

ПЛАВАЮЩАЯ СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ И ПЛАВАЮЩИЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД

FLOATING SOLAR POWER STATION AND FLOATING DESALINATION PLANT

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

Файнберг Владимир

Ph.D. Иерусалим, Израиль, Нетанийский филиал Израильской независимой академии развития
науки
E-mail: faynbergv@yahoo.com tel.: +(972)72543027456

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

Faynberg Vladimir

Ph.D. Jerusalem, Israel, Netanya Branch of Israeli Independent Academy of Development of Science
E-mail: faynbergv@yahoo.com tel.: +(972)72543027456

Аннотация

Предлагается построить на Мертвом море плавающую солнечную электростанцию (СЭС), в которой солнечные панели погружены в море. Днем СЭС передает "зеленую" энергию в электросеть Израиля. На Красном море предлагается построить плавающий на понтоне опреснительный завод (ОЗ), который получает энергию круглосуточно от электросети. СЭС производит "зеленую" энергию в количестве, достаточном для работы ОЗ.

Ключевые слова: Солнечные панели, солнечная электростанция, инвертор, опреснительный завод, понтон, электросеть, ЛЭП.

Annotation

This article described two independent projects on the seas. Both projects have the common motivation behind – to save the land and to move land hungry and environmentally not friendly manufactures into the sea (as desalination plant). The first project suggested to build a floating solar power station (SPS) on the Dead Sea, with immersed in the sea solar panels. During the day, SPS transfers "green" energy to Israel's electricity grid. In the second project it is proposed to build a desalination plant (DP) floating on a pontoon on the Red Sea, which receives energy around the clock from the national electric grid.

Key words: Solar panels, solar power station, inverter, desalination plant, pontoon, electric grid, power transmission line.

Существующее положение

Солнечные электростанции (СЭС) все шире завоевывают энергетический рынок, т.к. цены на солнечные панели стали доступными. СЭС уже производят в мире многие миллионы ГВтч электроэнергии. Под строительство СЭС выделены много квадратных километров территорий на земле и даже на водохранилищах. Т.к. панели не должны затенять друг друга и к панелям должен быть свободный доступ для регулярного обслуживания, в том числе промывки от пыли и других загрязнений, то площадь территорий СЭС вдвое и более превышает площадь собственно солнечных панелей. На Рис. 1 показано, какие огромные территории необходимо выделять для строительства СЭС. [1, 2]



Рис. 1

Опреснительные заводы (ОЗ) тоже занимают большие прибрежные территории, а эти территории дорогие и весьма пригодные для жилищного или общественного строительства. На Рис. 2 показан ОЗ в процессе строительства, который занимает в прибрежной зоне территорию более 1-го квадратного километра. [3]



Рис. 2

Цели данного предложения

- Использовать для строительства опреснительных заводов и солнечных электростанций территорию морей, а не прибрежные территории или пустыню Негев.

- Производить, практически, неограниченное количество опресненной воды только за счет энергии Солнца и при этом даже получать прибыль.

Основным и очень выгодным подходом для достижения этих целей является строительство именно плавающих СЭС и ОЗ. Оба комплекса полностью независимы. Но СЭС передает в электросеть "зеленую" энергию в количестве, достаточном для работы ОЗ. Поэтому ОЗ на производство опресненной воды фактически не использует "грязную" энергию тепловых электростанций национальной электросети.

Комплекс СЭС состоит из солнечных фотоэлектрических панелей, инверторов, придонных якорей и др. оборудования. Опреснительный завод – это большой понтон, на котором размещены промышленные модули опреснительных установок обратного осмоса.

Описание плавающих СЭС

В Мертвом море высота волн не большая, но случаются ветры до 10 м/с. Скорость ветра измеряют на высоте 10 м. Плавающие на поверхности поплавки СЭС выступают над водой всего на 1 см, поэтому даже сильный ветер не сможет повредить поплавки. На такой высоте над поверхностью воды скорость ветра не превышает 0.5 м/с. Панели находятся под водой и потому тоже не подвержены воздействиям ветра. Поэтому описанная солнечная электростанция не требует какой-либо защиты от штормовых ветров.

