

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"

Електротехнічний факультет

Кафедра Відновлюваних джерел енергії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
Магістерської дисертації

галузь знань 14 – Електрична інженерія

спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії)

освітній рівень магістр

кваліфікація 2143.2 Інженер-електрик в енергетичній сфері

на тему Аналіз експлуатаційно економічних параметрів різних
типів сонячних панелей з урахуванням їх деградації

Виконавець:

студент II курсу, групи 141м-16-3

(підпис)

Мікшакова С.І.

(прізвище та ініціали)

Керівники/консультанти Проекту	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
розділів:			
Розділ 1:	Колб А.А.		
Розділ 2:	Колб А.А.		
Розділ 3:	Тимошенко Л.В.		
Рецензент			
Нормоконтроль	Ципленков Д.В.		

Дніпро
2018

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"**

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

Відновлюваних джерел енергії

(повна назва)

Шкрабець Ф.П.

(прізвище, ініціали)

(підпис)

“

”

січня 2018 року

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи магістра (магістерської дисертації)

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії)

студенту групи 141м-16-3 Мікшаковій С.І.
(група) (прізвище та ініціали)

Тема магістерської дисертації Аналіз експлуатаційно економічних параметрів
різних типів сонячних панелей з урахуванням їх деградації

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора ДВНЗ "НГУ" від 31 жовтня 2017 р № 1806-л

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень Процеси деградації в сонячних панелях.

Предмет досліджень Сонячні панелі різних типів (монокристалічні, полікристалічні, тонкоплівкові).

Мета НДР Виявлення основних процесів, які приводять до деградації сонячних панелей.

Вихідні дані для проведення роботи Дані NASA про сонячну інсоляцію, проектування СЭС потужністю 30 кВт

3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наукова новизна Аналіз процесів деградації різних типів сонячних панелей.

Практична цінність Полягає в отриманні залежності вироблення сонячних панелей різних типів з урахуванням деградації.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ:

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Підготовка. Розробка плану дисертації. Початок виконання	13.09.17-03.10.17
Виконання першого розділу. Аналіз літератури сонячних панелей	08.10.17-30.10.17
Аналіз деградації сонячних панелей. Дослідження процесів деградації різних типів сонячних панелей	01.11.17-09.12.17
Розрахунок техніко-економічного обґрунтування. Завершення дисертації. Оформлення записки	11.12.17-20.01.18

6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект Складається в прогнозуванні зменшення вироблення сонячних панелей

Соціальний ефект Використання сонячних панелей дозволяє поліпшити екологічну обстановку і створити додаткові місця по обслуговуванню такої техніки

7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Завдання видав

_____ (підпис)

Колб А.А.

_____ (прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Мікшакова С.І.

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 04.09.2017

Термін подання дисертації до ЕК

22.01.2018

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка магистерской диссертации состоит из:

__ стр., __ табл., __ рисунков., 37 литературных источников.

Тема диссертации: Анализ эксплуатационно-экономических параметров различных типов солнечных панелей с учетом их деградации.

В первом разделе проведен обзор литературных источников солнечных панелей. Детально описаны виды солнечных панелей, их преимущества и недостатки.

Во втором разделе проведен анализ деградации солнечных панелей. Сделан расчет и приведены графики деградации солнечных панелей.

В технико-экономическом обосновании выполнялись расчеты капитальных вложений на введение двух сетевых станций мощностью 30 кВт, с различными типами солнечных панелей.

Научная новизна состоит в анализе деградации различных типов солнечных панелей.

Ключевые слова: СОЛНЕЧНАЯ ПАНЕЛЬ, ДЕГРАДАЦИЯ, МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ, ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ, ТОНКОПЛЕНОЧНАЯ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка магістерської дисертації складається з:

__ стор., __табл., __рисуноків., 37 літературних джерел.

Тема дисертації: Аналіз експлуатаційно-економічних параметрів різних типів сонячних панелей з урахуванням їх деградації.

У першому розділі проведено огляд літературних джерел сонячних панелей. Детально описані види сонячних панелей, їх переваги та недоліки.

У другому розділі проведено аналіз деградації сонячних панелей. Зроблено розрахунок і приведені графіки деградації сонячних панелей.

У техніко-економічному обґрунтуванні виконувалися розрахунки капітальних вкладень на введення двох мережевих станцій потужністю 30 кВт з різними типами сонячних панелей.

Наукова новизна полягає в аналізі деградації різних типів сонячних панелей.

Ключові слова: СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, ДЕГРАДАЦІЯ, МОНОКРИСТАЛІЧНА, ПОЛІКРИСТАЛІЧНА, ТОНКОПЛІВКА

ABSTRACT

The explanatory note of the master's thesis consists of:

__ page, __table, __script., 37 literary sources.

Theme of dissertation: Analysis of operational and economic parameters of various types of solar panels taking into account their degradation.

In the first section, the literature sources of solar panels were inspected. The types of solar panels, their advantages and disadvantages are described in detail.

The second section analyzes the degradation of solar panels. Calculations and graphs of the degradation of solar panels are made.

In the feasibility study, calculations of capital investments were made for the introduction of two network stations with a capacity of 30 kW.

Scientific novelty consists in analyzing the degradation of various types of solar panels.

Keywords: SOLAR PANEL, DEGRADATION, MONOCRYSTALLINE, POLYCRYSTALLINE, THIN FILM

ЗМІСТ

ВСТУПЛЕНИЕ.	9
1 КЛАССИФИКАЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ.	11
1.1 Общие сведения.	11
1.2 Кремниевые солнечные панели.	14
1.3 Монокристаллические солнечные панели.	15
1.4 Поликристаллические солнечные панели.	16
1.5 Аморфные солнечные панели или панели из аморфного кремния.	18
1.6 Пленочные солнечные панели	20
1.7 Полимерные солнечные панели.	23
Выводы по разделу 1.	26
2 Деградация солнечных панелей.	27
2.1 Общие сведения.	27
2.2 Деградация солнечных элементов на основе аморфного кремния.	31
2.3 Деградация поликристаллических тонкопленочных солнечных элементов.	34
2.4 Деградация поликристаллических солнечных элементов	37
2.5 Исследования процессов деградации в различных типах солнечных элементов.	41
Выводы по разделу 2.	51
3 Техничко-экономическое обоснование	53
3.1 Введение	53
3.2 Расчет капитальных затрат.	54
3.3 Расчет эксплуатационных затрат.	55
3.4 Расчет стоимости выработки электро энергии.	57

3.5 Определение годовой экономии от внедрения объекта проектирования	57
Выводы по разделу 4.	59
ВЫВОДЫ.	61
Список использованной литературы	62

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Солнечная энергетика сегодня вырабатывает примерно в 100 раз меньше чем традиционные источники. Тем не менее, рост производства солнечных батарей в последние шесть лет хорошо описывается экспоненциальной зависимостью, в то время как рост традиционной энергетике линеен. Если темпы строительства солнечных электростанций останутся прежними, то уже к 2020 году производство электроэнергии солнечными батареями будет сравнимо с прогнозируемой выработкой традиционных электростанций. Проблема заключается в том, что увеличение мощностей с нуля до современных 90 ГВ потребовало больше 20 лет, при этом капитальные вложения (в пересчёте на один год) можно признать незначительными по сравнению с другими сферами деятельности человека. Иначе выглядит задача за оставшиеся 10 лет построить в 100 раз больше мощностей. Даже с учётом снижающейся стоимости солнечных батарей, к 2020 году суммарно нужно будет вложить около 10 трлн. \$. И эта сумма, которую придётся изыскать только для покупки собственно солнечных батарей. С учётом транспортировки, монтажа, и стоимости сопутствующей электротехники придётся потратить в несколько раз больше. Кроме того, солнечные батареи занимают много места. Для строительства придётся выделить площадь примерно равную площади Великобритании (240000 кв. км), покупка земли также увеличит расходы. Очевидно, что такие траты не окажутся фатальными, если их распределить примерно до 2050 года. Тогда возникнет новая проблема: смогут ли те батареи, которые мы установили сейчас доработать до 2050 года без сбоев? Не произойдёт ли так, что, достроив к 2050 году необходимое количество мощностей, мы обнаружим, что половина наших солнечных электростанций уже вышла из строя, ведь производители сейчас гарантируют в среднем 20 лет работы, при этом до момента отказа батареи гарантированно потеряют 10-20% мощности.

В этой связи, для дальнейшего развития солнечной энергетики необходимо с одной стороны обеспечить высокую надёжность солнечных батарей, которая позволит увеличить срок службы батареи и снизить затраты на производство солнечной энергии. С другой стороны, необходимо внедрять энергоёмкие тонкоплёночные технологии, которые могли бы за сравнительно небольшое время обеспечить масштабное производство для покрытия больших площадей.

Объект исследования – процессы деградации в солнечных панелях.

Предмет исследования – солнечные панели различных типов (монокристаллические, поликристаллические, тонкоплёночные).

Цель исследования. Целью диссертационной работы является выявление основных процессов, приводящих к деградации солнечных элементов и панелей на их основе.

Основные задачи исследования:

- выполнить обзор литературных источников и выявить основные причины деградации солнечных элементов.
- выполнить сравнительный анализ процессов деградации в различных типах солнечных панелей.
- произвести расчёт уменьшения выработки различных типов солнечных панелей с учётом деградации.
- выполнить технико-экономические расчёты.

Научная новизна работы заключается в анализе процессов деградации различных типах солнечных панелей.

Практическая ценность работы состоит в получении зависимости выработки солнечных панелей различных типов с учётом деградации.

Экономический эффект состоит в прогнозировании уменьшения выработки солнечных панелей.

Социальный эффект – использование солнечных панелей позволяет улучшить экологическую обстановку и создать дополнительные места по обслуживанию такой техники.

Раздел 1

Классификация солнечных панелей

1.1. Общие сведения

подавляющее большинство солнечных панелей являются в физическом смысле фотоэлектрическими преобразователями. Электрогенерирующий эффект возникает в месте полупроводникового р-п перехода.

Панель состоит из двух кремниевых пластин с различными свойствами. Под действием света в одной из них возникает недостаток электронов, а в другой – их избыток. Каждая пластина имеет токоотводящие полоски из меди, которые подсоединяются к преобразователям напряжения. Промышленная солнечная панель состоит из множества ламинированных фотоэлектрических ячеек, скрепленных между собой и закрепленных на гибкой или жесткой подложке. КПД оборудования зависит во многом от чистоты кремния и ориентации его кристаллов. Именно эти параметры пытаются улучшить инженеры последние десятилетия. Основной проблемой при этом является высокая стоимость процессов, которые лежат в основе очищения кремния и расположения кристаллов в одном направлении на всей панели.



Рисунок 1.1. - Виды солнечных панелей

Солнечные панели размещаются на открытом пространстве, поэтому на их работу будут влиять следующие параметры:

— Температурный коэффициент мощности. Под палящим солнцем, фотоэлементы нагреваются, и теряется часть мощности солнечных панелей. В очень жаркие дни доля потери мощности составляет 25%. В случае монокристаллических и поликристаллических фотопанелей, температурный коэффициент мощности достигает $-0,45\%$, то есть произойдет снижение мощности на $-0,45\%$, на каждый градус прироста температуры. На температурный коэффициент мощности сильно влияет качество фотопреобразователей;

— Степень деградации LID. Деградация монокристаллов панелей происходит быстрее, чем поликристаллов. Год работы снижает мощность монокристаллических батарей до 3%, а поликристаллических до 2%. Такое уменьшение мощности наблюдается в первый год работы гелиопанелей, в дальнейшем эта деградация для монокристаллов будет $0,71\%$, для панелей из поликристаллов $0,67\%$. Деградация зависит от качества фотоэлементов. Для панелей сомнительного качества деградация может достичь в первый

год эксплуатации 20%. Поэтому панели важно выбирать не по низкой стоимости, а по производителю и качеству исполнения;

— Фотоэлектрическая чувствительность. Поликристаллические фотоэлементы не так чувствительны к снижению освещения, по сравнению с монокристаллами, но разница в чувствительности небольшая и не является критерием выбора по этому параметру;

— Эффективность панелей. Для выработки одинаковой мощности для поликристаллических панелей необходимо больше площади, т. е. эффективность поликристаллических гелиопанелей меньше монокристаллических. Срок службы монокристаллов выше. По качеству исполнения фотоэлектрические элементы можно разделить на четыре категории качества.

