

СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ГОРОДЕ

Д-р С. Розенберг, Лод, Израиль

Научно-техническая ассоциация «Экологический императив»,

Член Координационно-инновационного совета Экспертно-консалтинговой ассоциации ученых и специалистов - репатриантов

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

Rozenberg Simyon Ph.D., Lod, Israel,

Ecological Imperative Scientific and Technical Association,

Member of the Coordination-Innovation Council of the Expert-Consulting Association of Scientists and Specialists – Repatriates

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

Аннотация

В статье рассмотрены энергетические и экономические характеристики солнечных электростанций, которые могут быть построены в городе. Солнечные электростанции в городской черте могут быть размещены на крышах, на навесах над автостоянками, на навесах над дорогами, а также на стенах многоэтажных жилых и офисных зданий. Показано, что наиболее эффективно размещать Солнечные электростанции на стенах высотных зданий. Каждая такая станция сможет обеспечить жильцам уменьшение потребления энергии от сети на четверть или треть.

Ключевые слова: Солнечная электростанция, Солнечные фотогальванические электростанции, СФЭС, СФЭС на стенах зданий, ТЭС, стоимость энергии, Мертвое море, Средиземное море.

Annotation

The article discusses the energy and economic characteristics of solar power plants that can be built in the city. Solar power plants in urban areas can be placed on rooftops, on awnings over parking lots, on awnings over roads, as well as on the walls of multi-storey residential and office buildings. It is shown that it is most effective to place solar power plants on the walls of high-rise buildings. Each such station will be able to provide residents with a reduction in energy consumption from the network by

Key words: Solar power plant, SPPP, SPPP on the walls of buildings, thermal power plants, energy cost, Dead Sea, Mediterranean Sea

1. Существующее положение

Управление электроэнергетики представило в 2020 Обзор возможности увеличения возобновляемой энергии до 30% от годового потребления [1]. Основным источником возобновляемой электроэнергии для Израиля признаны солнечные панели.

Для достижения поставленной цели должно быть произведено возобновляемой электроэнергии 29 тераватт-часа в 2030 году. По фактическим производственным данным в стране, каждый киловатт установленных панелей производит 1500...1843 кВт-ч в год. Согласно обзору фотогальваника должна иметь поэтому пиковую мощность около 16000 МВт. На основании данных нормативных актов последних лет на 1 мегаватт требуется 9...11 дунамов территории. Для получения такой мощности 16000 МВт пик должно быть отведено 160 км² хозяйственной территории Израиля. Недостатком наземных сооружений является использование земельного ресурса и нанесение ущерба территориям. Согласно Обзору о возможности увеличения

возобновляемой энергии до 30% от годового потребления [1], строительство на крышах или двойное использование сооружений потребует дополнительные расходы около 4 млрд. шекелей.

В полуденные часы солнечная энергия в больших количествах может начать превышать спрос или возможности электросети ее принимать. Тогда энергию необходимо либо хранить для последующего использования, либо не использовать, что приводит к уменьшению эффективности солнечных панелей.

2. Действующие Солнечные фотогальванические электростанции (СФЭС)

2.1. Наземные СФЭС построены в Израили и во многих странах мира, их суммарная мощность составляет десятки ГВт. Например, в Германии доля возобновляемой энергии достигает 50% (2023), в Израиле около только 10 % от потребляемой энергии.

Пиковая мощность солнечных фотогальванических панелей составляет 0.18 кВт пик на 1 м² площади панели. Для большей электрической эффективности панелей панели устанавливают под углом к горизонту. Чтобы панели не затеняли друг друга расстояния между рядами панелей приходится увеличивать. Территории, которые занимают действующие СФЭС поэтому в 2.2...2.5 раза больше площади собственно панелей. На. Рис. 1 хорошо видно какие большие расстояния между рядами панелей необходимо предусматривать.



Рис. 1

2.2. Плавающие СФЭС построены в Израили и во многих странах мира, их суммарная мощность составляет уже мегаватты. На Рис.2 показана одна из плавающих действующих станций. Удельные производительность и мощность плавающих станций соответствуют наземным станциям. Достоинством плавающих СФЭС является **неиспользование** для солнечных станций дорогих хозяйственных территорий, а также некоторое уменьшение испарения воды с поверхности водоема, что улучшает водный баланс страны.



