 МВт.

Типичный график суточного изменения потребляемой мощности (за 2010 год) показан на Рис. 1. В часы пик, как показывает график, в работу включаются газотурбинные станции, а в ночные часы мощность тепловых станций приходится снижать [2].

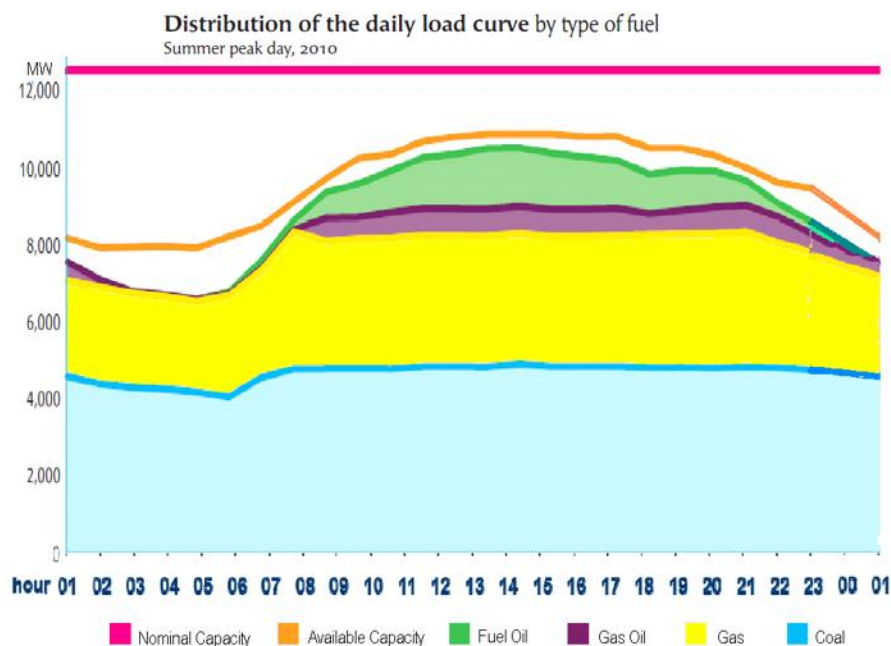


Рис.1. График суточного изменения потребляемой мощности в Израиле (лето 2010) [2].

Описание предложения

Предлагается использовать уникальный рельеф западного берега северного бассейна Мертвого моря для сооружения гидроаккумулирующего комплекса. Комплекс имеет два водохранилища – верхнее на пустынном плато над Мертвым морем, а нижнее вблизи побережья моря, но не на море.

Создание гидроаккумулирующего комплекса требуемой мощности определяется, в данном случае, возможностью создания верхнего водохранилища, удовлетворяющего следующим требованиям.

- Расположением верхнего водохранилища возможно ближе к берегу северного бассейна Мертвого моря – с целью укорочения турбинного водовода.
- Объемом призмы срабатывания этого водохранилища, равного, по приблизительным расчетам, 10 млн. м³.
- Перепад уровня верхнего водохранилища с нижним водохранилищем около 640 м.
- Возможно малым объемом дамб водохранилища – с целью удешевления его строительства.

Ниже (рис.2) показано верхнее водохранилище с профилем грунта вблизи береговой линии. Черной линией показана дамба (высокая ее часть длиной 2,2 км, средней высотой 13 м и низкая часть дамбы длиной 1,9 км и средней высотой 5м). На рисунке затемненным тоном показаны размеры водохранилища после выработки призмы срабатывания высотой 5 м. Справа от водохранилища коричневым цветом показан турбинный водовод, соединяющий верхнее водохранилище с ГАЭС. Турбинный водовод состоит из водозаборной части (вверху), собственно высоконапорного турбинного водовода (на склоне к Мертвому морю) и водосброса к нижнему водохранилищу (собственно, к участку на берегу моря, отделенного от моря дамбой). ГАЭС имеет замкнутый водный контур и не использует воду Мертвого моря.

