



# Fotoelektr stansiyalarning (FES) konstruktiv parametrlarini optimallashtirish usullari

Adil G. Saliyev<sup>1, a)</sup>, Sherzot M. Mirzabekov<sup>1</sup>

<sup>1, a)</sup> t.f.n., dots., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; [osaliyev@mail.ru](mailto:osaliyev@mail.ru)

<sup>1</sup> PhD, dots. Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; [sherzotmirzabekov@gmail.com](mailto:sherzotmirzabekov@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0001-6961-6979>

**Dolzarbli:** ishlab chiqarish darajasini oshirish uchun quyosh panellari optimal egilish burchaklarida va optimal azimut yo'nalishida o'rnatilishi kerak. Ularning ko'pchiligida panellarning optimal nishab burchagi va azimuti quyosh elektr stansiyasining ishlash davrida qabul qiluvchi sirtning birlik maydoniga keladigan quyosh nurlarining maksimal miqdori shartidan tanlanadi. E'tiborga olinmaydigan, ammo ishlab chiqarilgan elektr energiyasini aniqlashda muhim rol o'ynaydigan muhim omil - bu panellarning qisman soyasi. Qisman soyaning har xil turlari orasida biz har kunduzi muntazam ravishda takrorlanadiganlarni ajratib ko'rsatishimiz mumkin - bular quyosh panellarining qo'shni qatorlari va atrofdagi stasionar ob'ektlarning soyalari.

**Maqsad:** fotoelektr stansiyalarda energiya ishlab chiqarishga fotovoltik modullar o'zaro soyaning ta'sir darajasini kamaytirish uchun fotovoltik modullar qatorlari orasidagi masofa va balandligi, ya'ni ularning egilish burchaklarini optimallashtirish masalasini hal qilish.

**Usullari:** quyosh panellari qatorlarining qisman soyalanishi FM quyosh panellari ramkalariga vertikal joylashtirilganda (portret yo'nalishi) va FM gorizontal (landshaft yo'nalishi) joylashtirilganida energiya ishlab chiqarishga boshqacha ta'sir qiladi.

**Natijalar:** quyosh elektr stansiyasining ma'lum bir o'rnatilgan quvvatida maksimal ishlab chiqarishni ta'minlash va yer birligi ( $1 m^2$ ) dan maksimal darajada foydalanish.

**Kalit so'zlari:** quyosh paneli, fotovoltik stansiya, quyosh energiyasi, fotomodullar, iqlim sharoiti, quyosh nurlanishining intensivligi.

## Способы оптимизации конструктивных параметров фотоэлектрической станции (ФЭС)

Адил Г. Салиев<sup>1, a)</sup>, Шерзот М. Мирзабеков<sup>1</sup>

<sup>1, a)</sup> к.т.н., доц. Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; [osaliyev@mail.ru](mailto:osaliyev@mail.ru)

<sup>1</sup> PhD, доц. Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; [sherzotmirzabekov@gmail.com](mailto:sherzotmirzabekov@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0001-6961-6979>

**For citation:** A.G. Saliyev, Sh.M. Mirzabekov. Methods for optimizing the design parameters of a photovoltaic power plant (PVP). Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, no. 4, pp. 91-98.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14565161>

Received: 20.10.2024

Revised: 13.11.2024

Accepted: 5.12.2024

Published: 27.12.2024

**Copyright:** © Adil G. Saliyev, Sherzot M. Mirzabekov, 2024.

Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Актуальность:** чтобы повысить уровни генерации, солнечные панели должны устанавливаться под оптимальными углами наклона и оптимальной азимутальной ориентацией. В большинстве случаев оптимальный угол наклона и азимут панелей выбираются из условия максимума суммы солнечной радиации, поступающей на единицу площади приемной поверхности за рабочий период ФЭС. Существенным фактором, который при этом не учитывается, но играет заметную роль в определении количества вырабатываемой электроэнергии, является частичное затенение панелей. Среди различных видов частичного затенения можно выделить те, которые повторяются регулярно каждый световой день - тени от соседних рядов солнечных панелей и от окружающих стационарных объектов.

**Цель:** решение задач оптимизации расстояния и высоты между рядами фотоэлектрических модулей, а также углов их наклона с целью снижения влияния соседних фотоэлектрических модулей на выработку энергии фотоэлектрических электростанций.

