



Журнал Ўзбекистон Матбуот ва ахборот агентлиги томонидан 2018 йил 8 сентябрда 0989-сонли гувоҳнома билан рўйхатга олинган.

Журнал таҳририят компютерида терилди ва саҳифаланди.

Таҳририятта тақдим этилган материаллар тақриз этилмайди ва эгаларига қайтарилмайди. Муаллиф фикри таҳририят нуктан назаридан фарқ қилиши мумкин.

Таҳририят манзили:  
Тошкент шаҳри, Шайхонтоҳур  
тумани, А.Навоий кўчаси, 22-уй.  
Телефон: +998 71 241 08 59  
+998 71 241 33 84  
Веб сайт: [www.uzgidrojurnal.uz](http://www.uzgidrojurnal.uz)  
[www.uzgidro.uz](http://www.uzgidro.uz)

I (17) Апрель 2023

<p><b>Норматив-ҳуқуқий ҳужжатлар</b> Гидроэнергетика соҳасини янада ислоҳ қилиш чора-тадбирлари тўғрисида ..... 2</p> <p><b>Сўз боши</b> Гидроэнергетика тармоғини рақамлаштириш – фаолият самарадорлигини оширишнинг муҳим омилли ..... 5</p> <p><b>Бош муҳаррир минбари</b> Янги босқичда рақамлаштириш жараёналари устувор аҳамиятга эга бўлади ..... 6</p> <p><b>Ҳисобот даври</b> <u>Хуршид РАВШАНОВ.</u> “Ўзбекгидроэнерго” АЖ: 2023 йил биринчи чорак фаолияти кўрсаткичларига доир ..... 7</p> <p><b>Халқаро ҳамкорлик</b> <u>Хулқар ЖУРАЕВА.</u> Ҳамкорлик доирасида кинетик турбинали гидроагрегатлар ишлаб чиқаришда ..... 8 <u>Фахриддин ХУРРАМОВ.</u> Хитойнинг “JinLun” компанияси билан Ўзбекистонда гидроагрегатларни ишлаб чиқариш бўйича амалий ҳамкорлик амалга оширилмоқда ..... 10</p> <p><b>Президент қарорлари ижроси – амалда ва назоратда</b> <u>Шодмон РАСУЛОВ.</u> Шахсий масъулият, мустақам интизом ва ташаббускорлик – самарали меҳнат пойдевори ..... 11</p> <p><b>Янги гидроэнергетик қувватлар ишга туширилишига доир</b> <u>Асқар УЛУҒОВ.</u> Янги гидроэнергетик қувватлар – ҳудудлар ижтимоий-иқтисодий ривожланишининг муҳим омилли ..... 16</p> <p><b>Тизимдаги рақамлаштириш жараёналари</b> <u>Қобил ИКРАМОВ.</u> “Ўзбекгидроэнерго” АЖ: рақамлаштириш бўйича амалга оширилган ишлар ҳамда келуси режалар ..... 18</p> <p><b>Реализация гидротехнических проектов</b> <u>Ином МАЖИДОВ, Қомил НАЗАРОВ.</u> Экспериментальные инженерно-геотехнические исследования на участке основных сооружений Пскемской ГЭС на р. Пскем ..... 20</p> <p><b>Тизимдаги инновациялар</b> <u>Жамол КАМАЛОВ, Жаҳонгир АХРОНҚУЛОВ.</u> Жамият бошқарувидаги сув омборларида сув ресурслари ҳисоби ва ҳисоботини юритиш тизимини янада яхшилашга доир ..... 23</p> <p><b>Технологик қурилмалар</b> <u>Сирожиддин ХУШИЕВ, Муҳаммадҷон ХУРШИДОВ.</u> Каналдаги сузиб келувчи чиқиндиларни тозалаш учун юқори технологик қурилма (ром)ни танлаш таҳлили ..... 24</p> <p><b>Каскад фаолиятига доир</b> <u>Абдурашид ХАЙДАРОВ.</u> “Катта Фарғона каналидаги кичик ГЭСлар каскади” унитар корхонасининг электр энергиясини ишлаб чиқишдаги аҳамияти ..... 27</p> <p><b>Гидротехника иншоотларининг хавфсизлиги</b> <u>Ситдор АСАДОВ.</u> “Ўзбекгидроэнерго” АЖ тасарруфидаги сув омборларида гидротехника иншоотларининг хавфсизлигини таъминлаш – давр талаби ..... 29</p> <p><b>Соҳага оид норматив-ҳуқуқий ҳужжатлар</b> <u>Акмал САМЕДЖАНОВ.</u> Қайта тиклашнинг энергия маблағларини ва энергия тежовчи технологияларни жорий этишни жадаллаштиришга доир ..... 