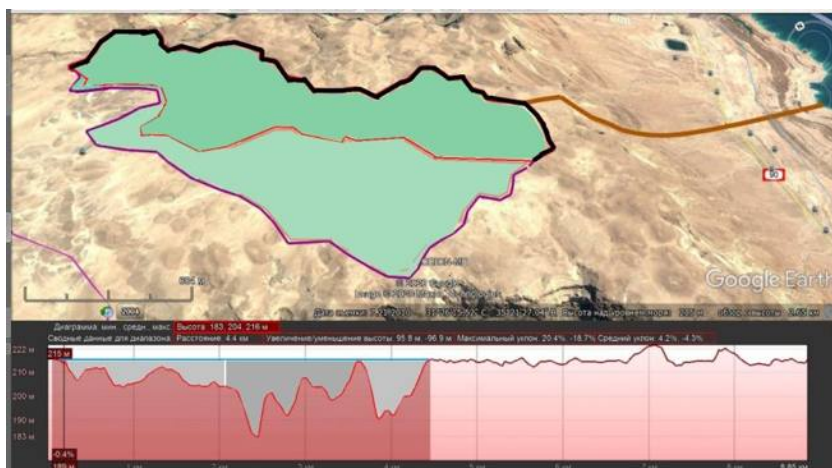


Рис. 2. Верхнее водохранилище [Google Earth Pro].

Следует отметить, что авторам удалось найти в весьма стесненных условиях рельефа местности место строительства нужного по размерам верхнего водохранилища, пожалуй, единственного на плато, прилегающего к Мертвому морю.

На рис. 3 показан план ГАЭС, на рис. 4 – общий вид верхнего водохранилища, турбинного водовода, ГАЭС и нижнего водохранилища.

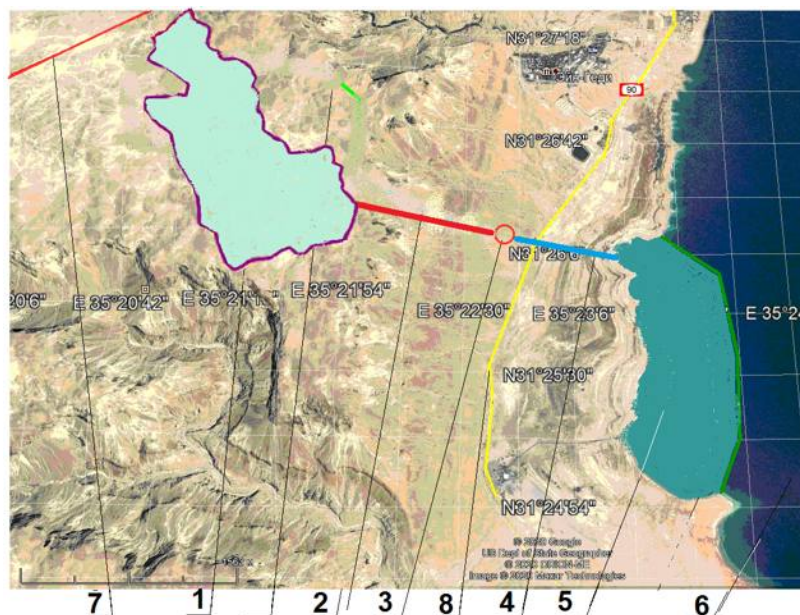


Рис.3. Гидроаккумулирующий комплекс. [Google Earth Pro].

1 – Верхнее водохранилище (на отметке плюс 218 м). 2 – Турбинный водовод (длина 3.5 км, в том числе высоконапорный участок 1 км). 3 – ГАЭС. 4 – Водозаборный участок водовода 2 (длина 1 км). 5 – Нижнее водохранилище (на отметке минус 425 м). 6 - Северный бассейн Мертвого моря. 7 – Граница Палестинской автономии. 8 - Дорога № 90.

Ниже, на рис. 4, показан общий вид комплекса.



Рис. 4. [Google Earth Pro].

Поскольку предлагаемый комплекс работает в замкнутом водном режиме, нижнее водохранилище отделено от северного участка Мертвого моря дамбой по дну моря. Смысл такого выделения – в постепенном сборе в нижнем водохранилище дождевых осадков с площади водосбора ущелья, примыкающему к нижнему водохранилищу. Со временем, гидроэнергетический комплекс будет использовать существенно опресненную воду. Это приведет и к опреснению всей воды верхнего водохранилища, что в будущем может сделать его пригодным для хозяйственной деятельности.