Вода Мертвого моря прозрачная и в ней отсутствуют живые организмы. Панели всегда полностью погружены в воду на достаточную глубину, поэтому соли не могут осаждаться на панелях и, следовательно, не требуют промывки. Небольшие обычные волны - колебания воды смогут достаточно промывать панели. Поплавки, на которых осаждаются соли, погружаются в воду. А соли в воде растворяются, и поэтому устанавливается некоторое равновесие.

Широко используемые солнечные фотоэлектрические панели имеют размеры, например, 40 мм*1000 мм* 2000 мм, объем 80 л и вес 24 кг. Подъемная сила такой панели в Мертвом море равна 104 кг (=1.3*80). Чтобы погрузить такую панель в море, необходим груз, который должен весить в воде не менее 80 кг. Подобные панели имеют алюминиевый каркас и защитное силикатное стекло.

Предлагаем упростить эту конструкцию: фотоэлектрические панели разместить на алюминиевом листе и заключить их в водонепроницаемую пластиковую оболочку. Конструкция должна иметь небольшую отрицательную плавучесть, например, около 1 кг. Дополнительную подъемную силу 1кг создают поплавки.

Рассмотрим более подробно предлагаемое сооружение.

На дне моря установлены 4 якоря (12 - см. Рис.3). Между якорями расположены продольные и поперечные тросы (3). Тросы (3) плавают на поверхности воды. В ячейках между тросами (1.1 м на 2.1 м) подвешены фотоэлектрические панели, имеющие размеры 1м на 2 м. Панели состоят из нескольких узлов (5, ... 10, 11) и подвешены на 6-ти пластиковых крепежных проушинах (5).

На тросах (3 – см. Рис. 4) установлены трубчатые поплавки (1). Поплавки имеют продольный разрез (2) для удобства монтажа и демонтажа. При монтаже на продольные и поперечные тросы устанавливаются столько поплавков, чтобы поплавки выступали над водой не более 1 см. Собственно фотоэлектрическая панель (8) установлена на алюминиевом листе (7) и находится в герметичном пластиковом рукаве (6). На рукаве имеется 6 проушин (5) и герметичный вывод

(9) для электрического кабеля (10). Электрический кабель от вывода (9) уходит на инвертор (на рисунках инвертор не показан).

Крепежные ленты (4) соединяют проушины (5) тросами (3). Другие крепежные ленты (4) соединяют тросы (3) в местах их пересечения. Лентами прокалывают тросы без повреждения внутренних нитей. Замок крепежных лент (4) имеет храповую контровку.

Глубина погружения панелей должна быть такой, чтобы солнце через толщу воды могло создать на панелях напряжение с минимальными потерями. Возможно, что оптимальная глубина погружения составляет 50 мм. Глубину погружения устанавливают с помощью крепежных лент.

Якоря (12) устанавливают так, чтобы тросы к якорю располагались под углом 30...40 градусов к уровню воды. Ветер, действующий на поплавки, благодаря наклонным тросам (13) будет погружать поплавки и снижать его воздействие на поплавки.

Сооружение имеет не менее 125 000 фотоэлектрических панелей, которые размещены в 90 группах, в каждой группе около 1400 панелей. Группы расположены в виде 10 рядов по 9 групп в ряду. В центре группы расположен инвертор. Все электрические кабели (10) имеют одинаковую длину (85 м) и 2 герметичных разъема для соединения с выводом (9) и с инвертором. На кабели устанавливают столько трубчатых поплавков (1), чтобы кабели имели нулевую плавучесть.