32</p> <p><b>Илмий-техник, назарий асослар</b></p>	<p><u>Дилшодбек ТОЖИМУРДОВ.</u> Гидроагрегатлар ишлашини назорат қилишга доир ..... 34 <u>Миралмад-Бойр ХОДЖИМАТОВ, Дилшодбек ТОЖИМУРДОВ, Жасурбек КОМИЛЖОНОВ.</u> Гидроагрегатнинг механик қисмидаги носозликларни аниқлаш ва уларнинг олдини олиш ..... 37 <u>Айбек АРИФЖАНОВ, Сухробхон ТОЖИБОЕВ.</u> Гидротехника иншоотларини назорат қилиш ва бошқаришда рақамли техник воситаларини танлаш ..... 40 <u>Мухаммад-Бойр ХОДЖИМАТОВ.</u> Гидродвигателлар ҳамда уларни бошқариш масалалари ..... 42 <u>Иродахон ЗОКИРОВА, Муҳинабону ШАРИПОВА.</u> Аҳоливи электр энергия билан таъминлашда ГЭСларнинг аҳамияти ..... 43 <u>Улғабек НОРМУРДОВ, Шайдобек КУРБОНОВ.</u> Гидротехника иншоотлари ишлаш муддатини бошқариш ..... 45 <u>Нуралӣ ПИРМАТОВ, Содиқҷон МАХАМАДЖОНОВ, Мухаммадсодиқ МАТКОСИМОВ.</u> Кичик қувватли гидроэлектр станцияларида асинхрон моторни генератор режимда ишлатиш ..... 49 <u>Муродҷон КОСИМОВ, Мусалмабек АБДИХОШИМОВ.</u> Гидротехник иншоотларини таъмирлаш ..... 51 <u>Дилшодбек АБДУХАЛИЛОВ.</u> Микро гидроэлектр станцияларининг тузилиши ва ишлатиш усуллари ..... 52 <u>Ойбек БОЗАРОВ, Акмалҷон ҚУЧКАРОВ, Холмиджон ЭГАМБЕРДИЕВ.</u> Гидроэлектр станция ва гидротурбиналар тарихига оид ..... 54 <u>Айбобек АЛИЖОНОВ.</u> Гидроэнергетикани ривожланиш тенденцияси ва Хитой гидроэнергетика тизими таҳлили ..... 60</p> <p><b>Научно-технические, теоретические основы</b> <u>Одильжан НИЗАМОВ, Содиқ ГАДОВЕВ, Шахриддин СУВОНОВ, Раҳимҷон САЛИХОВ.</u> Разработка микрогидроэлектростанции для получения электроэнергии на сбросной воде ..... 63 <u>Асқар МИРЗАЕВ, Алмиер ТОШХОДЖАЕВ, Дилшад ГАЛИЕВА, Нисматулло ТАЛИПОВ.</u> Усовершенствование гипсовых вяжущих материалов ..... 66</p> <p><b>Муқобил энергетика</b> <u>Баҳром НОРМУРАТОВ.</u> Facts қурилмалари билан қайта тикланувчан ва муқобил энергетика тизими иштирок этган бирлашган электр энергетика тизимини бошқариш ..... 68 <u>Шариф ҚАРИШИЕВ.</u> Қуёшли иссиқлик таъминоти тизимларида энергия тежамкор қуёш коллекторларини самарадорлигини оширишда гидравлик жараёналари ..... 70</p> <p><b>Альтернативная энергетика</b> <u>Ақрам МИРЗАБАЕВ, Абдусид ИСАКОВ, Асқар МИРЗАЕВ, Ойбек БУРАНОВ, Жорабек СУЛЕЙМАНОВ.</u> Опыт использования солнечной энергии в системах водоподъема ..... 72 <u>Ақрам МИРЗАБАЕВ, Хусниддин РАХМОНОВ, Шерзод МИРЗАБЕКОВ, Одил САЛИЕВ.</u> К способу ориентации солнечных панелей солнечной электростанции ..... 74</p> <p><b>Alternative energy</b> <u>Muhammadsayfulla ABDULLAYEV, Mahammadsoylik MATKOSIMOV.</u> Use of alternative energy sources ..... 79</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Таҳрир ҳайъати</b>	<b>Халқаро маслаҳат ҳайъати</b>	<b>Бош муҳаррир</b>	<b>Масъул муҳаррир</b>
Абдугани САНГИНОВ Бекзод АМИРСАИДОВ Фозил МАХМУДОВ Иноят СУНАТОВ Кахрамон АЛЛАЕВ Муродилло МУҲАММАДИЕВ	Дилшод БОЗОРОВ Бахриддин ХАСАНОВ Машиариф БАКИЕВ Абдусалд ИСАКОВ Ислом АБДУРАҲМОНОВ Акмал САМЕДЖАНОВ	Николай ВАТИН Николай АНИСКИН Дмитрий КОЗЛОВ Юлия БРЯНСКАЯ Ирина МАРКОВА Александра БЕСТУЖЕВА	Хулқар ЖУРАЕВА Саҳифаловчи дизайнер Шокиралӣ САРИМСОКОВ