Первая категория — Grad A. Это солнечные панели самого высокого качества — без микротрещин, отсутствуют сколы. По внешнему состоянию эти фотоэлементы полностью одинаковы по цвету, структуре. Эта категория имеет самую малую деградацию и высокое КПД.

Вторая категория — Grad B. Эти фотопреобразователи практически не отличаются от фотоэлементов первой категории, но имеют небольшие изменения в цвете. Но у них большая деградация и меньший срок эксплуатации.

Третья категории — Grad C. Отличие от предыдущей категории — это наличие сколов и трещин, неоднородный окрас, но низкая стоимость. Для энергоснабжения частного дома такие фотопанели не следует применять из-за низкого КПД, высокой деградации и небольшого срока эксплуатации.

Четвертая категория — Grad D имеет самое низкое качество исполнения. Структура этих панелей неоднородная с видимыми дефектами. Небольшой размер фотоэлементов нуждается в дополнительной пайке, что еще ухудшает параметры. Такие элементы

имеют небольшую надежность. Их устанавливать не рекомендуется даже при небольшой стоимости.

Пленка EVA. Предназначена для ламинации панелей с солнечной стороны. Она хорошо герметизирует фотоэлементы, снижает деградацию, защищает от механических повреждений, прозрачна. Срок службы этой пленки также зависит от качества исполнения и меняется от 5 до 15 лет. Недорогая пленка со временем желтеет, теряет прозрачность, отслаивается и имеет срок эксплуатации 3-5 лет. Визуально качественную пленку отличить невозможно, это можно определить только через несколько лет ее работы.

ПЭТ пленка. Эта пленка изолирует тыльную сторону фотопанелей от влаги, пыли и механических повреждений. Качество пленки также можно определить через несколько лет по внешнему состоянию. Цвет становится желтее, появляются трещины. [1]

1.2. Кремниевые солнечные панели

Такой тип солнечных панелей отличается в первую очередь своим материалом, который, как можно догадаться из названия, представлен кремнием. Сегодня это самые популярные панели на рынке. Это связано с тем, что кремний сравнительно легкодоступный материал, он недорогой и при этом обладает хорошими показателями производительности, по сравнению с конкурентными видами солнечных модулей. Производят их не только из кремния, но и в том числе из моно, поликристаллов, а также аморфного кремния. Основным отличием элементов становится различный показатель коэффициента полезного действия преобразования световой энергии, который у двух первых видов находится приблизительно на одном уровне и превышает значения у приборов из аморфного кремния. Промышленность сегодняшнего дня предлагает несколько моделей солнечных уловителей света. Отличие их состоит в том, какое применяется

оборудование для производства солнечных панелей. Играет роль технология изготовления и разновидность начального материала. [2]

1.3. Монокристаллические солнечные панели

Для производства солнечных панелей монокристаллического типа используют очищенный, самый чистый кремний.

Отличительной чертой, которой обладают монокристаллические панели, где в основе производства использовался кремний, состоящий из монокристаллических молекулярных решеток – это их выраженная однородность расцветки рабочей пластины, а также всего внешнего вида. В результате обладания данными параметрами, определяются габариты зерен монокристаллического кремния. Непосредственно на производстве при использовании технологического сырья выращивается слиток монокристаллического кремния. Он имеет в своей основе довольно серьезные характеристики качества частоты и ровной структуры кристаллической решетки. Изготовление фотоэлементов, которые собирают в монокристаллические модули, осуществляется с применением слитков кремния, имеющих цилиндрическую форму. В процессе производства сам слиток обрабатывается со всех концов, что значительно повышает технические характеристики результативности работы конечного оборудования и его эффективность. Эта особенность производства влияет на окончательный внешний вид сборки монокристаллов – в результате все составляющие становятся совершенно одинаковыми с виду. В результате мы имеем высокоэффективные, работающие солнечные модули. Получается, что основное отличие во внешнем виде поликристаллических солнечных панелей от их аналогов где использовался монокристаллический элемент, будет в форме пластины элемента. Монокристаллические пластины в результате производства получают форму квадрата.

Монокристаллические панели требуют дополнительного оборудования, которое автоматически поворачивает их в течение дня, чтобы плоскость панелей была максимально перпендикулярна солнечным лучам. Слои кремния с односторонне ориентированными кристаллами вырезаются из цилиндрического бруска металла, поэтому готовые фотоэлектрические блоки имеют вид закруглённого по углам квадрата.

К преимуществам монокристаллических кремниевых панелей относят:

- Высокий КПД со значением 17-25%.
- Меньшая площадь размещения оборудования из расчета на единицу мощности, в сравнении с поликристаллическими кремниевыми панелями.
- Достаточная эффективность генерации электроэнергии обеспечивается до 25 лет.

Недостатков у таких панелей всего два:

- Высокая стоимость и длительная окупаемость.
- Чувствительность к загрязнению. Пыль рассеивает свет, поэтому у покрытых ею солнечных панелей резко снижается КПД.

Из-за потребности в прямых солнечных лучах монокристаллические солнечные панели устанавливаются в основном на открытых площадках или на высоте. Чем ближе местность к экватору и чем больше в ней солнечных дней, тем более предпочтительна установка именно этого типа фотоэлектрических элементов.[3]

1.4. Поликристаллические солнечные панели

Солнечные панели, производимые на основе поликристаллических кремниевых элементов, созданы и выпущены на рынок сравнительно давно. Впервые они были предложены потребителю еще в 1981 году. В процессе их производства нет необходимости задействовать сложные и дорогостоящие высокотехнологические процессы. Производством не

ставиться цель упорядочивания молекулярной структуры решетки кремния. Исходное сырье просто плавят и заливают в готовые формы для отливки. Далее, остывшие блоки делят на пластины стандартных размеров имеющие правильную форму квадрата. В результате на выходе мы имеем относительно недорогие и простые в использовании поликристаллические модули.

При этом для изготовления требуется меньше энергии, а это ещё раз благотворно действует на цену. Поликристаллические солнечные накопители имеют меньший коэффициент эффективности (11-18%), в отличие от монокристаллических. Это объясняется тем, что в процессе остывания масса кремния насыщается мельчайшими зернистыми пузырьками, что приводит к дополнительному преломлению лучей.

Поликристаллические панели не требуют постоянной ориентации в сторону солнца, поэтому для их размещения активно используются крыши домов и промышленных зданий.

К достоинствам солнечных панелей с разнонаправленными кристаллами относят:

- Высокая эффективность в условиях рассеянного света.
- Возможность стационарного закрепления на крышах зданий.
- Меньшая стоимость по сравнению с монокристаллическими панелями.
- Падение эффективности через 20 лет эксплуатации составляет всего 15-20%.

Недостатки у поликристаллических панелей также имеются:

- Пониженный КПД со значением 12-18%.
- Требуется больше пространства для установки из расчета на единицу мощности в сравнении с монокристаллическими аналогами.

Поликристаллические солнечные панели завоевывают всё большую рыночную долю среди других кремниевых панелей. Это обеспечивается широкими потенциальными возможностями для удешевления стоимости

их производства. Ежегодно увеличивается и КПД таких панелей, стремительно приближаясь к 20% у массовых продуктов.[4]

1.5. Аморфные солнечные панели или панели из аморфного кремния

Аморфные солнечные панели целиком не изготавливаются, а собираются из отдельных элементов, преобразующих свет в электричество.

Единичный фотоэлектрический полупроводниковый преобразователь изготавливается из металла кремния высочайшей степени очистки. Чаще всего в технологическом процессе очистки получают кристаллический кремний в виде цилиндра диаметром несколько десятков миллиметров. Из цилиндра нарезают диски, имеющие толщину в доли миллиметра.

Кремниевые диски легируют нанесением на их поверхность различных примесей, как металлических, так и неметаллических. При этом в пластине кремния формируются зоны с разной степенью насыщенности электронами, с n-проводимостью (электронной) и «дырками» с p-проводимостью.

«Дырки» – это металл, из которого дозированными примесями удалили часть электронов и получили p-проводимость, т.е. положительную, а металл с избытком электронов имеет n-проводимость, т.е. отрицательную или электронную.

Комбинацией примесей, их составом, очередностью нанесения, толщиной и мн.др. в толще пластины получают p-n переходы или гетеропереходы. В результате этих процессов полупроводниковые пластины получают способность при облучении светом давать электрический ток. Так были созданы фотоэлектрические преобразователи (ФЭП).

На данный момент существует уже три поколения панелей из аморфного кремния, в каждом из которых заметно повышается КПД. Если первые фотоэлектрические модули имели эффективность 4-5%, то сейчас на рынке массово продаются модели второго поколения с КПД 8-9%. Аморфные панели последней разработки имеют эффективность до 12% и уже начинают появляться в продаже, но они пока ещё достаточно дорогие.

За счет особенностей данной производственной технологии создать слой кремния можно как на жесткой, так и на гибкой подложке. Из-за этого модули из аморфного кремния активно используются в гибких тонкоплёночных солнечных модулях. Но варианты с эластичной подложкой стоят намного дороже.

Физико-химическая структура аморфного кремния позволяет максимально поглощать фотоны слабого рассеянного света для генерации электроэнергии. Поэтому такие панели удобны для применения в северных районах с большими свободными площадями. Не снижается эффективность панелей на основе аморфного кремния и при высокой температуре, хотя они и уступают по этому параметру панелям из арсенида галлия.

При одинаковой стоимости оборудования солнечные панели из гидрида кремния показывают большую производительность, чем их моно- и поликристаллические аналоги

Подытоживая, можно указать такие преимущества аморфных солнечных панелей:

- Возможность изготовления гибких и тонких панелей.
- Высокий КПД при рассеянном свете.
- Установка батарей на любые архитектурные формы.
- Стабильная работа при высоких температурах.
- Простота и надежность конструкции. Такие панели практически не ломаются.

- Меньшее падение производительности при запыленности поверхности, чем у кристаллических аналогов.

Срок службы таких фотоэлектрических элементов, начиная со второго поколения, составляет 20-25 лет при падении мощности в 15-20%. К недостаткам панелей из аморфного кремния можно отнести лишь потребность в больших площадях для размещения оборудования требуемой мощности.[5]

1.6. Плёночные солнечные панели

Плёночные панели — это следующий шаг развития источников питания на солнечной энергии . Шаг, который продиктован в первую очередь необходимостью снижения цен на производство панелей и стремлением к повышению энергоэффективности.

До 85% солнечных панелей, выпускаемых сегодня на рынок, являются кристаллическими солнечными модулями. Однако специалисты уверяют, что тонкопленочная технология производства солнечных панелей оказывается более эффективной и поэтому наиболее перспективной, чем уже привычные кристаллические модули.