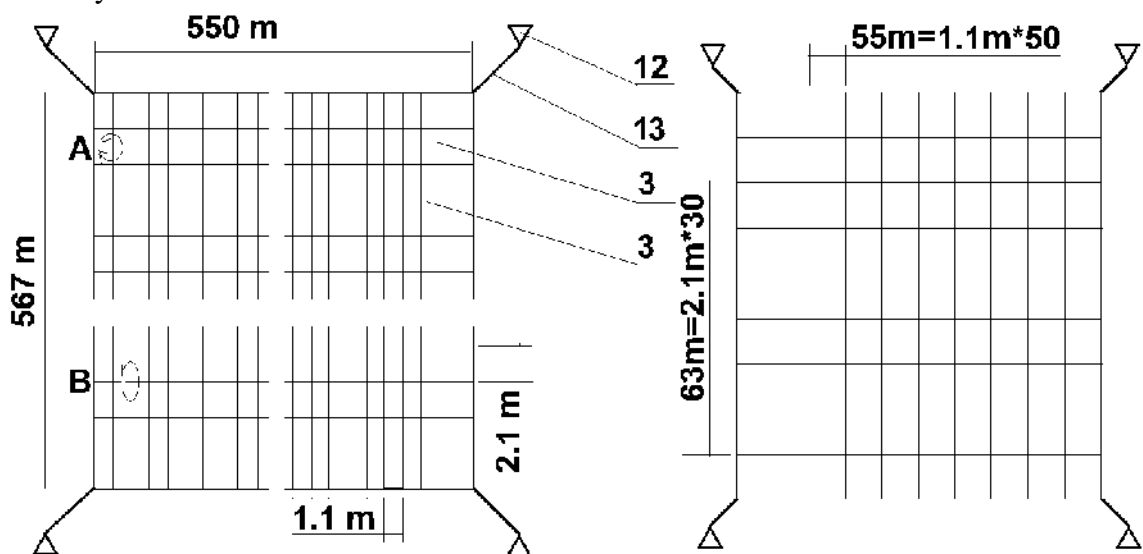


Рис. 3

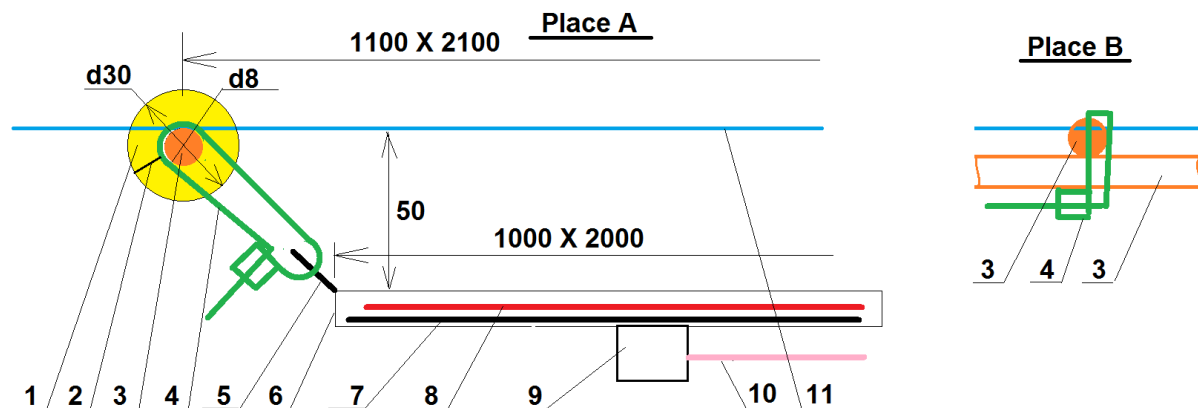


Рис. 4

Обозначения на Рис. 3 и 4: 1- поплавок, 2- продольный разрез на поплавке, 3- продольный или поперечный трос, 4- крепежная лента, 5- пластиковая крепежная проушина, 6- пластиковый герметичный рукав, 7- алюминиевый лист, 8- фотоэлектрическая панель, 9- герметичный вывод для электрического кабеля, 10- электрический кабель, 11- уровень моря, 12- якорь, 13 - трос к якорю.

