**ГАЭС НА БАССЕЙНАХ МЕРТВОГО МОРЯ**

**PSPP ON THE DEAD SEA BASINS**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  |

****

Ph.D., Иерусалим, Израиль, Нетанийский филиал Израильской независимой академии развития науки

**Розенберг Семен**

Ph.D., Лод, Израиль, Научно-техническая ассоциация «Экологический императив», Нетанийский филиал Израильской независимой академии развития науки

Email: semyon.rozenberg@gmail.com, tel.: +(972)524854666



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

**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 между северным и

южным бассейнами Мертвого моря, включающий гидроаккумулирующую

электростанцию (ГАЭС), верхний бассейн и турбинный водовод.

**Ключевые слова:** гидроаккумулирующий комплекс, гидроаккумулирующая

электростанция, ГАЭС, верхний и нижний бассейн, дамба, турбинный водовод,

замкнутый водный контур, тепловые электростанции, стоимость энергии, Мертвое море.

**Annotation**

The authors propose building a pumped storage complex between the northern and southern

basins of the Dead Sea, including a pumped storage power plant (PSPP), an upper basin and a

turbine conduit.

**Key words:** pumped storage complex, pumped storage power station, PSPP, upper and lower

basins, dam, turbine conduit, closed water circuit, thermal power plants, energy cost, Dead Sea.

Цель предложения

**Технический смысл предлагаемого строительства.** ГАЭС в насосном режиме, использует энергию электросети или возобновляемых источников энергии и перекачивает воду из северного бассейна Мертвого моря в верхний бассейн, сооруженный между северным и южным бассейнами.

Турбины ГАЭС используют воду верхнего бассейна, и генераторы отдают электроэнергию в электросеть в оптимальное время. Суточное выравнивание мощности

существующих тепловых электростанций (ТЭС) существенно повысит их надежность.

 (Около 80% ремонтных и аварийных остановок ТЭС вызвано изменением режима их работы).

**Экономический смысл.**

Гидроаккумулирующий комплекс в насосном режиме использует дешевую электроэнергию, а в генераторном режиме возвращает энергию, когда стоимость ее заметно выше. ГАЭС способена вырабатывать наиболее ценную пиковую и аварийную энергию. Это принесет прибыль, повысит уровень энергоснабжения страны и повысит ее обороноспособность – за счет возможности 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, 9, 10].

В 2020 году суммарная мощность электростанций в Израиле превышает 13500 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].

На рис.1. показан график суточного изменения потребляемой мощности в Израиле (лето 2010) [2].



**Описание предлагаемого гидроаккумулирующего комплекса**

**Верхний бассейн.** Верхний бассейн расположен на пустынной территории, на которой нет никакой хозяйственной деятельности. Он находится в 5 км от курортов Эйн-Бокек. Верхний бассейн изолирован от северного и южного бассейнов Мертвого моря и потому не влияет как на экологические условия южного бассейна Мертвого моря, так и на работу Израильского и Иорданского заводов моря. Следует отметить, что авторам удалось найти уникальное место строительства нужного по размерам верхнего бассейна.

Создание гидроаккумулирующего комплекса требуемой мощности определяется, в

данном случае, возможностью создания верхнего бассейна, удовлетворяющего

следующим требованиям:

- Приближением верхнего бассейна к северному бассейну Мертвого моря – с целью укорочения турбинного водовода.

- Призмой срабатывания верхнего водохранилища объемом около 125 млн. м3 – с целью выравнивания суточного режима работы тепловых станций Израиля и получения достаточного объема пиковой и аварийной мощности.

- Использованием существующего перепада уровня верхнего бассейна с северным в 40 м.

- Уменьшением объема дополнительных дамб, формирующих верхний бассейн – с целью удешевления его строительства.



Рис. 2. Верхний бассейн [Google Earth Pro].

На рис. 2 показан верхний бассейн (7). Площадь верхнего бассейна ограниченна дамбами Заводов Израиля и Иордании и составляет 50 км2. Красными линиями показаны дополнительные дамбы: (4) длиной 4.2 км средней высотой 22 м (415-393) и дамба (8), длиной 0.8 км средней высотой 5м. Синими линиями (5 и 6) показаны существующие действующие дамбы Заводов общей длиной 32 км. Верхний уровень всех дамб не ниже отметки минус 393 м.