Тонкопленочные модули из аморфного кремния. В отличие от кристаллического материала, здесь нет структурированного положения атомов. Поэтому у аморфного кремния хуже полупроводниковые свойства и, следовательно, меньше КПД преобразования света. Однако для производства элементов необходимо гораздо меньше кремния и он может быть нанесен практически на любую поверхность — стекло, металл или другой материал. КПД элементов из аморфного кремния с одним слоем — около 6%. Доля модулей из аморфного кремния на рынке незначительна.

CSG (Crystalline Silicon on Glass) выглядят как модули из аморфного кремния, но на самом деле являются кристаллическими. Специальный технологический процесс позволяет наносить тонкий слой кристаллического кремния (около 2мкм) прямо на стекло (тогда как

толщина «обычного» ФЭП составляет 200-300мкм). Контакты внедряются с использованием лазера и трафаретной печати. Первые фотоэлектрические модули, произведенные по такой технологии, имели КПД около 7%.

CdTe модули (кадмий-теллуровые). Эта специальная тонкопленочная технология имеет большой потенциал для снижения стоимости фотоэлектрических модулей. КПД модулей достигает 9%. Содержание кадмия в модуле меньше, чем в обычной пальчиковой батарейке, и производители обещают принимать на переработку все произведенные ими «отработанные» модули.

CIS модули. Основные ингредиенты CIS модулей — медь, индий, селен, и иногда галлий (тогда элементы обозначаются как CIGS). CIS имеют наибольший КПД в группе тонкопленочных ФЭП (до 14% в модуле).

В Южной Корее была разработана принципиально новая технология тонкопленочных модулей, что может значительно способствовать массовому их распространению за счет удешевления и увеличения энергоемкости. В новых солнечных элементах присутствуют 3 цветных слоя на базе наногранул из диоксида титана. Благодаря количеству слоев новые солнечные элементы могут собирать видимый свет в трех наиболее активных длинах – красной, синей и зеленой. В результате, солнечный элемент производит электроэнергии почти в 3 раза больше, чем обыкновенные фотоэлектрические панели.

Еще одним преимуществом таких элементов является их высокая светопропускаемость, поэтому их можно располагать на крышах и окнах жилых домов. Для создания этих элементов использовался метод хроматографии и совсем не использовался кремний, что делает производство недорогим и не зависящим от исчерпаемых природных ресурсов. Толщина готовой пленки составляет всего 20 нанометров, она

способна производить до 30 миллиампер электричества с каждого квадратного сантиметра. Ее КПД составляет около 17-18%.

Тонкопленочные солнечные модули состоят из примерно 6 слоев. Прозрачное покрытие закрывает антиотражающий слой, затем идут полупроводники P и N типа, затем контактный слой и подложка. Принцип работы тонкопленочных солнечных элементов тот же самый, что и у кристаллических солнечных элементов.

Основное преимущество тонкопленочной технологии — низкая себестоимость, именно по этой причине она имеет все шансы на то, чтобы стать лидером уже в ближайшие годы. Модули на новой базе позволяют сделать солнечные панели гибкими, в буквальном смысле этого слова. Они получаются легкими и эластичными, что позволяет размещать такие панели буквально на любых поверхностях, включая поверхность одежды.

В основе гибких солнечных элементов — полимерные пленки, аморфный кремний, алюминий, теллурид кадмия и прочие полупроводники, которые уже применяются при производстве портативных зарядных устройств для сотовых телефонов, ноутбуков, планшетов, видеокамер и других гаджетов, в виде складных солнечных панелей небольшого размера. Но если потребуется больше энергии, то и площадь модуля должна будет быть больше.

Самые первые образцы тонкопленочных солнечных элементов изготавливались с применением наносимого на подложку аморфного кремния, и КПД получался всего от 4 до 5%, а срок службы не был долгим. Следующим шагом все той же технологии стало повышение КПД до 8% и продление срока службы, он стал сравним с кристаллическими предшественниками. И наконец, третье поколение тонкопленочных модулей обладало уже КПД в 12%, а это уже значительное продвижение и конкурентоспособность.

Примененные здесь селенид меди-индия и теллурид кадмия, позволили создать гибкие солнечные панели и портативные зарядные

устройства с КПД до 10%, а это уже значительное достижение, если учесть, что физики ведут борьбу за каждый дополнительный процент КПД. Теперь остановимся более подробно на том, как делают тонкопленочные панели.

Что касается теллурида кадмия, то в качестве свет поглощающего материала его начали исследовать еще в 70-е, когда нужно было подобрать лучший вариант для использования в космосе. И по сей день именно теллурид кадмия остаётся наиболее перспективным для солнечных панелей. Однако вопрос о токсичности кадмия оставался некоторое время открытым.

В результате исследований было показано, что опасность минимальна, уровень кадмия, высвобождаемого в атмосферу не опасен. КПД же составил 11%, при этом стоимость одного ватта получилась на треть ниже, чем у кремниевых аналогов.

Теперь про селенид меди-индия. Значительная часть индия сегодня уходит на создание плоских мониторов, поэтому индий все же заменяют на галлий, обладающий теми же свойствами для солнечной энергетики. Пленочные же панели на данной основе достигают КПД в 20%.

Недавно начали разрабатывать полимерные панели. Здесь свет поглощающими материалами служат органические полупроводники: углеродные фуллерены, полифенилен, фталоцианин меди и т. д. Толщина солнечного элемента получается 100 нм, однако КПД составляет всего от 5 до 6%. Но при этом стоимость производства довольно низка, пленки доступны, легки, и полностью экологичны. По этой причине полимерные панели популярны там, где важны экологичность при утилизации и механическая эластичность.[6]

1.7. Полимерные солнечные панели

Полимерные солнечные панели — разновидность солнечных панелей, которые производят электричество из солнечного света. Берет

свое начало с 1992 года, когда впервые были опубликованы данные о переносе заряда с полупроводникового полимера на акцептор. Относительно новая технология, активно исследуемая в университетах, национальных лабораториях и нескольких компаниях по всему миру. Демонстрируются устройства-прототипы с эффективностью конверсии энергии 11,5 %

Полимерные солнечные панели обычно представляют собой послойно наложенные друг на друга тонкие пленки из полимерных материалов, выполняющие различные функции. В зависимости от субстрата, толщина одной батареи может быть от 500 нанометров. Так, на прозрачную полимерную основу (субстрат), покрытую проводящим слоем оксида индия-олова, служащую электродом, наносят фотоактивный слой, состоящий из электрон-акцептора и электрон-донора.

Есть два типа фотоактивных слоев:

Объемный гетеропереход (Твердофазная смесь двух материалов);

Два отдельных слоя электрон-акцептора и электрон-донора, нанесенные последовательно.

Поверх фотоактивного слоя располагается металлический электрод, кальциевый, алюминиевый или серебряный, в зависимости от архитектуры панели. В современных образцах между фотоактивным слоем и электродами помещают дополнительные слои: электрон-проводящие или дырочно-проводящие, или соответственно электрон-блокирующие и дырочно-блокирующие. Расположение этих слоев относительно фотоактивного слоя определяется архитектурой панели.

Архитектура панели бывает двух типов: прямая (стандартная) или обратная (перевернутая). В перевернутой, как следует из названия, электрические заряды экстрагируются противоположными электродами. Так, исследования показали, что у панелей стандартной архитектуры эффективность выше, чем у перевернутых, однако стабильность ниже.

Низкая стабильность обусловлена тем фактом, что в стандартных панелях в качестве электрода используется кальций, который быстро окисляется на воздухе до кальция оксида, который имеет худшую проводимость. В свою очередь, обратная архитектура позволяет использовать в качестве электродов серебро и золото, более устойчивые к окислению.

Для улучшения экстракции электронов в перевернутых панелях часто используют прозрачные проводящие оксиды, такие как титана оксид и цинка оксид, часто в виде наночастиц или наноструктурированных пленок. В последнее время больше внимания уделяется исследованиям других слоев, способных улучшать экстракцию электронов, в том числе полимерных.

Для улучшения экстракции дырок применяются прозрачные проводящие полимеры, например смесь поли(3,4-этилендиокситиофена) и полистиролсульфоната (PEDOT:PSS) или другие проводящие оксиды с более подходящими для этого электронными уровнями, такие как ванадия оксид, молибдена оксид. В последнее время все больший интерес вызывают полупроводники на основе графена и графена оксида.

Остро стоит вопрос срока деградации органического рабочего слоя. Пока что достоверно подтвердить уровень его КПД через несколько лет эксплуатации не представляется возможным.

Преимуществами органических солнечных панелей являются:

- возможность экологически безопасной утилизации;
- дешевизна производства;
- гибкая конструкция.

К недостаткам таких фотоэлементов можно отнести относительно низкий КПД и отсутствие достоверной информации о сроках стабильной работы панелей. Возможно, что через 5-10 лет все минусы органических солнечных фотоэлементов исчезнут, и они станут серьезными конкурентами для кремниевых пластин.[7]

Выводы по разделу 1

На основании всего вышесказанного можно сделать заключение о том, что в современном мире идут поиски альтернативных источников

энергии. Перспективным направлением является солнечная энергетика, которая основана на использовании солнечных батарей. Эффективность подобного оборудования зависит от нескольких факторов. Самый важный из них — активность солнечной энергии и мощность панели.

Раздел 2.

Дегградация солнечных панелей

2.1. Общие сведения

Процесс дегградации производительности фотоэлектрических модулей (Potential Induced Degradation), в дальнейшем сокращенно PID, это значительное ухудшение свойств модулей во времени, снижение КПД до 95%, является наиболее нежелательным явлением для любых солнечных панелей.

Процессу дегградации подвергаются все модули без исключения: моно- и поликристаллические; тонкопленочные. В каждом конкретном случае она, однако протекает особенным образом и с различной степенью интенсивности. Особенно нежелательным процесс представляется с той точки зрения, что проекты любых модульных систем по переработке солнечной энергии в электрическую, а также крупных солнечных электростанций предполагают бесперебойное функционирование на протяжении не менее, чем 25-30 лет.

Непредвиденное значительное уменьшение их выработки в первые же годы является катастрофой как в техническом, так и в экономическом отношении.

Причины дегградации солнечных панелей

Исследования вопроса помогли выявить, что подвижность электронов увеличивается по мере роста температуры и влажности среды. Посторонние предметы, вступающие в контакт с поверхностью фотоэлектрического модуля, также усиливают поляризацию.

К основным причинам дегградации оборудования принято причислять: особенности структуры преобразователя системы; строение модуля; некоторые нюансы строения системы; влияние внешней среды.

Окружающая среда практически не подлежит контролю, в то время как на остальные факторы, приводящие к PID и вызывающие деградацию солнечных панелей, можно влиять в значительной степени.

Структура преобразователей фотоэлектрической системы

Соединения, присутствующие в антирефлекторном покрытии панелей, как оказалось, могут способствовать деградации. Их влияние было обнаружено благодаря современным физическим методам исследований (вторичной ионной масс-спектрометрии), обнаружившим натрий стекла в поверхностном пространстве покрытия.

Изначально покрытие этого типа (ARC) стали применять с целью увеличения захвата световых лучей. Благодаря ему достигается рост коэффициента преобразования энергии системы.

Особенности строения модулей гелиопанели

Для того, чтобы минимизировать проявление PID-эффекта, необходимо уделить особое внимание выбору: фронтального стекла; материала, предназначенного для инкапсулирования; диффузионного барьера.

Исследования подтверждают, что одними из наиболее существенных факторов деградации служат ингредиенты натриево-известкового стекла, а именно те из них, что отсутствуют в кварцевом его варианте.

Основным таким элементом принято считать натрий по факту его высокой электрической активности, однако влияние могут оказывать также кальций, магний и алюминий.

