

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики

(інститут)

Електротехнічний факультет

(факультет)

Кафедра Відновлюваних джерел енергії

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи
ступеню

магістра

(бакалавра, спеціаліста,
магістра)

студента Яхно С.О.

(ПІБ)

академічної групи 141М-17-3

(шифр)

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____

за освітньо-професійною
програмою

Нетрадиційні та відновлювані джерела
енергії

(офіційна назва)

на тему Обґрунтування ефективності використання двосторонніх сонячних
панелей в умовах Придніпровського регіону

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи				
розділів:				
Розділ 1				
Розділ 2				
Розділ 3				
Рецензент				
Нормоконтролер				

Дніпро
2018

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
Відновлюваних джерел енергії
(повна назва)

_____ Шкрабець Ф.П.
(підпис) (прізвище, ініціали)
" _____ " _____ 2018 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу

кваліфікаційної роботи ступеню магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Яхно С.О. академічної 141м-17-3
(прізвище та ініціали) групи (шифр)

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____

за освітньо-професійною програмою Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії
(офіційна назва)

на тему Обґрунтування ефективності використання двосторонніх сонячних панелей в умовах Придніпровського регіону
(назва за наказом ректора)

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 12.11.18 № 1913-л

Розділ	Зміст	Термін виконання

Завдання видано _____
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі **10.10.2018**

Дата подання до екзаменаційної комісії **26.12.18**

Прийнято до виконання _____
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

Реферат

Пояснительная записка: ___ с., 4 таблицы, 24 рисунка, 14 ссылок.

Тема: Обоснование эффективности использования двусторонних солнечных панелей в условиях Приднепровского региона

Графическая часть состоит из ___ слайдов А4.

В первом разделе проанализированы основные факторы, влияющие на производительность солнечных электростанций.

Рассмотрены принципы построения систем с трекерами, разновидности систем ориентации трекеров, классификация трекеров и методика выбора типа трекера в зависимости от различных факторов, включая размер установки, электрических параметров, земельных ограничений, широты и местных погодных условий.

Исследовано влияние затененности на производительность солнечных электростанций и рассмотрены меры по уменьшению влияния затененности.

Во втором разделе проанализированы различные варианты и условия использования двухсторонних ФЭМ.

Рассмотрены достоинства и недостатки двухсторонних ФЭМ при различных условиях использования.

Выполнено моделирование СЭС с различными видами ФЭМ и выполнен анализ эффективности использования двухсторонних ФЭМ.

В третьем разделе рассчитана экономическая целесообразность внедрения двух сетевых станций, с разными видами ФЭМ. Расчеты показали, что вариант СЭС с односторонними ФЭМ окупится быстрее.

**СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ, ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ,
ДУХСТОРОННИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДУЛИ, АЛЬБЕДО**

Реферат

Пояснювальна записка: ___ с., 4 таблиці, 24 рисунка, 14 посилань.

Тема: Обґрунтування ефективності використання двосторонніх сонячних панелей в умовах Придніпровського регіону

Графічна частина складається з ___ слайдів А4.

У першому розділі проаналізовано основні фактори, що впливають на продуктивність сонячних електростанцій.

Розглянуто принципи побудови систем з трекера, різновиди систем орієнтації трекерів, класифікація трекерів і методика вибору типу трекера в залежності від різних факторів, включаючи розмір установки, електричних параметрів, земельних обмежень, широти і місцевих погодних умов.

Досліджено вплив затіненості на продуктивність сонячних електростанцій і розглянуті заходи щодо зменшення впливу затіненості.

У другому розділі проаналізовано різні варіанти і умови використання двосторонніх ФЕМ.

Розглянуто переваги та недоліки двосторонніх ФЕМ при різних умовах використання.

Виконано моделювання СЕС з різними видами ФЕМ і виконаний аналіз ефективності використання двосторонніх ФЕМ.

У третьому розділі розрахована економічна доцільність впровадження двох мережевих станцій, з різними видами ФЕМ. Розрахунки показали, що варіант СЕС з односторонніми ФЕМ окупиться швидше.

СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ МОДУЛЬ,
ДВОСТОРОННІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ МОДУЛІ, АЛЬБЕДО

Abstract

Explanatory note: ___ pp, 4 tables, 24 drawings, 14 sources.

Subject: Justification of dual solar panels effective usage in the Pridneprovskiy region conditions

The graphic part consists of ___ slides A4.

In the first section, the main factors affecting the performance of solar power plants are analyzed.

The principles of building systems with trackers, the types of tracker orientation systems, the classification of trackers and the method of selecting the type of tracker depending on various factors, including installation size, electrical parameters, land restrictions, latitude and local weather conditions are considered.

The effect of shading on the performance of solar power plants has been investigated and measures have been considered to reduce the effect of shading.

In the second section, various options and conditions for the use of bilateral PVM are analyzed.

The advantages and disadvantages of bilateral PVM under various conditions of use are considered.

The simulation of SPS with different types of PVM was carried out and the analysis of the efficiency of using two-way PVM was performed.

The third section calculates the economic feasibility of the introduction of two network stations, with different types of PVM. Calculations have shown that the SES option with unilateral PVM pays off faster.

SOLAR POWER STATION, PHOTOVOLTAIC MODULE, DOUBLE-SIDED PHOTOVOLTAIC MODULES, ALBEDO

Содержание

Введение.....	
1. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЭС	
1.1 Влияние на производительность различных факторов.....	
1.2. Использование трекеров.....	
1.3. Уменьшение влияния затенения.....	
2. ДВУХСТОРОННИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДУЛИ	
2.1. Общие сведения о двухсторонних ФЭМ	
2.2. Варианты применения двухсторонних ФЭМ.....	
2.3. Анализ эффективности использования двухсторонних ФЭМ..	
3. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ.....	
3.1 Введение.....	
3.2. Расчет капитальных затрат.....	
3.3 Расчет эксплуатационных затрат.....	
3.4. Расчет стоимости выработки электроэнергии	
3.5. Определение годовой экономии от внедрения объекта проектирования	
Выводы	
Список литературы	

Введение

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ), к которым принято относить в основном энергию солнца, воды, ветра, биомассы, демонстрируют положительную динамику доли в глобальном энергетическом балансе. Это обусловлено следующими обстоятельствами:

- борьба с глобальным потеплением приобретает все более систематический характер. В рамках Парижского соглашения об изменении климата обозначены конкретные меры по сокращению выбросов парниковых газов;
- развитие электрогенерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) имеет целевую поддержку со стороны государств, тарифное и налоговое стимулирование позволяет конкурировать с генерацией на основе традиционных источников энергии;
- стоимость фотовольтаики (основной технологии электрогенерации при помощи солнечных панелей) снижается – стоимость солнечных панелей в мире сокращается на 10 % ежегодно.

Солнечную энергетику считают наиболее перспективным направлением энергетической отрасли, так как за последние годы рыночные цены на солнечные модули значительно уменьшились, а их эффективность повышается. Согласно статистическому отчету British Petroleum, по итогам 2016 года суммарный объем установленной мощности солнечных электростанций, построенных и введенных в эксплуатацию во всем мире, составил 303 ГВт. Эта мощность сгенерирована за счет 301,5 тысяч солнечных электростанций (СЭС). Примечательно, что 48% из них пришлось на Азию. Показатель суммарной установленной мощности демонстрирует устойчивую положительную динамику на протяжении уже длительного

периода. Согласно отчету Energytrend, в 2017 году этот показатель увеличится на 100 ГВт.

По данным отчета Международного энергетического агентства, по состоянию на 2016 год на энергию от использования солнечных фотоэлектрических систем приходится около 1,8% от мирового потребления электроэнергии и 4% от потребления странами Европы. По прогнозам компании Energytrend, в 2017 году на такие страны, как Китай, США, Япония и Индия придется 75% новых мощностей мировой солнечной энергогенерации.

Интенсификация роста числа СЭС и увеличение доли сгенерированной ими энергии в общем балансе — задача, которая решается на уровне государственной политики. Как правило, себестоимость генерации на основе ВИЭ превышает стоимость энергии из традиционных источников, и вывести на рынок новых игроков возможно только при системной поддержке государств. На протяжении последних 10 лет лидирующие позиции по электрогенерации на основе СЭС принадлежали Германии и Италии, однако благодаря реализации масштабных программ стимулирования солнечной энергетики перечень лидеров пополнился такими странами, как Китай, США и Япония. Политика стимулирования использования ВИЭ существует в 85 странах. Причем программы в этой сфере разрабатываются как на национальном уровне, так и на уровне отдельных регионов и территорий. Типология мер варьируется от льготных тарифов и кредитов до подготовки и стажировки специалистов.

В большинстве своем основной целью национальных политик в сфере стимулирования ВИЭ является достижение определенной доли ВИЭ в общем балансе генерации электроэнергии (от 5 до 30%). В ряде случаев конкретизируется, что доля ВИЭ должна увеличиться в структуре конечного потребления (от 10 до 20%).

Географическое расположение Украины благоприятно для реализации проектов генерации солнечной энергии. Для климата Украины характерно

большое количество солнечных дней: по степени инсоляции Украина значительно превосходит признанного европейского лидера в солнечной энергетике – Германию. Это является базовым фактором, позволяющим говорить о коммерческих перспективах проектов солнечной электрогенерации, реализуемых в Украине. Государство также декларирует всемерную поддержку проектам генерации энергии на основе ВИЭ. Однако на практике реализация таких проектов требует учета ряда нюансов, без чего инициатор проекта может столкнуться с серьезными ограничениями и риском не достигнуть целевых показателей. В Украине солнечная энергетика за последние 5 лет превратилась из мелкого сегмента, представленного несколькими пилотными проектами, в одно из крупнейших стремительно растущих направлений. По данным американской компании IB Centre Inc., капитализация украинского рынка солнечной энергетике по итогам 2016 г. превысила 1,4 млрд. долл. США. Вместе с тем, политическая нестабильность, достигшая своего пика в 2014 году, последовавшая за ней девальвация гривны, сохраняющиеся риски обострения военного конфликта на востоке страны негативно сказались на инвестиционных проектах направления. В результате аннексии Крыма был утрачен наиболее благоприятный в плане использования ВИЭ регион, в котором до 2014 года уже были успешно реализованы такого рода проекты. В 2014 году Национальная комиссия, осуществляющая государственное регулирование в сферах энергетики и коммунальных услуг (НКРЭКУ), не компенсировала представителям альтернативной энергетики потери от курсовых разниц, также были снижены «зеленые» тарифы на законодательном уровне. В результате интенсивность ввода в эксплуатацию новых СЭС заметно снизилась.

С 2016 года наметилось возобновление положительной динамики, причем проекты, связанные с фотовольтаикой, показали наибольший рост. В 2015 году был принят Закон №514 VIII «О внесении изменений в некоторые законы Украины относительно обеспечения конкурентных условий производства электроэнергии из альтернативных источников энергии».

Таким образом в Украине появилась законодательная база, направленная на привлечение инвестиций, поскольку Закон №514 VIII, привязал «зеленый» тариф к евро. Согласно данным Государственного агентства по энергоэффективности и энергосбережению Украины, по состоянию на 1 октября 2017 года в стране работает 359 объектов возобновляемой энергетики суммарной мощностью 1320 МВт.

Несмотря на то, что в направлении «зеленой» энергетики наблюдается положительная инвестиционная активность, в общем объеме производства энергии на альтернативные источники все также приходится малая доля – согласно данным Государственного агентства по энергоэффективности и энергосбережению Украины, показатель составляет 1% по итогам 11 месяцев 2017 года. При этом потенциал роста рынка значителен: присоединившись к Европейскому энергетическому содружеству, страна взяла на себя обязательства довести долю ВИЭ в энергобалансе страны до 11% к 2020 году. Как и в большинстве стран, государственная политика в Украине в целом выступает ключевым драйвером развития электрогенерации на основе возобновляемых источников, а ключевым стимулом является так называемый «зеленый» тариф – особая тарифная сетка, согласно которой государство приобретает у коммерческих организаций и частных лиц электрическую энергию, сгенерированную с применением восстанавливаемых источников. Построив и запустив в эксплуатацию промышленную СЭС в 2018 году, полученную электроэнергию можно продать по 0,15 евро за 1 кВт.

РАЗДЕЛ 1

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЭС

1.1. Влияние на производительность различных факторов

Повышение коэффициента полезного действия солнечных модулей – главная задача всех исследователей, работающих в данном направлении. На сегодняшний день КПД подобных устройств находится в пределах от 15 до 25 %. Процент очень низкий. Солнечные батареи являются крайне прихотливым устройством, стабильная работа которых зависит от множества причин.

К основным факторам, которые могут двояко влиять на производительность, можно отнести:

Материал основы солнечных батарей. Самым слабым в этом плане является поликристаллические солнечные батареи, имеющие КПД до 15 %. Перспективными же можно считать модули на основе индий-галлия или кадмий-теллура, имеющие до 20% производительности.

Ориентация приемника солнечного потока. В идеале, солнечные батареи своей рабочей поверхностью должны быть обращены к солнцу под прямым углом. В таком положении они должны находиться как можно больший период времени. Для увеличения продолжительности правильного позиционирования модулей в области солнца, более дорогие аналоги имеют в своем арсенале устройство слежения за солнцем, которое поворачивает батареи вслед за движением светила.

Перегрев установок. Повышенная температура негативно сказывается на выработке электроэнергии, поэтому при установке необходимо обеспечить достаточную вентиляцию и охлаждение панелей. Этого добиваются устройством вентилируемого зазора между панелью и поверхностью установки.

Тень отбрасываемая любым предметом, может значительно испортить показатели КПД всей системы.

Выполнив все требования, и по возможности установив панели в нужном положении, можно получить солнечные батареи с высоким КПД. Именно высоким, а не максимальным. Дело в том, что расчетный, или теоретический КПД, это величина, выведенная в лабораторных условиях, при средних параметрах продолжительности светового дня и количества пасмурных дней.

На практике, конечно же, процент полезного действия будет ниже.

1.2. Использование трекеров

Солнечный трекер (Solar tracker) - устройство, предназначенное для отслеживания положения солнца и ориентирования несущей конструкции таким образом, чтобы получить максимальный КПД от солнечных батарей (или других устройств, установленных на трекере). Концепция трекера предельно проста — по нескольким датчикам контроллер определяет оптимальное положение для солнечной батареи и заставляет серводвигатель поворачивать платформу с устройством в необходимую сторону.

В разрезе использования таких устройств в фотоэлектрических системах, трекеры применяются для отслеживания положения солнца и периодического поворота солнечных панелей для максимизации выработки электроэнергии на протяжении дня.

На рис.1.1 приведен график, который отображает зависимость величины потерь при выработке электроэнергии солнечными панелями от величины угла отклонения от оптимального положения плоскости панели. Из графика зависимости видно, что трекер с точностью $\pm 5^\circ$ обеспечивает улавливание панелью более 99,6% энергии прямых лучей и 100% — от рассеяного света.

Учитывая особенности ежедневной траектории движения солнца можно сказать, что эффективный угол поворота панелей — около 150° . Панель,

которая зафиксирована в направлении ровно по середине между точками заката и востока теряет до 75% от максимально возможной выработки в утреннее и вечернее время.