Рис.2

3. Предлагаемые проекты солнечных фотоэлектрических электростанций

3.1. Разработано несколько проектов для строительства в Израиле плавающих СФЭС. Предложены пилотные проекты для водоемов в районе Эшколь, для озера Киннерет, для Мертвого моря и для Средиземного моря. Проекты были рассмотрены на Конференции 2021 (Израильская независимая академия развития науки). Предполагаемый срок возврата инвестиций для разных из указанных водоемов оценивается в 3-6 лет. Например, на Рис. 3 показан проект размещения пилотной СФЭС на северном бассейне Мертвого моря. При масштабном строительстве на Мертвом море может быть построены плавающие СФЭС на

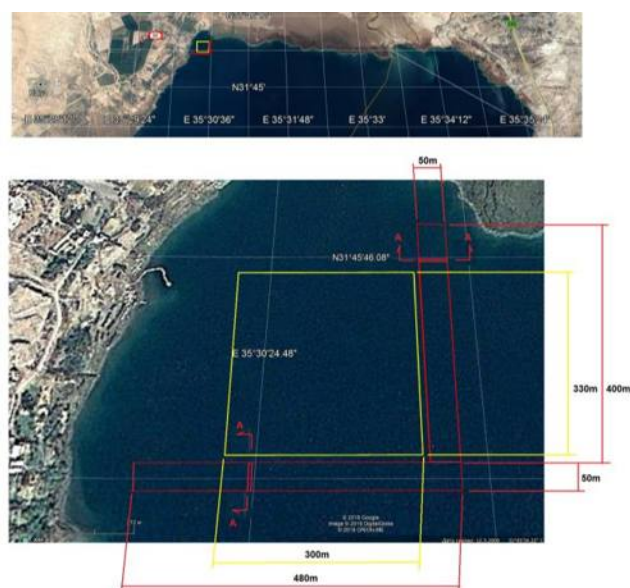


Рис. 3

площади 300...500 кв. км мощностью 2...3 ГВт. Кроме того, плавающие станции смогут уменьшить испарение воды с поверхности воды Мертвого моря на 300...500 миллионов кубометров в год.

3.2. **СФЭС на крышах.** Согласно Отчету, такое двойное использование территорий для размещения солнечных панелей (чтобы реализовать поставленную цель 30% доли возобновляемой энергии), потребует дополнительно вложить 4 млрд шекелей в строительство крепежных сооружений. Использование крыш **малоэтажных** сооружений для установки СФЭС тем не менее нашло достаточно широкое распространение в Израиле и в других странах. Например, см. Рис. 4. Согласно анализу, проведенному министерством энергетики, большая часть потенциала метода двойного использования будет исчерпана в Израиле к середине десятилетия, поэтому полагаться только на него не получится. В то время как министерство энергетики, предлагает увеличить площадь для строительства солнечных панелей на десятки тысяч дунамов, экологические организации и министерство охраны окружающей среды выступают против этого шага.

Кроме того, большая часть объектов в Израиле, подходящих для размещения солнечных панелей, расположена на севере и юге, а не в зонах спроса в центре. Также их стоимость высока по сравнению с наземными сооружениями, которые располагаются на незаселенных территориях.

3.3. **СФЭС на навесах над автостоянками.** (в соавторстве с д-р М. Козловым и м-р А. Козловым)

Навесы для парковочных мест построены во многих странах. Стоимость таких навесов составляет около \$ 0,15/ Вт мощности солнечных панелей. См. Рис.5.



Рис. 4



Рис.5

Например, во Франции принят закон, обязывающий устанавливать над стоянками СФЭС. Разработан пилотный проект навеса для солнечной электростанции над автостоянкой на 320 мест (шириной 48 м и длиной 104 м) около железнодорожной станции Нетания. Габаритная высота для автотранспорта 2.5 м. Площадь навеса около 53 000 м², суммарная установленная пиковая мощность 2500 панелей составит около 800 кВт. Годовое производство энергии составит не менее 1.200. 000 кВтч. При тарифе 0,19 шекель / kWh имеем доходность в год не менее \$69.000 ($=0.19 \cdot 1200.000 / 3.3$) в год.