Водозабор ГАЭС заглублен ниже нижнего уровня нижнего водохранилища. Турбинный водовод выполнен в виде параллельных труб диаметром 3...4 м. Спадающая часть водовода - собственно турбинный водовод – высоконапорная, способная выдерживать напор воды около 700 м.

Режим работы ГАЭС

На рис. 1 и 5 показан график суточного изменения потребляемой мощности в Израиле. Максимальная мощность $P_{max} = 10930$ МВт и минимальная $P_{min} = 6670$ МВт. На рис. 4 показан предлагаемый график, в котором имеем стабильную мощность тепловых станций P_{const} . Когда потребление меньше, чем P_{const} , гидроагрегаты накапливают энергию – перекачивают воду в верхний резервуар.

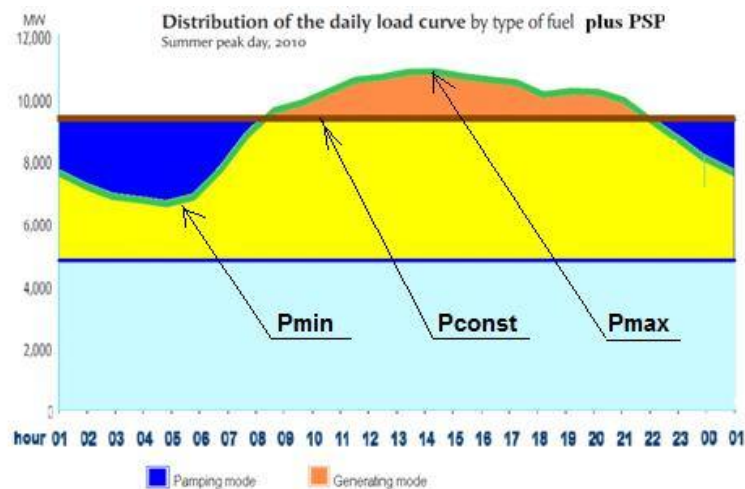


Рис. 5. График суточного изменения потребляемой мощности при взаимодействии ГАЭС с электроэнергетической сетью страны.

Когда потребление больше, чем P_{const} , гидроагрегаты вырабатывают энергию – используют воду верхнего водохранилища. Время работы в насосном режиме составляет $T_p = 10$ часов (из графика на рис. 5), время работы в генераторном режиме составляет $T_g = 14$ часов. На основании данных графика рассчитаем стабильную мощность тепловых станций P_{const} : для расчета имеем: $P = P_{max} - P_{min} = 4260$ MW. Принимаем КПД в насосном и генераторном режимах $k = 0.87$.

Энергия в насосном (E_p) и генераторном (E_g) режимах (принимаем, что графики мощности в первом приближении соответствуют параболе):

$$E_p = 2/3 \times P_p \times T_p \times k, \quad E_g = 2/3 \times P_g \times T_g / k.$$

Из условия $E_p = E_g$ имеем $P_p \times T_p \times k = P_g \times T_g / k$.

Опуская промежуточные выкладки, имеем: $P_p = 2770$ MW, $P_g = 1490$ MW.

Максимальный секундный расход воды в турбинах: $P_{gmax} = 1497$ MW, $P_g = g \times q \times H \times k$,
 $q = P_g / (g \times H) \times k = 1497000 / 9.81 \times 640 \times 0.87 = 274$ м³/с,

Максимальный секундный расход воды в насосах: $P_{pmax} = 2770$ MW, $P_p = g \times q \times H / k$,
 $q = k \times (P_p / g) \times H = 0.87 \times (2770000 / 9.81) \times 640 = 384$ м³/с,

Суммарный суточный объем воды:

$$Q_g = 2/3 \times q \times T_g \times 3600 = 2400 \times 14 \times 274 = 9.2 \text{ млн м}^3.$$

Здесь $H = 640$ м – перепад уровней верхнего и нижнего водохранилищ,

По состоянию на 2010 год постоянная среднесуточная мощность тепловых станций
 $P_{const} = P_{max} - P_g = 10930 - 1490 = 9440$ MW,

При реальном проектировании будущей ГАЭС должны быть учтены перспективы увеличения потребления энергии, а также увеличение доли возобновляемой энергии. Верхнее водохранилище расположено на пустынном плато, на котором нет никакой хозяйственной деятельности. Оно находится в 1.5 км от Эйн-Геди и в 20 км от курортов Эйн-Бокек.