**Методы:** частичное затенение рядов солнечных панелей по-разному влияет на выработку энергии: когда FM расположен вертикально (портретная ориентация) на рамах солнечных панелей и когда FM расположен горизонтально (альбомная ориентация).

**Результаты:** обеспечение максимальной выработки при определенной установленной мощности солнечной электростанции и максимального использования единицы земли ( $1 m^2$ ).

**Ключевые слова:** солнечная панель, фотоэлектрическая станция, солнечная энергия, фото модули, климатические условия, интенсивность солнечной радиации.

## Methods for optimizing the design parameters of a photovoltaic power plant (PVP)

Adil G. Saliyev<sup>1, a)</sup>, Sherzot M. Mirzabekov<sup>1</sup>

<sup>1, a)</sup> c.t.s., dots., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, O'zbekiston; [osaliyev@mail.ru](mailto:osaliyev@mail.ru)

<sup>1</sup> PhD, dots. Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, O'zbekiston; [sherzotmirzabekov@gmail.com](mailto:sherzotmirzabekov@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0001-6961-6979>

**Relevance:** to increase the generation level, solar panels must be installed at optimal tilt angles and optimal azi-



muth orientation. In most of them, the optimal tilt angle and azimuth of the panels are selected based on the condition of the maximum amount of solar radiation received per unit area of the receiving surface during the working period of the solar power plant. A significant factor that is not taken into account, but plays a significant role in determining the amount of electricity generated, is the partial shading of the panels. Among the various types of partial shading, we can highlight those that are repeated regularly every daylight hours - these are shadows from neighboring rows of solar panels and from surrounding stationary objects.

**Aim:** solution to the problem of optimizing the distance and height between rows of photovoltaic modules, i.e. their angles of inclination, in order to reduce the level of influence of photovoltaic modules on energy production in photovoltaic power plants.

**Methods:** a systematic analysis of the results of energy examinations of electrical networks is used, as well as the study of foreign experience in conducting examinations of power installations and a comparative analysis of various types of energy examination.

**Results:** partial shading of solar panel rows affects energy production differently when FM is positioned vertically (portrait orientation) on solar panel frames and when FM is positioned horizontally (landscape orientation).

**Key words:** solar panel, photovoltaic station, solar energy, photo modules, climatic conditions, solar radiation intensity.

## 1. Введение (Introduction)

Для повышения уровня генерации солнечные панели должны устанавливаться под оптимальными углами наклона и оптимальной азимутальной ориентацией, контроль выбираются экспериментальным путём или путём компьютерного моделирования. Задачам оптимизации этих углов, применительно к различным странам и регионам, посвящены многочисленные работы (см. [1-3]), в большинстве которых оптимальные наклон и азимут панелей выбираются из условия максимума суммы солнечной радиации, поступающей на единицу площади приемной поверхности за рабочий период ФЭС. Существенным фактором, который при этом не учитывается, но играет заметную роль в определении количества вырабатываемой электроэнергии, является частичное затенение панелей – может быть вызвано облаками, окружающими объектами (элемент ландшафта, столбы, строения, соседние ряды панелей), опавшими листьями, экскрементами птиц и т.д.

Причина сильного влияния частичного затемнения на мощность фото модулей заключается в том, что фотоэлектрические ячейки, из которых составлен ФМ, соединяются последовательно в серии для повышения напряжения, а серии соединяются между собой параллельно для увлечения генерируемого тока.

При затемнении нескольких ячеек эти ячейки генерируют меньший фототок, но поскольку общий ток серии задается освещенными ячейками, затемненные ячейки оказываются под напряжением обратного смещения. Проводимость последних резко падает, в результате падает и мощность генерации ФМ. Затемненные ячейки нагреваются ввиду увеличения падения напряжения на них, что может привести к так называемому эффекту горячего пятна (hot spot). Для предотвращения перегрева ячеек вводятся обводные (bypass) диоды, шунтирующие серии ячеек. В 80-е и 90-е гг XX века появилось много работ по предотвращению эффекта горячего пятна, в которых предлагались оптимальные конструкции ФМ, определялось максимальное число ячеек, приходящееся на обводной диод и т.д. (см. например, [4-6]). Было показано, что эффект горячей ячейки может приводить не только к падению генерируемой мощности, но и к образованию структурных дефектов в полупроводниках и тепловому пробую [7].