## К СПОСОБУ ОРИЕНТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Акрам МИРЗАБАЕВ, профессор, Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»,  
Хусниддин РАХМОНОВ, учредитель, ООО «Arslon plastik»,  
Шерзот МИРЗАБЕКОВ, старший преподаватель,  
Одил САЛИЕВ, доцент,  
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

### Аннотация

Выработка электроэнергии солнечными фотоэлектрическими батареями зависит от угла падения солнечных лучей и максимальна, когда этот угол составляет 90 градусов, т.е. лучи падают строго перпендикулярно. Чем больше отклонение от угла 90 градуса, тем больше количество лучистой энергии отражается, а не поглощается солнечными модулями. По этому особенно важно правильно ориентировать поверхность солнечных модулей и установить нужный угол наклона. Для размещения панелей ФЭП на площадке СЭС необходимо рассчитать их взаимное затенение, учитывая конструкцию и размеры одной панели ФЭП и способ ее установки на поверхности земли под определённым расчетным углом.

**Ключевые слова:** солнечная панель, электростанция, фотоэлектрическая система, электроэнергия.

### Annotation

The generation of electricity by solar photovoltaic panels depends on the angle of incidence of the sun's rays and is maximum when this angle is 90 degrees, i.e. rays fall strictly perpendicular. The greater the deviation from the 90-degree angle, the more radiant energy is reflected rather than absorbed by the solar modules. Therefore, it is especially important to correctly orient the surface of solar modules and set the desired angle of inclination. To place PVC panels on the solar power plant site, it is necessary to calculate their mutual shading, taking into account the design and dimensions of one PVC panel and the method of its installation on the ground at a certain calculated angle.

**Key words:** solar panel, power plant, photovoltaic system, electricity.

### 1. Постановка вопроса.

Эффективность фотоэлектрической системы зависит от уровня солнечной радиации. Основной составляющей фотоэлектрических систем являются модули, в которые объединяются фотоэлементы. Модули бывают рассчитаны, а любое напряжение, вплоть до нескольких сотен вольт. Если в системе имеются нагрузки переменного тока, то для преобразования в переменный ток в состав системы входят инверторы.

Известно, что КПД фотоэлемента представляет собой отношение энергии, попадающей на фотоэлемент к электроэнергии, поступившей к потребителям электроэнергии. Существует практическое значение КПД, теоретическое и лабораторное. Практическое значение КПД фотоэлементов промышленного производства составляет: из монокристаллического кремния – 16-17%; из поликристаллического кремния – 14-15%; из аморфного кремния – 8-9% [1].

Выработка электроэнергии солнечными фотоэлектрическими батареями зависит от угла падения солнечных лучей и максимальна, когда этот угол составляет 90°, т.е. лучи падают строго перпендикулярно. Чем больше отклонение от угла 90°, тем большее количество лучистой энергии отражается, а не поглощается солнечными модулями. Поэтому особенно важно правильно ориентировать поверхность солнечных модулей и установить нужный угол наклона [2].

Для размещения панелей фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) на площадке СЭС необходимо рассчитать их взаимное затенение, учитывая конструкцию и размеры одной панели ФЭП и способ ее установки на поверхности земли под углом,

выполнить расчет тени панели в зависимости от времени года и часа дня и определить коэффициенты затенения [3,4].

Анализируя мощность солнечного излучения, следует оценить длину тени  $L$  для четырех характерных точек – летнего и зимнего солнцестояния и весеннего (осеннего) равноденствия. Максимальная величина затенения соответствует утренним часам в день зимнего солнцестояния, минимальное затенение – полдню в день летнего солнцестояния [5].

Коэффициенты затенения  $\alpha_{ij}$  целесообразно представить в долях от высоты  $h$  установки панели над землей (рис.1).

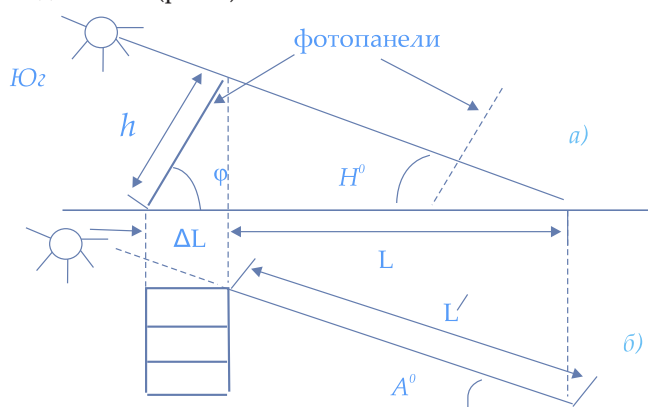


Рис.1. Схема размещения панелей ФП для расчета взаимного затенения: а) вид сбоку; б) вид сверху. Штриховой линией показано размещение панелей с затенением на расстоянии меньше  $L$ .