Материалы для ламинирования модулей отличаются значительным разнообразием и отличаются по показателям проводимости.

1) Пленка EVA (винилацетат этилена) отлично предотвращает поляризацию и последующую деградацию солнечных панелей. На сегодняшний день она является предпочтительным материалом для инкапсуляции оборудования. Уксусная кислота в ее составе может также оказаться фактором, ответственным за растворение ионов металла при так называемой коррозии стекла на его поверхности.

2) Материал PVB (поливинилбутираль), наоборот, провоцирует активизацию процесса деградации гелиопанели. Он практически не сопротивляется поступлению жидкости, а в результате роста ее количества неизменно увеличивается и проводимость.

В качестве материала для создания диффузионного барьера между поверхностью стекла и районами полупроводника с максимальной электрической активностью успешно применяется двуокись кремния. Она отлично справляется с предотвращением развития процессов формирования токов утечки, однако лазерная абляция способна оставлять небольшие пробелы внутри слоя с барьерным веществом, что может создавать определенные проблемы в его функционировании.

Особенности строения системы

На уровне фотоэлектрической системы наиболее значимыми факторами деградации служат входное напряжение и его знак, который зависит от размещения модуля и типологии заземления. Исходя из этих показателей выбирается тип инвертора.

В зависимости от вида заземления потенциал напряжения системы модулей может претерпевать значительные изменения.

Чаще всего PID-эффект связывается с отрицательным знаком напряжения в отношении к заземлению. Доскональные исследования проводились также в области положительного потенциала.

Емкостные эффекты играют важную роль в формировании зависимости между напряжением и деградацией солнечных панелей. Электрические заряды при миграции ионов, вызываемой конкретными электрическими явлениями, уменьшают коэффициент полезного действия модуля, оказывая воздействие на пластины полупроводника.

В любом случае, анализ, проведенный инженерами компании SunPower, свидетельствует о том, что процессы PID поддаются стабилизации в состоянии, присущем каждой разновидности модуля.

Воздействие факторов окружающей среды

Экспериментально доказанным является тот факт, что рост показателей температуры и относительной влажности снижают результативность функционирования солнечных батарей и электростанций на их основе. Особенно разрушительное воздействие оказывают: высокие влажность и температура среды и оборудования, действующие одновременно; перепады показателей температуры; регулярно имеющие место циклы оттаивания и замерзания воды.

В последнем случае ток утечки усиливается из-за разрушения целостности ламинирующей пленки EVA. Это приводит к снижению ее сопротивления процессу деградации панели.

Методы определения PID

Основным признаком деградации солнечных панелей служит снижение эффективности их работы, не поддающееся объяснению.

1) Самым простым способом выявления PID в конкретном модуле или их системе является замер показателей напряжения холостого хода. Для его проведения достаточно использовать обычный вольтметр. Нередко процесс затрагивает только одну из частей цепочки, располагающуюся ближе к положительному или отрицательному полюсу.

2) В случае когда доступ к модулям цепочки затруднен, выявить деградацию помогает метод электролюминесценции.

Тестирование на восприимчивость к деградации модулей в специализированных центрах сертификации и лабораториях составляет неотъемлемую часть технологий современной солнечной энергетики. Оно является также необходимым шагом для получения финансирования проекта в данной сфере.

В зависимости от характера действующих факторов деградация оборудования может быть обратимой или необратимой.

1) Эффект поверхностной поляризации, с которым столкнулись сотрудники завода SunPower в 2005 г., относится к обратимой разновидности

деградации. Он создает стабильное накопление статического заряда на поверхности деталей модуля, которое, однако, удается нейтрализовать с возвратом к полной исходной мощности оборудования. Развитие ситуации этого типа связывают с переходом ионов натрия от фронтального стекла к фотоэлектрическим преобразователям.

2) Необратимая деградация обычно вызывается нарушениями в структуре агрегата. На их появление могут влиять перепады температуры, особенно циклы заморозки и оттаивания, проникновение воды и иных жидкостей в значительном объеме под внешнее покрытие и призванную обеспечить герметичность ламинирующую пленку. Процесс первого типа часто встречается в системах с кристаллическими кремниевыми элементами, в то время как необратимая PID в наибольшей степени характерна для тонкопленочных модулей. Ее появление обуславливается электрохимическими реакциями, приводящими к коррозии, повреждению оборудования, расслоению составных элементов модуля.

Необратимая деградация солнечных панелей представляет собой серьезную проблему, угрожающую потерей дорогостоящей техники и экономическим провалом значимых для развития сектора солнечной и альтернативной энергетики проектов. Данный процесс требует немедленного реагирования, выявления причин происходящей утечки и минимизации убытков.

2.2. Деградации солнечных элементов на основе аморфного кремния

Эффект деградации под действием света характерен для всех СЭ первого поколения, однако для солнечных батарей второго поколения на основе a-Si:H подобный механизм деградации на сегодняшний день представляется главным. Первые упоминания о взаимосвязи деградации данного материала с падающим на него светом были опубликованы в статье [8]. Фамилии авторов дали название эффекту, поэтому сегодня, имея в виду

деградацию СЭ на основе aSi:H под действием света, говорят об эффекте Стеблера - Вронского. Суть эффекта заключается в том, что темновая проводимость и фотопроводимость слоя тонкоплёночного аморфного кремния, полученного методом осаждения из плазмы тлеющего разряда, существенно снижаются, если образец подвергался длительному воздействию света.

В статье [8] было обнаружено, что процесс уменьшения проводимости является обратимым: при продолжительном отжиге ($>150^{\circ}\text{C}$) проводимость образца можно было восстановить практически полностью. На ранних стадиях развития теории эффекта Стеблера - Вронского было высказано предположение, что причиной подобного явления являлись слабые связи Si-Si: фотоиндуцированные носители заряда в конечном итоге рекомбинировали, выделившейся энергии оказывалось достаточно, чтобы разрушить эти слабые связи, атом водорода пассивировал связь одного из атомов, но связь второго атома оказывалась оборванной. Как следствие повышалось количество дефектов, и уровень Ферми смещался ближе к центру запрещённой зоны, проводимость материала уменьшалась [9]. В последующих работах [10], [11] было показано, что основными факторами, определяющими деградацию, вызванную светом, могут быть разупорядоченность решётки a-Si:H, поведение комплексов на основе водорода, поведение примесей прочих веществ. В работе [12] приведены результаты экспериментов с образцами очень высокой чистоты. Только при концентрациях примеси кислорода свыше 10^{18} см^{-3} наблюдалась слабая корреляция концентрации кислорода с темпом деградации. Начиная с этой работы, все последующие исследователи занимались главным образом изучением энергетических состояний водорода и комплексов на его основе в аморфном кремнии. Также изучению процессов образования дефектов было посвящено значительное количество статей.

До 2000 года считалось, что эффект Стеблера – Вронского, в целом, понят и осталось разобраться только с механизмами транспорта водорода в

толще a-Si:H [13], но последние исследования ставят всё новые вопросы. Так было показано [14], что:

- связь концентрации водорода с темпом деградации не очевидна,
- эффект Стеблера – Вронского наблюдается даже при температуре 4,2К, при этом темп деградации мало отличается от аналогичного при 300К
- концентрация и тип дефектов, образованных светом, зависит, в том числе, и от условий облучения,
- облучение образцов a-Si:H вызывает не только образование дефектов, но и является причиной серьёзных структурных изменений в материале.

Так, например, в работе [15] был продемонстрирован способ восстановления величин FF светом, интенсивность которого меньше, чем интенсивность первоначального источника света.

Засветка таким же светом образца, который изначально был деградирован в результате освещения интенсивностью в 10 солнц, восстановила FF с 0.52 до 0.58. Аналогичные результаты были получены для произведения $\mu n \tau$, в то время как подобная корреляция для концентрации дефектов не была обнаружена.

В работах [16,17-19], было показано, что возможно значительно уменьшить влияние эффекта Стеблера – Вронского на солнечную батарею данного типа при добавлении чистого водорода к силану во время напыления технологических слоёв. При этом если концентрация водорода в силане превышает некоторую пороговую величину, вместо аморфного кремния получается кремний микрокристаллический. Переход от микрокристаллической фазы к фазе аморфной зависит не только от концентрации примеси водорода в силане $R = [H_2]/[SiH_4]$, но и толщины получаемой плёнки. Соотношение аморфная фаза/микрокристаллическая фаза зависит также и от других технологических параметров, таких как материал подложки и её температура, скорости нанесения плёнки, рабочая частота магнетрона.

2.3. Дегградация поликристаллических тонкоплёночных солнечных элементов

Специфика дегградации солнечных батарей на основе CdTe сводиться к следующим фактам [20, 21 - 22]:

- минимальные различия в технологии приводят к серьёзным различиям в характеристиках образцов: даже в одной промышленной партии можно обнаружить образцы с большим разбросом параметров солнечной батареи;
- отмечается существование исключительно стабильных образцов, не подверженных старению, кроме того, некоторые образцы даже демонстрировали увеличение КПД со временем;
- темп дегградации солнечных батарей, наблюдаемый в режиме холостого хода, выше, чем в режиме оптимальной нагрузки и короткого замыкания;
- темп дегградации увеличивается при росте температуры;
- по мере дегградации дефектность решетки повышается

Достоверного объяснения подобного поведения солнечных батарей до сих пор нет. Однако существует несколько гипотез, предлагающих различные механизмы дегградации. Одной из первых попыток объяснить механизмы дегградации заключалась в рассмотрении процессов генерации дефектов под действием света. Однако эта теория не смогла объяснить существование устойчивых к дегградации образцов. Наиболее популярными в настоящее время являются теории электромиграции, главным образом меди из металлических контактов к границе раздела CdTe – CdS по межкристаллитным границам. Многочисленные опыты с медными контактами и без них уверенно демонстрируют корреляцию дегградации напряжения холостого хода и коэффициента заполнения с накоплением меди на границе двух полупроводниковых слоев. Кроме того, известные факты зависимости темпа дегградации от температуры успешно объясняются температурной зависимостью коэффициента диффузии меди. Процессы

образования шунтирующих закороток рассмотрены в ряде работ. При этом однозначного и полного объяснения сути этого деградиционного механизма до сих пор нет. Так, например, в работе [23] показано, что возможно формирование сети шунтирующих дефектов в виде дендритов, а в работе [24] акцент сделан на прекурсорный механизм. Тем не менее, в большинстве подобных работ авторы отмечают, что вероятность реализации данного деградиционного механизма тем выше, чем тоньше слои солнечной батареи. Помимо процессов, связанных с деградацией непосредственно в рабочих слоях, существуют также отказы, связанные с периферийными элементами солнечной батареи. Так, например, в работе [25] рассмотрены вопросы отслаивания заднего металлического контакта. В качестве причины данного явления, в статье указана зависимость адгезии между металлом и полупроводниковым слоем от электрического напряжения. В результате неравномерного контакта, через некоторые участки контакта протекает ток по величине выше ожидаемого, что приводит к электрическим пробоям или даже к выгоранию отдельных участков контакта.

В работе [26] приведены основные измерения поведения солнечных батарей типа CdS – CdTe, алгоритм которых повторяется в большинстве работ, посвященных обсуждаемой проблеме. Два образца солнечных батарей выдерживались при температурах 60 и 120 °C соответственно, при этом проводился ряд измерений вольтамперных характеристик: сразу после производства до воздействия температуры, спустя 1 час в горячей камере и спустя 723 часа в горячей камере. Результаты измерений показаны на рисунке 2.1.