Отдельное направление в исследовании поведения ФМ в условиях неоднородной освещенности – описание эффекта затемнения с помощью электрических схем замещения. Известно, что наиболее простой схемой замещения фотоэлектрической ячейки дающей адекватную зависимость тока и мощности от напряжения, является диодная схема, которая описывается пятью параметрами и допускает численные решения [8], а также точные решения [9] по вольтамперной характеристике (ВАХ) при различных условиях освещенности.

Это решение может быть применено для последовательного соединения ячеек в ФМ, а также для различных схем соединений освещенных и затемненных ФМ [10]. Дальнейшим усовершенствованием в описании ВАХ неоднородно освещенного модуля является двухдиодная схема замещения ячейки [11], которая дает более точное приближение к характеристикам ячейки в условиях затемнения. Преимущество компьютерного моделирования с помощью схем замещения заключается в том, что могут быть рассмотрены различные случаи частичного затемнения, хотя для полноты расчета нужно учитывать также распределение температуры на поверхности ячеек.

В области фото энергетики проблемы частичного затемнения солнечных панелей связана, прежде всего, с потерями в выработке энергии ФЭС. Существенное влияние неоднородного потока солнечного излучения на условия фото генерации было подтверждено многочисленными примерами, при выполнении программы «1000 фотоэлектрических крыш» (1000 Ros PV-Programme), начатой в Германии в 1990 г [12].



К настоящему времени проведено множество экспериментальных исследований по определению энергетических потерь при частичном затенении панелей [13], разработаны различные аналитические и численные модели, учитывающие фактор затенения [14-15]. Этот фактор учитывается также в некоторых программных пакетах например, PVSyst, SAM 3DshadeCalculator, PVSOL и других [16].

Среди различных видов частичного затенения можно выделить те, которые повторяются регулярно каждый световой день – это тени от соседних рядов солнечных панелей и от окружающих стационарных объектов. Для того чтобы повышать мощность ФЭС при ограниченной площади участка, ряды панелей приходится располагать достаточно близко друг от друга. В результате, в определенные часы дня может возникать существенное частичное затенение от соседних рядов панелей, которое является одним из основных факторов, снижающих выходную мощность ФЭС и выработку электроэнергии [17-18]. Необходимо учитывать влияние этих видов регулярного затенения на генерируемую мощность при проектировании ФЭС. Разработке моделей фотоэлектрической генерации в условиях межрядного частичного затемнения были посвящены работы [19-20].

## 2. Методы и материалы (Methods and materials)

Ряды солнечных панелей больших ФЭС можно представить как единую конструкцию, набранную из ФМ и имеющую определенный угол наклона относительно горизонтальной плоскости. Панель может состоять из одного или из нескольких рядов ФМ, размещенных друг над другом, при этом внутри панели располагаются вертикально (портретная ориентация) либо горизонтально (альбомная ориентация).

Для минимизации потерь при выработке электроэнергии необходимо выяснить, как влияет на мощность ФЭС в течение каждого светового дня следующие конструктивные параметры:

- наклон рядов солнечных панелей и их азимутальная ориентация;
- расстояние между рядом панелей, определяющие плотность расположения;
- размещение ФМ внутри панелей.

При создании ФЭС важными ограничениями являются два фактора: бюджет, определяющей стоимостью оборудования, и площадь земельного участка. В связи с этим, определение расположения рядов солнечных панелей, можно сформулировать как оптимизационную задачу нахождения максимум выработки энергии при наличии ограничивающих условий. Возможны два основных типа таких задач:

1) расчет оптимального наклона панелей ФЭС для достижения максимальной мощности при заданной плотности панелей;

2) определение наклона и плотности панелей на земельном участке заданной площади. В обоих типах задач необходимо учитывать влияние частичного взаимного затенения от соседних панелей, которое становится особенно существенным при их большом наклоне и плотном расположении.

Для достижения наилучшего баланса между экономией занимаемой площади и повышением эффективности в производстве электроэнергии, необходимо учитывать эти факторы и найти оптимальное соотношение между расстоянием «D» угла «a» и другими параметрами конструкции солнечной станции.

Следовательно, при анализе параметров, воздействующих на эффективность производства электроэнергии на солнечных электростанциях, следует, в первую очередь, обратить внимание на параметр взаимозамещения, который в значительной мере зависит от количества рядов ФМ, угла наклона модулей ( $Ta^\circ$ ) и расстояния между рядами ФЭС (D).