Для расчета углов Солнца и длины тени используется соотношения [6, 7]:

$$\alpha = \arccos \left\{ 0.3979 \cdot \cos \left[ \frac{2\pi(N-173)}{365} \right] \right\}, \quad (1)$$

где  $N$  – номер дня от первого января;

$$H^{\circ} = \arcsin(\sin \alpha \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau + \cos \alpha \cdot \sin \varphi), \quad (2)$$

где  $\tau = \frac{(t-12) \cdot 2\pi}{24}$

– часовая угол;  $t$  – время в часах от полуночи;  $\varphi$  – широта местности;  
 $L' = \frac{h \cdot \sin \varphi}{\cos H^{\circ}}$  – длина наклонной линии тени;  $h$  – высота ФП от уровня земли;

$$\cos A^{\circ} = \frac{\cos \alpha - \sin \delta \cdot \sin H^{\circ}}{\cos \delta \cdot \cos H^{\circ}}, \quad (3)$$

где  $A^{\circ}$  – азимутальный угол;  
 $L$  – длина тени в направлении перпендикулярном рядами ФП,

$$L = L' \cdot \cos A^{\circ}$$

где  $A^{\circ}$  – азимутальный угол;  $L$  – длина тени в направлении перпендикулярном рядам ФП.

При определении реализуемой суммарной мощности внутренней сети в цепи постоянного тока РΣФП для группы СМ на площадке СЭС, в связи с существенной разницей значений  $\varphi_{ij}$  по кварталам, целесообразно выполнять для кварталов отдельно согласно:

$$P_{\Sigma \text{ФП}} = P_j(\varphi_{ij}) \cdot N_j (1 - \alpha_{ij}), \text{Вт/м}^2, \quad (4)$$

где  $P_j(\varphi_{ij})$  – реализуемая мощность ФП;  $N_j$  – число ФП.

Для расчета среднеквартальной и среднегодовой выработки электроэнергии СЭС  $W_{\text{ФП}j}$  (кВт.ч/квартал, кВт.ч/год) и коэффициентов использования установленной мощности (КИУМ) и при известных величинах среднего количества солнечных дней  $d_{ij}$  и  $h_{ij}$  часов солнечного сияния производится согласно формуле:

$$W_{\text{ФП}j} = P_{\Sigma \text{ФП}} \cdot d_{ij} \cdot h_{ij} \quad (5)$$

Расчет выработки электроэнергии СЭС и средней величины СЭС целесообразно выполнять не только за год, но и по кварталам, что позволит точнее учитывать реальную мощность СЭС, например, для суточного графика покрытия нагрузок сети. Расчет средней величины для СЭС также можно выполнить по кварталам и за год (с учетом часов солнечного сияния  $h_{ij}$  за год) и среднее значение  $K_{ij}$  за год по обычному расчету для электростанций (для  $h=24$  часа в сутки). При расчете КИУМ СЭС определяется расчетная выработка электроэнергии  $W_{\text{рас}} \text{ СЭС}$  за год  $W_{\text{рас.год}}$  и за квартал  $W_{\text{р.кв}}$  при условии реализации нормируемой установленной мощности ФЭ –  $P_{\text{ном}}$ .

$$W_{\text{рас.год}} = 365 \cdot 24 \cdot P_{\text{ном}} \cdot N, \quad (6)$$

$$W_{\text{рас.кв}} = D_i \cdot 24 \cdot P_{\text{ном}} \cdot N, \quad (7)$$

где,  $N$  – число ФЭ;  $D_i$  – число дней в соответствующим квартале года.

Величина КИУМ равняется отношению фактической реализованной годовой или квартальной выработки энергии к расчетной [8]:

$$K_{\text{и.год}} = \frac{W_{\text{год}}}{W_{\text{расч.год}}}, \quad (8)$$

$$K_{\text{и.год}} = \frac{W_{\text{год}}}{W_{\text{расч.год}}}, \quad (9)$$

## 2. Способы ориентации солнечных панелей.

В течении года Земля описывает эллиптический путь вокруг Солнца (рис.2). Это движение является причиной изменения сезонов года и длительности светового дня. Изменение высоты Солнца на небосклоне в течение года определяется прецессией земной оси, отвечающей за склонение оси Земли относительно плоскости эклиптики в течение года. В течение дня Земля также вращается вокруг своей оси, описывая полный круг, это движение является причиной восходов и закатов [9].

