

ДОНЕЦКАЯ НАРОДНАЯ РЕСПУБЛИКА
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
УЧРЕЖДЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Донецкая Республиканская Малая Академия Наук учащейся молодежи»

Отделение: математика

Секция: математическое моделирование

НЕКОТОРЫЕ МОМЕНТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ИНСОЛЯЦИИ
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Работу выполнил:

Крикун Илья Олегович

ученик 11 класса Муниципального
общеобразовательного учреждения
«Лицей «Интеллект» города Донецка»

Научный руководитель:

Лукьянченко Сергей Александрович,
аспирант кафедры автоматики и
телекоммуникаций ДонНТУ

Учитель: Сулейман Елена Николаевна
учитель математики

Донецк - 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень условных обозначений.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАЗДЕЛ 1 СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА.....	6
1.1 Солнечные панели.....	6
1.2 Математическое описание.....	9
1.3 Вывод.....	11
РАЗДЕЛ 2 РАСЧЕТЫ ИНСОЛЯЦИИ.....	12
2.1 Вывод.....	16
РАЗДЕЛ 3 УСТРОЙСТВА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ И ОПТИЧЕСКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ.....	17
3.1 Устройства слежения за солнцем.....	17
3.2 Устройства оптической концентрации.....	19
3.3 Вывод.....	21
ВЫВОДЫ.....	22
Список литературы.....	23

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

МСВ – местное солнечное время;

МВ – местное время;

Д- долгота;

МСВМ – местное солнечное время меридиональное;

УВ – угол восхода;

ВПК – временной параллактический коэффициент;

СЭС - солнечные электростанции

ГЭС - гидроэлектростанция

СТЭС – солнечная теплоэлектростанция

ВВЕДЕНИЕ

Альтернативный источник энергии является возобновляемым ресурсом, он заменяет собой традиционные источники энергии, функционирующие на нефти, добываемом природном газе и угле, которые при сгорании выделяют в атмосферу углекислый газ, способствующий росту парникового эффекта и глобальному потеплению. Причина поиска альтернативных источников энергии — потребность получать её из энергии возобновляемых или практически неисчерпаемых природных ресурсов и явлений.

Основные направления альтернативной энергетики: ветроэнергетика, биотопливо, гелиоэнергетика, альтернативная гидроэнергетика, геотермальная энергетика.

Солнечная энергетика является быстро развивающейся отраслью возобновляемых источников энергии. В этом научном направлении наблюдается большой прогресс.

В мировой практике солнечные фотоэлектростанции широко применяются для выработки как электрической, так и тепловой энергии. Особенное развитие эти технологии получили в Европе (Германия, Италия) и Азии (Индия, Китай). При этом стоимость фотоэлементов уменьшилась за последний год на 25%.

Но не везде целесообразно использование данных технологий, т.к. работа такого вида электростанций зависит от погодных условий и солнечной инсоляции, уровень которой в верхних широтах намного меньше, чем в широтах близких к экватору. Поэтому необходимо применять методы увеличения солнечного потока для выработки максимального количества энергии для областей с низкой инсоляцией.

Необходимо провести исследования по определению уровня солнечного излучения на территории Донецкой и Луганской народных республик и сравнить результаты. А также рассмотреть методы повышения эффективности

использования солнечной энергии в местах с низкой инсоляцией за счет модернизации конструкции солнечной электростанции.

В ходе работы предложено в качестве объектов выбрать три географических положения, для которых будут рассчитана солнечная энергия. И определить какая из точек является более выгодной.

РАЗДЕЛ 1

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

1.1 Солнечные панели

Способы получения электричества, тепла и топлива из солнечного излучения:

- Фотовольтаика — прямое преобразование фотонов в электроэнергию с помощью фотоэлементов;
- гелиотермальная энергетика — нагревание поверхности, поглощающей солнечные лучи, и последующее распределение и использование тепла.

Солнечные электростанции состоят из таких основных частей:

- панелей;
- контроллера заряда;
- инвертора;
- аккумуляторных батарей.

Основным элементом являются панели, производящие электричество, которые изготавливаются, в основном, из монокристаллического кремния.