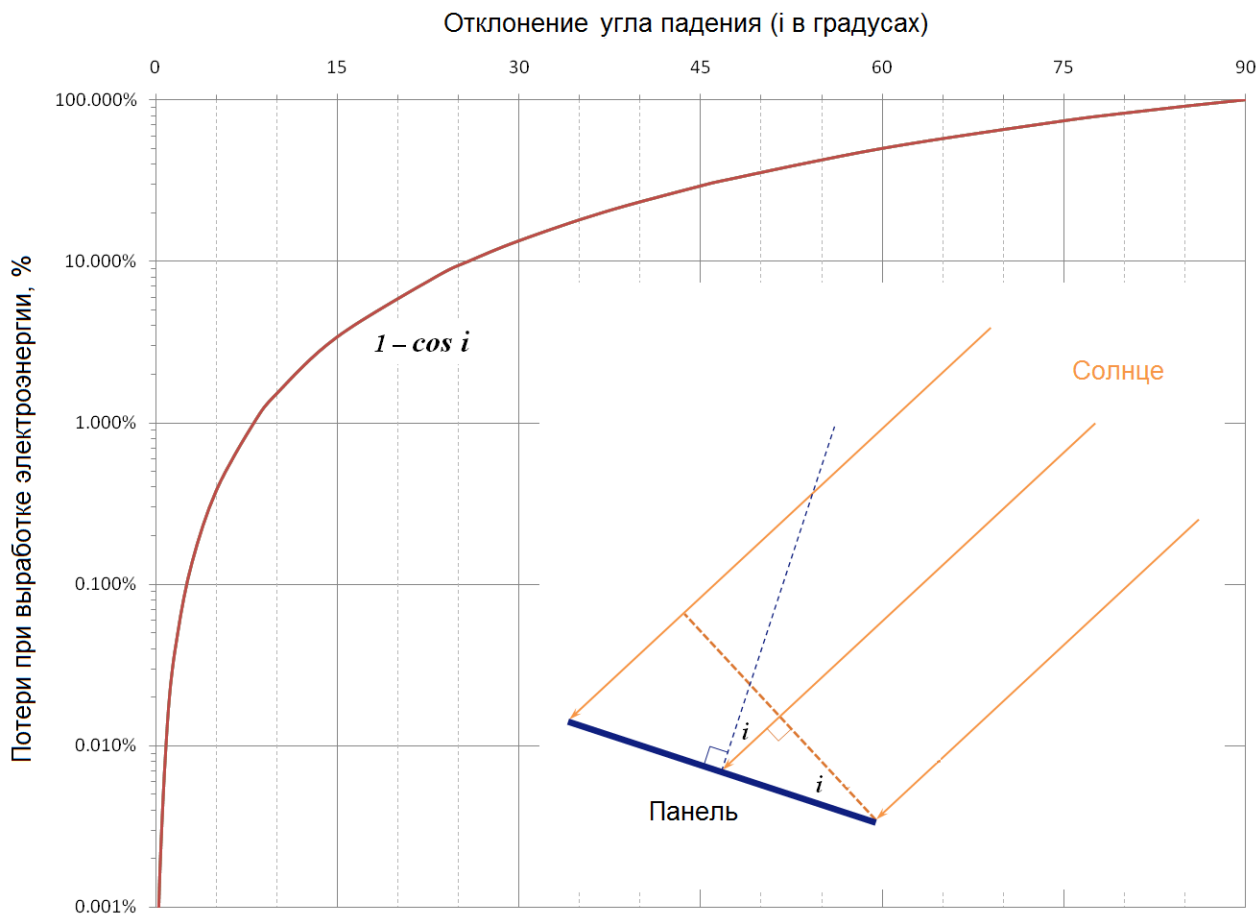


Рис. 1.1. Зависимость величины потерь при выработке электроэнергии солнечными панелями от величины угла отклонения от оптимального положения плоскости панели

Вращение панели от востока к западу для минимизации этих потерь называют однокоординатным слежением. Кроме дневного движения с востока на запад солнце совершает сезонное перемещение между северной и южной сторонами света на 46° . Панель, направленная на среднюю точку между сезонными крайними положениями траектории солнца, будет нести потери около 8,3%.

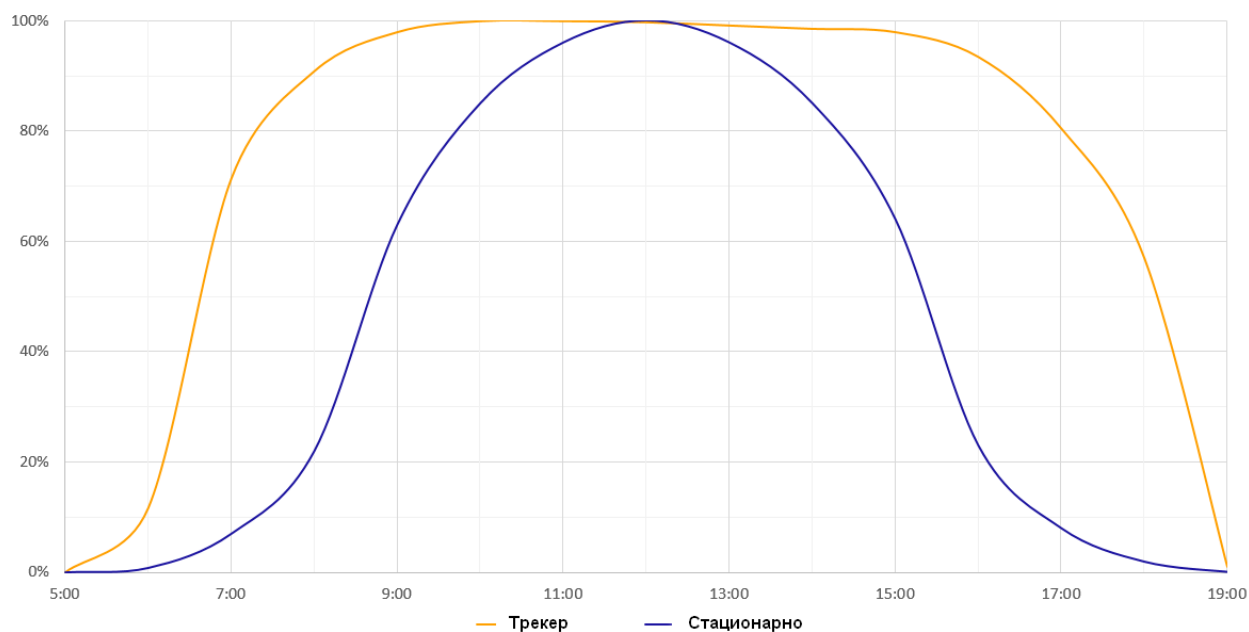


Рис. 1.2. Эффективность работы солнечной панели

Трекеры для солнечных панелей бывают нескольких конфигураций, руководствуются различными алгоритмами при выборе направления, имеют разные приводные механизмы. Несмотря на массу возможных различий между трекерами, чаще всего они делятся на два типа — однокоординатные и двухкоординатные.

Рабочей поверхностью в данном случае выступают:

- батарея, состоящая из солнечных фотоэлектрических модулей (панелей);
- зеркало параболического отражателя, фокусирующего солнечную энергию на двигателе Стирлинга, вырабатывающего электричество (Фото 2);
- зеркало отражателя, фокусирующего солнечную энергию на любой другой приёмник солнечной энергии, которым может выступать устройство или теплоноситель, в зависимости от типа системы (Фото 3).

оптические устройства и др.

Точная ориентация рабочих поверхностей систем на Солнце необходима для достижения их максимальной производительности. При этом задача трекера — уменьшить угол падения солнца на рабочую поверхность

солнечных панелей (PV- модулей, CPV-концентрированных фотоэлектрических модулей, CSP систем, HCPV систем, параболических отражателей и др.).

Конструкция трекера

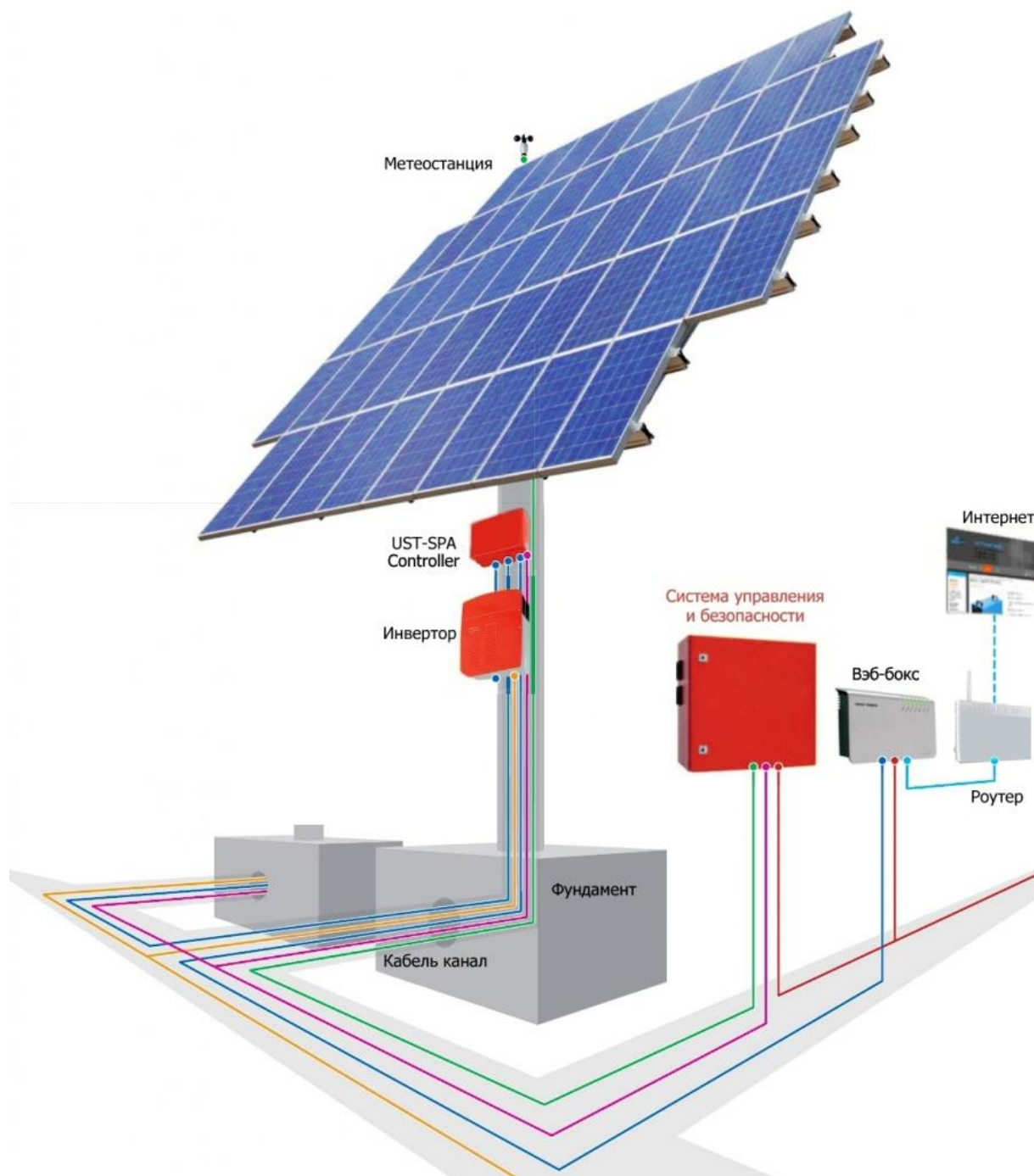


Рис.1.3. Конструкция трекера

Солнечный трекер в полной комплектации состоит из:

1. Несущей конструкции, состоящей из фиксированной и подвижной частей, подвижная часть имеет одну или две оси вращения;
2. Системы ориентации (позиционирования) подвижной части трекера, состоящей из актуаторов, и устройства управления ими;
3. Системы безопасности, включающей в себя:
 - защиту от молнии,
 - защиту от перегрузок,
 - метеостанцию, предназначенную для предупреждения системы об урагане, граде, снеге, наледи, неблагоприятных погодных условиях.

Анализируя данные метеостанции, система переориентирует трекер в положение, при котором неблагоприятные факторы будут минимизированы в период их действия, а рабочие поверхности защищены от разрушения или порчи.

- стабилизаторы;
4. Системы управления и интерфейс, предназначенные для настройки, контроля и обслуживания энергосистемы;
 5. Системы удалённого доступа для удалённого мониторинга и управления системой;
 6. Система навигации для определения географического положения системы, высоты над уровнем моря (для трекеров на мобильной базе). На стационарных трекерах навигация не обязательна. Установочные значения широты, долготы, высоты над уровнем моря места, где ставится трекер, вводятся поставщиком при монтаже системы.

7. Инвертор - преобразует, поступающее от полезной нагрузки трекера (PV-модулей и др.) постоянное напряжение в переменное 220В (110В) и передаёт его потребителю или на принимающую станцию, одновременно, запитывая трекер.

Количество инверторов на трекере может быть от одного до трёх. Инверторы выполняются в защищенном варианте (полевом) или же в корпусе, устанавливаемом в помещении. Схемы подключения инверторов в системе могут быть различными.

Необходимость полной комплектации трекера не всегда экономически целесообразна, зависит от вида трекера, назначения, и других факторов, поэтому в практике часто многие указанные выше составляющие элементы трекера отсутствуют.

Системы ориентации трекеров

Подвижная часть трекера может менять своё положение с помощью ручного привода, либо с помощью 1-2-х актуаторов — исполнительных устройств, выполненных на электродвигателях.

Задача трекера - установить углы наклона рабочей поверхности нагрузки, сориентировав, её строго на солнце. Проще говоря, солнечные лучи должны падать перпендикулярно плоскости солнечной панели.

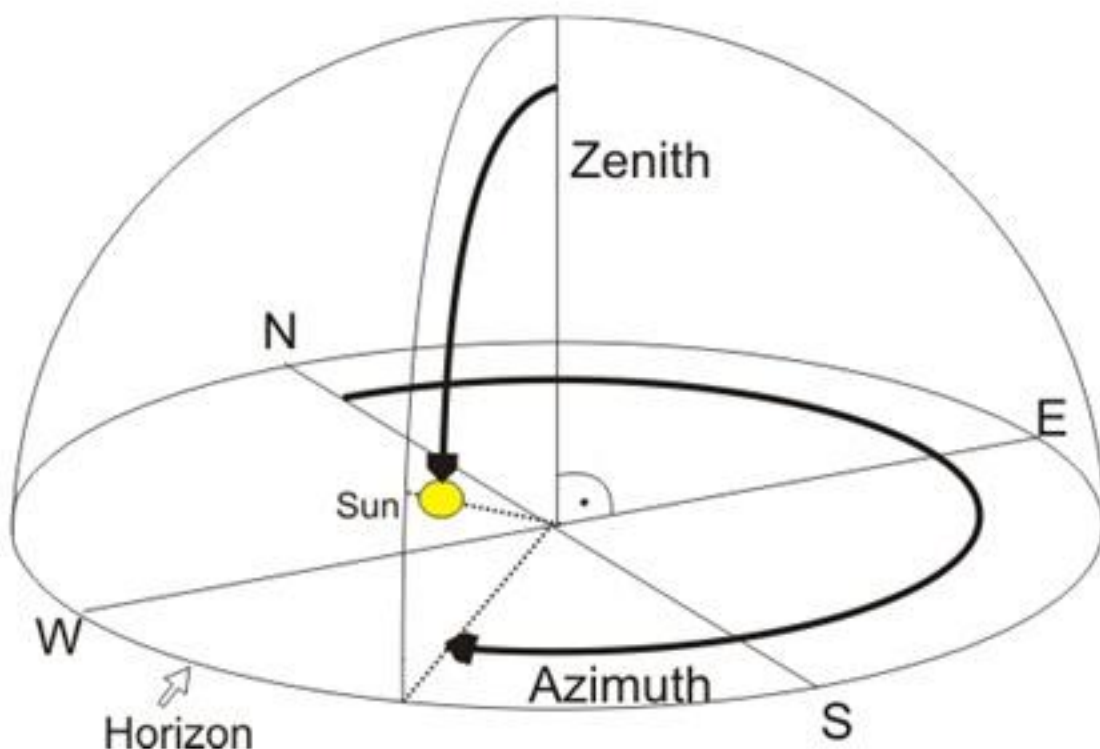


Рис. 1.4. Системы ориентации солнечных панелей

Такой ориентации можно добиться несколькими способами:

В первом случае устройство управления актуаторами с помощью нескольких фотоприёмников анализирует освещённость при разных положениях трекера и передаёт управляющие сигналы на актуаторы до момента, когда поток света на всех фотоэлементах будет одинаков. Разбалансировка системы из-за движения солнца даст импульс для активации нового перемещения, в направлении к солнцу. Принципиальные схемы таких устройств несложные и недорогие. Но у них есть один существенный недостаток.

В пасмурную погоду, при осадках и загрязнении фотоприёмников система неработоспособна.

Переориентировать систему можно вручную, либо, управляя актуаторами, подавая управляющие сигналы с помощью переключателей. Но такой способ приемлем в основном для сезонной ориентации трекеров, когда на какой-то период времени выставляется соответствующий угол наклона (на рис.1.4 данный угол обозначен как *Zenith* (зенитный угол наклона солнца)). Точность ориентации при этом невелика, постоянно оператор не может находиться у трекера, поэтому данный способ распространён мало, но для сезонной ориентации малобюджетных систем он вполне подходит.

Управление движением трекера по Азимутальному и Зенитному углам возможно устройством управления, в состав которого входит таймер. При этом актуаторы начинают свою работу по суточной программе таймера (при необходимости, и по годовой программе). Точность ориентации при этом не велика, так как солнце в течение года постоянно меняет время, место восхода и захода, зенитный угол. К примеру, летом в наших широтах зенитный угол мал, а зимой солнце идёт по горизонту и зенитный угол велик. Данный способ приемлем для недорогих систем.