Предлагаемый гидроаккумулирующий комплекс работает в замкнутом водном режиме, поэтому вода нижнего водохранилища, как указывалось выше, отделена от моря дамбой.

Предлагаемый гидротехнический комплекс никаких экологических проблем в курортной зоне около Эйн Бокек и южных бассейнов Мертвого моря не создаст. Целебные свойства воды и воздуха тоже не изменятся.

Окупаемость строительства

Большинство проектов ГАЭС были разработаны в 1970-х и 1980-х годах и, согласно отчету Бюро мелиорации США, они стоят около \$ 2020 / кВт. Стоимость оборудования электростанции составляет \$ 825 / кВт, а стоимость земляных работ (гражданского строительства) - \$ 80 / кВт. В зависимости от местности, стоимость туннелей, верхнего резервуара и нижнего резервуара может варьироваться до \$ 420 / кВт. В целом, для 10-часового периода хранения предполагаемая стоимость установленной мощности (ИСС) проекта с большим напором (700+ футов) и большой мощностью (500+ МВт) составляет ... от \$ 2600 до \$ 3100 / кВт.

Окупаемость строительства гидроаккумулирующего комплекса давно доказана мировой практикой – тысячами построенных и строящихся комплексов [1].

В Израиле только за счет разных тарифов на дневное и вечернее потребление энергии ГАЭС даст миллионы шекелей дохода. Как видно из приведенной ниже таблицы, ночные тарифы на электроэнергию ниже дневных тарифов [3].

Таблица.

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SUMMER July, Aug	Sun-Thu	23.0							38.0			98.7							38.0							
	Fri	23.0																								
	Sat	23.0																								
WINTER Dec, Jan, Feb	Sun-Thu	26.9						52.0											91.1							
	Fri	26.9																	52.0							
	Sat	26.9																		91.1		52.0				
SPRING & AUTUMN Mar, Apr, May, June, Sep, Oct, Nov	Sun-Thu	22.8							38.5																29.6	
	Fri	22.8							29.6																	
	Sat	22.8																				29.6				

Для предлагаемого комплекса ночные и дневные тарифы должны быть установлены договором с «электрической компанией Хеврат Хашмаль».

В первом приближении принимаем, что потребление энергии весь год соответствует графику на рис. 5, среднегодовой тариф в дневные часы генерации энергии составляет 0.52 шекеля за кВт.ч, а в ночные часы в насосном режиме среднегодовой тариф равен 0.24 шекеля за кВт.ч.

ГАЭС отдает в сеть в день в режиме генерации $E_g = 2/3 * 1490 * 14 = 13907$ MWh (см. выше). Стоимость энергии генерации $0.52 \times 13907000 = 7\,200\,000$ шекелей.

ГАЭС потребляет в насосном режиме $E_p = 2/3 * 2770 * 10 = 18467$ MWh.

Стоимость потребляемой энергии в насосном режиме $0.24 \times 18467000 = 4\,400\,000$ шекелей.

Доход в день составляет 2.8 млн. шекелей и за 300 рабочих дней в год 840 млн. шекелей.

Ориентировочная стоимость строительства комплекса (без высоконапорных плотин), суммарной мощностью 1500 МВт порядка 1 млрд. долларов [1, 4, 5]. Ориентировочная окупаемость составит не более 5 лет.

В статье рассмотрены лишь энергетические проблемы. Авторы оценивали стоимость сооружения по сведениям из Интернета. При реальном проектировании и строительстве стоимость объекта и сроки его окупаемости могут существенно измениться.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. <https://energystorage.pnnl.gov/pdf/PNNL-28866.pdf>
2. <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2010/10/worldwide-pumped-storage-activity>
3. <http://www.ide-tech.com/wp-content/uploads/2013/09/The-Operation-Principle-of-the-Hadera-Seawater-Desalination-Plant-and-Advantages-of-the-Pressure-Center-Design.pdf>
4. http://www.necu.org.ua/upl/IP_Kaniv_PSP_May_08_rus.pdf
5. <http://bravenewclimate.com/2010/04/05/pumped-hydro-system-cost/>
6. <http://www.elektron2000.com/article/1647.html>
7. <http://elektron2000.com/article/1685.html>
8. <http://netanyascientific.com/0/CONFERENCE%20Netania%202019.pdf> -стр. 67