Определяем оптимального расстояния между рядами солнечных модулей с учетом их конструкции. Принято считать, что оптимальное расстояние между рядами ФЭС определяется:

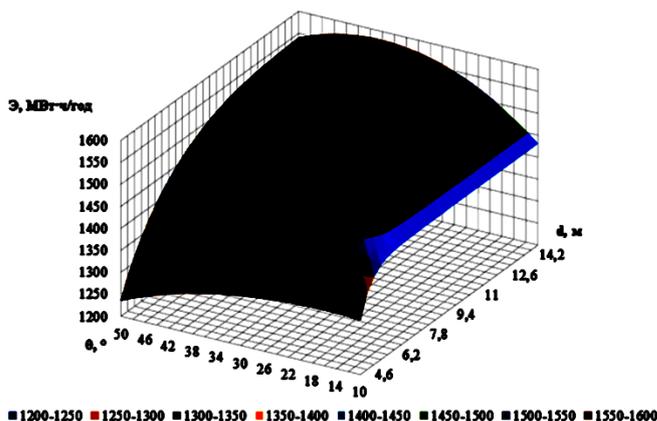
$$D = x \cdot \sin(\theta) \operatorname{ctg}(\alpha); \quad (1)$$

где  $D$  – расстояние от первого ряда до следующего, м;  $X$  – высота одной или нескольких цепочек ФМ, м;  $\theta$  – угол наклона ФМ, градусы;  $\alpha$  – оптимальный угол падения солнечных лучей без взаимозатенения ФМ, градусы.

Следует учесть, для определения наилучшего угла наклона солнечных панелей в СЭС-ях, необходимо учитывать местные климатические условия. Это связано с тем, что годовой путь солнца разнится в зависимости от географических координат местоположения СЭС, и это влияет на эффективность производства энергии.

Для определения оптимального угла наклона ( $\theta$ ) и расстояния между рядами панелей (d) необходимо рассчитывать удельную годовую производительность электроэнергии ( $\mathcal{E}_{уд}$ ) в МВт\*ч в год на один МВт-пик установленной мощности СЭС. Одновременно следует учесть, что максимальная мощность ограничивается 1 МВт-пик. Для глубокого анализа предлагается построить график зависимости удельной годовой производительности электроэнергии ( $\mathcal{E}_{уд}$ ) от

угла наклона ( $\theta$ ) и расстояния между оптимальными значениями этих параметров для СЭС (рис.1).



**Рис.1.** График зависимости  $E_{уд.}(\theta, d)$   
**Fig.1.** Graph of the dependence  $E_{ud.}(\theta, d)$

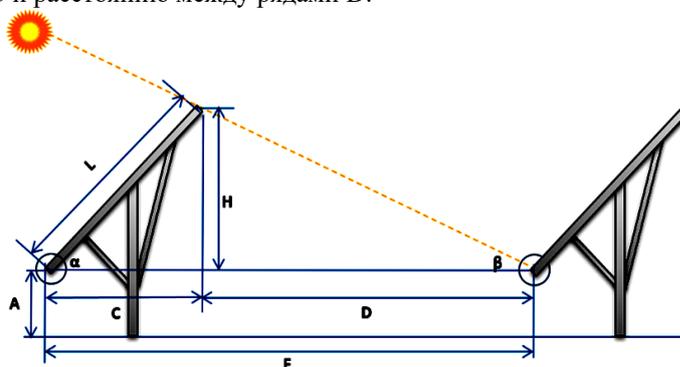
Исходя из графика, можно сделать следующий вывод: для каждого значения угла  $\theta$  существует такое значение  $d$ , при увеличении которого, повышение выработки электроэнергии не существенно.

Рассмотрим значение угла  $\theta$ , при котором возможна наибольшая выработка электроэнергии. Так, для угла  $\theta$ , равного  $30^\circ$ , увеличение  $d$  от 5 до 7 м ( $\Delta d = 2$  м) повышает выработку электроэнергии на 8,6%, от 7 до 9 м – 3,1%, от 9 до 11 м – 0,89%, и от 11 до 13 м – 0,32%. Таким образом, для  $\theta = 30^\circ$ , увеличение значения  $d$  выше 9,5 м кардинально не увеличивает выработку электроэнергии.