Наиболее эффективным стал способ управления актуаторами по программе, которая в определенные интервалы времени рассчитывает местоположение солнца. По внутренним часам устройства программа на блок управления будет выдавать информацию о значении Азимутального (*Azimuth*) и Зенитного (*Zenith*) углов (рис.1.4), с учётом местоположения трекера (широта, долгота, высота над уровнем моря), после чего исполнительным

устройством производится соответствующая переориентация трекера в расчётное положение. Данная программа для расчёта местоположения солнца, называется — SPA (Алгоритм солнечной позиции).

Устройства управления трекерами могут быть выполнены на защищённых компьютерах, PLC - программируемых логических контроллерах, либо в виде отдельных законченных устройств, программируемых поставщиком при поставке трекера, с привязкой к местности своего изделия. Группа трекеров может управляться одним компьютером, что снижает себестоимость электростанции.

Классификация трекеров

Выбор типа трекера зависит от многих факторов, включая размер установки, электрических параметров, земельных ограничений, широты и местных погодных условий.

Трекеры с одной осью вращения (одноосные)

Одноосные трекеры имеют одну степень свободы, которая выступает в качестве оси вращения. Ось вращения одноосного трекера, как правило, ориентирована вдоль оси Сев.меридиана (север-юг). Вполне возможна, ориентация их в любых координатных направлениях с использованием SPA (Solar Position Algorithm) алгоритмами слежения.

Есть несколько видов одноосных трекеров. Они включают в себя трекеры с горизонтальной осью вращения (HSAT), вертикальной осью вращения (VSAT), с наклонной осью вращения (TSAT) и с полярно ориентированной осью вращения (PSAT).

Трекеры с горизонтально ориентированной осью - Horizontal single axis tracker (HSAT)

Ось вращения для HSAT горизонтальна по отношению к земле.

Поля с HSAT являются очень гибкими. Простая геометрия требует, что бы все оси вращения были параллельны друг другу,

Соответствующий интервал между осями может максимизировать выработку электроэнергии, зависящей и от рельефа местности, тени и времени суток.

В HSAT длинные горизонтальные трубы опираются на подшипники, установленные на пилонах. Оси трубок ориентированы на линии север-юг.

Панели монтируются на трубке, а трубка будет вращаться вокруг своей оси, чтобы отслеживать видимое движение солнца в течение дня.

Разновидностью трекеров HSAT являются трекеры, устанавливаемые на южных стенах крупных объектов (зданий) - WHSAT (Wall Horizontal single axis tracker).

Трекеры с вертикальной осью вращения — Vertical single axis tracker (VSAT)

Ось вращения для VSAT вертикальна по отношению к земле. Эти трекеры вращаются с востока на запад в течение дня. Такие трекеры являются более эффективными в высоких широтах, чем HSAT. Поля трекеров должны учитывать затенение от соседних трекеров, чтобы избежать ненужных потерь энергии и оптимизировать землепользование.

VSAT обычно имеют рабочую поверхность (с фотоэлементами) ориентированную под углом по отношению к оси вращения. То есть имеет фиксированный наклон.

Трекеры с одной наклонной осью вращения — Tilted single axis tracker (TSAT)

Все трекеры с осями вращения между горизонтальной и вертикальной считаются TSAT.

В массиве трекеров должно учитываться затенение от соседних трекеров, чтобы избежать ненужных потерь и оптимизировать землепользование.

Трекеры с полярно ориентированной осью вращения — Polar aligned single axis trackers (PASAT)

Этот метод является научно известным как стандартный метод монтажа системы, которая поддерживает телескоп.

PASAT выравнивается по полярной звезде. В связи с этим их называют трекеры с полярно выровненной осью (PASAT). В каждом конкретном данном случае для PASAT угол наклона равен широте установки. Это выравнивает ось вращения трекера с осью вращения Земли.

Трекеры с двумя осями вращения - Dual axis trackers (DAT)

DAT имеют две степени свободы, которые выступают в качестве осей вращения. Эти оси, как правило не связаны друг с другом, но работают вместе. Ось, которая фиксируется по отношению к земле может рассматриваться как основная ось. Другая ось может рассматриваться как вторичная. И наоборот.

Есть несколько распространенных реализаций трекеров с двумя осями. Они классифицируются по направленности их основной оси по отношению

к земле. Два наиболее распространенных вида трекеров с 2-я осями :TTDAT и AADAT.

Ориентация модуля по отношению к оси трекера важно при моделировании производительности. DAT как правило, имеют модули ориентированы параллельно вторичной оси вращения.

DAT позволяют принять оптимальное количество солнечной энергии за счет их способности следовать за солнцем вертикально и горизонтально. Независимо от того, где солнце в небе, DAT в состоянии наклонить себя в непосредственном контакте с солнцем.

Трекеры с двумя осями вращения на несущем столбе -Tip—tilt dual axis tracker (TTDAT)

TTDAT так назвали потому, что массив с панелями монтируется на конце длинного столба. Движение трекера с востока на запад управляется поворотом массива вокруг верхнего полюса, на котором закреплён подшипник. В верхней части вращающегося подшипника находится механизм, который обеспечивает вертикальное вращение панелей и обеспечивает основные точки крепления для массива панелей.

Поля с TTDAT являются очень гибкими. Простая геометрия означает, что сохранение оси вращения параллельно друг другу — все, что необходимо для надлежащего размещения трекеров по отношению друг к другу. Обычно трекеры должны быть расположены с довольно низкой плотностью, чтобы избежать затенение одного трекера другим, когда солнце находится низко в небе.

Оси вращения TTDAT, обычно выравниваются либо по северному меридиану или по линии широты восток-запад.

Трекеры с двумя осями вращения и опорной плоскостью - Azimuth-altitude dual axis tracker (AADAT)

В AADAT главная ось - вертикальная. Они похожи на TTDAT, но они отличаются по способу поворота массива. Вместо вращающегося массива вокруг верхнего полюса столба, AADAT системы обычно используют большое кольцо, установленное на земле или платформе. Вся система устанавливается на ролики или на большую платформу с подшипниками. Основным преимуществом такого расположения является то, что вес массива распределяется по частям кольца, в отличие от одной точки загрузки полюса в TTDAT. Это позволяет AADAT поддерживать гораздо больше массив солнечных панелей или отражателей, в отличие от TTDAT, однако, системы AADAT не могут быть

размещены ближе друг к другу, чем диаметр кольца, что может привести к снижению плотности застройки системы, особенно с учетом межтрекерного затенения.

1.3. Уменьшение влияния затенения

При монтаже солнечной станции на крыше, практически невозможно избежать затенения части поля солнечных панелей особенно в утреннее или вечернее время, когда солнце гораздо ниже. Кроме снижения генерации на самих солнечных батареях, находящемся в тени, затенённые батареи затрудняют передачу энергии по всей цепи солнечной электростанции.

Таким образом, даже незначительное затенение одного фотоэлемента в солнечной батарее приводит к серьезному снижению генерации электроэнергии всей солнечной станции.

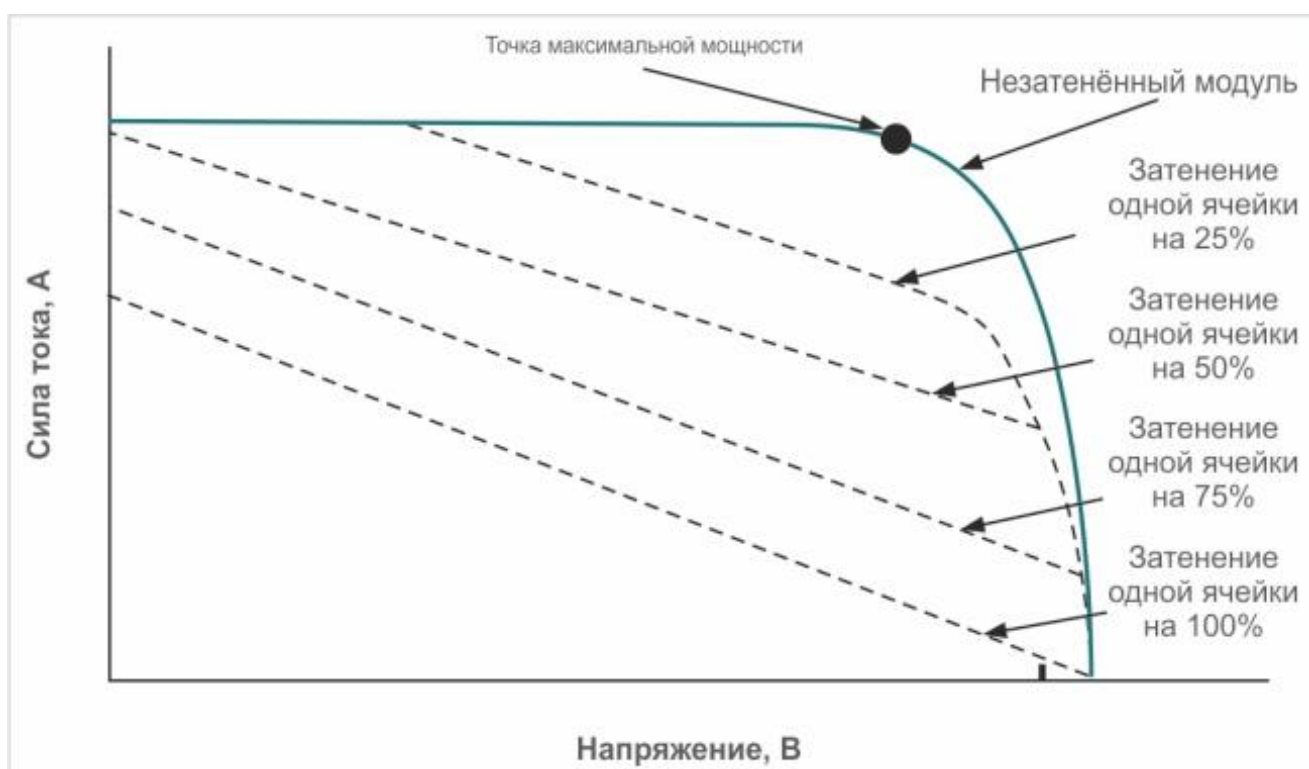


Рис. 1.5 Влияние затенения на вольт-амперную характеристику солнечного фотоэлемента при нагрузке 24 В

Влияние затенения на группу солнечных панелей.

Объединения несколько модулей в один стринг (цепь) мы так же рискуем существенным снижением мощности даже при частичном затенении одной солнечной батареи. При последовательном соединении панелей в стринге, максимальный ток будет равен току самой «слабой» затененной панели. Так же как на примере с трубой, где поток воды на выходе не может быть больше потока на засорённом участке.

Рассмотрим пример: стринг с 10-ю панелями мощностью 280 Вт. При оптимальной солнечной интенсивности, стринг солнечных батарей генерирует примерно 2 798 Вт в час электроэнергии (10 [модулей] * 8,8 [А] * 31,8 [В] = 2 798 Вт).

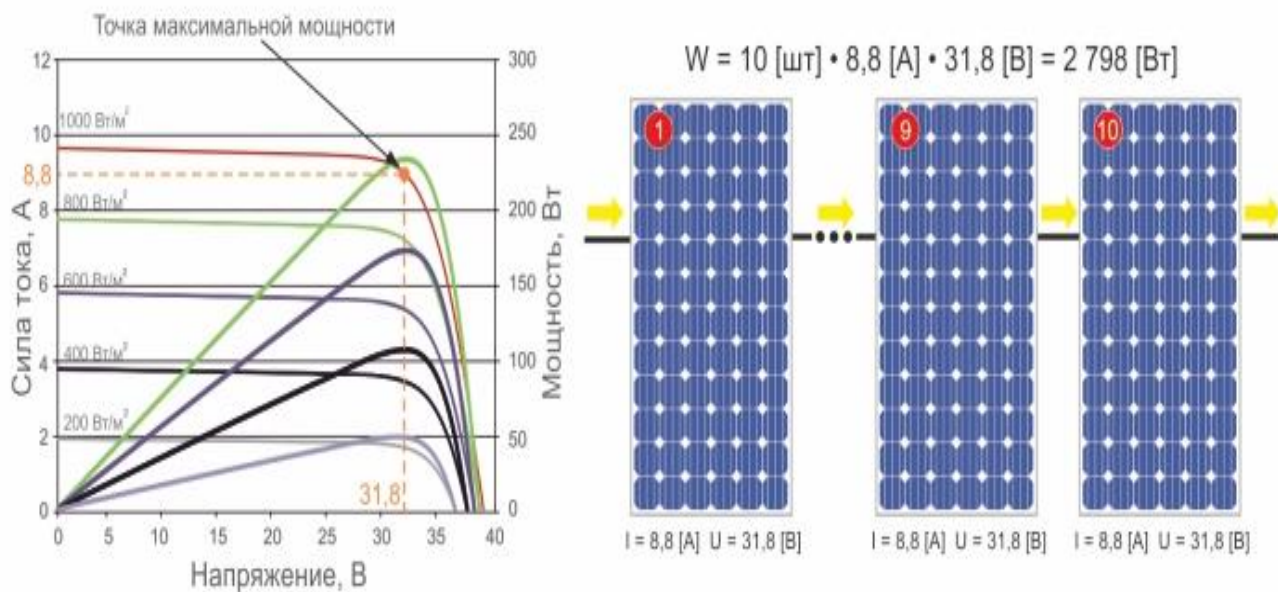


Рис. 1.6 Генерация электроэнергии стрингом солнечных панелей без затенения

В случае затенения даже одного модуля, производительность резко снизится. При том же напряжении, затенённая солнечная батарея выдаст не более 1 Ампер тока. Суммарная мощность в этом случае составит всего 318 Вт.

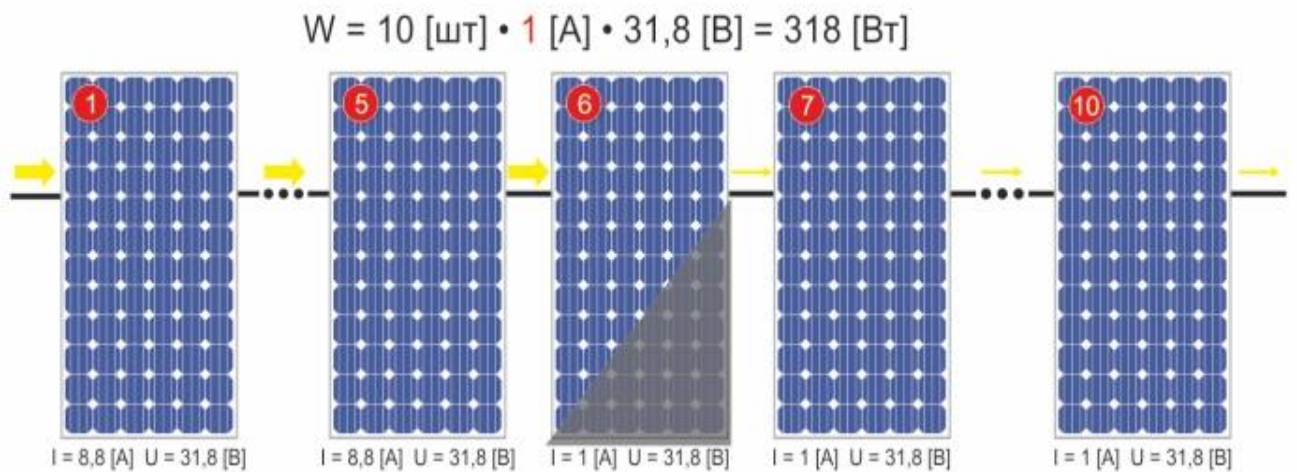


Рис.1.7. Падение генерации электроэнергии при затенении одной батареи в стринге

Шунтирующие диоды.

Чтобы избежать сильного падения эффективности, в солнечные батареи встраивают шунтирующие диоды, еще их называют байпасными диодами. Их задача, отсечь модуль с низкими показателями, чтобы избежать сильного падения мощности в стринге.