На Рис.6 показано размещение стоянок около железнодорожной станции Нетания: зеленые прямоугольники –это существующая автостоянка, а красный прямоугольник - это возможная предлагаемая стоянка.

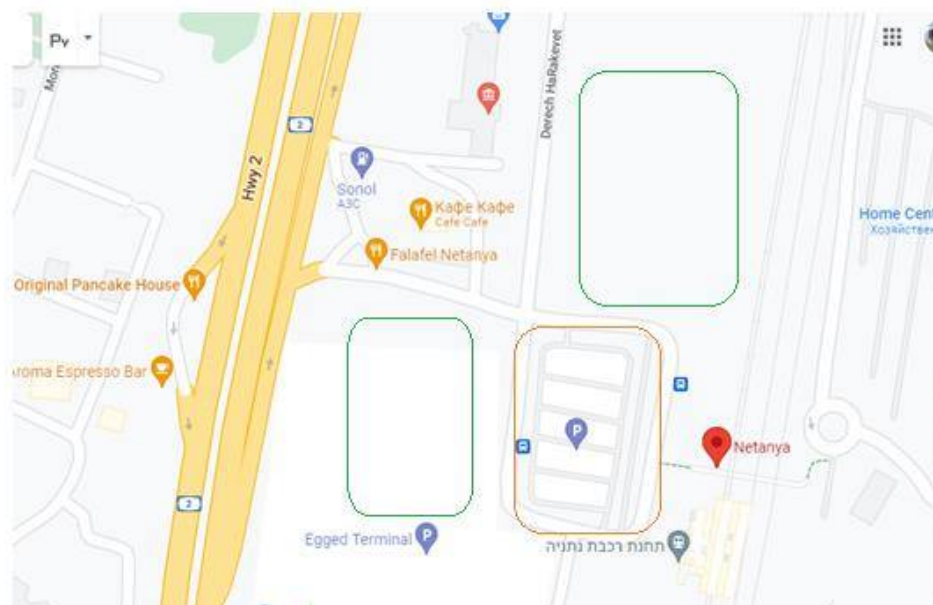


Рис. 6

Ориентировочная стоимость материалов, трудозатрат и оборудования составит около \$300,000 и окупаемость составит не более 4-х лет.

Начальные инвестиции на разработку пилотного проекта, согласований, геологических изысканий и др. подготовительных работ предположительно могут составить \$10...20 тысяч и могут быть уточнены при разработке Бизнес плана.

На Рис.7 показано размещение автомобилей на части предлагаемой стоянки.