Кроме упомянутых выше объектов, на рисунке 2 показаны: 2 – часть южного иорданского бассейна, 9 – производственный бассейн Иорданского Завода Мертвого моря, 10 – производственный бассейн Израильского Завода Мертвого моря.

На Рис.3 показан профиль дна дамбы (4).



Рис.3 Профиль дна дамбы (4) [Google Earth Pro]

**Здания ГАЭС** (3) расположены непосредственно под дополнительными дамбами на дне северного бассейна (1). Турбинные водоводы проходят на отметке минус 415м до водозаборников насосов на отметке минус 445 м и поэтому имеют минимальную длину всего 50...100м. Водозабор ГАЭС заглублен под уровень северного бассейна Мертвого моря до отметки минус 445 м. В ГАЭС используют несколько гидроагрегатов, которые подключают по мере необходимости. Турбинный водовод выполняют в виде параллельных труб диаметром 3...4 м. Они способны выдерживать напор воды около 50 м.

**Режим работы ГАЭС**. На рис. 1 показан график суточного изменения потребляемой мощности в Израиле. Максимальная мощность Pmax = 10930 МВт и минимальная Pmin = 6670 МВт. (2010 год).

Например, на рисунке 4 показан гипотетический график, на котором имеем постоянную мощность тепловых станций Pconst. Когда потребление меньше, чем Pconst, гидроагрегаты накапливают энергию – перекачивают воду в верхний бассейн. Когда потребление больше, чем Pconst, гидроагрегаты вырабатывают энергию – используют воду верхнего бассейна. Время работы в насосном режиме составляет Tp = 14 часов (из графика на рис. 4), время работы в генераторном режиме составляет Tg = 10 часов.

На основании этих данных из графика рассчитаем стабильную мощность тепловых

станций Pconst:

Рассчитаем энергию в насосном (Ep) и генераторном (Eg) режимах (принимаем, что

графики мощности в первом приближении соответствуют квадратичной параболе):

Ep = 2/3\* Pp \*Tp \*k, Eg = 2/3\* Pg\* Tg / k.

Pmax=10930 MW, Pmin=6670 MW, P=Pmax-Pmin=4260 MW, Tp=14 h, Tg=10 h, k=0.87.

Здесь Pp и Рg - это максимальные мощности в насосном и в генераторном режимах.

Энергия Ep должна быть равна энергии Eg. Отсюда имеем Pp\*Tp\*k=Pg\*Tg/k,

Pp\*Tp\*k 2 =Pg\*Tg, Pp\*Tp\*k 2 =P\*Tg-Pp\*Tg, Pp(Tpk 2 +Tg)= P\*Tg,

Pp=P\*Tg/(Tpk 2 +Tg)=4260\*10/(14\*0.87 2 +10)= 2070 MW. Pg=4260-2070=2190 MW.

ГАЭС отдает в сеть в день в режиме генерации Eg=2/3\*2190\*10=14600 MWh.



Рис. 4. График суточного изменения потребляемой мощности при взаимодействии ГАЭС

с электросетью

Уровень воды в северном бассейне из года в год падает, и в 2020 уровень ниже минус 435

метров. Уровень воды в южных бассейнах Заводов Мертвого моря (и Израильских, и

Иорданских) составляет минус 395 м. Уровень воды в построенном верхнем бассейне

(водохранилище) может быть установлен, например, минус 393 м за счет существующих и

дополнительно построенных дамб. Поэтому перепад уровней между северным бассейном

и построенным верхним составляет порядка Н=40 м.

Суммарный суточный расход воды в насосном и генераторном режимах Qр и Qg [m 3 ],

секундные расходы воды q[m 3 /s], мощности Р[W]. В северном бассейне плотность воды-

рассола р=1235 [kg/m3].

Рассчитаем максимальные секундные расходы воды и суммарный суточный объем воды:

Pgmax=2190 MW, Pg=g\*р\*q\* H\*k, q=Pg/g\*р\*H\*k=2190000000/9.81\*1235\*40\*0.87=5200

m 3 /s, Qg=2/3 \*q\*Tg\*3600=2400\*10\*5200= 125 Mm 3 .

Ppmax=2070 MW, Pp=g\*p\*q\*H/k, q=k\* Pp/g\*p\*H =0.87\*2070000000/9.81\*1235\*40=3700

m 3 /s, Qp=2/3 \*q\*Tp\*3600=2400\*14\*3700= 125 Mm 3 .