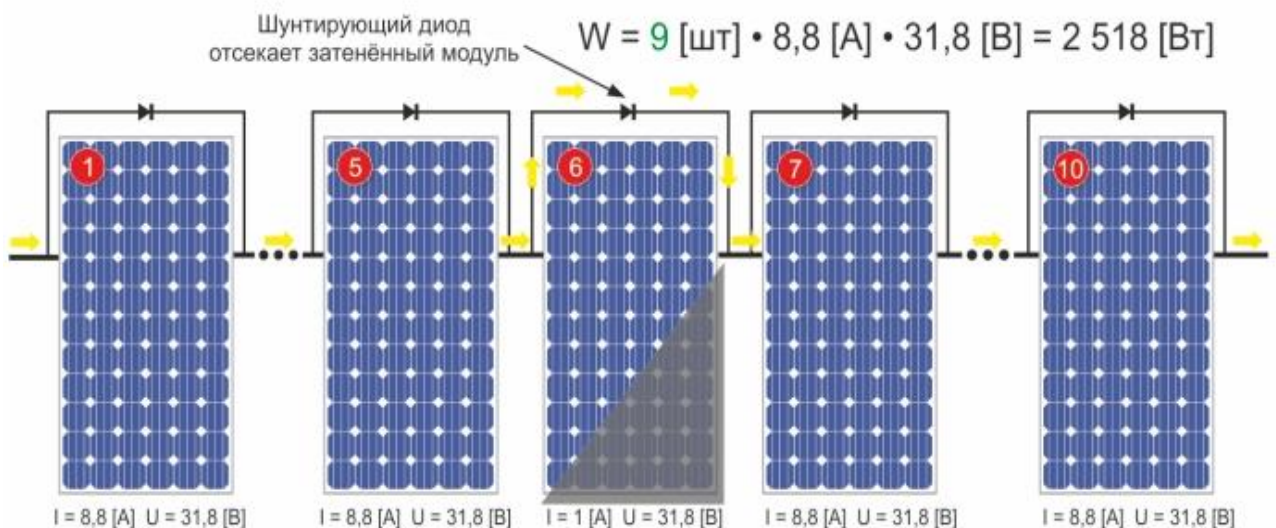


Рис. 1.8. Применение шунтирующих (байпасных) диодов для повышения производительности при затенении отдельных солнечных батарей

В современных батареях такие диоды уже встраиваются на производстве. Чтобы сделать систему еще эффективнее, панель оснащают

сразу несколькими диодами, тогда возможно отсечь только некоторые затенённые участки одного модуля.

Уровень затенения.

Выше рассматривалась тень, которая попадает на солнечную батарею от близко расположенных объектов, или от предметов, непосредственно лежащих на солнечной панели, например дымоходы, опавшие листья, и т.д. Эти предметы отбрасывают «сильную» тень с явными контурами. Но существует так же понятие «слабой» тени отброшенной от других строений расположенных на некотором расстоянии или растущих неподалёку деревьев.

Под воздействием сильной тени происходит снижение напряжения на затенённой панели. При слабой затенённости, снижается сила тока, так же как при пасмурной погоде.

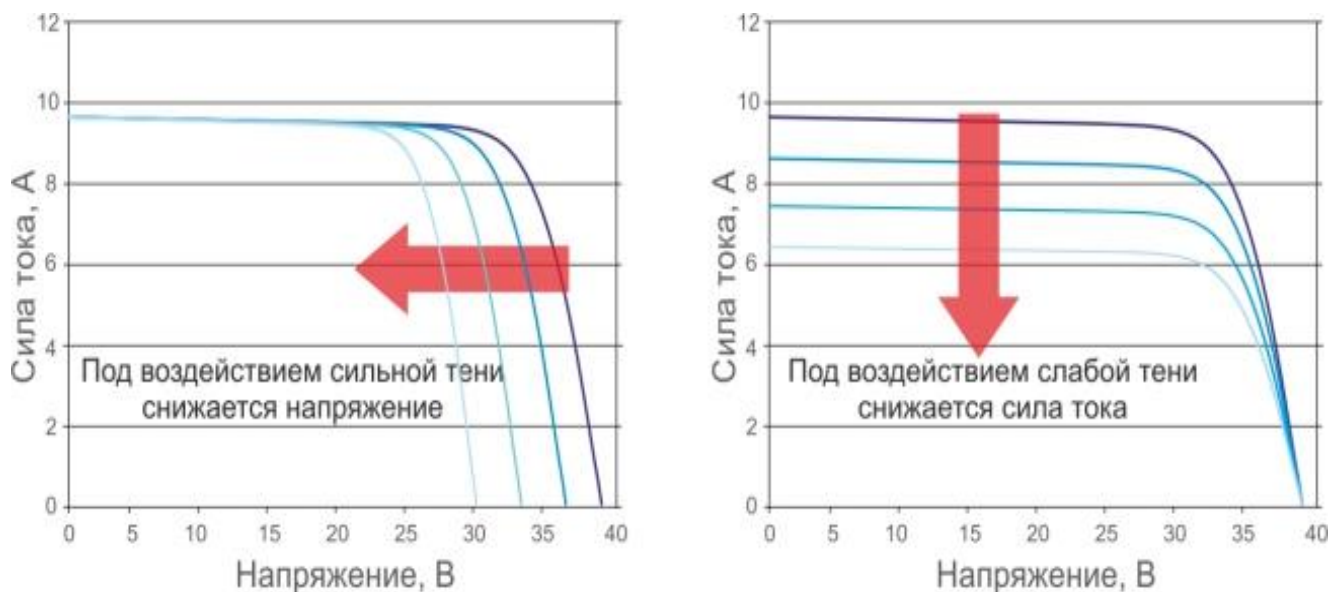


Рис. 1.9. Влияние сильной и слабой тени на вольт-амперную характеристику солнечной батареи

На практике, при объединении батарей в стринг и подключении к МРРТ трекеру, сильная тень снижает производительность панели больше чем слабая тень.

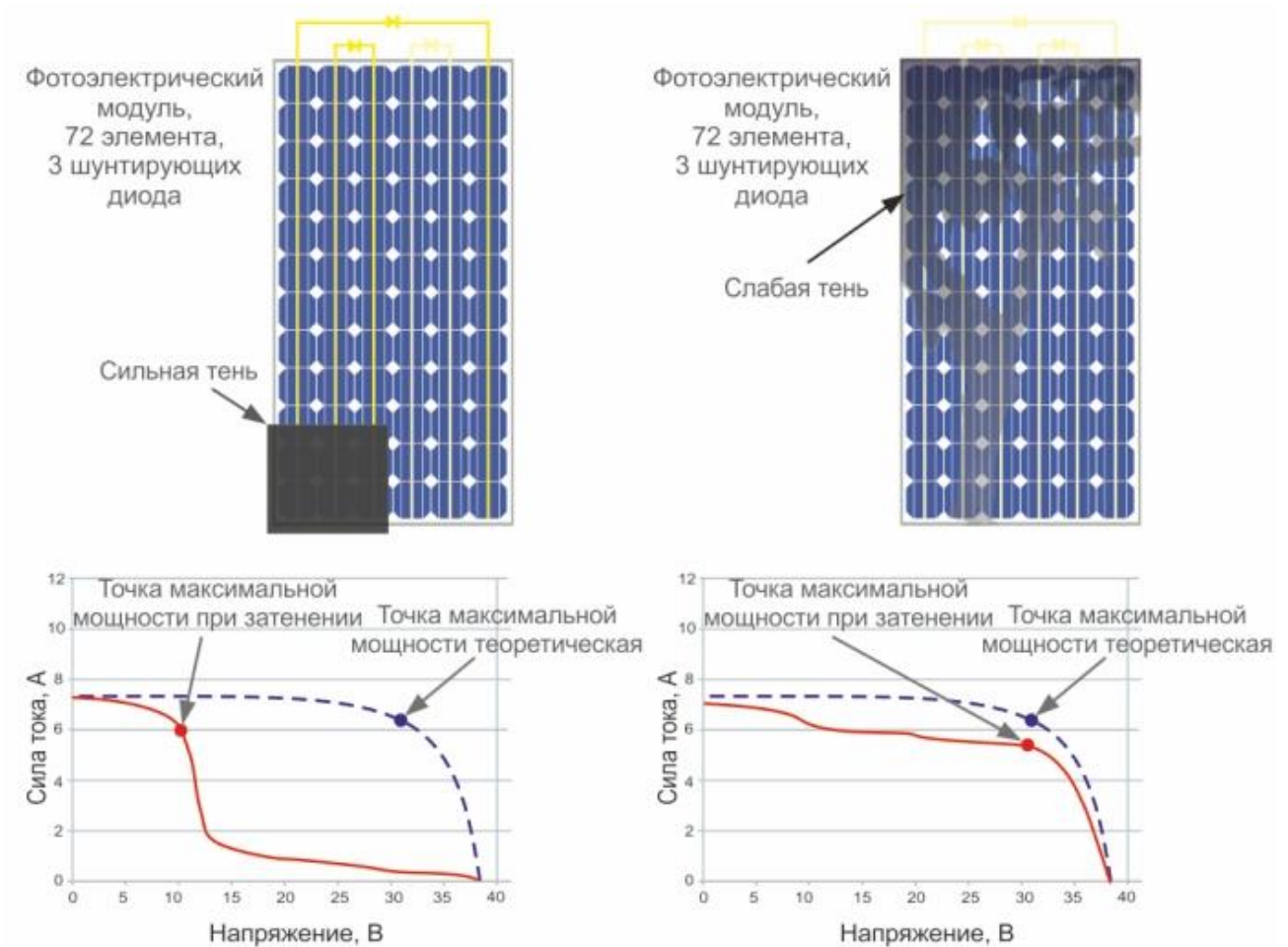


Рис.1.10 Снижение производительности солнечной панели при различных уровнях затенения с использованием шунтирующих диодов

При максимальной солнечной интенсивности, солнечная панель, рассматриваемая в качестве примера способна генерировать 190 Вт. В первом случае, наблюдается значительное уменьшение напряжения на модуле. Однако благодаря двум включившимся шунтирующим диодам, генерация на солнечной панели все же есть и мощность составляет приблизительно 60 Вт, при практически неизменной силе тока равной 6 А. Во втором случае, затенение не вызвало открытие диодов, однако наблюдается небольшое снижение силы тока, при том же напряжении. Мощность составляет примерно 160 Вт. Очевидно, что сильная тень больше влияет на генерацию электроэнергии.

Влияние на производительность в стринге при различном уровне затенённости.

Слабая тень, падающая только на некоторые модули в стринге, вызовет эффект “несоответствия силы тока”. В этом случае, стринг принимает самую слабую силу тока. Сильная тень вызывает снижение напряжения в затененных ячейках. Однако благодаря инвертору или контроллеру заряда с МРРТ трекером и шунтирующим диодам сила тока остается неизменной в большинстве случаев.

Не смотря на то, что слабая затененность значительно меньше сокращает мощность одной солнечной панели, она может сильнее повлиять на производительность всего стринга. Рассмотрим пример влияния на производительность электроэнергии в одном стринге при затенении одной солнечной батареи.

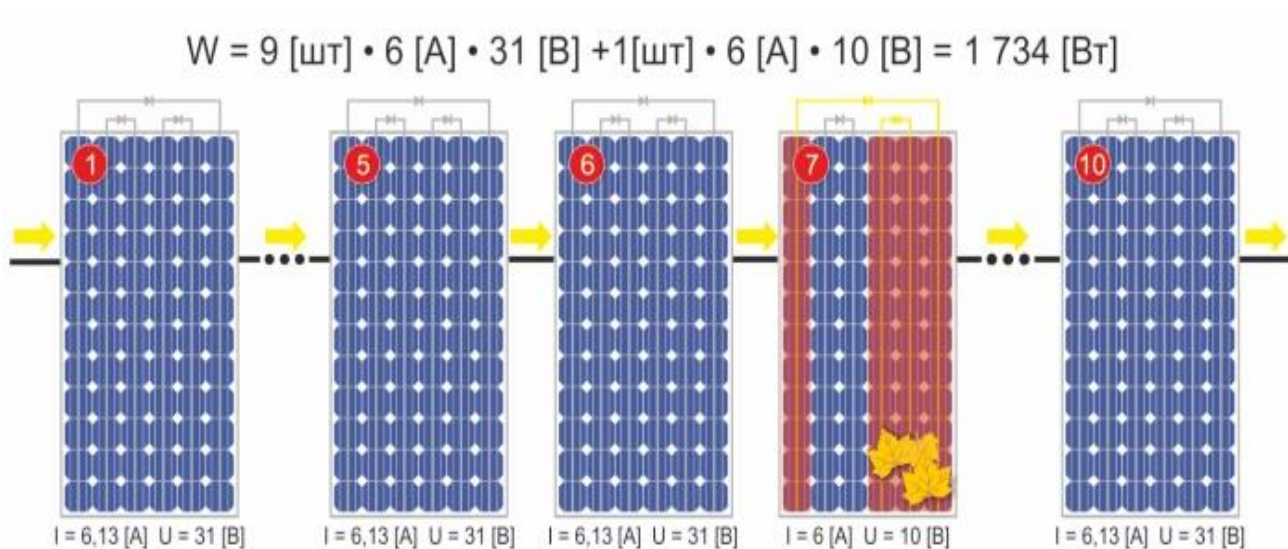


Рис. 1.11. Снижение производительности в стринге при сильном затенении одной солнечной батареи

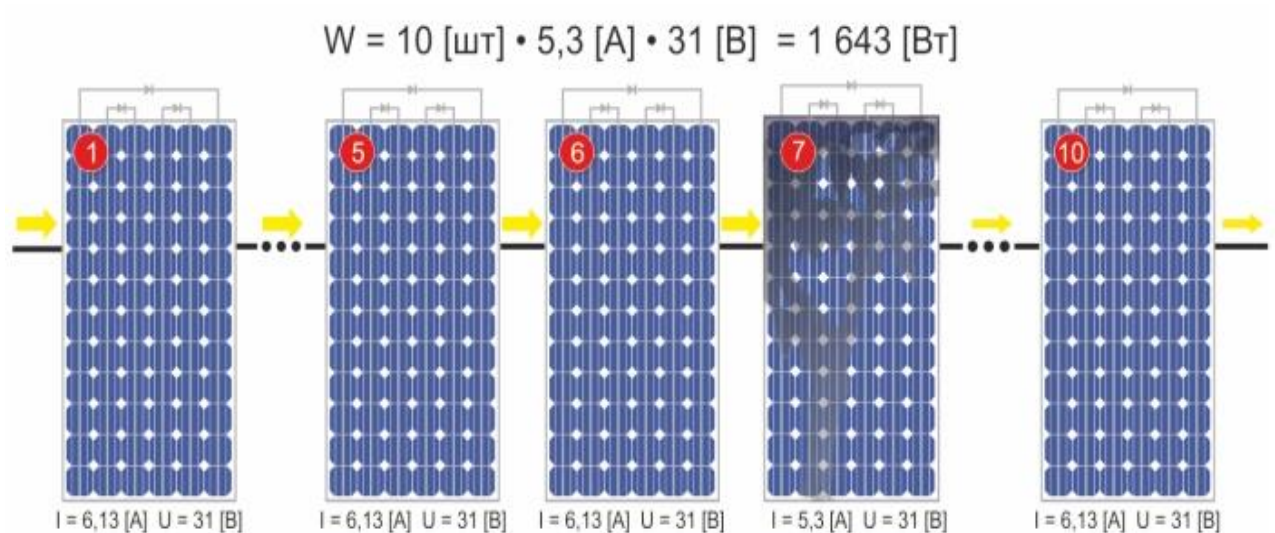


Рис. 1.12. Снижение производительности стринга при слабом затенении одной солнечной батареи

Мощность стринга в котором жесткая тень закрыла часть одного модуля, равна 1 734 Вт. А в случае, когда лёгкая тень падает на один из модулей, мощность цепи равна 1 643 Вт. Таким образом, снижению силы тока в солнечной батарее, под влиянием слабой тени, может повлиять значительно больше чем снижение напряжения из-за сильно затенённой одной панели.

Влияние на производительность в параллельно подключенных стрингах.

Когда тень падает на два параллельно соединенных стринга неравномерно, происходит эффект «несоответствия напряжений». Это происходит когда два стринга, соединенные параллельно, производят различное напряжение, при независимом измерении каждой отдельной цепи. Это может сбить инвертор или контроллер заряда с толку, вызывая постоянные поправки в работу системы для достижения оптимальной производительности.