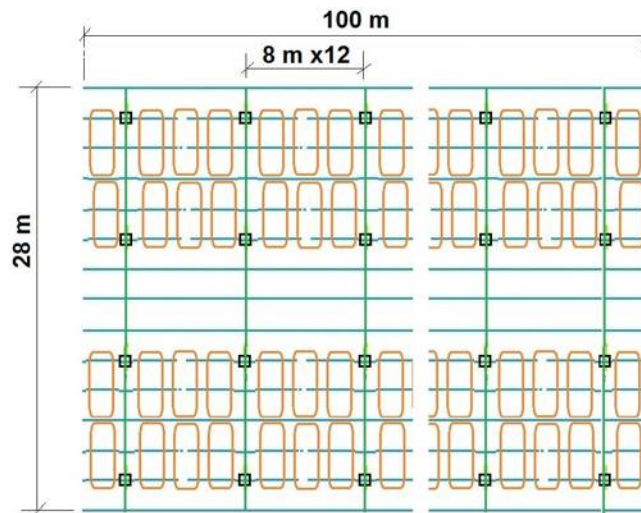


Рис.7

3.4. **СФЭС на навесах над автомагистралями** (в соавторстве с д-р М. Козловым и А. Козловым). Мы предлагаем использовать пространство над автомагистралями и установить над ними навесы, на которых разместить солнечные фотоэлектрические электростанции. В Израиле более 20 тысяч километров автомагистралей. Средняя ширина многих дорог 15 метров, общая площадь всех солнечных навесов может составить около 300 кв. км. Солнечные панели целесообразно располагать горизонтально и вплотную друг к другу с тем, чтобы более рационально использовать территорию навесов. Площадь собственно солнечных панелей может составить не менее 200 кв. км (над перекрестками навесы не предусмотрены). Современные солнечные панели имеют пиковую мощность 0.18 кВт/м^2 , поэтому суммарная мощность панелей на навесах может достигнуть 36 ГВт ($=0.18 * 200 \text{ 000000}$). Это почти в два раза больше установленной мощности (16 ГВт 2023). электростанций отечественной электроэнергетики

На Рис.8 показана картинка такого солнечного навеса над дорогой.



Рис. 8

Согласно Отчету [2] горизонтально расположенные панели за год производят 1552 кВтч на каждый 1 кВт пик. Установка панелей с наклоном на юг дает увеличение годовой энергии на 15...17% от панели, но необходимая территория для размещения панелей более, чем в 2 раза больше площади панелей. В течение года солнечные панели над автомагистралями страны смогли бы произвести 56 ТВт-ч «зеленого» электричества. ($=1552 * 36$), что вдвое превышает планируемые показатели на 2030. Ниже рассмотрим использование планируемого 30% количества "зеленой" энергии 30 ТВтч в год.

Для получения энергии 30 ТВтч в год пиковая мощность панелей должна быть около 20 ГВт (=30000 ГВтч/1550 ч). Стоимость панелей \$ 0.2/Вт (май 2023), общая стоимость панелей составит \$4 миллиарда (\$/W0.2*20,000,000,000W).

Для преобразования постоянного тока на выходе солнечных панелей в переменный ток суммарная мощность инверторов тоже должна быть около 20 ГВт . Например, потребуется 28 тысяч инверторов PCS630 мощностью 693 кВт каждый. Стоимость такого инвертора около 32 тысяч долларов, общая стоимость инверторов составит \$0.9 миллиарда.

Конструкция навесов над дорогами аналогична навесам для парковочных мест построенным во многих странах, и стоимость такого навеса составляет около \$ 0,15/ Вт мощности солнечных панелей. Стоимость металлоконструкций над дорогами составит \$3 миллиарда (\$/W0.15*20,000,000,000W).

В целом стоимость строительства солнечной электростанции над дорогами страны может составить около \$ 8 миллиарда.

В Израиле подведены итоги второго конкурсного отбора (январь 2021). По результатам установлен рекордно низкий тариф для поставщиков солнечной энергии в размере 0,1745 шекелей/kWh = \$0,0544 / kWh. При установленном тарифе общая стоимость «зеленой» электроэнергии 30 ТВтч составит \$1.63 миллиарда (=0.0544*30).

Срок окупаемости электростанции над дорогами составит не более 5 лет (=8/1.63).

Солнечные электростанции над дорогами также будут выполнять функцию защиты автомагистрали от солнечной радиации, создавая комфортные условия для автомобилей, пассажиров и для дорожного покрытия.

Предлагается построить пилотный проект - участок солнечной электростанции над дорогой шириной 24 м и длиной 150 м. Габаритная высота для автотранспорта 6 м. Конструкция навесов над дорогами аналогична навесам для парковочных мест, показанным выше. Пилотный солнечный навес над дорогой для размещения солнечных панелей показан на Рис. 9.

Солнечный навес опирается на вертикальные опоры 4. На опоры установлены продольные фермы 3 (показаны зеленым). На продольных фермах укреплены поперечные фермы 2 (показаны голубым). Поперечные фермы полностью покрыты солнечными панелями 1(показаны красным).