Рис. 1.1 – Кремниевые панели солнечной электростанции

Достоинства:

- Перспективность, доступность и неисчерпаемость источника энергии в условиях постоянного роста цен на традиционные виды энергоносителей.
- Теоретически, полная безопасность для окружающей среды, хотя существует вероятность того, что повсеместное внедрение солнечной энергетики может изменить альбедо (характеристику отражательной (рассеивающей) способности) земной поверхности и привести к изменению климата (однако при современном уровне потребления энергии — это крайне маловероятно).

Недостатки:

- Зависимость от погоды и времени суток;
- Сезонность в средних широтах и несовпадение периодов выработки энергии и потребности в энергии. Нерентабельность в высоких широтах. Как следствие, необходимость аккумуляции энергии;
- При промышленном производстве — необходимость дублирования солнечных ЭС маневренными ЭС сопоставимой мощности.
- Высокая стоимость конструкции, связанная с применением редких элементов (к примеру, индий и теллур).
- Необходимость периодической очистки, отражающей/поглощающей поверхности от загрязнения.
- Необходимость использования больших площадей;
- Солнечная электростанция не работает ночью и недостаточно эффективно работает в вечерних сумерках, в то время как пик электропотребления приходится именно на вечерние часы;
- Несмотря на экологическую чистоту получаемой энергии, сами фотоэлементы содержат ядовитые вещества, например, свинец, кадмий, галлий, мышьяк и т. д., что ставит под вопрос экологическую чистоту производства и утилизации батарей.

Солнечные электростанции подвергаются критике из-за высоких издержек. Так, СТЭС Айвонпа обходится вчетверо дороже, а генерирует гораздо меньше электроэнергии, по сравнению с газовыми электростанциями. По подсчётам экспертов, в будущем электроэнергия, вырабатываемая этой станцией, будет стоить вдвое дороже, чем получаемая от обычных источников энергии, а расходы, очевидно, будут переложены на потребителей.

Из-за своей низкой эффективности, которая в лучшем случае достигает 35%, солнечные батареи сильно нагреваются. Остальные 65% энергии солнечного света нагревают солнечные батареи до средней температуры порядка 55 °С. С увеличением температуры фотогальванического элемента на 1°, его эффективность падает на 0,5 %. Эта зависимость не линейна и повышение температуры элемента на 10° приводит к снижению эффективности почти в два раза. Активные элементы систем охлаждения (вентиляторы или насосы, перекачивающие хладагент) потребляют значительное количество энергии, требуют периодического обслуживания и снижают надёжность всей системы. Пассивные системы охлаждения обладают очень низкой производительностью и не могут справиться с задачей охлаждения солнечных батарей.

Из-за доступности источника энергии и экологической чистоты солнечных батарей СЭС продолжают набирать популярность. Но в разных географических широтах их эффективность варьируется из-за разности потоков солнечного излучения.

Поток солнечного излучения, проходящий через площадку в 1 м², расположенную перпендикулярно потоку излучения на расстоянии одной астрономической единицы от центра Солнца (на входе в атмосферу Земли), равен 1367 Вт/м² (от 1,321 кВт/м² в начале июля до 1,412 кВт/м² в начале января). Из-за поглощения, при прохождении атмосферной массы Земли, максимальный поток солнечного излучения на уровне моря (на Экваторе) — 1020 Вт/м². Однако следует учесть, что среднесуточное значение потока солнечного излучения через единичную горизонтальную площадку как минимум

в π раза меньше (из-за смены дня и ночи, и изменения угла солнца над горизонтом). Зимой в умеренных широтах это значение в два раза меньше.