При усреднении значений прироста выработки электроэнергии, для диапазона углов от  $10^\circ$  до  $50^\circ$ , отмечается резкое увеличение выработки электроэнергии (на 12,1%) в диапазоне  $d$  от 4,6 до 7,8 метров, что обусловлено уменьшением взаимозащещения рядов. В диапазоне  $d$  от 7,8 до 11 м увеличение мощности в среднем составляет 2,3%. А в диапазоне  $d$  от 11 до 15 м – 0,5%.

По итогу расчетов определены оптимальные параметры СЭС, при которых выработка электроэнергии находится в диапазоне 1550-1600 МВт·ч/год (отклонение не более 3% от максимально возможной выработки), при минимальном расстоянии между рядами ФЭС. Т.е. оптимальными параметрами является " $d$ " равное 9,5 м, при угле наклона ФЭМ  $30^\circ$ .

Чтобы прямой луч солнца мог достигать второго, третьего и т.д. рядов, необходимо иметь достаточное расстояние между рядами. Летом наблюдается меньшая длина тени, по сравнению с зимой; поэтому общее правило заключается в том, что для расчета минимального расстояния между рядами, чтобы панели не затенялись между 10:00 и 14:00 в день зимнего солнцестояния, необходимо расстояние между панелями  $F$  для каждого ряда было равно сумме горизонтальной проекции модулей  $C$  и расстоянию между рядами  $D$ .



**Рис.2.** Горизонтальная проекция фото модулей  
**Fig.2.** Horizontal projection of photo modules

Алгоритм расчета интервалов между рядами устраняет большинство эффектов затенения между рядами; однако некоторое затенение все еще происходит, в основном в зимние месяцы, а также в очень ранние утренние и поздние вечерние часы. Когда панель находится в полной тени, она по-прежнему получает рассеянное излучение, но больше не получает прямого облучения. С точки зрения фактической выходной мощности панели, частичное затенение представляет собой нелинейную проблему из-за способа соединения фотоэлектрических модулей.

Высота солнца в полдень 21 декабря в Северном полушарии в основном составляет 90-23,45 - широта местности (в градусах). В большинстве случаев 90% энергии беспрепятственно проходит, когда высота солнца на 50% больше максимальной высоты в день зимнего солнцестояния.

Таким образом, поправка по высоте составляет 50%. Это может быть чрезмерным для рядов, ширина которых менее чем в 4 раза превышают высоту панели. В этом случае можно использовать следующие формулы:

$$X = L (\cos(\alpha) + (\sin(\alpha) * \tan(l_{at} + 23.5 + (50\% \text{ поправки к высоте зимой}))) ); \quad (2)$$

где  $L$  - длина панели;  $\alpha$  - угол наклона панели;  $l_{at}$  - географическая широта местности, где установлены панели.

### 3. Результаты (Results)

Одним из основных факторов, влияющих на мощность фотоэлектрических станций, является взаимное частичное затенение солнечных панелей. Вследствие особенностей электрических схем соединения фотоэлектрических ячеек в фотомодулях и наличия обводных диодов, частичное затенение может в несколько раз снижать мощность ФМ и, соответственно, существенно уменьшать эффективность генерации фотоэлектрической станции в определенные часы дня. Частичное затенение рядов солнечных панелей по-разному влияет на выработку энергии при вертикальном размещении ФМ в рамках солнечных панелей (портретная ориентация) и при горизонтальном размещении ФМ (альбомная ориентация) [11-12].

Рассмотрим один из методов определения влияния частичного затенения на выработку ФЭС, применимый для любого сезонного периода работы ФЭС.

Исходными данными для расчетов являлась почасовая генерация затененного и полностью освещенного рядов панелей. На основе этих данных рассчитывался фактор мощности, описывающий зависимость электрической мощности панели от степени затенения. Для решения вышеизложенных задач были разработаны карты распределения среднесуточной генерации, имеющие вид контурных графиков в координатах: «плотность размещения рядов панелей – угол наклона  $\beta$ ».

Эти карты позволяют выбрать оптимальные пары конструктивных параметров ( $d$ ,  $\beta$ ) для различной ориентации ФМ, а также определить, каковы должны быть ( $d$ ,  $\beta$ ) для наиболее эффективного использования площади земельного участка, и для получения максимальной выработки с единицы площади ФМ.

Введем в качестве характеристики степени взаимного межрядного затенения (рис.3) величину, равную отношению площади затененной части ряда к полной площади ряда:

$$s = \frac{S_{shad}}{S_0} = \frac{l \cos \beta}{L}, \quad (3)$$

где  $l$  – высота рамки, обрамляющей солнечную панель;  $\beta$  – угол наклона панели;  $L$  – период регулярного расположения панелей.