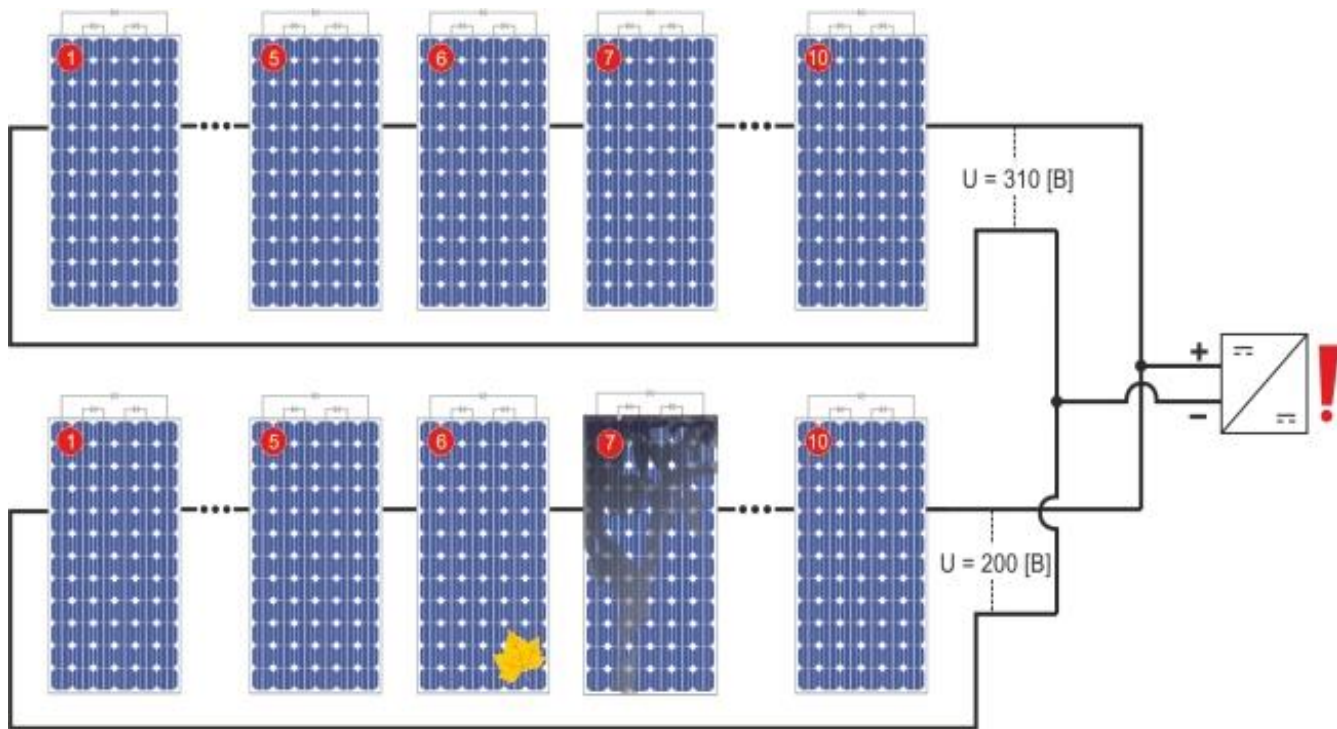


Рис. 1.13 Несоответствия напряжений в параллельно подключенных стрингах (цепях)

Так как точки максимальной мощности, которые рассчитывает МРРТ трекер в контроллере, меняются с движением тени, контроллер заряда может ошибаться и выбирать напряжение, не соответствующее максимальной мощности и работать в таком режиме продолжительное время. Это может сильно повлиять на количество производимой энергии.

Для повышения эффективности рекомендуется использовать инверторы с несколькими МРРТ трекерами, или использовать несколько инверторов/контроллеров заряда. Так же есть решение применять микроинверторы на каждой солнечной панели.

Сделать работу каждой панели независимой, а значит, частично решить проблему с падением производительности электростанции позволяет модульная силовая электроника, или MLPE (ModuleLevelPowerElectronics). Это собирательное название для различных устройств, устанавливаемых на солнечные батареи с целью оптимизации мощности.

Использование оптимизаторов позволяет сделать так, чтобы технически отличающаяся, затененная или загрязненная панель не влияла на работу всей

ветки. С помощью устройств можно дистанционно отслеживать параметры функционирования фотомодулей. Мониторинг дает возможность своевременно реагировать на поломку, загрязнение, частичное затенение одного из устройств.

Наличие оптимизаторов позволяет в случае пожара отключить не инвертор, а солнечную панель. Технологии MLPE расширяют возможности при разработке конфигурации фотоэлектрических систем. Так, использование оптимизаторов будет единственно правильным решением, если есть необходимость разместить фотомодули одной цепочки на двух соседних скатах крыши.

Решить проблему частично нефункциональных солнечных батарей позволяют микроинверторы. В стандартной фотоэлектрической системе цепочка из десятка фотомодулей подключается к одному инвертору, подвешенному на стене. Если же нужно оптимизировать мощность электростанции, вместо центрального преобразователя тока используют десять микроинверторов, установленных позади каждой солнечной батареи. С помощью миниатюрных устройств можно отслеживать работу и контролировать выработку фотомодулей по отдельности.

Главный недостаток такого решения по оптимизации заключается в размещении микроинвертора. Установка электроники на нагретой крыше, естественно, сокращает срок службы устройств.

Следующим шагом в развитии MLPE стало создание силовых оптимизаторов, обеспечивающих фиксацию напряжения. Разработчики решили разделить функции стандартного солнечного инвертора: преобразователь тока оставить на земле, а MPPT контроллер перенести на крышу. Последний и называется «оптимизатором мощности», «силовым оптимизатором». MPPT контроллер представляет собой прибор, который оперативно меняет силу тока, реагируя на колебания напряжения. Подобная коррекция обеспечивает фотомодулям максимальную энерговыработку.

Выводы по разделу

В данном разделе проанализированы основные факторы, влияющие на производительность солнечных электростанций.

Рассмотрены принципы построения систем с трекерами, разновидности систем ориентации трекеров, классификация трекеров и методика выбора типа трекера в зависимости от различных факторов, включая размер установки, электрических параметров, земельных ограничений, широты и местных погодных условий.

Исследовано влияние затененности на производительность солнечных электростанций и рассмотрены меры по уменьшению влияния затененности.

РАЗДЕЛ 2

ДВУХСТОРОННИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДУЛИ

2.1. Общие сведения о двухсторонних ФЭМ

Двухсторонние солнечные панели изготавливаются из фотоэлементов, которые поглощают солнечное излучение, как с лицевой, так и с тыльной стороны. Они преобразовывают энергию солнца в электроэнергию с обеих сторон. Как правило, эффективность преобразования солнечного излучения на лицевой стороне такого фотоэлемента на несколько процентов выше, чем на тыльной стороне и достигает значения 19%. Эффективность фотоэлемента с тыльной стороны – 14-15%. В определенных случаях такие панели позволяют получить прибавку к выработке электроэнергии от 10 до 50 процентов по отношению к традиционным односторонним солнечным панелям.

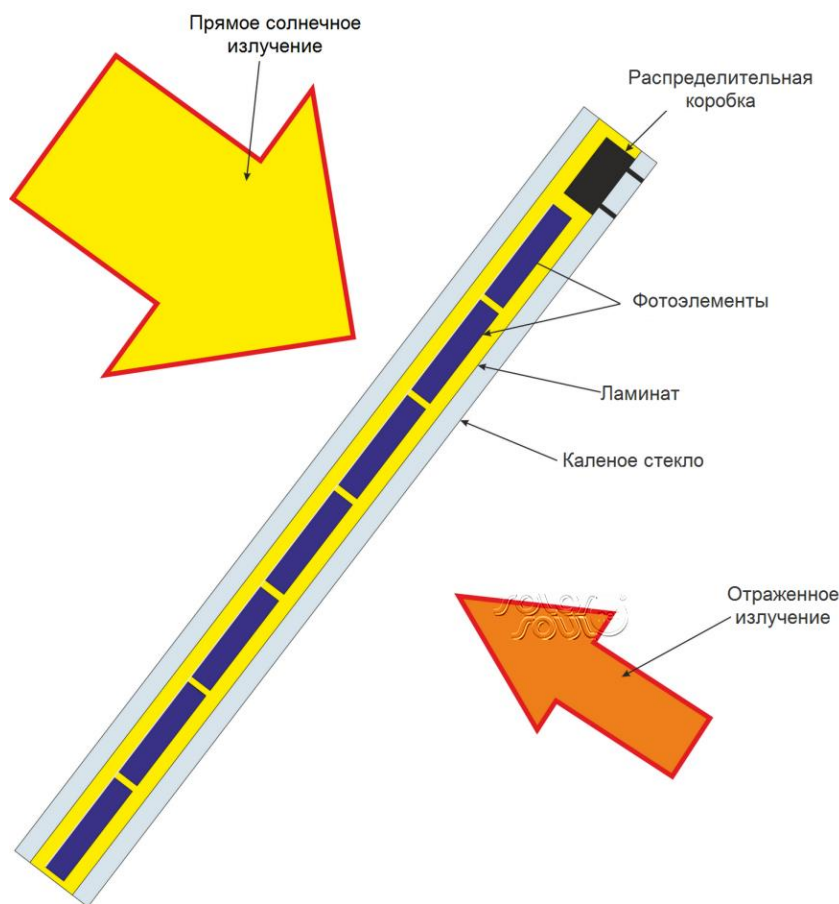


Рис. 2.1. Конструкция двухсторонней солнечной панели

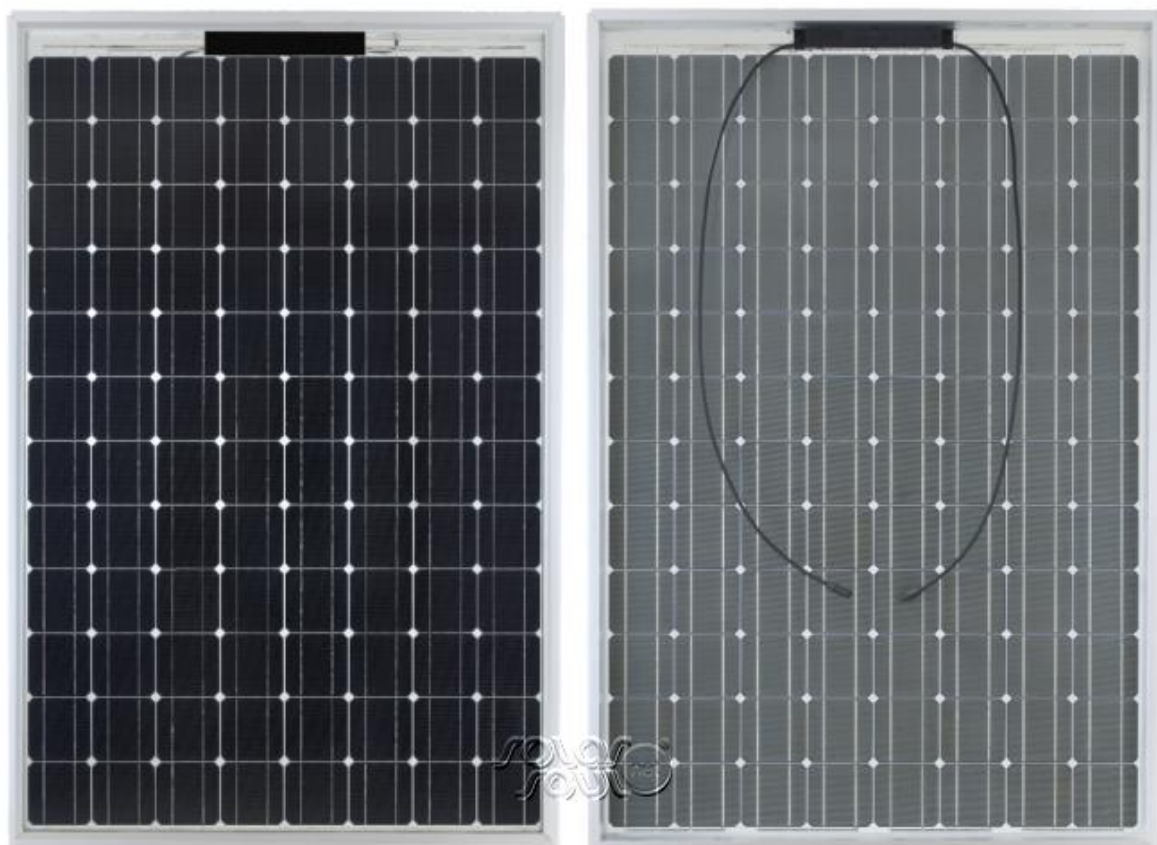


Рис. 2.2. Лицевая и тыльная сторона солнечной панели

Количество дополнительной энергии фотоэлектрической системы, которое возможно получить при использовании двухсторонних модулей зависит от количества дополнительного солнечного излучения, которое будет попадать на тыльную сторону батареи.

Солнечная радиация, поступающая к поверхности Земли, поглощается ею не полностью. Часть радиации отражается поверхностью, причем в отражении участвует только верхний – деятельный слой земной поверхности, в котором происходит поглощение радиации и ее преобразование. К такому слою относятся весь травостой и растительная масса леса, первые десятки метров прозрачной и дециметры мутной воды, а также дециметры снега, несколько сантиметров песка и доли миллиметров темных почв. Отражательная способность поверхности Земли зависит от рода тел, их физических свойств, цвета и состояния. Отношение отраженной радиации к суммарной радиации Солнца и атмосферы называется альбедо.

Значения альбедо чаще всего выражают в процентах (или в долях единиц). Дополнения же до ста процентов характеризует поглотительную способность тела, если только оно не пропускает радиацию насквозь. Альбедо земной поверхности изменяется в широких пределах. Это связано с типом ландшафтных зон, а в умеренных и высоких широтах еще и со сменой сезонов года. Так, в центральных частях полярных областей отражательная способность велика и мало меняется в годовом ходе: в Антарктиде – в пределах 80–86 %, в центральной Арктике – в пределах 70–86%. В июле уменьшение альбедо в Арктике (до 65 %) связано с более интенсивным таянием снега, чем в декабре в Антарктиде.

Значения альбедо для разных типов поверхностей приведены в таблице 1.

Таблица 2.1. Значения альбедо для разных типов поверхностей

Чернозем	0,1
Асфальт	0,12
Песок влажный	0,19
Старый бетон	0,2
Трава	0,25
Желтый песок сухой	0,35
Белый песок сухой	0,4
Новый бетон	0,55
Старый снег	0,45-0,7
Свежий снег	0,8-0,9

2.2. Варианты применения двухсторонних ФЭМ

Некоторые фотоэлектрические системы спроектированы таким образом, что применение таких солнечных панелей может принести ощутимую выгоду.

Иногда по конструктивным причинам солнечные батареи устанавливаются под углом 90° , например, в виде ограждения. В таком случае использование двухсторонних солнечных элементов может повысить эффективность выработки энергии до 50%.

В случае, когда двусторонние солнечные элементы установлены вертикально (рис. 2.3), они должны быть направлены с севера на юг. Если они расположены таким образом, то они будут вырабатывать почти такую же энергию, как при установке в южном направлении.

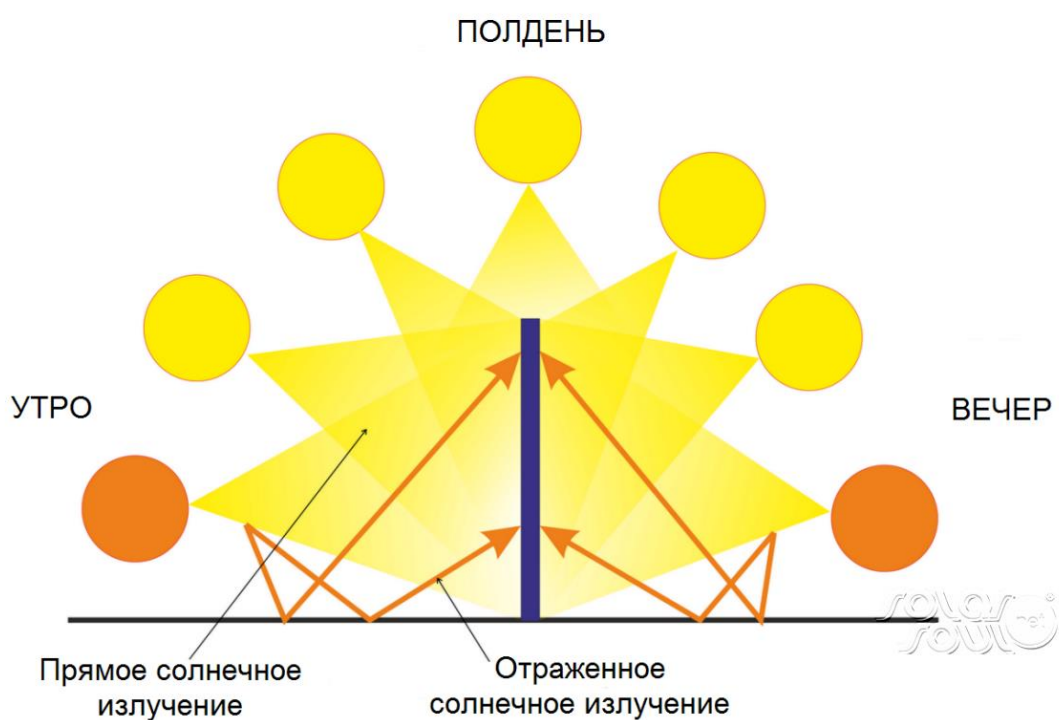


Рис.2.3. Поглощение энергии при вертикальном монтаже

Увеличение выработки электроэнергии происходит за счет:

- отражения части солнечной энергии на лицевую и тыльную стороны батареи;
- попадание прямых солнечных лучей на обе стороны панели в разное время дня;

Такое применение двухсторонних солнечных панелей является наиболее эффективным.