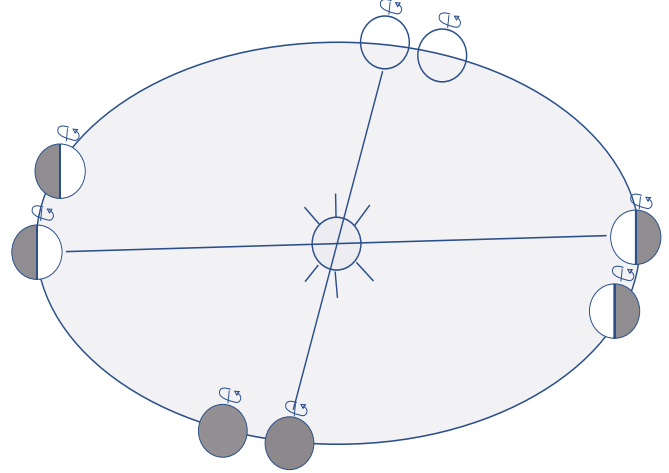


Рис.2. Вращение Земли вокруг Солнца в течение года

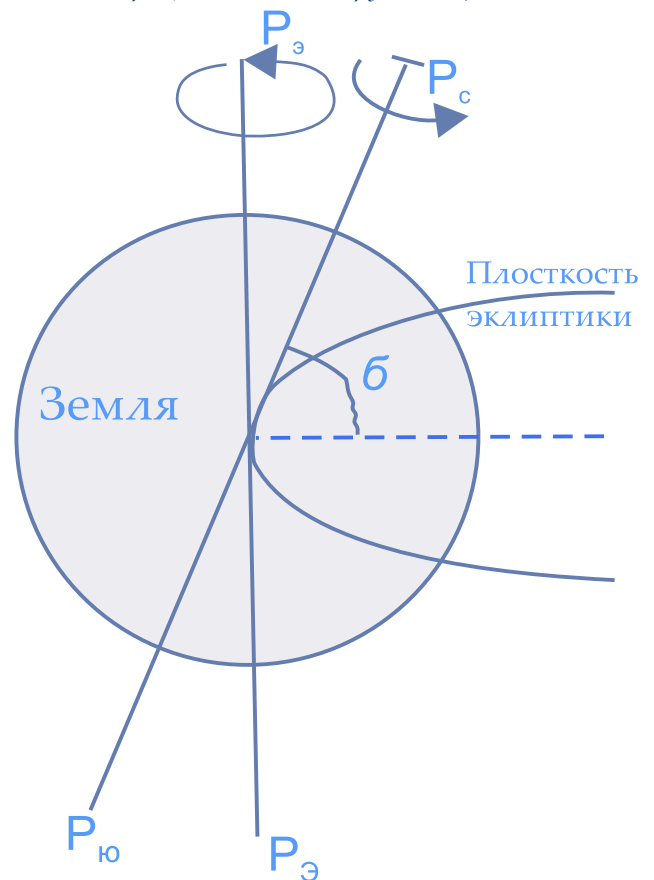


Рис.3. Схематическое изображение прецессии земной оси.

Оптимальный угол наклона солнечных панелей зависит от широты местности, а также может быть изменен в зависимости от того, какой оптимизации в производстве энергии необходимо добиться. Так, он может быть уменьшен от оптимального значения, если фотоэлектрическая станция работает в летний период (летний оптимум), увеличен, если ФЭС эксплуатируется в основном в осенне-зимний период, или принят средним по значению, если ФЭС предназначена для круглогодичной эксплуатации.

Упрощенная формула расчета оптимального угла наклона СМ:

Если широта до 25°, числовое значение широты умножить на 0,87;

Если широта между 25° и 50°, числовое значение широты умножить на 0,76, плюс 3,1 градуса.

Проведенный ниже график показывает влияние регулировок угла наклона на производительность (рис.4) [10].

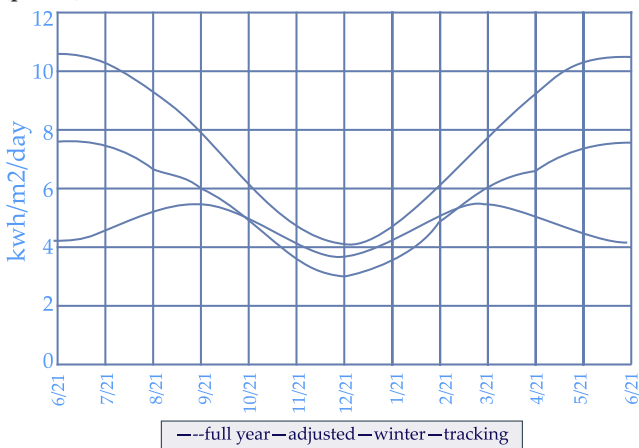


Рис.4. Влияние регулировок угла наклона на производительность.

– линия показывает количество энергии, которую можно получить каждый день, если монтаж СЭС, установка СБ произведена на фиксированной оптимальный угол наклона;

– линия показывает количество солнечной энергии, которую можно получить при регулировании угла наклона четыре раза в год;

– линия показывает количество солнечной энергии в день, если СБ установлены на зимний угол;

– для сравнения, показывает энергию, которую можно было бы получить от двух осевой трекерной системы слежения, которая всегда ориентируют панели прямо на солнце. Цифры даны для 40° широты (Табл.1).