	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	Среднегодовая инсоляция кВт*ч/м2/сутки
0°	0.75	1.56	2.81	3.87	5.13	5.27	5.14	4.30	2.63	1.49	0.81	0.50	2.86
40°	1.51	2.55	3.78	4.34	5.12	4.97	5.00	4.57	3.22	2.20	1.48	1.08	3.32
55°	1.66	2.70	3.82	4.16	4.70	4.51	4.53	4.31	3.17	2.27	1.58	1.20	3.22
70°	1.72	2.71	3.67	3.79	4.18	3.95	4.00	3.85	2.97	2.24	1.62	1.26	3.00
90°	1.65	2.50	3.19	3.07	3.21	2.99	3.05	3.08	2.51	2.02	1.53	1.22	2.50
Оптимальный угол	72.0	63.0	50.0	34.0	20.0	11.0	16.0	27.0	43.0	58.0	69.0	74.0	44.6

Рис.1.2 – Показатели инсоляции на различных широтах

1.2 Математическое описание

Солнечная постоянная в околоземном пространстве в течении года равна $\approx 1,367 \text{ кВт/м}^2$.

Но, т.к. атмосфера поглощает солнечное излучение, то на поверхность Земли попадает $\approx 70\%$ всей солнечной энергии: $\approx 1,367 \text{ кВт/м}^2 * 0,70 = \approx 0,9569 \text{ кВт/м}^2$.

Но, т.к как панели не будут стоять неподвижно относительно солнца, то попадающее излучение на земную поверхность вычисляется по формуле:

$$G = G_0 * (\sin(\psi) * \cos(a) - \sin(a) * \cos(\psi) * \sin(\beta - \gamma)) \quad (1)$$

$$\cos \psi = (\cos \alpha * \sin \varphi - \cos \varphi * \cos \beta * \sin \alpha) * \sin \delta + (\sin \varphi * \cos \beta * \sin \alpha + \cos \alpha * \cos \varphi) * \cos \delta * \cos \omega + \sin \beta * \sin \alpha * \cos \delta * \sin \omega \quad (2)$$

где:

ψ - зенитный угол;

α - угол высоты;

φ - градус широты;

β - азимутальный угол;

$$\gamma = 90 - \alpha$$

δ - угол склонения Солнца,

N - число дней с 1-го января.

ω - часовой угол, рассчитывается по формулам:

$$\omega = 15^0(\text{МСВ} - 12),$$

$$\text{МСВ} = \text{МВ} + \frac{\text{ВПК}}{60},$$

$$\text{ВПК} = 4 * (\text{МСВМ} - \text{Д}) + \text{УВ},$$

$$\text{МСВМ} = 15^0 * \Delta T_{\text{ГМТ}},$$

$\Delta T_{\text{ГМТ}}$ - разница с Гринвичем, в часах.