Энергетические показатели

Упомянутая выше солнечная фотоэлектрическая панель имеет, например, пиковую мощность 180 Вт/м^2 (180 МВт/км^2). Панели расположены на море без наклона на юг и не затеняют друг друга. Обслуживание панелей производят с помощью плоскодонных плавсредств. Например, плоскодонный глиссер или резиновая надувная лодка могут свободно плавать над панелями и поплавками, не повреждая их.

С одного км^2 панелей в среднегодовой день можно получить энергии $900 \text{ MWh/day} \cdot \text{км}^2$ ($=5\text{h} \cdot 180 \text{ MW/км}^2$), т.е. в год $300\,000 \text{ MWh/год} \cdot \text{км}^2$ ($=900 \cdot 335$). На Мертвом море в среднем имеем 335 солнечных дней в году. Например, панели суммарной площадью 0.25 км^2 могут дать $75,000 \text{ MWh}$ энергии в год при пиковой мощности 45 MW ($=180 \text{ MW/км}^2 \cdot 0.25 \text{ км}^2$). На Рис. 5 показана территория 567 м на 550 м в северной части северного бассейна Мертвого моря, на которой могут быть установлены эти панели [Google Earth Pro].

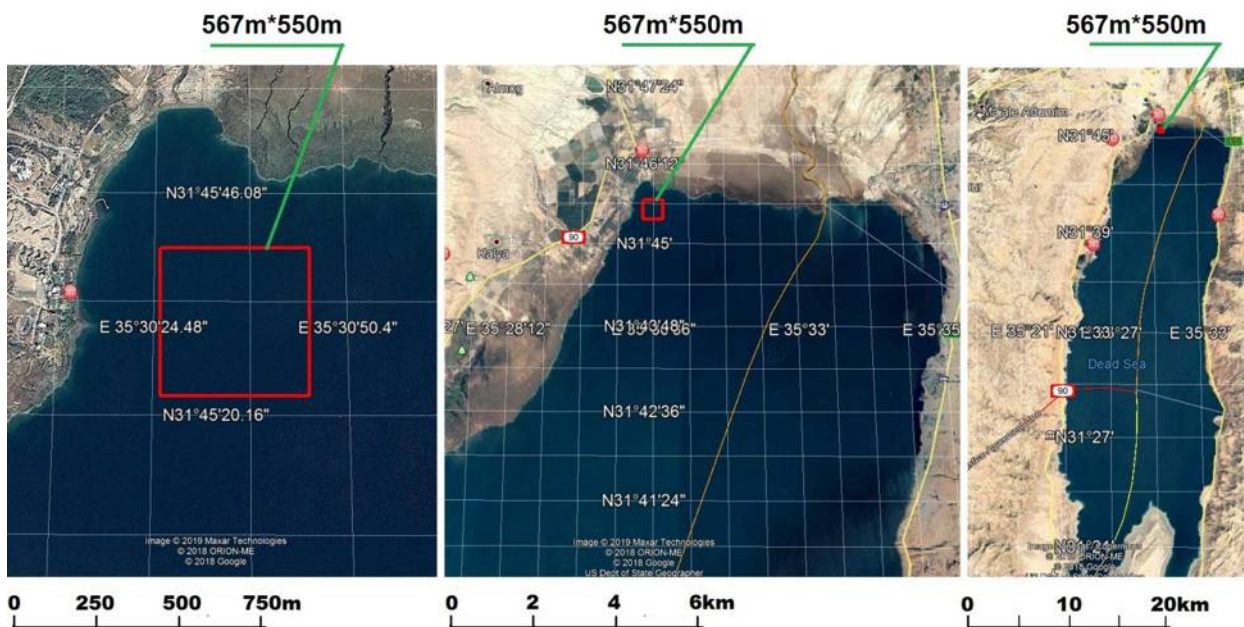


Рис. 5

Рассмотренные панели имеют площадь 2 м^2 и пиковую мощность 360 Вт . Для получения пиковой мощности 45 МВт необходимо установить не менее $125,000$ таких панелей ($=45,000,000/360$). На территории $567 \text{ м} \cdot 550 \text{ м}$ можно разместить 270 рядов панелей по 500 панелей в каждом ряду.