Таблица 1.

Широта	Летний угол	Зимний угол	% от оптимального (2-осевого трекера)
25°	2,3	41,1	76%
30°	6,9	45,5	76%
35°	11,6	49,8	76%
40°	16,2	54,2	75%
45°	20,9	58,6	75%
50°	25,5	63,0	74%

Если конструкция позволяет изменять угол на-

клона солнечных панелей, то при изменении угла два раза в год на широте 41° можно принять следующие цифры:

\*лучшим углом наклона для Лета будет численное значение широты, умноженное на 0,93 минус 21°, т.е.  $41° \cdot 0,93 - 21° = 17,3°$ ;

\*лучший угол наклона для Зимы – численное значение широты, умноженное на 0,875, плюс 19,2°, т.е.  $41° \cdot 0,875 + 19,2° = 55,075°$ ;

Оптимальное время для изменения угла наклона на летний период – 30 марта, на зимний период – 12 сентября.

При регулирование угла наклона солнечных панелей четыре раза в год на широте между 25° и 50° лучшими углами наклона будут (Табл.2):

\*для лета числовое значение широты умножить на 0,92, и вычесть 24,3°;

\*для весны и осени числовое значение широты умножить на 0,98, и вычесть 2,3°;

\*для зимы числовое значение широты умножить на 0,89, и добавить 24°.

Следовательно, для широты 41° (для г.Ташкента) можно установить угол наклона солнечных панелей:

Таблица 2.

Широта	Летний угол	Весенний/осенний угол	Зимний угол
25°	-1,3	22,2	46,3
30°	3,3	27,1	50,7
35°	7,9	32,0	55,2
40°	12,5	36,9	59,6
45°	17,1	41,8	64,1
50°	21,7	46,7	68,5

для Лета числовое значение будет  $41° \cdot 0,92 - 24,3° = 13,42°$ ;

для Весны и Осени числовое значение будет  $41° \cdot 0,98 - 2,3° = 37,88°$ ;

для Зимы числовое значение будет  $41° \cdot 0,89 + 24° = 60,49°$



Рис.5. Угол наклона в зависимости от времени года.

Оптимальное время для изменения угла наклона летний период – 18 апреля, на осенний период – 24 августа, на зимний период – 7 октября, на весенний период – 5 марта.

Если конструкция ФЭС позволяет регулировать угол наклона каждый месяц, то для расчета его значения на широте 41° применяется следующие величины:

С весеннего равноденствия до осеннего равноденствия:

угол равен  $(41° - 5° = 35°)$  на 3 апреля и 9 сентября (в том числе ближайшие 2-недели разницы);

угол равен  $(41° - 10° = 31°)$  на 17 апреля и 26 августа (в том числе ближайшие 2-недели разницы);

угол равен  $(41° - 15° = 26°)$  на 1 мая и 12 августа (в

том числе ближайшие 2-недели разницы);  
 угол равен  $(41^\circ - 20^\circ = 21^\circ)$  на 22 мая и по 22 июля (в том числе ближайшие 2-недели разницы);  
 угол равен  $(41^\circ - 23,5^\circ = 17,5^\circ)$  на 22 июня (летнее солнцестояние).

С осеннего равноденствия до весеннего равноденствия – угол равен широте  $41^\circ$  на 22 марта и 22 сентября (равноденствие):

угол равен  $(41^\circ + 5^\circ = 46^\circ)$  на 6 октября и 7 марта (в том числе ближайшие 2-недели разницы);

угол равен  $(41^\circ + 10^\circ = 51^\circ)$  на 19 октября и по 22 февраля (в том числе ближайшие 2-недели разницы);

угол равен  $(41^\circ + 15^\circ = 56^\circ)$  на 3 ноября и 8 февраля (в том числе ближайшие 2-недели разницы);

угол равен  $(41^\circ + 20^\circ = 61^\circ)$  на 23 ноября и 23 января (в том числе ближайшие 2-недели разницы);

угол равен  $(41^\circ + 23,5^\circ = 64,5^\circ)$  на 22 декабря (зимнее солнцестояние).

В зимний период солнечные панели, при зимнем угле наклона, будут ориентированы достаточно эффективно, захватив от 81 до 88% энергии по сравнению с трекерной системой. Такой угол наклона является хорошим решением в тех местах, где зимой нагрузка больше, чем летом. Весной, летом и осенью эффективность будет ниже 74 – 75% весной и осенью и 68 – 74% летом, что в эти сезоны солнце проходит большой участок неба, и фиксированная панель не может захватить быть направлена на него под углами, приближающимися к  $90^\circ$ , значительную часть дня. Это как раз время года, в котором трекерные системы слежения дают наибольший эффект.