$$\text{УВ} = 9.87 * \sin(2B) - 7.53 * \cos(B) - 1.5 \sin(B),$$

$$B = \frac{360(N-81)}{365}.$$

$$G_0 \approx 0,9565 \text{ кВт/м}^2$$

$$\delta = -23,45^0 * \cos \frac{360*(N+10)}{365,25}.$$

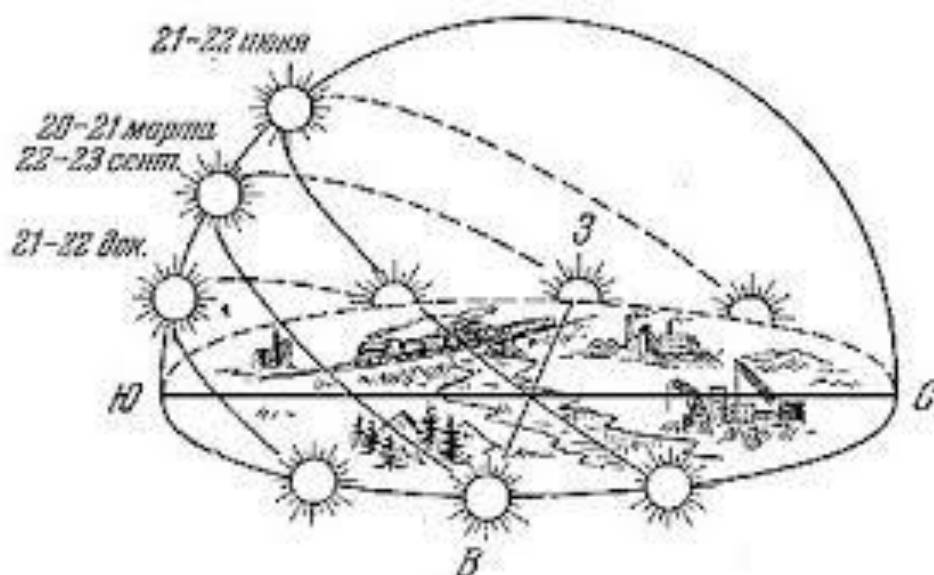


Рис. 1.3 – Траектория движения солнца по небосводу в ключевые даты

За год же количество солнечной энергии, генерируемой панелями в зависимости от погоды над ДНР варьируется от 25 Вт/м^2 (зимой в пасмурную погоду) до 1150 Вт/м^2 (летом в солнечную).

1.3 Вывод

Хотя использование энергии солнечного излучения имеет множество недостатков, эффективность данного метода добычи электричества постоянно растет из-за наличия огромных возможностей для модернизации средств преобразования энергии солнца.

РАЗДЕЛ 2

РАСЧЕТЫ ИНСОЛЯЦИИ

Примем условия при расчетах идеальными, т.е. никакие атмосферные явления не учитываются. Дата расчетов: 22 июня, день летнего солнцестояния. Время расчетов 12.00. N=173 (22 июня является по счету 173 днем с 1го января).

Первой точкой, относительно которой будут производиться расчеты – поле между селами Хрящеватое и Валиевка с координатами $48^{\circ}31'10.5''$ северной широты и $39^{\circ}27'48.9''$ восточной долготы, высота над уровнем моря 125 метров.

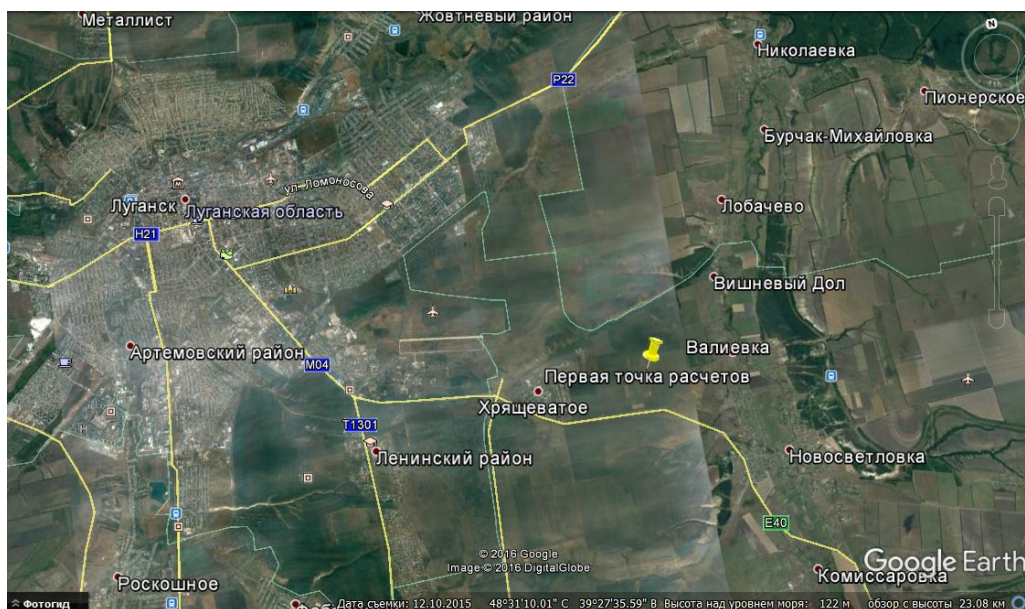


Рис. 2.1 – Первая точка расчетов на карте

Входные данные: угол высоты – $59,9^{\circ}$; градус широты – $48,31^{\circ}$; азимутальный угол - $200,5^{\circ}$, $\Delta T_{GMT}=4$.