Двухсторонние солнечные панели так же могут быть применены в качестве фасада здания. Благодаря прозрачной структуре часть энергии, попадающая в помещение, может отражаться на тыльную сторону солнечной панели. Так же внутренне освещение, попадая на панель в темное время суток, может преобразовываться в фотоэлектрической системе. Данный вариант применения двухсторонних фотоэлементов менее эффективен и способен достичь прибавки в выработке электроэнергии до 25%. Это метод применим к большим торговым центрам с фасадной частью ориентированной на юг.

Отражательные конструкции

С точки зрения экономики мы близки к использованию отражательных конструкций в больших масштабах. Используя такие конструкции, мы можем достигнуть увеличения производства электроэнергии на 10-30% в сравнении с настоящими показателями.

Шумовые барьеры

Солнечные элементы могут быть установлены на шумовых барьерах, расположенных вдоль дорог и железнодорожных путей.

За счет вертикального положения таких барьеров установка солнечных батарей на них требует меньше места, чем привычная установка их по направлению к югу, при которой, кроме того, необходимо располагать конструкцию под определенным углом.

Солнечные трекеры.

Солнечные трекеры с полярной осью идеально подходят для двусторонних солнечных элементов. Так как под солнечными батареями достаточно свободного места, лучи солнца могут свободно отражаться от системы и достигать обратной стороны солнечного элемента.

Сбор энергии с помощью солнечных трекеров с полярной осью выше в сравнении с фиксированными фотоэлектрическими установками. Также воздушное охлаждение модулей лучше, что ведет к меньшим потерям.

За это время уже было доказано, что двусторонние солнечные элементы поглощают меньше инфракрасных лучей, что ведет к снижению рабочих температур и, как следствие, к лучшему функционированию солнечного элемента. Было зафиксировано увеличение эффективности на 10-20% в сравнении с односторонними солнечными элементами.

Применение двухсторонних солнечных панелей в бытовом секторе при классическом монтаже является малоэффективным. При монтаже на кровле отражение энергии на тыльную сторону практически нет. Также двухсторонние солнечные батареи в схеме фотоэлектрической установки усложняют работу инвертора.

Очевидно, что важное требование – прозрачность солнечной батареи с двух сторон. Большинство производителей целлофанируют ее стеклом.

В таком случае может быть использовано даже тонкое стекло толщиной в 2 мм, вместо 3,2 мм, но недостаток состоит в том, что стекло дорогое и хрупкое. Нельзя недооценить дополнительные расходы, которые появляются при установке хрупких солнечных батарей.

Другой вариант – использование прозрачной ТРТ пленки. Но как бы там ни было прозрачность и ее устойчивость к ультрафиолетовым лучам меньше, чем у стекла.

Недостатки

Двусторонние солнечные элементы, которые выпускаются в настоящий момент, сделаны из двойного стекла, что значительно увеличивает их стоимость. Кроме того, стекло делает солнечные элементы хрупкими.

2.3. Анализ эффективности использования двухсторонних ФЭМ

При анализе эффективности использования двухсторонних ФЭМ в качестве объекта исследования была взята солнечная электростанция с проектной мощностью 1 МВт.

В состав СЭС входит 3200 ФЭМ LR6-60 NPH 310 M производства Longi Solar.

ФЭМ подключены к инверторам Sunny Tripower 25000TL-30 производства SMA.

Количество инверторов – 80.

В начале была рассчитана выработка СЭС с односторонними ФЭМ

Исходные данные приведены на рис. 2.4.

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project :		New Project			
Geographical Site	Dnipro	Country	Ukraine		
Situation	Latitude	48.47° N	Longitude	35.04° E	
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2	Altitude	72 m	
	Albedo	0.20			
Meteo data:	Dnipro	Meteonorm 7.2 (1991-2010), Sat=100% - Synthetic			
Simulation variant :		Without_overload			
	Simulation date:	14/12/18 13h05			
Simulation parameters	System type	Sheds on ground			
Collector Plane Orientation	Tilt	30°	Azimuth	0°	
Sheds configuration	Nb. of sheds	156	Identical arrays		
	Sheds spacing	8.73 m	Collector width	3.38 m	
Shading limit angle	Limit profile angle	16.3°	Ground cov. Ratio (GCR)	38.8 %	
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm	
Horizon	Free Horizon				
Near Shadings	Linear shadings				
User's needs :	Unlimited load (grid)				
PV Array Characteristics					
PV module	Si-mono	Model	LR8-80 HPH 310 M		
Original PVsyst database		Manufacturer	Longi Solar		
Number of PV modules		In series	20 modules	In parallel	160 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	3200	Unit Nom. Power	310 Wp
Array global power		Nominal (STC)	882 kWp	At operating cond.	900 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	603 V	I mpp	1494 A
Total area		Module area	6302 m ²		
Inverter					
Original PVsyst database		Model	Sunny Tripower 25000TL-30		
Characteristics		Manufacturer	SMA		
		Operating Voltage	390-800 V	Unit Nom. Power	25.0 kWac
Inverter pack		Nb. of Inverters	80 * MPPT 50 %	Total Power Pnom ratio	1000 kWac 0.99
PV Array loss factors					
Array Soiling Losses			Loss Fraction	3.0 %	
Thermal Loss factor		Uc (const)	29.0 W/m ² K	Uv (wind)	0.0 W/m ² K / m/s
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	4.5 mOhm	Loss Fraction	1.0 % at STC
LID - Light Induced Degradation				Loss Fraction	2.0 %
Module Quality Loss				Loss Fraction	-0.5 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	1.0 % at MPP
Strings Mismatch loss				Loss Fraction	0.10 %
Incidence effect (IAM): Fresnel AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290					

Рис. 2.4. Исходные данные для моделирования СЭС с односторонними ФЭМ

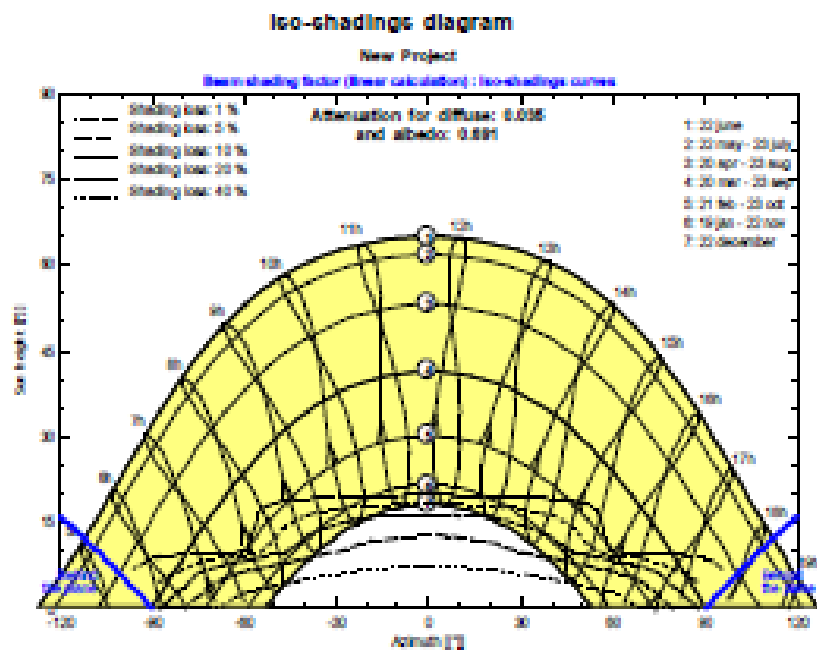
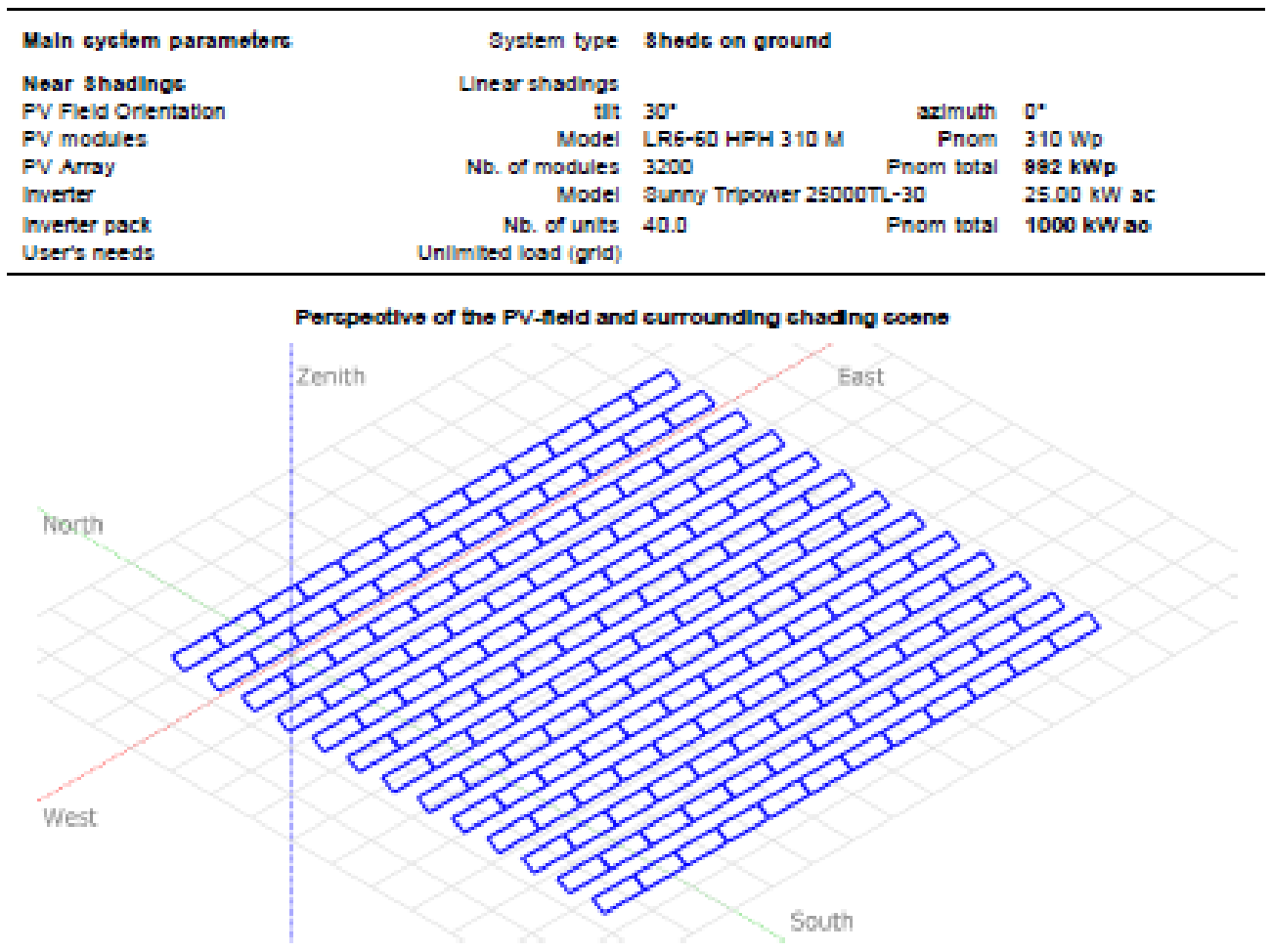


Рис. 2.5. Схема размещения ФЭМ и диаграмма затенения

Результаты моделирования приведены на рис. 2.6.

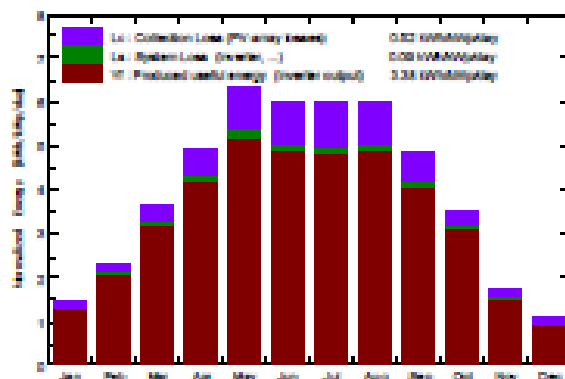
Grid-Connected System: Main results

Project : **New Project**
 Simulation variant : **Without_overload**

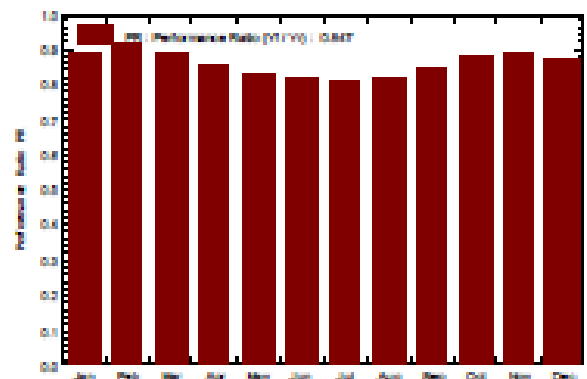
Main system parameters		System type: Sheds on ground	
Near Shadings		Linear shadings	
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	LR6-60 HPH 310 M	Pnom 310 Wp
PV Array	Nb. of modules	3200	Pnom total 992 kWp
Inverter	Model	Sunny Tripower 25000TL-30	25.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	40.0	Pnom total 1000 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Main simulation results		Produced Energy 1226 MWh/year		Specific prod. 1234 kWh/kWp/year	
System Production		Performance Ratio PR 84.65 %			

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 992 kWp



Performance Ratio PR



Without_overload Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Arry MWh	E_Grid MWh	PR
January	37.0	15.37	-3.15	45.8	40.8	41.8	40.5	0.891
February	44.0	20.34	-2.80	63.8	59.4	59.5	57.8	0.918
March	88.4	49.53	2.84	111.9	103.1	101.7	99.1	0.892
April	130.5	57.98	10.31	148.9	137.5	139.4	136.1	0.854
May	190.5	71.72	18.58	198.5	181.4	185.8	181.5	0.828
June	190.9	84.12	18.23	179.0	164.4	149.9	148.1	0.823
July	183.7	82.87	22.82	185.4	176.8	153.2	149.3	0.812
August	198.0	70.19	22.33	188.8	172.3	155.4	151.4	0.810
September	118.3	52.24	15.87	145.2	134.4	125.2	122.1	0.848
October	73.5	29.70	9.83	110.1	102.2	98.8	96.0	0.860
November	33.7	21.98	3.35	51.5	48.5	48.9	45.8	0.893
December	20.8	14.36	-1.88	33.8	29.3	30.2	29.2	0.869
Year	1255.3	576.14	9.88	1458.3	1341.0	1257.8	1234.8	0.847

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation
 T_Amb Ambient Temperature
 GlobInc Global incident in coll. plane
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
 E_Arry Effective energy at the output of the array
 E_Grid Energy injected into grid
 PR Performance Ratio

Рис. 2.6. Результаты моделирования СЭС с односторонними ФЭМ

После этого было выполнено моделирование работы СЭС с двухсторонними ФЭМ.

Были приняты модули LR6-60 HBD 310 M Bifacial производителя Longi Solar (рис. 2.7).