На основании произведённых измерений показывается, что изначальное пересечение темновой и световой характеристик, которое исчезает после отжига, предположительно является следствием метастабильных дефектов, образованных медью. Аналогичные измерения проводились для более широкого температурного диапазона. Далее

приводятся результаты обработки экспериментальных данных, и рассчитываются энергии активации деградационного процесса (рисунок 2.2.)

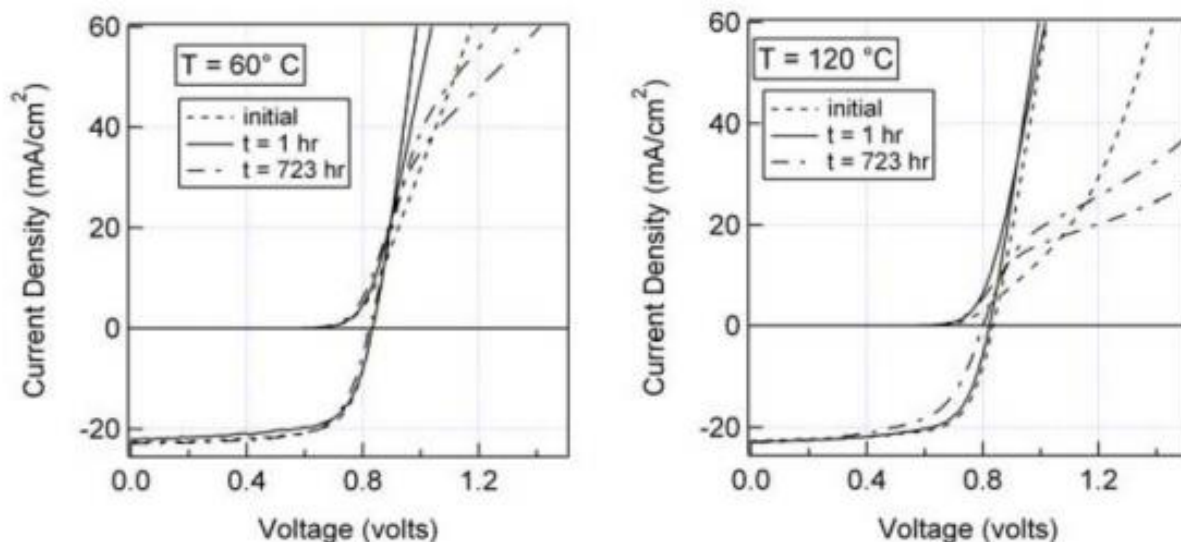


Рисунок 2.1. - Вольтамперные характеристики солнечных батарей на основе CdTe-CdS, выдержанных при различных температурных режимах

По результатам измерений и расчётов полученная энергия активации, равная 0.63 эВ, сравнимая с энергией активации диффузии меди в CdTe (0.67 eV), на основании чего делается вывод о решающей роли диффузии меди в деградации солнечной батареи данного типа.

Предельное время жизни солнечного элемента обусловлено деградацией основного барьера, однако существует ряд эффектов, которые выводят из строя батарею существенно раньше. Основным источником деградации солнечных батарей на основе a-Si:H считается эффект Стеблера–Вронского, который в том числе ограничивает максимальный КПД батарей данного типа. Деградация солнечных батарей на основе CdTe – CdS обуславливается диффузией меди из верхнего контакта к pn-переходу, шунтируя при этом прибор. Точные механизмы этого явления пока не известны, в том числе не объяснено пока поведение некоторых образцов, демонстрирующих очень высокую устойчивость к деградации.

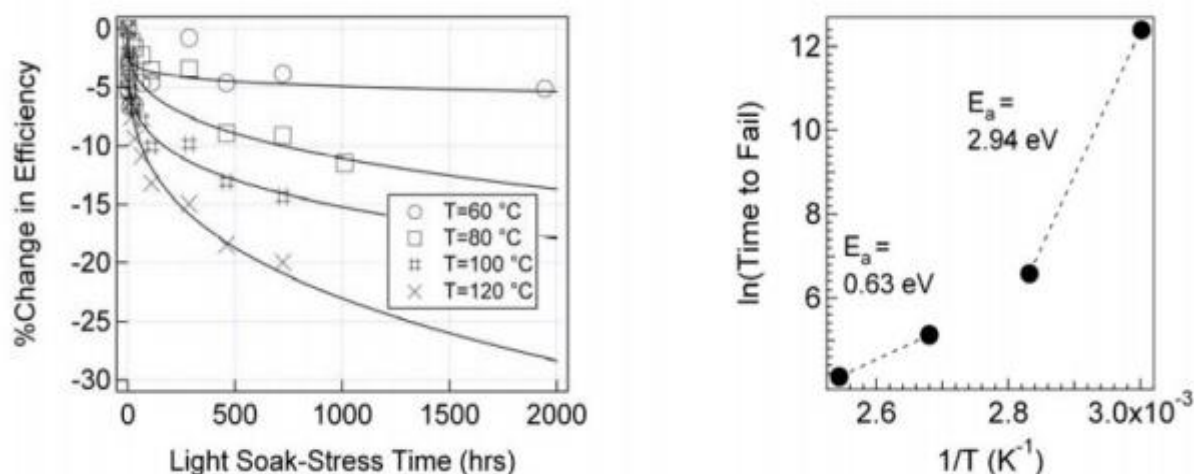


Рисунок 2.2. - Зависимость процентного изменения КПД солнечной батареи как функция времени при различных температурах (левый рисунок). Результаты расчёта энергии активации деградационного процесса (правый рисунок).

2.4. Деградация поликристаллических солнечных элементов

В ряде работ [27, 28] было показано, что электронный транспорт в поликристаллических плёнках определяется в основном потенциальными барьерами на межкристаллитных границах. В данном разделе, посвященном, в основном, описанию возможной деградации поликристаллических СЭ основное внимание уделено построению модели, которая может оказать помощь разработчикам при выборе оптимальной технологии, а также при априорной оценке возможной надёжности СЭ на стадии их проектирования. Следует отметить, что к настоящему моменту накоплено достаточно большой экспериментальный материал. Однако существующие модели либо описывают достаточно узкий физический феномен, либо используют большое количество полуэмпирических параметров и функций, не имеющих физического смысла. Поэтому именно созданию такой модели и соответствующим расчётам посвящён данный раздел. Поскольку особенности электрофизических свойств пленок CdTe определяются

влиянием границ раздела кристаллитов, логично предположить, что и особенности деградации солнечных батарей на основе этого материала обусловлены подобными эффектами. Основными эффектами, связанными с границами раздела, являются: сегрегация примесей, захват и рекомбинация носителей заряда, заряд границы и связанная с зарядом вариация потенциала. Именно изменением состояний на этих границах и, как следствие, изменением высоты барьеров будет в основном определяться изменение параметров солнечных элементов в процессе их эксплуатации. Во всех поликристаллических материалах существует эффект сегрегации примесей к границе раздела кристаллитов, где атомы захватываются и становятся электрически нейтральными. Это отражается на зависимости электропроводности пленок от степени легирования. Большая часть примеси оседает на границах при этом на легирование кристаллитов идет лишь незначительная часть введенной в пленку лигатуры. Для описания подобной системы наибольшее распространение получили модели, основанные на рассмотрении межкристаллитных барьеров. В этих моделях предполагалось, что на границах между кристаллитами формируются потенциальные барьеры, высота которых зависит от разности энергий уровня Ферми на границе и в объеме кристалла. При этом допускалось, что уровень Ферми на границе лежит ниже, чем в кристаллите из-за наличия дефектных состояний, которые служат диффузионным стоком для примесей в процессе роста слоев. Соответственно эти дефектные состояния служат ловушками для основных носителей заряда. На границе концентрация носителей понижена и соответственно имеет место потенциальный барьер, высота которого равна разности уровней Ферми на границе и в объеме кристаллита. В работе представлена модель, предполагающая однородность состава и структурных свойств материала, в которой, используя типовые усредненные параметры материала (концентрации ловушек и их положение в запрещенной зоне, объёмные времена жизни, коэффициенты диффузии и пр.), а также учитывая граничные условия, определяемые исходя из геометрии образца, можно дать

оценку жизненного цикла работы солнечной батареи. Важнейшим параметром для расчёта влияния поверхности кристаллита на фотоэлектрические свойства полупроводника является время жизни. При расчёте времени жизни предположим, что образец имеет конечные размеры и имеет форму прямоугольного параллелепипеда. При построении модели также допускалось, что все кристаллиты плотно прилегают друг к другу и имеют произвольную форму. Однако для расчётной модели использовалась некоторая гипотетическая плёнка с кристаллитами одного размера эквивалентной сферической формы. Использование гипотетической сферы позволило исключить проблему неравномерного распределения поля в объёме плёнки и заряда по его границам. Поэтому стало возможным считать плёнку гомогенной с параметрами, равными некоторым эффективным параметрам, зависящим от параметров кристаллитов, например, времени жизни. В поликристаллических образцах даже в пределах одного кристаллита свойства материала сильно изменяются и для всей среды можно пользоваться только некоторыми усредненными свойствами. Поэтому для полупроводниковых плёнок на неориентирующих подложках можно говорить о некотором характеристическом размере. Для поликристаллических материалов таким размером служит средний размер кристаллита. В рамках данной модели средний размер кристаллита является диаметром модельного кристаллита сферической формы.

Следует ожидать, что по мере уменьшения размеров отдельных кристаллитов на состояние образца все большее влияние будет оказывать их поверхность. При этом нестабильность поверхности может приводить к нестабильности свойств материала. На рисунках 2.1 и 2.2 показаны рассчитанные зависимости эффективного времени жизни и эффективной диффузионной длины поликристаллической полупроводниковой плёнки от среднего размера кристаллитов в ней.

Как видно из графиков, уменьшение среднего размера кристаллита приводит к снижению эффективного времени жизни и, соответственно,

эффективной диффузионной длины. Этот результат понятен, поскольку в этом случае определяющую роль на эффективное время жизни оказывает поверхностная рекомбинация. Полученные результаты хорошо согласуются с выполненными ранее на кафедре полупроводниковой электроники НИУ МЭИ экспериментальными и теоретическими исследованиями [27, 28, 16, 20], а также литературными данными [15]