После всех потерь (в инверторах, проводах, высоковольтных трансформаторах и др.) "зеленая" энергия, переданная в электросеть, составит не менее $60,000 \text{ MWh}$ в год ($=75,000 \cdot 0.8$). Принимаем суммарный КПД = 0.8 . Такое же количество энергии электросеть передает для работы опреснительного завода за год 365 дней по 24 часа. Среднегодовая мощность при этом составит 7 MW ($=60,000/24 \cdot 365$).

Описание плавающего опреснительного завода

Опреснительный завод размещен на большом понтоне. Понтон имеет каркас из полых труб и палубу. Трубы каркаса понтона заполнены, например, вспененным полиэтиленом. На палубе установлены, например, модули обратного осмоса ПВО-RO-50, каюты для персонала и др. помещения. Модуль обратного осмоса ПВО-RO-50 (см. Рис. 6) производит 50 м^3 воды в час. Существуют несколько производителей подобных опреснительных установок с производительностью $50 - 100 - 200 \text{ м}^3/\text{час}$. [4, 5, 6]

Модуль обратного осмоса ПВО-RO-50 потребляет мощность 44 кВт. При среднегодовой мощности 7 MW на палубе могут быть размещены 160 установок обратного осмоса ПВО-RO-50 ($=7000/44=160$). Каждый модуль имеет стальную раму, на которой смонтированы все комплектующие узлы. Размеры установки: длина 6500 мм, ширина 1700 мм, высота 2000 мм [4]. Территория, необходимая для размещения установки не менее 24 м^2 ($=8*3$). Для размещения 160 установок необходима на палубе территория не менее 4000 м^2 ($=24*160$). Принимаем, что площадь палубы должна быть не менее 5000 м^2 , чтобы разместить также и все служебные помещения. Поэтому понтон имеет палубу, например, 50 м на 100 м.

Вес 1-ой установки 2.5 т, 160 установок имеют вес 400 т. С учетом весов служебных помещений, конструкции палубы и каркаса труб, возможное водоизмещение понтона составит 1000...1500 т.



Рис. 6

Понтоны могут быть установлены около берегов Красного моря. На Красном море высота волн не большая, но случаются сильные ветры до 10 м/с. Скорость ветра измеряют на высоте 10 м. Плавающие на поверхности понтоны выступают над водой всего на 4...5 м, поэтому даже

при сильных ветрах воздействие на понтоны существенно слабее. Возможно, что на Красном море дополнительные волноломы не потребуются, т.к. крыше понтона можно придать достаточно обтекаемую форму. Понтоны могут быть установлены около берега Красного моря между городами Эйлат и Таба - см. Рис. 7[Google Earth Pro].