Simulation parameters	System type	Unlimited sheds		
Collector Plane Orientation	Tilt	30°	Azimuth	0°
Sheds configuration	Nb. of sheds	20	Unlimited sheds	
	Sheds spacing	8.72 m	Collector width	3.38 m
Inactive band	Top	0.02 m	Bottom	0.02 m
Shading limit angle	Limit profile angle	16.4°	Ground cov. Ratio (GCR)	38.8 %
Shadings electrical effect	Cell size	15.6 cm	Strings in width	2
Models used	Transposition	Perez	Diffuse	Perez, Meteonorm
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	Mutual shadings of sheds	Electrical effect		
Bifacial system	Model	Unlimited sheds, 2D calculation		
	Sheds spacing	8.72 m	Sheds width	3.42 m
	Limit profile angle	16.5°	GCR	39.2 %
	Ground albedo	10.0 %	Height above ground	0.55 m
	Module bifaciality factor	75 %	Rear shading factor	5.0 %
	Module transparency	0.0 %	Rear mismatch loss	10.0 %
User's needs :	Unlimited load (grid)			
<hr/>				
PV Array Characteristics				
PV module	Si-mono	Model	LR6-60 HBD 310 M Bifacial	
Original PVsyst database		Manufacturer	Longi Solar	
Number of PV modules		In series	20 modules	In parallel 160 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	3200	Unit Nom. Power 310 Wp
Array global power		Nominal (STC)	992 kWp	At operating cond. 899 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	608 V	I mpp 1479 A
Total area		Module area	5412 m²	
Inverter				
		Model	Sunny Tripower 25000TL-30	
Original PVsyst database		Manufacturer	SMA	
Characteristics		Operating Voltage	390-800 V	Unit Nom. Power 25.0 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	80 * MPPT 50 %	Total Power 1000 kWac Pnom ratio 0.99

Рис. 2.7. Исходные данные для моделирования СЭС с односторонними ФЭМ

Результаты моделирования при различных значениях альбедо 0,2 и 0,7 приведены соответственно на рис. 2.8 и 2.9.

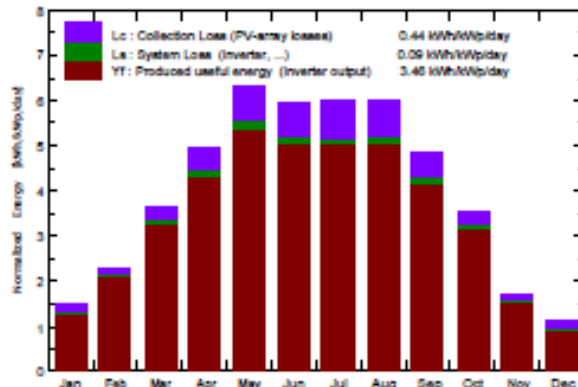
Main system parameters

PV Field Orientation	System type	Unlimited sheds	
PV modules	Sheds disposition, tilt	30°	azimuth 0°
PV Array	Model	LR6-60 HBD 310 M Bifacial Pnom	310 Wp
Inverter	Nb. of modules	3200	Pnom total 992 kWp
Inverter pack	Model	Sunny Tripower 25000TL-30	25.00 kW ac
User's needs	Nb. of units	40.0	Pnom total 1000 kW ac
	Unlimited load (grid)		

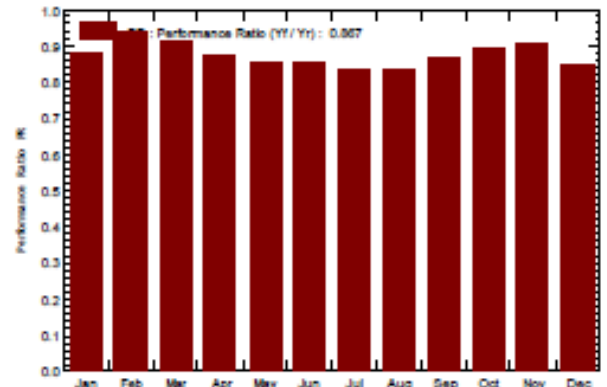
Main simulation results

System Production	Produced Energy	1254 MWh/year	Specific prod.	1264 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	86.67 %		

Normalized productions (per Installed kWp): Nominal power 892 kWp



Performance Ratio PR



BF_without_overload
Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	27.0	15.37	-3.15	45.8	41.5	41.5	40.2	0.884
February	44.0	26.34	-2.80	63.6	58.6	60.9	59.2	0.938
March	88.4	49.53	2.84	111.9	102.9	104.2	101.5	0.914
April	130.5	57.93	10.31	148.9	137.3	132.5	129.1	0.874
May	188.5	71.72	16.50	196.5	181.1	170.6	166.1	0.852
June	180.9	84.12	19.22	179.0	164.2	155.3	151.3	0.852
July	183.7	82.67	22.82	185.4	170.3	158.2	154.1	0.838
August	168.0	70.19	22.33	186.6	172.1	159.2	155.2	0.838
September	116.3	52.24	15.87	145.2	134.1	127.9	124.7	0.866
October	73.5	29.70	9.83	110.1	102.3	100.3	97.7	0.895
November	33.7	21.96	3.35	51.5	46.9	47.6	46.3	0.906
December	20.8	14.36	-1.88	33.8	30.1	29.5	28.4	0.847
Year	1255.3	576.14	9.68	1458.3	1341.4	1287.7	1253.8	0.867

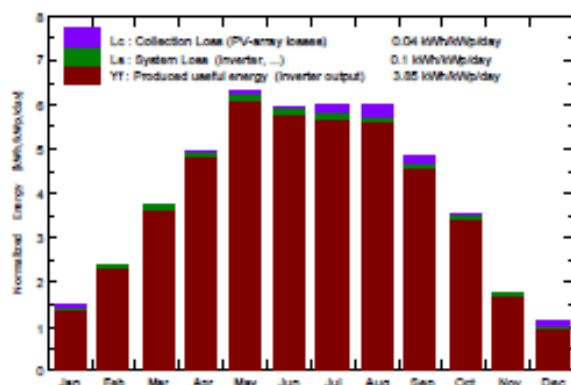
Legends:	GlobHor	Horizontal global Irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
	DiffHor	Horizontal diffuse Irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T_Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy Injected into grid
	GlobInc	Global Incident in coll. plane	PR	Performance Ratio

Рис. 2.8. Результаты моделирования СЭС с двухсторонними ФЭМ при альбедо 0,2

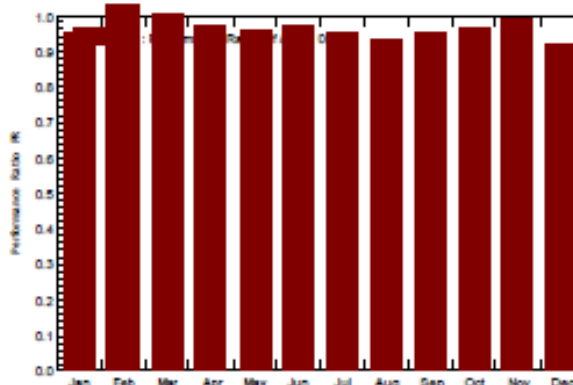
Main system parameters	System type	Unlimited sheds	
PV Field Orientation	Sheds disposition, tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	LR6-60 HBD 310 M Bifacial	Pnom 310 Wp
PV Array	Nb. of modules	3200	Pnom total 992 kWp
Inverter	Model	Sunny Tripower 25000TL-30	25.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	40.0	Pnom total 1000 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Main simulation results			
System Production	Produced Energy	1395 MWh/year	Specific prod. 1407 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	96.46 %	

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 882 kWp



Performance Ratio PR



BF_without_overload_albedo70

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	27.0	15.37	-3.15	45.8	41.7	44.6	43.3	0.952
February	44.0	26.34	-2.80	63.6	59.1	66.8	64.9	1.029
March	88.4	49.53	2.84	111.9	103.9	115.1	112.1	1.010
April	130.5	57.93	10.31	148.9	139.0	147.2	143.3	0.970
May	188.5	71.72	16.50	196.5	183.8	192.1	187.0	0.959
June	180.9	84.12	19.22	179.0	166.8	177.3	172.8	0.973
July	183.7	82.67	22.82	185.4	172.9	179.8	175.2	0.952
August	168.0	70.19	22.33	186.6	174.3	177.5	172.9	0.934
September	116.3	52.24	15.87	145.2	135.5	140.5	136.9	0.950
October	73.5	29.70	9.83	110.1	103.0	108.6	105.7	0.968
November	33.7	21.96	3.35	51.5	47.2	52.1	50.6	0.991
December	20.8	14.36	-1.88	33.8	30.3	31.8	30.8	0.917
Year	1255.3	576.14	9.68	1458.3	1357.6	1433.2	1395.4	0.965

Legends:	GlobHor	Horizontal global Irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
	DiffHor	Horizontal diffuse Irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T_Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy Injected into grid
	GlobInc	Global Incident in coll. plane	PR	Performance Ratio

Рис. 2.9. Результаты моделирования СЭС с двухсторонними ФЭМ при альбедо 0,7

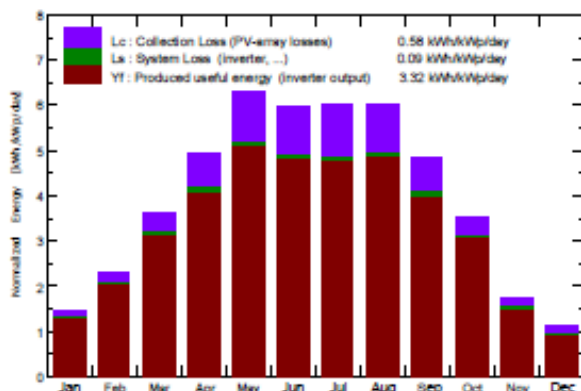
В работе также выполнено моделирование СЭС с одноосевыми трекерами.

Результаты моделирования приведены на рис. 2.10.

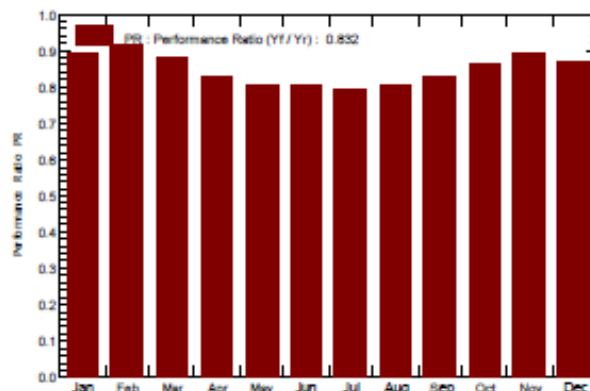
Main system parameters	System type	Sheds on ground	
Near Shadings	Linear shadings		
PV Field Orientation	tilt	azimuth	0°
PV modules	Model	LR6-60 HPH 310 M	Pnom 310 Wp
PV Array	Nb. of modules	3200	Pnom total 992 kWp
Inverter	Model	Sunny Tripower 25000TL-30	25.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	32.0	Pnom total 800 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Main simulation results	Produced Energy	1204 MWh/year	Specific prod.	1213 kWh/kWp/year
System Production	Performance Ratio PR	83.21 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 992 kWp



Performance Ratio PR



With_overload_1MWp DC

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
January	27.0	15.37	-3.15	45.8	40.8	41.8	40.5	0.891
February	44.0	26.34	-2.80	63.6	58.4	59.3	57.7	0.914
March	88.4	49.53	2.84	111.9	103.1	100.1	97.6	0.879
April	130.5	57.93	10.31	148.9	137.5	125.8	122.5	0.830
May	188.5	71.72	16.50	196.5	181.4	161.3	157.1	0.806
June	180.9	84.12	19.22	179.0	164.4	147.0	143.3	0.807
July	183.7	82.67	22.82	185.4	170.6	150.6	146.8	0.798
August	168.0	70.19	22.33	186.6	172.3	153.1	149.2	0.806
September	116.3	52.24	15.87	145.2	134.4	122.8	119.7	0.831
October	73.5	29.70	9.83	110.1	102.2	97.1	94.5	0.866
November	33.7	21.96	3.35	51.5	46.5	46.9	45.6	0.893
December	20.8	14.36	-1.88	33.8	29.3	30.2	29.3	0.872
Year	1255.3	576.14	9.68	1458.3	1341.0	1236.1	1203.8	0.832

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation
 DiffHor Horizontal diffuse irradiation
 T_Amb Ambient Temperature
 GlobInc Global incident in coll. plane
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
 EArray Effective energy at the output of the array
 E_Grid Energy injected into grid
 PR Performance Ratio

Рис. 2.10. Результаты моделирования СЭС с одноосевыми трекерами

Для анализа эффективности использования двухсторонних ФЭМ была получена зависимость выработки различных видов СЭС в функции от альбедо (рис. 2.11).

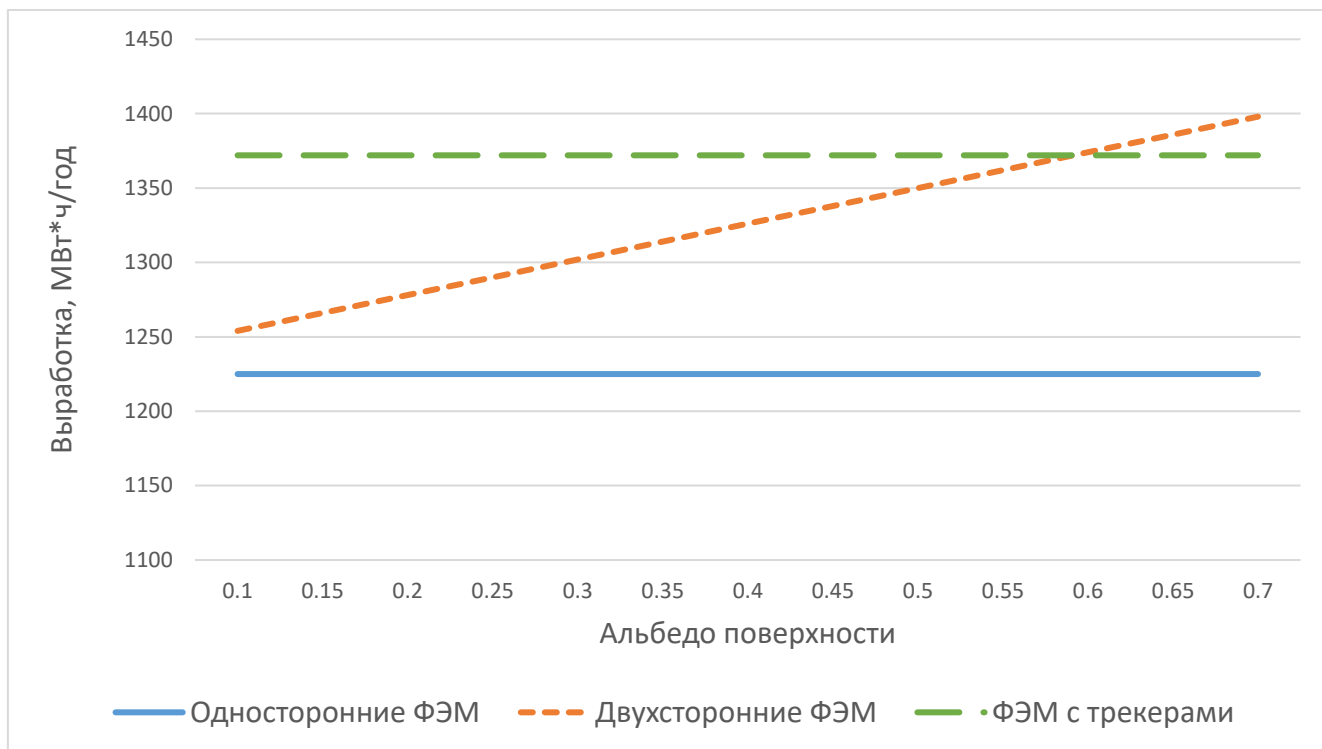


Рис. 2.11. Выработка различных видов СЭС

Выводы по разделу

В результате исследований проанализированы различные варианты и условия использования двухсторонних ФЭМ.

Рассмотрены достоинства и недостатки двухсторонних ФЭМ при различных условиях использования.

Выполнено моделирование СЭС с различными видами ФЭМ и выполнен анализ эффективности использования двухсторонних ФЭМ.

РАЗДЕЛ 3

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

3.1. Введение

Потребности в электрической энергии увеличиваются с каждым годом, однако запасы ископаемых топливных ресурсов неизбежно сокращаются. В связи со значительным ростом цен на энергоносители и зависимости от их импорта из других стран в последнее время во всем мире наблюдается тенденция к развитию альтернативной энергетики.

Использование технологии на основе возобновляемых источников энергии позволяет не только обеспечить потребителей необходимой энергией, но и снизить ущерб, наносимый топливной энергетикой окружающей среде.