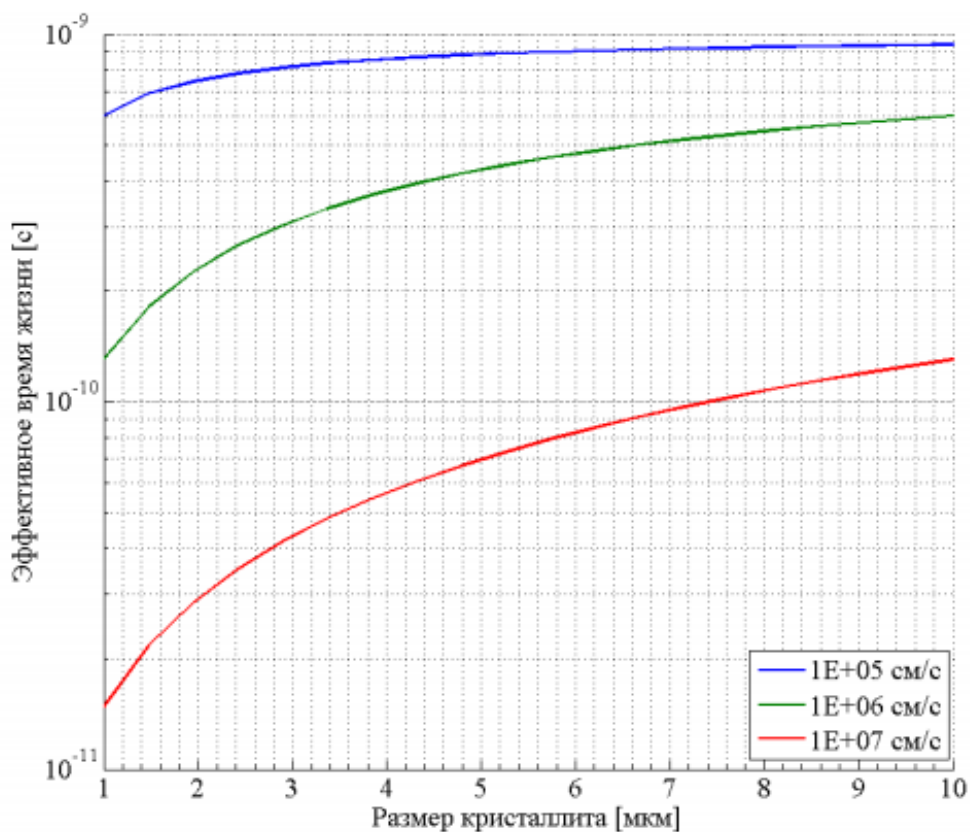


Рисунок 2.3. - Зависимости эффективного времени жизни от среднего размера кристаллита при разных скоростях поверхностной рекомбинации ($\tau_p = 10^{-9}$ с, $D_n = 12.5$ см²/с)

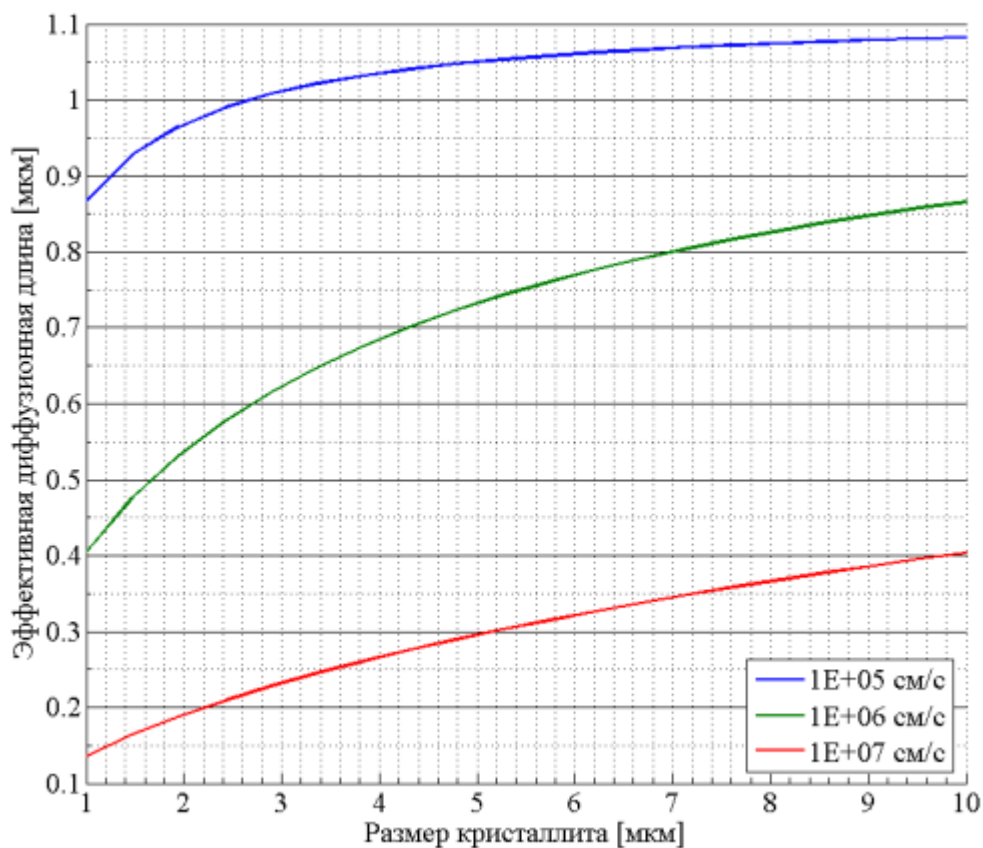


Рисунок 2.4. - Зависимости эффективной диффузионной длины от среднего размера кристаллита при разных скоростях поверхностной рекомбинации ($\tau_n = 10^{-9}$ с, $D_n = 12.5$ см²/с)

2.5. Исследования процессов деградации в различных типах солнечных панелей

Таблица 2.1 - Среднемесячная инсоляция на горизонтальной поверхности (кВт/м²/день)

Широта 48.3 Долгота 34.3	Ян	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сент	Окт	Ноя	Дек	Среднее годовое
Среднее за месяц	0,73	1,83	3,34	4,05	5,72	6,22	5,83	5,6	4,13	1,69	0,79	0,63	3,38

Данные взяты с сайта NASA

Средняя выработка 1 м² солнечной батареей за месяц.

$$P = E * \eta$$

где E – среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность;

η – КПД солнечной панели

Таблица 2.2 - Среднесуточная выработка 1 м² солнечной батареей по месяцам, Вт*ч/сут

	монокристалл	поликристалл	аморфный кремний
Январь	130,4420645	121,4612903	117,7806452
Февраль	325,7315714	303,3053571	294,1142857
Март	591,848	551,1	534,4
Апрель	718,3688	668,91	648,64
Май	1013,698323	943,9064516	915,3032258
Июнь	1102,302133	1026,41	995,3066667
Июль	1034,333548	963,1209677	933,9354839
Август	992,0985	923,79375	895,8
Сентябрь	732,1904	681,78	661,12
Октябрь	298,8963871	278,3177419	269,883871
Ноябрь	141,2284	131,505	127,52
Декабрь	113,1793548	105,3870968	102,1935484

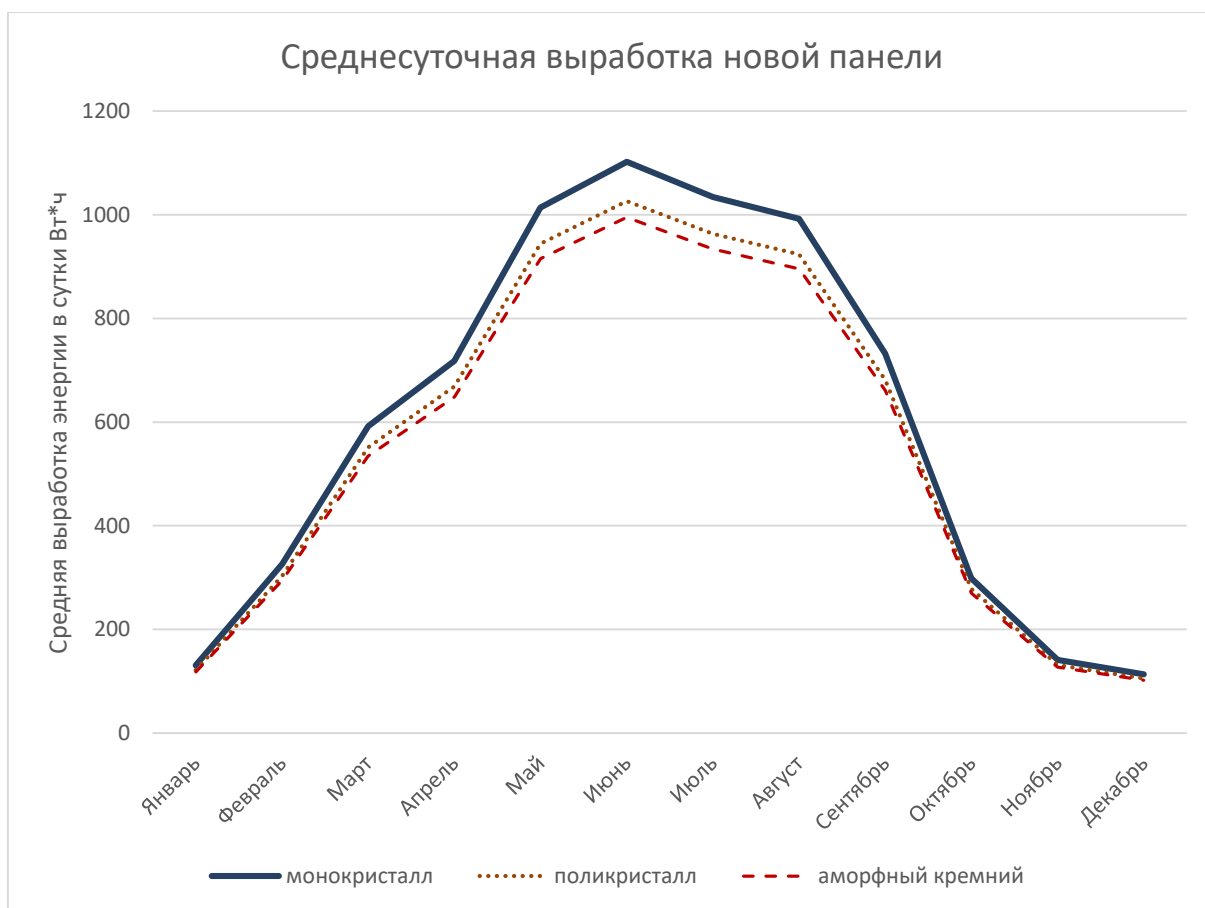


Рисунок 2.5. - Среднесуточная выработка новой панели

Монокристаллические панели имеют наибольший КПД, поэтому их выработка электроэнергии больше, чем у остальных видов панелей.

Данные про деградацию солнечных батарей были взяты у производителей солнечных батарей

Таблица 2.3 - Изменение КПД в следствии эксплуатации солнечных батарей

Года эксплуатации	монокристалл	поликристалл	аморфный кремний
0	97,5044	98,13375	98,53508
1	97	97,5	98
2	96,49820931	96,87034277	97,46782567
3	95,99901444	96,24475188	96,93854124
4	95,50240195	95,62320108	96,412131
5	95,00835848	95,00566426	95,88857936
6	94,27770626	94,27503276	95,36787078

Продолжение таблицы 2.3

7	93,55267304	93,5500201	94,84998984
8	92,83321562	92,83058308	94,33492117
9	92,11929112	92,11667882	93,8226495
10	91,41085697	91,40826477	93,31315965
11	90,70787097	90,7052987	92,80643651
12	90,01029122	90,00773873	92,30246505
13	89,21626645	89,20489468	91,80123033
14	88,42924615	88,40921177	91,30271749
15	87,64916855	87,62062614	90,80691176
16	86,8759724	86,83907447	90,31379842
17	86,10959699	86,06449402	89,82336286
18	85,34998215	85,29682262	89,33559053
19	84,59706824	84,53599863	88,85046698
20	83,85079615	83,78196098	88,36797782
21	83,1111073	83,03464914	87,88810875
22	82,3779436	82,29400311	87,41084553
23	81,6512475	81,55996344	86,93617402
24	80,93096194	80,8324712	86,46408014
25	80,21703037	80,11146799	85,9945499