### 3. Определение расстояния между рядами солнечных модулей.

При расположении конструкции солнечных панелей в несколько рядов, кроме правильной ориентации и угла наклона, очень важным является правильно выбирать расстояние между рядами, чтобы не происходило взаимного затенения поверхности модулей (рис.6).

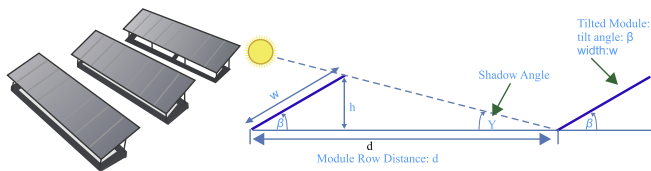


Рис.6. Выбор расстояние между рядами.

При углах наклона, близких к  $30^\circ$ , коэффициент использования площадки под ФЭС составляет 33%. Чаще всего объекты солнечной энергетике бывают под воздействием прямой солнечной радиации около 5 – 6 чистых солнце-часов в день, поэтому любой ценой убирать от них объекты заслоняющие солнечный свет.

Затенение хотя бы одного угла солнечной модули может снизить его продуктивность на 50%, поэтому очень важно его избегать. Это проблема

главным образом касается наземных креплений и некоторых плоских держателей на крыше, где ряды панелей должны быть размещены для максимального достаточного места (рис.7)

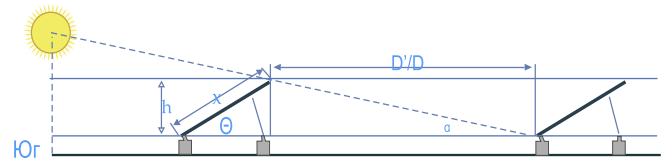


Рис.7. Размещение ряды панелей.

Методика проведения расчета протяженности тени начинается с позиции Солнца в небе во время зимнего солнцестояния 21 декабря. Нужно получить минимальную высоту солнцестояния  $\alpha$ , которая является минимальным углом, по которому Солнца проходить вокруг Земли в незатемненном солнечном окне (рис.8). На протяжении 4 часов солнечного окна нужно определить высоту солнцестояния в 10 часов утра, либо в 2 часа после полудня 21 декабря, потому что в этот день Солнца находится в нижайшей точке небосвода. В течении 5-часового окна, необходимо найти высоту Солнца в 9.30 либо 14.30. Когда высота солнцестояния найдена можно найти азимутальный угол Солнца  $\psi$ .

При отклонении положения Солнца от линии Юга (рис.8), нужно рассчитать минимально допустимое расстояние между рядами.

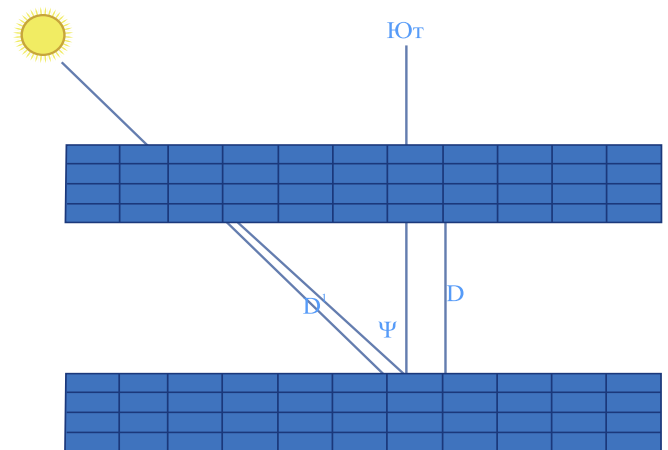


Рис.8. Коррекция азимутального угла Солнца при отклонении от линии юга (вид сверху).

Нахождение значений локальной высоты солнцестояния и азимутального угла Солнца во время зимнего солнцестояния может быть довольно сложной задачей. К счастью проектировщиков солнечных систем, есть инструменты, позволяющие значительно процесс расчетов.

Кликакая по карте, можно получить информацию про координаты местности и часовой пояс, и ,если ввести дату солнечного солнцестояния, 21 декабря, можно легко получит данные про расположение Солнца.

После нахождения высоты солнцестояния и ази-

муталяного угла Солнца, можно приступить к определению расстояния между рядами солнечных панелей.