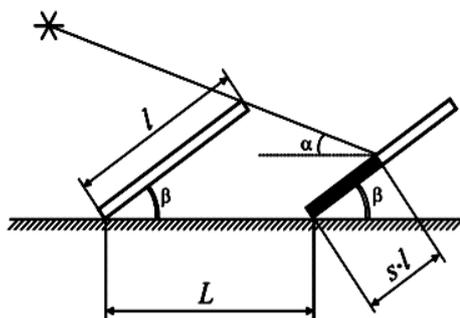


Рис.3. Геометрия взаимного затенения рядом солнечных панелей

Fig.3. Geometry of mutual shading by a row of solar panels

Влияние взаимного затенения на мощность ФМ будет характеризоваться коэффициентом потерь:

$$K_{loss}(s, I_s, I_{t0}) = \frac{P(s=0, I_{t0}) - P(s, I_s, I_{t0})}{P(s=0, I_{t0})}; \quad (4)$$

где  $P(s, I_s, I_{t0})$  – электрическая мощность в нагрузке при степени затенения  $s$ ;  $I_s$  и  $I_{t0}$  – интенсивности радиации в тени и на освещенной наклонной поверхности;  $P(s=0, I_{t0})$  – мощность в нагрузке в отсутствие тени.

Введем также фактор мощности затененной панели:



$$f(s, I_s, I_T) = 1 - K_{loss} = \frac{P(s, I_s, I_T)}{P(s=0, I_T)}. \quad (5)$$

В начале и в конце светового дня влияние степени затенения на выходную мощность системы ФМ является нелинейным: на графике зависимости  $f(s)$  мощность генерации убывает непропорционально увеличению  $s$ . Связано это с тем, что при полном затенении нескольких ячеек модуля ток протекает через обводной диод, и из процесса генерации исключается не только несколько затененных ячеек, но и все ячейки, шунтируемые диодом. Соответственно, мощность модуля уменьшается на десятки процентов. При дальнейшем возрастании  $s$  уменьшение тока генерации замедляется.

Фактор мощности  $f(s)$  можно также рассчитать на основе мониторинговых данных работы ФЭС в течение дня, если имеются значения почасовой выработки первым (затененным) рядом и вторым (затененным) рядом панелей. Для того чтобы связать потери мощности, определяемые по экспериментальным данным со степенью затенения, необходимо поступить следующим образом – вычислить степень нижнего затенения ряда (рис.3) для каждого часа через зенитный угол (или угол подъема солнца  $90-\psi$ ), которые легко определяются по номеру дня и географическим координатам ФЭС. Формула для  $s$ , записанная через угол наклона  $\beta$  и плотность расположения панелей  $d=l/L$ , имеет вид:

$$s = 1 - \sigma, \quad \sigma = \frac{\sin \alpha}{d \sin(\alpha + \beta)}. \quad (6)$$

Из геометрии рис.3 следует, что условием наличия тени является неравенство  $\sigma < 1$ , если же  $\sigma \geq 1$ , то тень от соседнего ряда отсутствует.

Метод позволяет рассчитывать зависимости вырабатываемой электроэнергии от мощности расположения рядов солнечных панелей  $d$  и от углов наклона панелей  $\beta$ .

#### 4. Заключение (Conclusion)

Для уменьшения степени влияния взаимного затенения на выработку ФЭС необходимо решить задачи оптимизации меж рядных расстояния и высота рядов ФМ, т.е. их углов наклона. Несмотря на геометрический характер этой задачи ее решение требует учета изменения угла высоты Солнца, изменения интенсивности радиации на наклонной части поверхности, а также вариации соотношения прямой и диффузной компонент радиации на протяжении светового дня, и в течение всех календарных периода работы ФЭС. В этом случае решаются два типа задач:

- \*обеспечение максимальной выработки при заданной установленной мощности ФЭС;
- \*получение максимальной выработки с единицы площади участка земли.