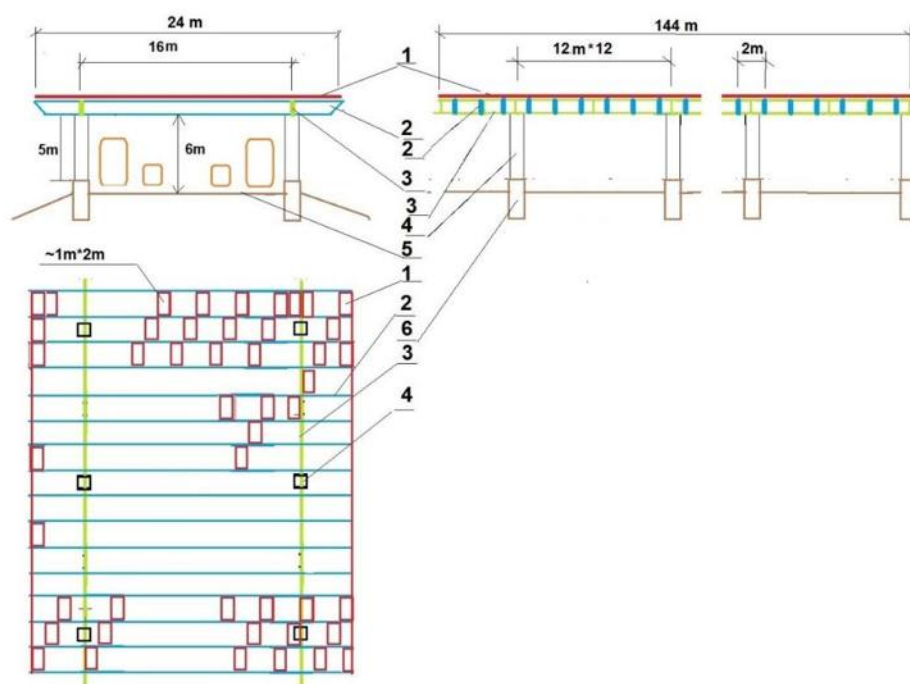


Рис. 9.

3.5. СФЭС на стенах зданий.

Большая часть объектов, подходящих для размещения солнечных панелей в Израиле, расположена на севере и юге, а зоны спроса находятся в центре. Пыль и грязь могут являться настоящей проблемой для действующих солнечных панелей, поскольку мешают их работе, особенно в особо запыленных или пустынных районах. Мойки высокого давления или тракторы с гидравлическими щетками обычно используются для очистки солнечных панелей, но они тратят много воды. Технология очистки и промывки окон и вертикальных стеклянных стен широко используется и существенно дешевле, чем трактора для промывки наклонных рядов солнечных панелей.

Рассмотрим установку СФЭС на **стенах** зданий. На Рис. 10 показано такое здание, на котором вся стена покрыта – облицована солнечными панелями [10].



Рис. 10

Исследователи из Лейпцигского университета прикладных наук утверждают, что установка солнечных панелей, обращенных на восток и/или на запад, позволит производить больше возобновляемой электроэнергии и уменьшит один из побочных эффектов традиционных ферм солнечной энергии — избыток электричества в полдень и недостаток утром или днем. Их исследование было опубликовано в августовском выпуске журнала *Smart Energy* за 2022 год. При установке панелей с ориентацией на восток или запад, большая часть электроэнергии вырабатывается утром и вечером. Это уменьшит потребность в хранении электроэнергии и потому сэкономит много хозяйственноценных территорий, необходимых для производства электроэнергии.

На Рис. 11 приведена диаграмма, предоставленная Лейпцигским университетом прикладных наук.