$$B = \frac{360 * (173 - 81)}{360} = \frac{360 * 92}{365} = \frac{33120}{365} = 90.7$$

$$\begin{aligned} UB &= 9.87 * \sin(2 * 90.7) - 7.53 * \cos(90.7) - 1.5 * \sin(90.7) = \\ &= 9.87 * (-0.02) - 7.53 * (-0.01) - 1.5 * 0.99 = \\ &= -1.974 + 0.0753 - 1.485 = -1.6071 = -1.6 \end{aligned}$$

$$MCBM = 15^{\circ} * 4 = 60^{\circ}$$

$$\text{ВПК} = 4 * (60 - 39) - 1.6 = 4 * 21 - 1.6 = 116 - 1.6 = 114.4$$

$$\text{MCB} = 12 + \frac{114.4}{60} = 12 + 1.9 = 13.9$$

$$\omega = 15^\circ(13.9 - 12) = 15^\circ * 1.9 = 28.5$$

$$\begin{aligned} \delta &= -23.45 * \cos \frac{360 * (173 + 10)}{365} = -23.45 * \cos \frac{360 * 183}{365} \\ &= -23.45 * \cos 180.5 = -23.45 * (-0.99) = 23.2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos \psi &= (\cos 59.9 * \sin 48.3 - \cos 48.3 * \cos 200.5 * \sin 59.9) * \sin 23.2 \\ &\quad + (\sin 48.3 * \cos 200.5 * \sin 59.9 + \cos 59.9 * \cos 48.3) * \cos 23.2 \\ &\quad * \cos 28.5 + \sin 200.5 * \sin 59.9 * \cos 23.2 * \sin 23.2 \\ &= (0.5 * 0.75 - 0.67 * (-0.94) * 0.87) * 0.39 \\ &\quad + (0.75 * (-0.94) * 0.87 + 0.5 * 0.67) * 0.91 * 0.88 + 0.35 * 0.87 \\ &\quad * 0.91 * 0.39 = (0.38 + 0.54) * 0.39 + (-0.61 + 0.34) * 0.8 + 0.27 \\ &= 0.92 * 0.39 - 0.27 * 0.8 + 0.27 = 0.36 - 0.22 + 0.27 = 0.41 \end{aligned}$$

$$\sin \psi = \sqrt{1 - \cos \psi^2} = \sqrt{1 - 0.0016} = 0.99$$

$$\begin{aligned} G &= 0.9565 \text{ KBT} / \text{M}^2 * (0.99 * 0.5 - 0.86 * 0.41 * 0.7) \\ &= 0.9565 \text{ KBT} / \text{M}^2 * (0.5 - 0.25) = 0.38 \text{ KBT} / \text{M}^2 \end{aligned}$$

Второй точкой будет поле возле Новоазовска с координатами $47^{\circ}07'28.09''$ северной широты $38^{\circ}07'35.87''$ восточной долготы, высота над уровнем моря- 20 м.