Основной показатель, определяющий мощность ФМ при данном частичном затенении, – это фактор мощности затемнённых рядов  $f(s)$ , зависящий от степени затенения  $s$ , ориентации ФМ и ряда других показателей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чанг Т.Р. Исследование оптимального угла наклона солнечного коллектора в зависимости от различных типов излучения / Т.Р. Чанг //Международный журнал прикладной науки и техники. -2008. -Том 6. -С. 151-161.
2. Мелери Э.Д. Определение оптимального угла наклона и ориентации солнечных фотоэлектрических батарей / Э.Д. Мелери, П.Л. Зервас [и др.] Энергия. -2010. -Том. 35. -П. 2468-2475.
3. Гаевский А.Ю. Метод определения оптимального угла наклона и ориентации фотоэлектрических модулей на основе экспериментальных данных солнечной радиации / А.Ю. Гаевский, А.Н. Гаевская // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). -2018. -№13-15. -С. 15-29.
4. Бишоп Дж. В. Компьютерное моделирование эффектов электрических несоответствий в схеме соединения фотоэлектрических элементов / Дж. В. Бишоп //Солнечные элементы. 1998. -Т. 25. -№1. -С. 73-89.
5. Бхаттачарья Г. Устранение проблемы горячих точек в фотоэлектрических модулях и батареях / Г. Бхаттачарья, К. Неоджи //Солнечные элементы. 1991. -Т. 31. -№1. -С. 1-12.
6. Ианноне Ф. Методы Монте-Карло для анализа потерь электрического рассогласования в крупных фотоэлектрических генераторах / Ф. Ианноне, Дж. Новиелло, А. Сарно //Солнечная энергия. -1998. -Т. 62. -С. 85-92.
7. Вагнер Л.К. Микроскопическое описание дефектов, вызванных светом, в аморфных кремниевых солнечных элементах /Л.К. Вагнер, Дж.К. Гроссман //Physical Review Letters. -2008. -Том 101. -С. 265-501.



8. Кавамура Х. Моделирование характеристик I-IV фотоэлектрического модуля с затененной фотоэлектрической ячейкой / Х. Кавамура [и др.] //Материалы для солнечной энергетики и солнечные элементы. -2003. -Том 75. -С. 613-621.
9. Гаевский А.Ю. Определение параметров фотоэлектрических модулей на основе точного решения уравнения для ВАХ /А.Ю. Гаевский //Відновлювана енергетика. -2012. -№4. -С.32-39.
10. Гаевский А.Ю. Анализ эффекта затенения фотоэлектрических модулей в последовательно-параллельном соединении /А.Ю. Гаевский //Відновлювана енергетика. -2013. -№4. -С.28-30.
11. Квашнинг В. Численное моделирование вольтамперных характеристик фотоэлектрических систем с затененными солнечными элементами /В. Квашнинг, Р. Ханич // Солнечная энергетика. -1996. -Т. 56. -С. 513-520.
12. Гордон Дж. М. Центральные солнечные фотоэлектрические системы: полевая компоновка, трекер и исследования чувствительности геометрии массива / Дж. М. Гордон, Х. Дж. Венгер // Солнечная энергия. -1991. -Т. 46. -№ 4. -С. 211-217.
13. Брекль К. Потери от самозатенения стационарных отдельно стоящих фотоэлектрических батарей / К. Брекль, М. Тема // Возобновляемая энергия -2011. -Том 36. -С. 3211-3216.
14. Влияние угла наклона и плотности расположения фотомодулей на эффективность ФЭС // А.Ю. Гаевский, Д. А. Демин // <https://doi.org/10.15518/isjaee.2018.25-30.012-024>.
15. Анализ влияния климатических факторов на вкбор типа солнечной панели. //Журнал: Вестник Астраханского государственного технического университета. Том 2020 №2. <https://vestnik.astu.org/ru/nauka/article/40466/view>.
16. Электрон ресурс: <https://minenergy.uz/uz/news/view/2311>.
17. Электрон ресурс: <https://helpiks.org/6-71306.html>.
18. Влияние возобновляемых источников энергии на перетоки электроэнергии в электроэнергетической системе Узбекистана /Мирзабаев Акрам; Мирзабеков Шерзод; Махкамов Темир; Солиев Адил; Ситдииков Оскар; Кодиров Дилшад; /Материалы конференции AIP, 2022, 2686, 020011.
19. Электрон ресурс: как определить оптимальное расстояние между рядами солнечных панелей? <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/rasstoyanie-mezhdu-ryadami-solnechnyh-modulej.htm>.
20. Фотоэлектрический блок питания для базовых станций операторов сотовой связи /Мирзабаев А.М., Канонеров В.П., Махкамов,Т.А., Сытдыков О.Р., Мирзабеков С.М. //Applied Solar Energy (перевод на английский язык: Гелиотехника), 2018, 54(3), -С. 224–226.