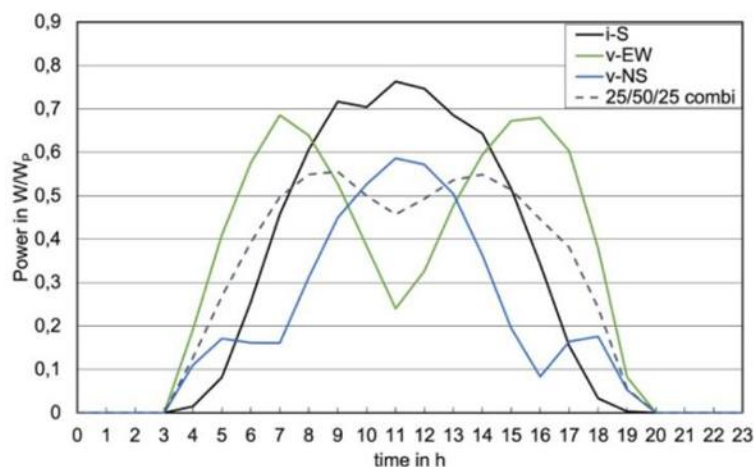


Рис.11

На приведенной диаграмме показано типичное производство солнечной энергии с традиционной ориентацией (черная кривая), вертикальной ориентацией восток-запад (зеленая), ориентацией на юг (синяя) и комбинацией ориентаций. Ориентация восток-запад начинает производить электроэнергию на много часов раньше и продолжает производить энергию на много часов позже, чем обычная солнечная ферма. В полуденные часы наблюдается большой спад производительности. Энергия, получаемая от вертикальных панелей, обращенных на юг – это площадь на графике под синей кривой и энергия, получаемая от панелей, обращенных на восток (или запад) – это площадь на графике под зеленой кривой. В первом приближении эти площади равны, потому что принимаем, что и с южных, и восточных, и западных стен получаем почти одинаковую энергию.

Согласно Отчету [2] (таблица 15) для вертикального положения панелей (угол 90° в таблице) с панелей, обращенных на юг, получено 5.36 кВтч в день в среднем в год от панели мощностью 5 кВт пик. Т.е. в среднем в день панели отдают 1.07 кВтч/кВт пик в год. Как выше было показано, можно ориентировочно считать, что и с южных, и с восточных, и с западных стен получаем почти одинаковую энергию.

Рассмотрим жилое здание, которое облицовано квадратными плитками, что позволяет наглядно оценить площадь стен. См. Рис.12. Плитки имеют размер 1 м на 1 м (реально несколько больше). На фотографии имеем 2 одинаковых здания. У левого здания освещена солнцем западная стена, южный фасад уже не освещен. У правого здания освещена с утра восточная стена, а днем южная стена. В течении солнечного дня у каждого здания солнце освещает по 2 стены.

Крыша зданий в Израиле обычно занята солнечными водонагревателями и потому не может быть использована для установки солнечных панелей. В рассматриваемых зданиях высота этажа 3 м, в здании 2 стены (освещаемые солнцем) длиной по 20 м, 6 окон на 2-х стенах по 1 м. Итого площадь стен без окон каждого этажа составляет 114 м² ($=40 \cdot 3 - 6$). Под солнцем у этих зданий 6 этажей, площадь под панели равна 684 м².

На стенах на 6-ти этажах (из 13) можно установить 342 обычных панелей мощностью по 0.35 кВт пик, суммарно 120 кВт пик. Как выше мы показали, что в среднем в день панели отдают 1.07 кВтч/кВт пик в год. Мы принимаем, что и с южных, и с восточных, и с западных стен получаем почти одинаковую энергию. В наших зданиях со 120 кВт пик можем получать 128 кВтч в среднем в день и 46800 кВтч в год.

Среднестатистическая израильская семья тратит 8162 киловатт-часа в год (2023) [6]. В нашем здании энергия 46800 кВтч может обеспечить 6 среднестатистических семей. ($=46800/8162$) На рассмотренных 6-ти этажах проживает 24 семьи, т.о. панели на стенах смогут сократить на четверть потребление этих семей электроэнергии от сети.



Рис. 12



Рис. 13

Более высотные жилые здания менее затенены и солнечные панели могут быть установлены на 3-х стенах и на большем количестве этажей. См. Рис. 13.

На Рис.13 имеем фотографию группы высотных жилых зданий. Здания имеют 19 этажей и расположены достаточно далеко друг от друга и поэтому не закрывают стены от солнца. На этих зданиях солнечные панели могут быть установлены на 15...16 этажах и на 3-х стенах. Энергия с 3-х стен в полтора раза больше и жильцы смогут уменьшить плату за электроэнергию на треть. Если компания Хеврат Хашмаль будет согласна принимать энергию СФЭС по приемлемым ценам, близким к отпускным ценам.