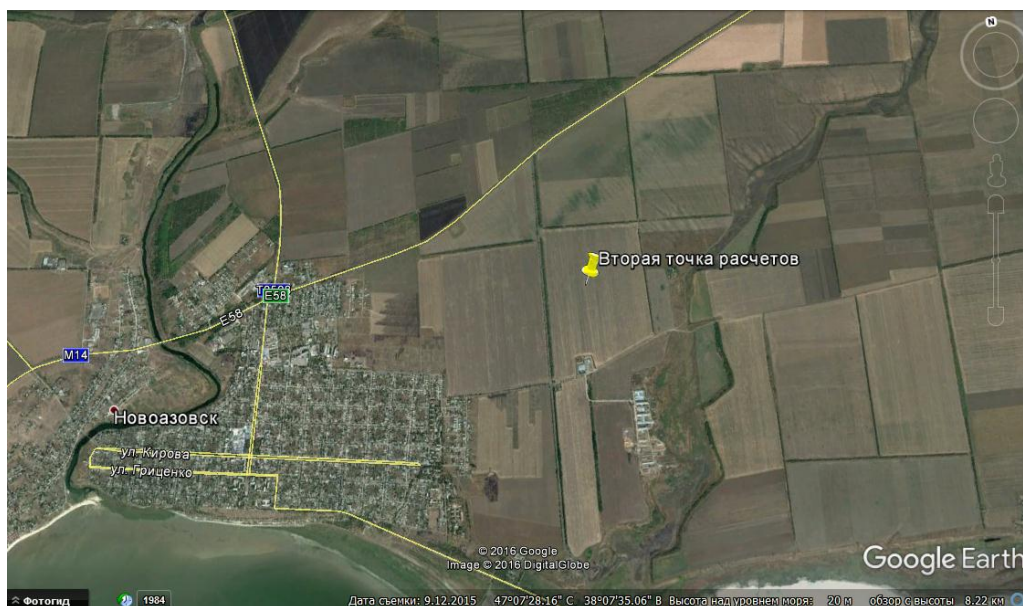


Рис. 2.2 – Вторая точка расчетов на карте

Входные данные: угол высоты – 60.3^0 , угол широты - 38^0 , азимутный угол – 135.2^0

$$\omega = 28.5; \delta = 23.2$$

$$\begin{aligned} \cos \psi &= (\cos 60.3 * \sin 38 - \cos 38 * \cos 135.2 * \sin 60.3) * \sin 23.2 \\ &+ (\sin 38 * \cos 135.2 * \sin 60.3 + \cos 60.3 * \cos 38) * \cos 23.2 \\ &* \cos 28.5 + \sin 135.2 * \sin 60.3 * \cos 23.2 * \sin 28.5 \\ &= (0.5 * 0.62 - 0.79 * (-0.7) * 0.87) * 0.39 \\ &+ (0.62 * (-0.7) * 0.87 + 0.5 * 0.79) * 0.91 * 0.88 + 0.7 * 0.87 * 0.91 \\ &* 0.48 = (0.31 + 0.48) * 0.39 + (-0.38 + 0.4) * 0.8 + 0.21 \\ &= 0.79 * 0.39 + 0.02 * 0.8 + 0.21 = 0.3 + 0.016 + 0.21 = 0.52 \end{aligned}$$

$$\sin \psi = \sqrt{1 - \cos^2 \psi} = \sqrt{1 - 0.3481} = 0.84$$

$$\begin{aligned} G &= 0.9565 \text{ кВт/м}^2 * (0.84 * 0.5 - 0.87 * 0.52 * 0.07) \\ &= 0.9565 \text{ кВт/м}^2 * (0.42 - 0.03) = 0.41 \text{ кВт/м}^2 \end{aligned}$$

Треть точка расчета – Саур-могила, находится приблизительно между этими 2-мя точками, имеет координаты $47^{\circ}55'19.19''$ северной широты $38^{\circ}44'25.73''$ восточной долготы.