Запасы минеральных ресурсов не безграничны, поэтому вопрос создания источников энергии, альтернативных традиционным, весьма актуален. Современной науке известны несколько способов получения энергии с помощью возобновляемых источников, однако только потенциал солнечной энергетики может обеспечить наши текущие потребности в электроэнергии. Для дальнейшего развития солнечной энергетики необходимо с одной стороны обеспечить высокую надёжность солнечных батарей, которая позволит увеличить срок службы батарей и снизить затраты на производство солнечной энергии.

В дипломной работе рассматриваются вопросы технической целесообразности использования различных типов солнечных панелей.

Применение солнечных панелей считается перспективным и экономически выгодным направлением, которое позволит обеспечить бытовые, а также промышленные нужды.

В данном разделе необходимо определить экономическую целесообразность внедрения двух сетевых станций, с различными видами солнечных панелей.

Для технико-экономического обоснования использования различных типов солнечных панелей нужно:

- 1) рассчитать стоимость капитальных затрат;
- 2) определить величину эксплуатационных расходов;
- 3) рассчитать годовую экономию;
- 4) определить и проанализировать показатели экономической эффективности.

3.2. Расчет капитальных затрат

Вариант 1. Сетевая СЭС с использованием односторонних ФЭМ.

Таблица 3.1 Капитальные затраты для сетевой СЭС с использованием односторонних ФЭМ.

№ п/п	Наименование технических средств (комплектующих изделий)	Количество	Цена за единицу, грн.	Сумма, грн.
1	Панель Longi LR6-60 HPH 310 М	3200	4408	14105600
2	Инвертор SMA Sunny Tripower 25000TL-30	80	95420	7633600
3	Система креплений на 40 солнечных модулей	80	44505	3560400
4	Соединители MC4, силовой кабель	3200	86	275200
Всего:				25574800

При определении величины проектных капиталовложений ($K_{пр}$) можно воспользоваться формулой:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}} \left(\sum_{i=1}^k C_i \right) Z_{\text{ТЗС}} + Z_{\text{М}} + Z_{\text{Н}} + Z_{\text{пр}}, \quad (3.1)$$

где, $K_{\text{об}} \left(\sum_{i=1}^k C_i \right)$ стоимость приобретения электрооборудования (средств автоматизации, программного обеспечения и т.д.) по проекту или суммарная стоимость комплектующих элементов, необходимых для реализации принятого технического решения;

k - количество необходимых комплектующих элементов;

$Z_{\text{ТЗС}}$ – транспортно-заготовительные и складские расходы;

$Z_{\text{М}}$ – затраты на монтажные работы;

$Z_{\text{Н}}$ - затраты на наладочные работы;

$Z_{\text{пр}}$ – прочие единовременные вложения денежных средств.

Стоимость транспортно-заготовительных и складских расходов принимаем 7 % от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{ТЗС}} = 25574800 * 0,07 = 1790236 \text{ грн.}$$

Затраты на наладку и монтаж принимаем 10% от стоимости оборудования

$$Z_{\text{М}} = 25574800 * 0,1 = 2557480 \text{ грн.}$$

Определяем величину проектных капиталовложений:

$$K_{\text{пр1}} = 25574800 + 1790236 + 2557480 = 29922516 \text{ грн.}$$

Вариант 2. Сетевая СЭС с использованием двухсторонних ФЭМ.

Таблица 3.2. Капитальные затраты для сетевой СЭС с использованием двухсторонних ФЭМ

№ п/п	Наименование технических средств (комплектующих изделий)	Количество	Цена за единицу, грн.	Сумма, грн.
1	Панель Longi LR6-60 HBD 310 M Bifacial	3200	5078	16249600
2	Инвертор SMA Sunny Tripower 25000TL-30	80	95420	7633600
3	Система креплений на 40 солнечных модулей	80	44505	3560400
4	Соединители MC4, силовой кабель	3200	86	275200
Всего:				27718800

Стоимость транспортно-заготовительных и складских расходов принимаем 7 % от стоимости оборудования:

$$Z_{тзс} = 27718800 * 0,07 = 1940316 \text{ грн.}$$

Затраты на наладку и монтаж принимаем 10% от стоимости оборудования

$$Z_{м} = 27718800 * 0,1 = 2771880 \text{ грн.}$$

Определяем величину проектных капиталовложений:

$$K_{пр2} = 25574800 + 1790236 + 2557480 = 29922516 \text{ грн.}$$

3.3. Расчет эксплуатационных затрат

Годовые эксплуатационные затраты по объекту проектирования составляют:

$$C = C_a + C_3 + C_c + C_T + C_э + C_{пр}, \text{ грн,}$$

где C_a – амортизационные отчисления;

C_3 – заработная плата обслуживающего персонала;

C_c – единый социальный взнос;

C_T – затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования;

$C_э$ – стоимость электроэнергии, потребляемой объектом проектирования;

$C_{пр}$ – прочие эксплуатационные расходы.

Амортизация объекта основных средств начисляется исходя из срока его полезного использования. Срок полезного использования (эксплуатации) объектов основных средств и нематериальных активов определяется предприятием самостоятельно, исходя из ожидаемых экономических выгод, технических и качественных характеристик основного средства, морального и физического износа, а также других факторов, которые могут повлиять на возможность использования. Принимаемый дипломником срок полезного использования объектов основных средств для начисления амортизации может быть меньше минимально допустимых сроков полезного использования.

Норма амортизации H_a при прямолинейном методе постоянна в течение всего амортизационного периода и равна:

$$H_a = \frac{\Phi_{п-л}}{\Phi_{п} * T_{п}} * 100\%, \quad (3.2)$$

где $\Phi_{п}$ - первоначальная стоимость объекта основных средств;

$T_{п}$ – срок полезного использования.

Зная данную группу основных средств определим норму амортизации для СЭС:

$$N_a = \frac{29922516}{29922516 * 12} \cdot 100\% = 8,33\%,$$

Годовые амортизационные отчисления рассчитывается по формуле:

$$C_a = K_{\text{пр}} \cdot N_a / 100 \quad (3.3)$$

где N_a – норма амортизации

$$C_a = 29922516 * 8,33 / 100 = 2493543 \text{ грн.}$$

Расчет годового фонда заработной платы

Расчет годового фонда заработной платы осуществляется по категориям персонала (рабочие, ИТР, руководители), обслуживающего объект проектирования, в соответствии с их численностью, режима работы, по почасовым тарифным ставкам, должностным окладам, формами и системами оплаты труда и премирования, применяют на предприятии.

К дополнительной заработной плате относятся премии, связанные с выполнением производственных задач и функций, доплаты и надбавки, гарантийные и компенсационные выплаты, предусмотренные действующим законодательством.

Номинальный годовой фонд рабочего времени одного работника F_n определяется в соответствии с режимом его работы (количеством рабочих дней и продолжительности смены).

Таблица 3.3 - Расчет годового фонда заработной платы обслуживающего персонала

№ п/п	Наименование профессий рабочих	Списочный состав, чел.	Часовая тарифная ставка, грн.	Номинальный годовой фонд рабочего времени, часов	Всего основная зарплата, грн.
1	Электрик 6 разряда	1	42,49	1848	78521,5
2	Охранник	1	31,9	1848	58951,2
	Всего				137472,7

$$(D_k - D_{пр} - D_{вых} - D_{отп}) * T_{см} = (365 - 10 - 104 - 20) * 8 = 1848 \text{ часов,}$$

где - D_k - количество дней в году;

$D_{пр}$ - количество праздничных дней;

$D_{вых}$ - количество выходных в год;

$D_{отп}$ - количество дней отпуска;

$T_{см}$ - рабочий день, часов.

Дополнительная заработная плата обслуживающего персонала определяется в размере 8-10% от основной заработной платы.

Таким образом, общая величина годового фонда заработной платы составляет:

$$C_z = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ и $Z_{доп}$ - основная и дополнительная заработная плата соответственно.

$$C_z = 137472,7 + 0,1 * 137472,7 = 151219,99 \text{ грн}$$

Расчет единого социального взноса

Единый социальный взнос определяется на основании установленного действующим законодательством процента от суммы основной и дополнительной заработной платы.

$$C_c = 0,22 * C_3$$

$$C_c = 0,22 * 151219,99 = 33268,40 \text{ грн}$$

Расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования и сетей

Годовые расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт электротехнического оборудования и сетей включают расходы на материалы и запасные части, заработную плату ремонтникам и определяются по фактическим данным предприятия или укрупненно в процентах к капитальным затратам:

- для воздушных линий 0,5%;

- для подстанций (в том числе электрооборудования) - 1%

$$C_T = 0,05 * K_{пр}$$

$$C_T = 0,05 * 29922516 = 299225,16 \text{ грн.}$$

Расчет стоимости потерь электроэнергии

Поскольку фотоэлектрическая станция производит электроэнергию, расчет стоимости потерь электроэнергии не выполняем.

Расчет прочих расходов

Другие расходы по эксплуатации объекта проектирования включают расходы на охрану труда, на спецодежду и т.д. Согласно практике эти расходы определяются в размере 4% от годового фонда заработной платы обслуживающего персонала.

$$C_{пр} = 151219,99 * 0,04 = 6048,80 \text{ грн.}$$

В итоге годовые эксплуатационные расходы составляют:

$$C = 2992252 + 151219,99 + 33268,40 + 299225,16 + 6048,80 = 3482014 \text{ грн.}$$

3.4. Расчет стоимости выработки электроэнергии

Прибыль от продажи электроэнергии будет составлять:

$$D = W_{\text{год}} * C_{\text{эт}},$$

где $W_{\text{год}}$ – годовая выработка, кВт*ч;

$C_{\text{эт}}$ - стоимость одного киловатт-часа по зеленому тарифу (для наземных СЭС 0,15 евро/киловатт).

Согласно расчетам, при использовании сетевой СЭС с односторонними ФЭМ годовая выработка электроэнергии составляет 1225 МВт*ч.

$$D_1 = 1225000 * 4,77 = 5843250 \text{ грн.}$$

При использовании сетевой СЭС с двухсторонними ФЭМ годовая выработка электроэнергии при установке СЭС в Приднепровском регионе составляет 1254 МВт*ч.

$$D_2 = 1225000 * 4,77 = 5981580 \text{ грн.}$$

3.5. Определение годовой экономии от внедрения объекта проектирования

Полная годовая экономия от внедрения принятого технического решения определяется с учетом эксплуатационных расходов по данному объекту:

$$\mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{полн}} = \mathcal{E}_{\text{год}} - C, \text{ грн,}$$

В случае солнечной электростанции $\mathcal{E}_{\text{год}} = D$

Для сетевой СЭС с односторонними ФЭМ

$$\mathcal{E}_{\text{год}1}^{\text{полн}} = 5843250 - 2983305 = 2361236 \text{ грн.}$$

Для сетевой СЭС с двухсторонними ФЭМ

$$\mathcal{E}_{\text{год}2}^{\text{полн}} = 5981580 - 3217430 = 2499566 \text{ грн.}$$

Период окупаемости составит:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{пр}}}{\mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{полн}}},$$

Для сетевой СЭС с односторонними ФЭМ

$$T_{\text{ок1}} = \frac{29922516}{2361236} = 12,6 \text{ лет}$$

Для сетевой СЭС с двухсторонними ФЭМ

$$T_{\text{ок2}} = \frac{32430996}{2499566} = 13 \text{ лет}$$

Выводы по разделу

В данном разделе определили экономическую целесообразность внедрения двух сетевых станций, с разными видами ФЭМ.

Расчеты показали, что вариант СЭС с односторонними ФЭМ окупится быстрее.

Для СЭС с односторонними ФЭМ:

- Капитальные вложения составляют 29922516 грн;
- Эксплуатационные расходы 2983305 грн;
- Срок окупаемости 12,6 лет.

Для СЭС с двухсторонними ФЭМ:

- Капитальные вложения составляют 32430996 грн;
- Эксплуатационные расходы 3217430 грн.
- Срок окупаемости 13 лет.

Выводы

Многие производители имеют в своей номенклатуре фотомодули с двухсторонним расположением фотоэлементов. По их заявлениям, данные модули имеют преимущество в выработке перед стандартными односторонними, которая может достигать 20 % и выше. В последние несколько лет ведущие зарубежные исследовательские лаборатории провели целую серию как теоретических исследований, так и реальных опытов по определению реального коэффициента увеличения выработки.

Результате данных исследований определили, что количество солнечного излучения, попадающего на затененную сторону, а следовательно, и ее выработка зависит от следующих факторов:

1) Высота фотомодулей над уровнем земли. Оптимальной является высота в от 1 до 2 метров.

2) Конструкция фотостола. Количество продольных, поперечных и вертикальных несущих элементов обратно пропорционально влияет на преимущество в выработке. Следовательно, оптимальным является установка фотомодуля на конструкцию типа «фонарный столб».

3) Количество фотомодулей в ряду. Увеличение количество фотомодулей в ряду снижает преимущество в выработке.

4) Расстояние между фотостолами (pitch). Чем оно выше, тем больше преимущество в выработке.

5) Коэффициент отражения поверхности, на которой устанавливаются фотомодули – альбедо. Самое высокое альбедо у свежеснежавшего снега – 0,8, самое низкое у темной почвы и асфальта – 0,1. Чем выше альбедо, тем выше преимущество в выработке. Данный критерий является основополагающим при расчетах.

Согласно данным предварительным заключениям, двухсторонние фотомодули целесообразно устанавливать:

- на поверхности с высокой отражающей способностью с альбедо 0,4 и выше (снег, бетон, белый песок, специальное отражающее покрытие);

- в небольших фотоустановках, чтобы уменьшить взаимное влияние фотомодулей.

- на высоте не менее 1 м от поверхности.

При установке двухсторонних фотомодулей на стандартные односторонние решения преимущество в выработке не превышает 5%.

Список использованной литературы

1. Алферов Ж.И. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики / Ж.И.Алферов, В.М.Андреев, В.Д.Румянцев // Физика и техника полупроводников, 2004, том 38, вып. 8. 937-948 с.
2. Андреев В.М. Нанотехнологии для солнечной фотоэнергетики /В.М.Андреев// Альтернативная энергетика и экология.- 2007. №2(46). 93-98с.
3. Андреев С.В. Солнечные электростанции - М.: Наука 2002.
4. Виссарионов, В.И., Малинин, Н.К., Дерюгина, Г.В., Кузнецова, В.А. Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов/ В.И.Виссарионов, Н.К. Малинин, Г.В. Дерюгина, В.А.Кузнецова.-М.: Издательский дом МЭИ, 2008.- 276с.
5. Ермолова Н.С., Моураов А.Г. Возобновляемые источники энергии: новые технологии использования солнечной энергии // Наука вчера, сегодня, завтра: сб. ст. по матер. XVI-XVII междунар. науч.-практ. конф. № 9-10(16). – Новосибирск: СибАК, 2014.
6. Косяченко, Л.А. Проблемы эффективности фотоэлектрического преобразования в тонкопленочных солнечных элементах / Л.А.Косяченко // Физика и техника полупроводников, 2006.- том 40. вып. 6. 730-746с.
7. Мехтиев А.Д., Эйрих В.И., Югай В.В., Алдошина О.В., «Перспективы использования солнечных электростанций на основе двухсторонних модулей», Всероссийская научно – практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика». Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2014.
8. Удалов С. Н. Солнечные электростанции : учебник / С. Н. Удалов. - LAP LAMBERT Academic Publish, 2012. - 103 с.
9. Шальнев В.Г. Проектирование и эксплуатация установок нетрадиционной и возобновляемой энергетики : учеб.-метод. пособие / В. Г. Шальнев, Н. В. Зубова, С. Н. Удалов. - : Изд-во НГТУ, 2010. - 76 с.
10. Miller D. Selling Solar. The Diffusion of Renewable Energy in Emerging Markets. – London: Sterling, VA, 2009. – 306 p.

11. Альтернативная энергия [Электронный ресурс] / altenergiya.ru. – 2013-2015. – Электрон.дан. – Режим доступа: <http://altenergiya.ru/>

12. Белгородский институт альтернативной энергетики [Электронный ресурс] / altenergo-nii.ru. – 2013. – Электрон.дан. – Режим доступа: <http://altenergo-nii.ru/>

13. Все о мобильной энергии [Электронный ресурс] / mobipower.ru. – 2017. – Электрон.дан. – Режим доступа: <http://www.mobipower.ru/>

14. Информационный ресурс о применении солнечной энергии и энергосбережении [Электронный ресурс] / solarsoul.net. – 2011-2017. – Электрон.дан. – Режим доступа: <http://solarsoul.net/>