Значительное количество энергии можно получить от установки солнечных панелей на высотных остекленных офисных зданиях. Сроки возврата инвестиций при размещении СФЭС на стенах различных зданий и сооружений определяется главным образом ценами, которые готова платить Хеврат Хашмаль за солнечную зеленую энергию.

3.6. О цене облицовки зданий солнечными панелями. Цена солнечных панелей последние годы держится на уровне около \$ 0.2 за Ватт пик. Панели имеют размеры, например, 1*2 м, мощность 350 вт пик. Панель стоит \$ 70 и имеет площадь 2 м², т.е. цена панелей для облицовки стены составляет \$ 35 за кв. метр (без стоимости работ по монтажу).

Цена внешней облицовки каменной плиткой фасада **строющихся зданий** составляет \$ 10,00-12,00 за квадратный метр [7].

Укладка каменной плитки на стены стоит от \$ 70 до 250 за квадратный метр [8].

Установка стеклянной навесной стены на офисных зданиях стоит от \$ 2000 до 6000 за кв. метр. Хотя эти стеклянные стены не являются несущими, они обычно являются частью стеновой системы и имеют легкий металлический каркас, такой как алюминий. Это означает, что они требуют тщательной установки с соседними конструктивными элементами [9].

Итак, мы видим, что облицовка зданий каменной плиткой стоит около \$ 100 за кв. метр, облицовка зданий стеклянными пакетами стоит тысячи долларов за кв. метр. А цена солнечных панелей для облицовки стены составляет \$ 35 за кв. метр.

4. Выводы

- Министерство энергетики, предлагает увеличить площадь для строительства солнечных панелей на десятки тысяч дунамов, но экологические организации и министерство охраны окружающей среды выступают против такого использования дорогих хозяйственных территорий.

- Министерство энергетики считает, что большая часть потенциала метода двойного использования будет исчерпана в Израиле к середине десятилетия, поэтому полагаться только на него не получится.

- Выделение десятков квадратных километров для строительства наземных объектов возобновляемой энергетики (и солнечных, и ветряных сооружений), представляется как нерациональное расходование дорогих хозяйственных территорий и нарушение экологии территорий Негева или Галанских высот.

- Альтернативой наземным сооружениям (нерациональному расходованию государственных средств) и большим резервом для увеличения площадей для солнечных панелей в стране является строительство СФЭС на стенах высотных зданий, а также на водоемах, например, на Мертвом или Средиземном морях. А это уже сотни квадратных километров, пригодных для размещения солнечных панелей. Проектирование высотных зданий, предусматривающее сразу облицовку здания солнечными панелями (вместо керамической плитки или стекло пакетов) значительно позволит снизить затраты на строительство СФЭС.

9. Заключение

Направить данную статью для рассмотрения специалистами Министерств энергетики, строительства и экологии.

Ссылки

- [1]. https://www.gov.il/BlobFolder/rfp/shim_2030yaad/he/Files_Shimuah_yaad_2030n_work
- [2] https://www.researchgate.net/publication/342903106_Estimating_the_Optimum_Tilt_Angles_for_South-Facing_Surfaces_in_Palestine
- [3] <https://news.israelinfo.co.il/107489>
- [4] <https://www.rlocman.ru/news/new.html?di=660485>
- [5] <https://cleantechnica.com/2022/07/25/new-research-says-vertical-solar-panels-have-improved-performance/>
- [6] <https://www.vesty.co.il/main/article/rj2b3vkto>
- [7] <https://xinzhihua.en.made-in-china.com/product/KFsAWwCrkQTS/China-Black-Slate-Exterior-Wall-Decoration-Outside-Cladding-Facade-Stone-Tiles-Bricks-Price.html>
- [8] <https://homeguide.com/costs/tile-installation-cost>
- [9] <https://www.angi.com/articles/how-much-glass-walls-cost.htm>
- [10] <https://www.youtube.com/watch?v=SLD4kSKazuo>