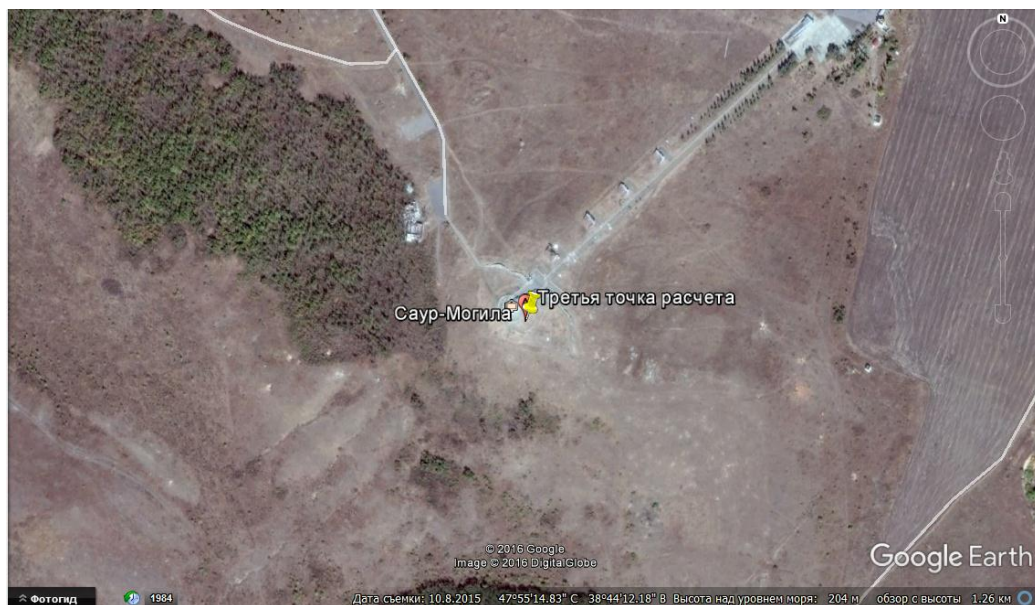


Рис. 2.3 – Третья точка расчетов на карте

Входные данные: угол высоты - 60° , угол широты – 48° , азимутальный угол 137°

$$\omega = 28.5; \delta = 23.2$$

$$\begin{aligned} \cos \psi &= (\cos 60 * \sin 48 - \cos 48 * \cos 137 * \sin 60) * \sin 23.2 \\ &+ (\sin 48 * \cos 137 * \sin 60 + \cos 60 * \cos 48) * \cos 23.2 * \cos 28.5 \\ &+ \sin 137 * \sin 60 * \cos 23.2 * \sin 28.5 \\ &= (0.5 * 0.74 - 0.67 * (-0.73) * 0.87) * 0.39 \\ &+ (0.74 * (-0.73) * 0.87 + 0.5 * 0.67) * 0.91 * 0.88 + 0.68 * 0.87 \\ &* 0.91 * 0.48 = (0.37 + 0.43) * 0.39 + (-0.47 + 0.34) * 0.8 + 0.26 \\ &= 0.8 * 0.39 - 0.13 * 0.8 + 0.26 = 0.31 - 0.1 + 0.26 = 0.47 \end{aligned}$$

$$\sin \psi = \sqrt{1 - \cos \psi^2} = \sqrt{1 - 0.2209} = 0.88$$

$$\begin{aligned}
 G &= 0.9565 \text{ кВт/м}^2 * (0.88 * 0.5 - 0.87 * 0.47 * 0.15) \\
 &= 0.9565 \text{ кВт/м}^2 * (0.44 - 0.06) = 0.9565 \text{ кВт/м}^2 * 0.38 \\
 &= 0.4 \text{ кВт/м}^2
 \end{aligned}$$

2.1 Вывод

В зависимости от географического расположения солнечной электростанции (севернее или южнее) варьируется количество вырабатываемой энергии. Но из-за небольшой разницы в расстоянии невелика и разница в инсоляции, что было показано в расчетах выше. Для увеличения выработки энергии также возможно использование устройств слежения за солнцем и устройства оптической концентрации.

РАЗДЕЛ 3

УСТРОЙСТВА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ И ОПТИЧЕСКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

3.1 Устройства слежения за солнцем

В связи с различными уровнями облачности, а также различными условиями освещенности, в солнечных парках для повышения уровня выработки энергии используют трекинговые системы. Индивидуальный контроль гарантирует каждой системе оптимальную ориентацию на яркий источник облучения, следовательно, это гарантирует высокий выход энергии.

Лучше всего это продемонстрировано на примере:

Оператор Picanda Solar, испанский солнечный парк, произвёл сравнение доходности своих фотоэлектрических систем в течение нескольких лет. Результаты показали, что используя одинаковые модули и инверторы, стационарные фотоэлектрические установки вырабатывают около 1500 кВт/ч - пик, а при использовании трекинговых систем Тур 5000 NT достигнута выработка электроэнергии 2200 кВт/ч - пик. То есть производство электроэнергии увеличилось на 46 %.

Это, в свою очередь, доказывает рентабельность использования трекеров для увеличения выработки энергии.