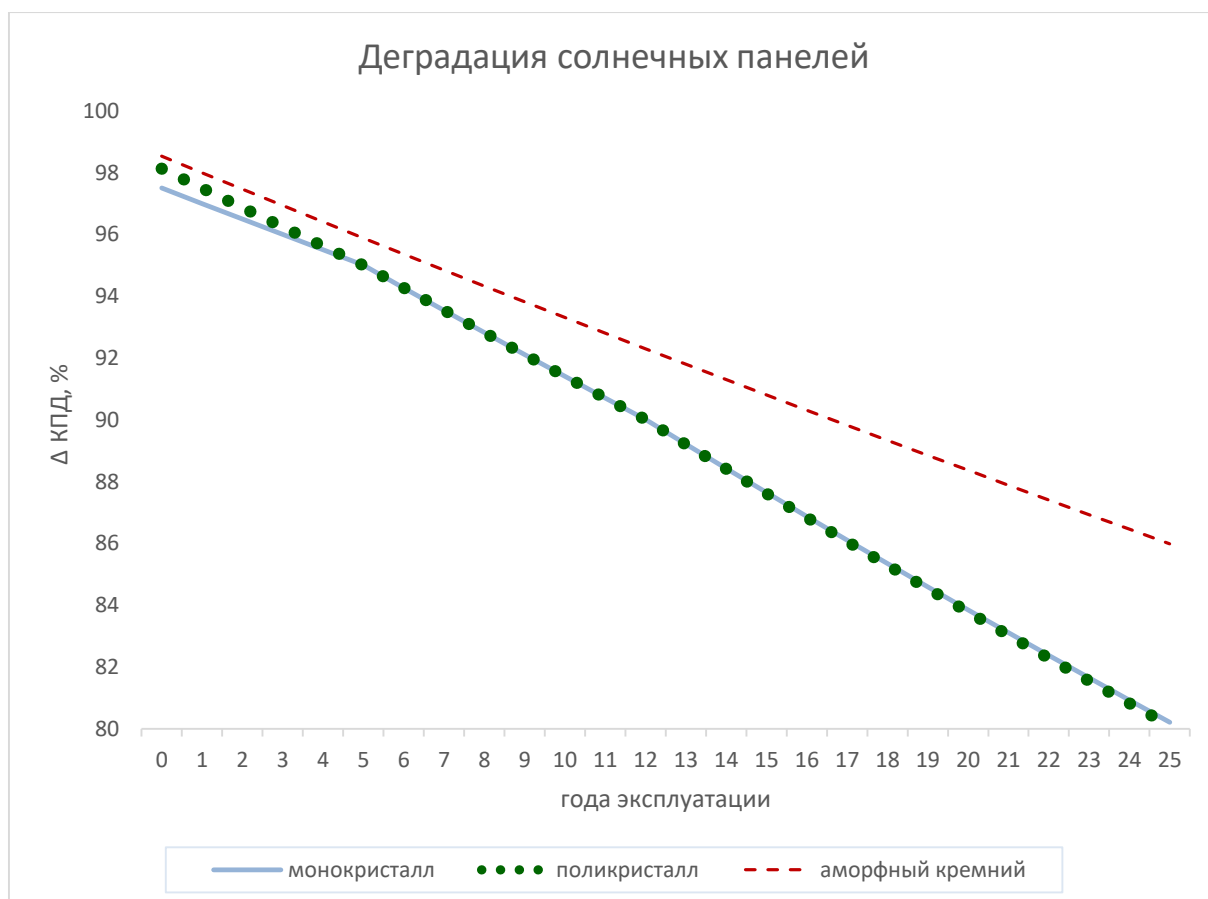


Рисунок 2.6. - Деграция солнечных панелей

У панелей с аморфного кремния деграция происходит медленнее, чем у других видов панелей.

Таблица 2.4 - Изменение выработки 1 м² солнечной батареи с учетом их деграции, Вт*ч/день

Года эксплуатации	монокристалл	поликристалл	аморфный кремний
0	1074,793081	1007,254623	980,7262202
1	1069,233069	1000,74975	975,4005333
2	1063,70182	994,2868852	970,1037668
3	1058,199184	987,8657578	964,8357635
4	1052,725014	981,4860982	959,5963673
5	1047,279162	975,1476385	954,3854229
6	1039,225167	967,6483637	949,2027758
7	1031,233111	960,2067613	944,0482722
8	1023,302516	952,8223878	938,9217594
9	1015,432911	945,4948031	933,8230853
10	1007,623827	938,2235704	928,7520989
11	999,8747968	931,0082564	923,7086497
12	992,1853603	923,8484311	918,6925881
13	983,4328083	915,6079594	913,7037656
14	974,7574669	907,4409905	908,7420341
15	966,1586548	899,3468687	903,8072465
16	957,6356971	891,3249442	898,8992566
17	949,1879246	883,3745731	894,0179187
18	940,814674	875,495117	889,1630883
19	932,5152879	867,6859435	884,3346212
20	924,2891148	859,9464257	879,5323745
21	916,1355088	852,2759422	874,7562056
22	908,0538297	844,6738773	870,005973
23	900,0434431	837,1396207	865,2815358
24	892,1037199	829,6725676	860,5827539
25	884,234037	822,2721185	855,9094881

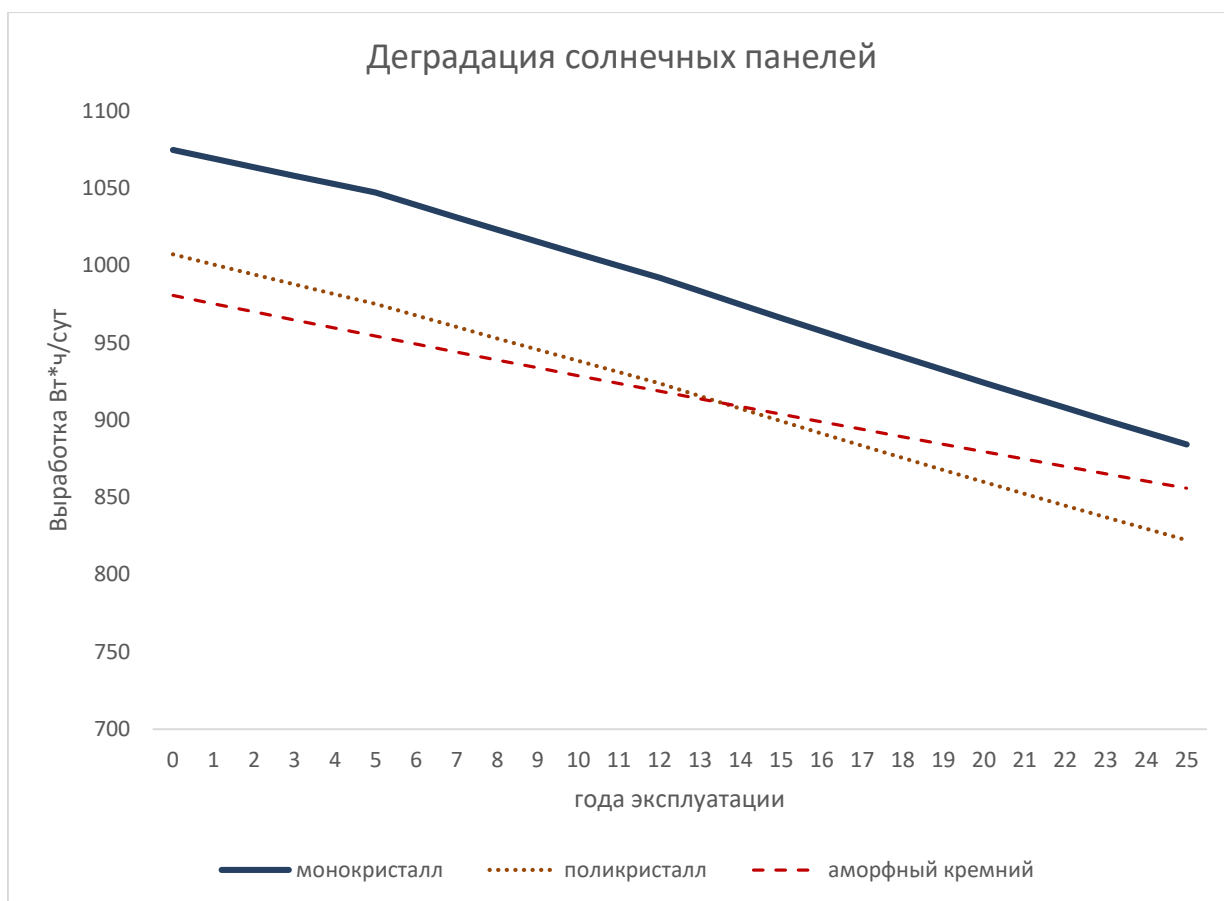


Рисунок 2.7. - Деградация солнечных панелей

Как видно с графика, то даже с учетом деградации солнечные батареи монокристаллические будут производить больше энергии. Но поскольку батареи с аморфного кремния деградируют медленнее, то у них будет менее значительная ежегодная потеря выработки.

Таблица 2.5 - Среднесуточная выработка 1 м² солнечной батареи с учетом деградации при эксплуатации 5 лет, Вт*ч/сут.

Месяц	монокристалл	поликристалл	аморфный кремний
Январь	123,9308643	115,3951057	112,9381874
Февраль	309,4722191	288,1572693	282,0220103
Март	562,3050695	523,5762157	512,4285681
Апрель	682,5104047	635,5023888	621,9716811
Май	963,0981362	896,7645943	877,67126
Июнь	1047,279162	975,1476385	954,3854229

Продолжение таблицы 2.5

Июль	982,7033256	915,019473	895,5374676
Август	942,5764994	877,6563886	858,9698939
Сентябрь	695,64208	647,7296178	633,9385759
Октябрь	283,9765509	264,4176195	258,7878098
Ноябрь	134,1787846	124,9371988	122,2771164
Декабрь	107,5298472	100,1237113	97,99194174