Площадь построенного верхнего бассейна равна 50 км2, поэтому призма срабатывания

составит порядка 2.5 м (=125/50).

По состоянию на 2010 год постоянная среднесуточная мощность тепловых станций составляет Pconst = Pmax – Pg = 10930 – 2190 = 8740 MW,

При реальном проектировании будущей ГАЭС должны быть учтены перспективы

увеличения потребления энергии в Израиле и в Королевстве Иордания, а также

увеличение доли возобновляемой энергии. В Израиле в 2020 достигнутая мощность

электростанций составила 13800 МВт, в Иордании достигнутая мощность 3312 МВт в

2012. [11]

Предлагаемый гидроаккумулирующий комплекс работает в замкнутом водном режиме и 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 (ICC)

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. В Израиле имеется таблица тарифов по времени суток и сезонам. [3] Для предлагаемого комплекса тарифы должны быть установлены договором с электрической компанией «Хеврат Хашмаль».

В первом приближении принимаем, что потребление энергии весь год соответствует

графику на рис. 4, 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 Eg=2/3\*2190\*10=14600 MWh (см. выше).

Стоимость энергии генерации 0.52 \*14600000 = 7 600 000 шекелей.

ГАЭС потребляет в насосном режиме Ep=2/3\*2070\*14=19320 MWh.

Стоимость потребляемой энергии в насосном режиме 0.24 \*19320000 = 4 640 000

шекелей. Доход в день составляет 2.96 млн. шекелей и за 300 рабочих дней в год 890 млн.

шекелей.

Ориентировочная стоимость строительства комплекса **(без высоконапорных**

**плотин**), суммарной мощностью 2000 МВт порядка $1 млрд. [1, 4, 5]. Ориентировочная окупаемость составит не более 5 лет. Окупаемость поля из 41 ветрогенератора в Израиле, строительство которых запланировано на 2022 год, ожидается, что составит 8 лет. [13].

В Российской федерации спроектирована и строится Ленинградская ГАЭС (2017)[12]. Ленинградская ГАЭС имеет мощности, аналогичные предлагаемой ГАЭС: 1560/1760 МВт (в генераторном/насосном режимах). Ориентировочная стоимость проекта составляет 73,8 млрд. рублей, т.е. порядка $ 1 млрд. Наличие этого аналога позволит значительно снизить стоимость предлагаемой ГАЭС.

Верхний бассейн частично расположен на территории Королевства Иордания. Это

позволит Королевству воспользоваться всеми преимуществами и доходами, получаемыми

от работающей ГАЭС. Предоставляя свою территорию для станции, Королевство

получает собственный источник энергии. Это позволит уменьшить расходы на закупку

ресурсов, т.к. Иордания импортирует более 90% энергоресурсов.

В статье рассмотрены лишь энергетические проблемы. Авторы оценивали стоимость

сооружения по сведениям из Интернета. При реальном проектировании и строительстве и

учете потребных мощностей стоимость объекта и сроки его окупаемости будут,

естественно , отличаться.

**Возможные спонсоры**

Предлагается привлечь спонсоров из благотворительных экологических организаций и ООН для решения региональной экологической проблемы – накопления энергии Солнечных электростанций. Таких фондов более десятка, которые участвуют в финансировании экологических проектов в разных странах, например:

Всемирный банк [5], Фонд Организации Объединенных Наций, UNF [6], Фонд Дэвида и Люсиль Паккард[7], , Окружающая среда Организации Объединенных Наций Программа, ЮНЕП [8] и другие [9].

Для решения региональной экологической проблемы можно отправить заявку в каждый спонсорский фонд на их участие в финансировании строительства Комплекса.

**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

9. http://netanyascientific.com/Stati/Stati-7/data/Pumpstorstate.pdf

10. http://netanyascientific.com/English/Stati/Stati-7/data/Pump\_power\_plant.pdf

11. https://energypedia.info/wiki/Jordan\_Energy\_Situation

12. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%93%D0%90%D0%AD%D0%A1>

[13]. <https://detaly.co.il/na-golanskih-vysotah-budet-realizovan-masshtabnyj-proekt-v-sfere-zelenoj-energetiki/>