Рис 3.1 – Поворотно-наклонный механизм (вид спереди)

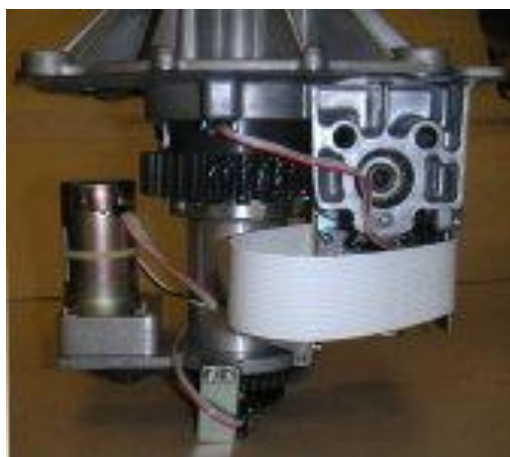


Рис.3.2 – Поворотно-наклонный механизм (вид сзади)



Рис 3.3 – Наклонный механизм.



Рис 3.4 – Солнечная панель с поворотным механизмом

3.2 Устройства оптической концентрации

Кроме систем слежения за солнцем для повышения эффективности использования солнечной энергии применяют и другие устройства.

Устройствами для оптической концентрации являются зеркала, используемые в 3-х типах СЭС: башенных, тарельчатых и с параболическими концентраторами.

СЭС башенного типа используют зеркала для концентрации солнечной энергии в одной точке. Сконцентрированная энергия направляется на оптические элементы или на резервуары с водой (которая потом проходит через турбогенераторы). Данные станции занимают огромную площадь, но и вырабатывают очень много энергии (крупнейшая такая СЭС даёт почти 400 мегаватт, занимая территорию в 1300 гектар).



Рис.3.5- Башенная СЭС в пустыне Мохаве

Также зеркала используют в СЭС тарельчатого типа, где гигантское (до 20 метров в диаметре) параболическое зеркало концентрирует солнечный свет на фотоэлемент. В отличие от башенных СЭС, каждое зеркало имеет свой фотоэлемент, уменьшающий зависимость станции от погодных условий и

требуемую площадь, позволяя использовать тарельчатую СЭС даже в домашнем хозяйстве. На данный момент их КПД составляет около 30%.



Рис 3.6 – Внешний вид «тарелок» - концентраторов

По схожему принципу работают СЭС с параболическими концентраторами, которым, как и башенным СЭС, требуется большие площади. Фотоэлемент или труба с теплопроводником располагаются очень близко (2-3 метра) к зеркалу, что отличает их от других «зеркальных» СЭС. Эффективность достигается только при большой длине зеркал, и, соответственно, приемной поверхности.



Рис. 3.7 – СЭС с параболическими концентраторами в Аргентине

3.3 Вывод

Существуют разные способы повышения эффективности использования солнечной энергии, затрагивающие модернизацию носителей фотоэлементов и использование солнечного тепла, самые распространенные из которых были представлены выше.

ВЫВОДЫ

Данная работа демонстрирует некоторые достоинства и недостатки использования солнечных электростанций, включающие в себя как экологические, так и экономические аспекты, возможность размещения солнечных электростанций на территории Донецкой и Луганской Народных Республик, расчеты эффективности возможных электростанций в зависимости от места их географического расположения и разницу солнечной инсоляции в выбранных для расчета точках (с картографической привязкой к реальным населенным пунктам и известным объектам ландшафта, включающим в себя Саур-могилу, наивысшую точку на территории Донецкой Народной Республики). Также были продемонстрированы некоторые варианты станций преобразования солнечной энергии в электрическую и варианты улучшения самого распространенного из них типа – солнечной электростанции, основанной на панелях с фотоэлементами, не исключающий установку данных источников энергии на территории частных домашних хозяйств.

Список литературы

1. Стычинский З. А., Воропай Н. И. Возобновляемые источники энергии – Магдебург, 2010- С.47-48
2. ABB Technical Application Papers No.10 Photovoltaic plants. – 2015 [Электронный ресурс]. Режим доступа:
[http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/c71c66c1f02e6575c125711f004660e6/d54672ac6e97a439c12577ce003d8d84/\\$FILE/Vol.10.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/c71c66c1f02e6575c125711f004660e6/d54672ac6e97a439c12577ce003d8d84/$FILE/Vol.10.pdf)

ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

<https://ru.wikipedia.org>

<http://www.sintsolar.com.ua>

<http://planetcalc.ru/>

<http://banksolar.ru/>