## REFERENCES

1. Chang T.P. Study on the optimal tilt angle of solar collector according to different radiation types / T.P. Chang // Int. Journ. Of Applied Science and Engineering. -2008. -Vol. 6. -P. 151-161.
2. Mehleri E.D. Determination of the optimal rilt angle and orientation for solar photovoltaic arrays / E.D. Mehleri, P.L. Zervas [at al.] Renew. Energy. -2010. -Vol. 35. -P. 2468-2475.
3. Gaevskiy A.Yu. Method for determining the optimal tilt angle and orientation of photovoltaic modules based on experimental solar radiation data / A.Yu. Gaevskiy, A.N. Gaetskaya // International Scientific Journal "Alternative Energy and Ecology" (ISJAE). -2018. -№13-15. -С. 15-29.
4. Bishop J.W. Computer simulation of the effects of electrical mismatches in photovoltaic cell interconnection circuit / J.W. Bishop // Solar Cells. 1998. -Vol. 25. -№1. -P. 73-89.
5. Bhattacharya G. Removal of the hot-spot problem in photovoltaic modules and arrays / G. Bhattacharya, C. Neogy // Solar Cells. 1991. -Vol. 31. -№1. -P. 1-12.
6. Iannone F. Monte Carlo techniques to analyze the electrical mismatch losses in large-scale photovoltaic generators /F. Iannone, G. Noviello, A. Sarno // Solar Energy. -1998. -Vol. 62. -P.85-92.
7. Wagner L.K. Microscopic description of light induced defects in amorphous silicon solar cells / L.K. Wagner, J.C. Grossman // Physical Review Letters. -2008. -Vol. 101. -P. 265-501.
8. Kawamura, H. Simulation of I-IV characteristics of a PV module with shaded PV cell / H. Kawamura [et al.] // Solar Energy Material & Solar Cells. -2003. -Vol. 75. -P. 613-621.
9. Gaevskiy A.Yu. Determination of photovoltaic module parameters based on the exact solution of the equation for the current-voltage characteristics / A.Yu. Gaevskiy //Renewable energy. -2012. -№4. -С.32-39.
10. Gaevskiy A.Yu. Analysis of the shading effect of photovoltaic modules in series-parallel connection / A.Yu. Gaevskiy // Renewable energy. -2013. -№4. -С.28-30.
11. Quaschnig V. Numerical simulation of current-voltage characteristics of PV systems with shaded solar cells / V. Quaschnig, R. Hanitsch // Solar Energy. -1996. -Vol. 56. -P.513-520.



12. Gordon J.M. Central-station solar photovoltaic systems: field layout, tracker, and array geometry sensitivity studies / J.M. Gordon, H.J. Wenger //Solar Energy.-1991.-Vol. 46.-№ 4. -P. 211-217.
13. Brecl K. Self-shading losses of fixed freestanding PV arrays / K. Brecl, M. Topic // Renew. Energy -2011. -Vol. 36. -P. 3211-3216.
14. Gaevskiy A.Yu. The influence of the tilt angle and the density of the arrangement of photo-modules on the efficiency of the solar power plant // A.Yu. Gaevskiy, D. A. Demin // <https://doi.org/10.15518/isjaee.2018.25-30.012-024>.
15. Analysis of the influence of climatic factors on the choice of the type of solar panel. Journal: Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Volume 2020 №2. <https://vestnik.astu.org/ru/nauka/article/40466/view>.
16. Electronic resource: <https://minenergy.uz/uz/news/view/2311>.
17. Electronic resource: <https://helpiks.org/6-71306.html>.
18. The impact of renewable energy sources on power flows in the electric power system of Uzbekistan // Mirzabaev Akram; Mirzabekov Sherzod; Makhkamov Temur; Soliev Odil; Sitdikov Oskar; Kodirov Dilshod; //AIP Conference Proceedings, 2022, 2686, 020011.
19. Electronic resource: how to determine the optimal distance between rows of solar panels? <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/rashtoyanie-mezhdur-ryadami-solnechnyh-modulej.htm>.
20. Photovoltaic Power Supply Unit for the Basic Stations of Cellular Companies // Mirzabaev A.M., Kanonerov V.P., Makhkamov T.A., Sytdykov O.R., Mirzabekov S.M. //Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika), 2018, 54(3), -C. 224–226.