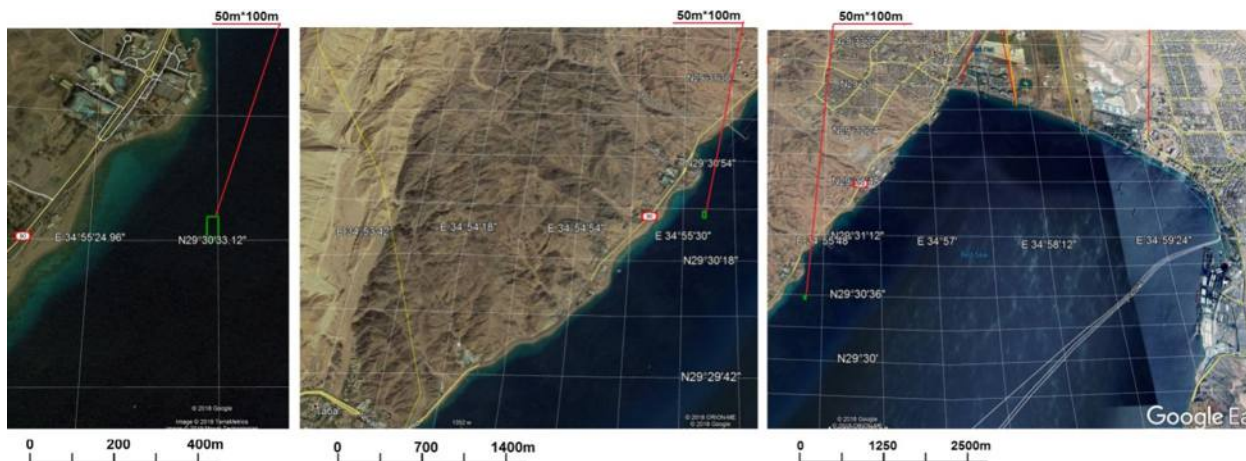


Рис. 7

Экологические аспекты

- Понтоны плавают на поверхности моря, каркас погружен в воду всего на 5 м, поэтому понтоны не могут отрицательно воздействовать на морскую фауну.
- Для уменьшения отрицательного воздействия концентрата, который ОЗ сбрасывает в море, должны быть использованы технические решения, которые применяют действующие ОЗ.
- Отрицательное влияние якорей, которые удерживают понтоны, не отличается от влияния на фауну якорей обычных различных судов.
- На Мертвом море фауны нет. А 0.25 км² территории СЭС на 650 км² северного бассейна не могут повлиять на лечебные свойства моря и окружающего воздуха.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Ориентировочная стоимость необходимого оборудования для плавающей СЭС:

Цена солнечных фотоэлектрических панелей составляет (март 2020) от 0.2 \$/W -[12] Стоимость панелей суммарной пиковой мощностью 45,000,000 Вт составляет порядка \$9.000.000 (=45,000,000*0.2).

Цена инверторов Energy Saving Variable Frequency Inverter/Converter 3 Phase Heavy Load Converter мощностью 500 кВт составляет (март 2020) от \$ 6000- [13], для преобразования 45 МВт требуется 90 инверторов. 90 инверторов стоят \$ 540,000.

Цена вспененного полиэтилена, например, PVC Foam Board составляет \$1/кг. [9]

Объем и масса вспененного полиэтилена - применим вспененный полиэтилен, имеющий массу 35 кг/м³: для каждой панели объем поплавков 1 л (подъемная сила 1.3 кг), для 125,000 панелей объем вспененного полиэтилена составляет 125 м³ и массу 5,000 кг. Цена вспененного полиэтилена 5,000 кг составит \$ 5, 000.

Суммарная длина тросов 70,000 км (=251*501*0.55), стоимость троса \$ 0.2/м, итого \$ 14,000,000. [14]

Стоимость строительства ЛЭП составляет порядка *\$ 30, 000/км. ЛЭП для СЭС длиной, например, тоже 50 км будет стоить \$ 1,500,000 (=30,000*50). [15]

Стоимость оборудования СЭС (панелей, инверторов и др.) составляет порядка \$ 12,500,000 (=9,000,000 +540,000+5,000+1,400,000+1,500,000).

"Зеленая" энергия, переданная в электросеть, составит не менее 60,000 MWh в год (см. выше).

Среднегодовой тариф энергии, произведенной в дневные часы, составляет не менее 0.5 шекеля за кВтч. Произведенная энергия стоит не менее 30 млн. шекелей за год (=60,000,000*0.52). Таким образом, окупаемость плавающей СЭС, как независимого сооружения, составляет не более 2-х лет (= \$ 12,500,000*4/30,000,000).