Протяженность тени определяется с помощью простой тригонометрии, следующем уравнением

$$D' = \frac{h}{\tan \alpha} \quad (10)$$

Выходя из этого, с помощью всего лишь одного действия находится минимальное расстояние между рядами, необходимое для избежание затенения в середине солнечного окна. Это называется «азимутальной коррекцией Солнца». Используя утреннее положение Солнца, получаем уравнение

$$D = D' \cos(180 - \psi) \quad (11)$$

Соответственно:

$$D' = h / \tan \alpha$$

Получаем

$$D' = \frac{h}{\tan \alpha}$$

$$D = D' \cos(180 - \psi) \text{ до полудня;}$$

$$D = D' \cos(\psi - 180) \text{ после полудня}$$

где T – длительность фото периода для панелей СБ, когда они не затенены, в зимнее солнцестояние (обычно 4-6 часов);

$\alpha$  – высота солнцестояния;  $\psi$  – азимутальный угол Солнца; h – высота препятствия; x – длина модуля в наклонном положении;  $\theta$  – угол наклона;

$$h = x \cdot \sin \theta \quad (12)$$

D – минимальное расстояние между рядами;

D' – максимальной протяженности тени.

Для средней полосы, при оптимальном фиксировании угла наклона, часто используется следующая формула(7).

$$d = 3h \quad (13)$$

где d – расстояние между рядами, м; h – высота панели под оптимального наклона, м;

Если высота панели находится в пределах 2,05 метра, то для широты 41\*(г.Ташкента) будет:

$$h = 2,05 \cos(90^\circ - 41^\circ) = 2,05 \cos 49^\circ = 2,05 \cdot 0,65 = 1,333 \text{ м}$$

В соответствии с формулой для широты 41° ряды между СМ будет составлять:

$$d = 3 \cdot h = 3 \cdot 1,333 = 3,998 \text{ метр.}$$

## ВЫВОДЫ.

1. Для размещения панелей ФЭП на площадке СЭС необходимо рассчитать их взаимное затенение, учитывая конструкцию и размеры одной панели ФЭП и способ ее установки поверхности земли под углом  $\phi$ , выполнить расчет тени панели в зависимости от времени года и часа дня и необходимо определить коэффициенты затенения  $\alpha_{ij}$  от высоты h установки панелей над землей.

2. Оптимальный угол наклона СП зависит от широты местности, а также может быть изменен в зависимости от того, какой оптимизации в производстве энергии необходимо добиться. Так, он может быть уменьшен от оптимального значения, если ФЭС работает в летний период (летний оптимум), увеличен, если ФЭС эксплуатируется в основном в осенне-зимний период, или принят средним по

значению, если ФЭС предназначена для круглогодичной эксплуатации.

3. В зимний период СП, при зимнем угле наклона, будут ориентированы достаточно эффективно, захватив от 81 до 88% энергии по сравнению с трекерной системой. Такой угол наклона является хорошим решением в тех местах, где зимой нагрузка больше, чем летом. Весной, летом и осенью эффективность будет ниже (74-75% весной/осенью, и 68-74% летом), потому, что в эти сезоны солнца проходит большой участок неба, и фиксированная панель не может захватить быть направлена на него под углами, приближающимися к 90°, значительную часть дня. Это как раз время года, в котором трекерные системы слежения дают наибольший эффект.

4. Для г. Ташкента (местной широты 41°) можно установить угол наклона СП: для Лета числовое значение будет 13,42°; для Весны и Осени числовое значение будет 37,88°; для Зимы числовое значение будет 60,49°. Если высота панели составляет в пределах 2,05 м, то для широты 41° расстояние между рядами составляет 3,998 метр.

5. Несмотря на развитие солнечных технологий, солнечная энергия остается наиболее дорогим из известных видов ВИЭ. Развитие солнечной энергетики в перспективе приведет к удешевлению фотоэлементов и тарифов на солнечную энергию.

## Список использованной литературы:

1. Шиняков Ю.А и др. Повышение энергетической эффективности автономных фотоэлектрических энергетических установок // Электроника, Измерительная Техника, Радиотехника и Связь. Доклады ТУСУРа № 2(22), часть 2, декабрь 2010. – С. 102.
2. Попель О.С., Фрид С.Е., Альварес Г.М. К расчету поступления солнечной радиации на земную поверхность // Гелиотехника. – 1986. – №1. – С. 56.
3. Deger [Электронный ресурс], Режим доступа: <http://www.degerenergie.de>
4. Пантелеев В.Л. Физика Земли и планет // Курс лекций – М.: МГУ-2001.
5. Возобновляемые источники электроэнергии / О.В.Григораиш, Ю.П. Стенура, Р.А. Сулейманов и др. Краснодар, 2012. – 272 с.
6. Толстов Ю.Г. Автономные инверторы тока / Ю.Г. Толстов. – М.: Энергия, 1978. – 208 с.
7. Таблица Брадиса косинусы углов от 0 до 180 градусов.
8. <http://WWW.affordable-solar.com/learning-center/building-a-system/caiculating-tilted-array-spacing>.
9. Краснощок П.М. Система ориентации фотоэлектрических панелей. – Москва, 2018. – 96 с.
10. Дюсьмикеев А.Б. Проектирование строительных конструкций с учетом энергоэффективных инженерных систем. Энергообеспечение инженерных систем и мест общего пользования солнечными фотоэлектрическими панелями. – Минск, 2016. – 43 с.