Ориентировочная стоимость необходимого оборудования опреснительного завода на понтоне:

- Модульная установка опреснения морской воды ПВО-RO-50 стоит \$250,000, все 160 модулей стоят \$40,000,000. [7]

- Стальные трубы разных диаметров 2 км стоят \$150,000. [8]

- Объем и масса вспененного полиэтилена для заполнения каркаса понтона - применим вспененный полиэтилен, имеющий массу 35 кг/м³ и объем 1500 м³, на понтон необходимо 52,500 кг, которые стоят \$53,000 (1\$/кг). [9]

Стоимость строительства водовода составляет \$500,000/км, водовод длиной, например, 50 км будет стоить \$25,000,000 [10]

Стоимость строительства ЛЭП составляет порядка \$ 30, 000/км. ЛЭП для ОЗ длиной, например, 50 км будет стоить \$ 1,500,000 (=30,000*50). [11] Стоимость остального оборудования и трудозатрат на строительство понтона авторы не смогли учесть из-за отсутствия достоверной информации. Итого стоимость плавающего на понтоне опреснительного завода может составить порядка \$67,000, 000 (=40+0.15+0.053+25+1.5).

Установка обратного осмоса ПВО-RO-50 производит в час 50 м³ опресненной воды. 160 установок произведут в день 192,000 м³ воды (=50*24*160) и не менее 70 млн. м³ в год (192,000*365=700,000,000). Стоимость этих 70 млн. м³ воды составит \$70,000,000 в год (принимая, что имеем 1\$/м³).

Расходы на строительство и оборудование опреснительных заводов в мировой практике составляют относительно годовой производительности, например,

- в Омане \$ 2.4 /м³*год [16],

- в Иране \$2.5 /м³*год [17],

- в Крыму \$6 /м³*год [18].

В нашем случае расходы на оборудование и материалы для строительства плавающей СЭС и опреснительного завода на понтоне составляют менее 1 \$/м³*год (=67,000,000//70,000,000), т.е. существенно меньше, чем в мировой практике.

Заключение

- Предложить данный проект для реализации какой-либо Израильской технологической теплице или частной компании.

- Или предложить инвесторам создать стартап.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. <https://www.rlocman.ru/news/new.html?di=583715>
2. <https://hi-news.ru/technology/v-kitae-zarabotala-krupnejshaya-v-mire-plavuchaya-solnechnaya-elektrostanciya.html>
3. <http://netanyascientific.com/0/CONFERENCE%20Netania%202019.pdf> - p. 67

4. <http://wwtec.ru/index.php?id=31>, https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/sistemy-obratnogo-osmosa/sistema_obratnogo_osmosa_pvo-ro-50/,
5. https://vodcenter.ru/index_p_11_p_4.html,
6. http://www.nano-plast.com/membrannye_ustanovki_obratnogo_osmosa_marki_aist).
7. <https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/sistemy-obratnogo-osmosa/>
8. <https://steel-pro.ru/trubi/truba-elektrosvarnaya/>
9. https://www.pulscen.ru/price/102523-vspenenny-polietilen/f:36_rossia
10. https://www.klgd.ru/docs/norms/texts/pr4_re259_07.php?print=Y
11. https://www.fsk-ees.ru/about/management_and_control/test/Sbornik_IK_FSK_USP_35-750_part_01.pdf
12. https://www.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=solar+panels+350+watt&isPremium=y
13. https://www.alibaba.com/product-detail/315KW-350KW-400KW-500KW-Energy-Saving_60821411124.html?spm=a2700.7735675.normalList.25.1XqVvX&s=p
14. <https://leroymerlin.ru/product/verevka-standers-6-mm-15-m-17559636/>
15. https://www.fsk-ees.ru/about/management_and_control/test/Sbornik_IK_FSK_USP_35-750_part_01.pdf
16. <https://watermagazine.ru/novosti/za-rubezhom/20945-v-omane-nachalos-stroitelstvo-stantsii-opresneniya-vody-stoimostyu-100-mln-dollarov.html>
17. <https://www.forbes.ru/news/326029-igor-chaika-i-oleg-mitvol-postroyat-v-irane-stantsiyu-opresneniya-vody>,
18. <http://www.krym.aif.ru/society/jkh/1464602>