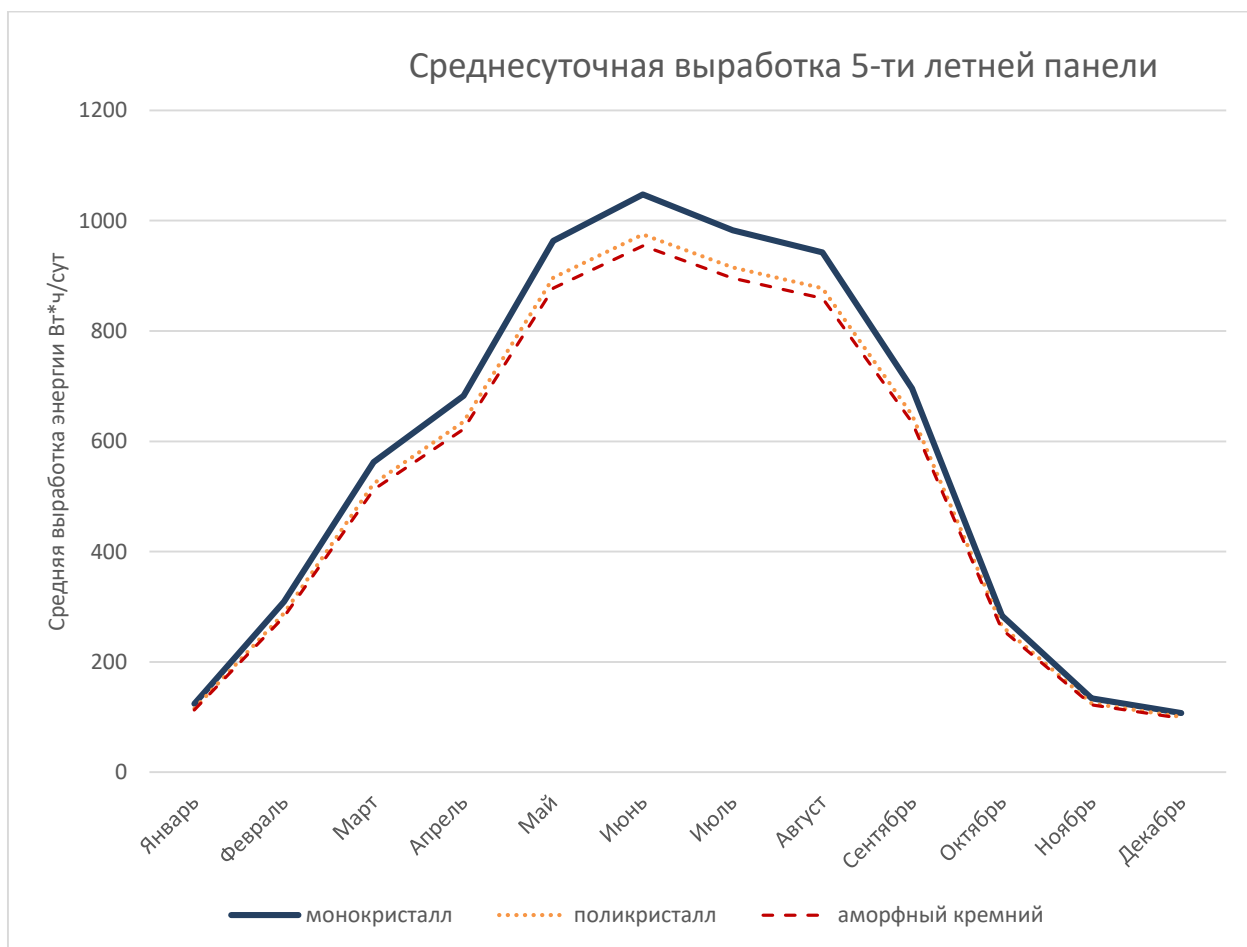


Рисунок 2.8. - Среднесуточная выработка 5-ти летней панели

Таблица 2.6 - Среднесуточная выработка 1 м² солнечной батареи с учетом деградации при эксплуатации 12 лет, Вт*ч/сут.

Месяц	монокристалл	поликристалл	аморфный кремний
Январь	117,4112821	109,3245608	108,7144388
Февраль	293,191936	272,9982934	271,4747358
Март	532,7241084	496,0326481	493,2643732
Апрель	646,6058489	602,0707651	598,7107093
Май	912,4328122	849,5888528	844,8474401
Июнь	992,1853603	923,8484311	918,6925881
Июль	931,0066391	866,8834043	862,0454736
Август	892,990749	831,4858649	826,8454819
Сентябрь	659,0467113	613,6547611	610,2300569
Октябрь	269,0375085	250,507506	249,1094657
Ноябрь	127,1200941	118,3646768	117,7041034
Декабрь	101,8730669	94,85654272	94,32716428

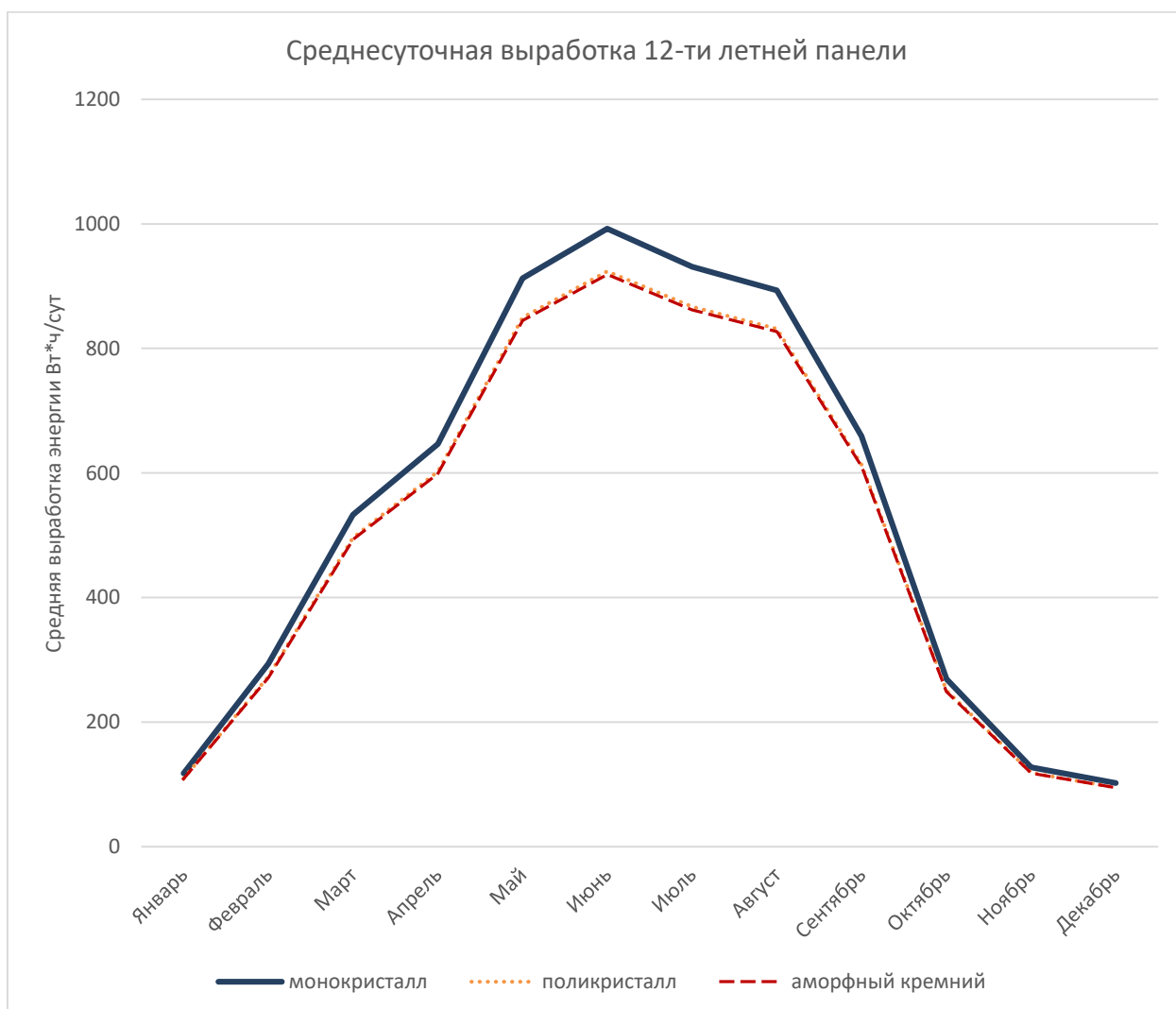


Рисунок 2.9. - Среднесуточная выработка 12-ти летней панели

Таблица 2.7 - Среднесуточная выработка 1 м² солнечной батареи с учетом деградации при эксплуатации 25 лет, Вт*ч/сут.

Месяц	монокристалл	поликристалл	аморфный кремний
Январь	104,6367505	97,30442271	101,2849357
Февраль	261,2921936	242,9823741	252,9222562
Март	474,7628899	441,4943001	459,5548747
Апрель	576,2541184	535,8736205	557,7950485
Май	813,1586912	756,1773148	787,1108893
Июнь	884,234037	822,2721185	855,9094881
Июль	829,7116566	771,5703457	803,1336157
Август	795,831955	740,0647343	770,339178
Сентябрь	587,3413955	546,1839664	568,5271683
Октябрь	239,7658056	222,9644287	232,0854201
Ноябрь	113,2892285	105,350586	109,66025
Декабрь	90,78911744	84,42715029	87,88088196

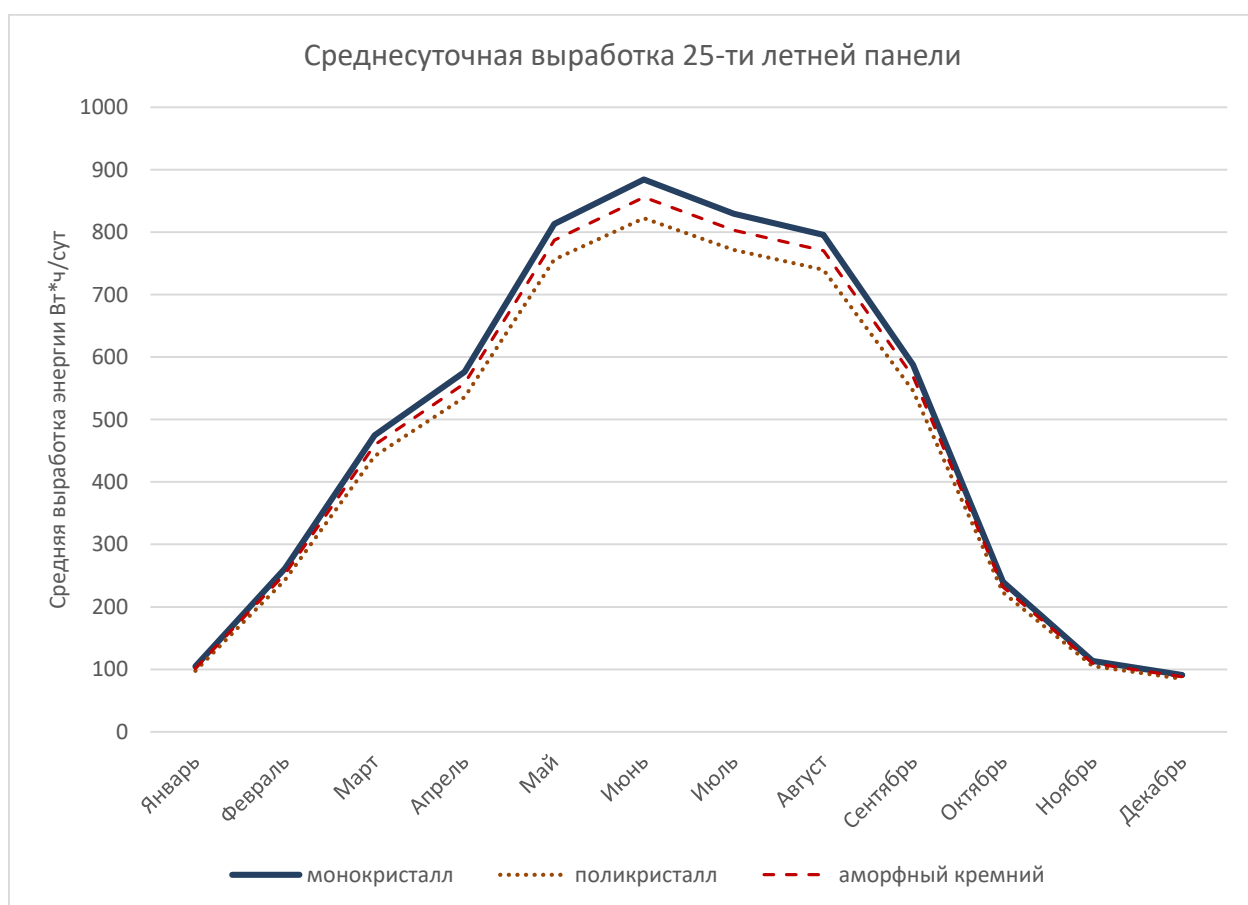


Рисунок 2.10. - Среднесуточная выработка 25-ти летней панели

Если использовать солнечные батареи достаточно долгое время, то с учетом деградации наиболее устойчивыми панели выйдут из аморфного кремния, и через 12 лет эксплуатации их выработка будет на уровне монокристаллических панелей, а через 25 лет почти сравняется с монокристаллическими.

Таблица 2.8 - Мощность солнечных батарей в течении суток

Время	монокристалл	поликристалл	аморфный кремний
5:30	2,248893485	2,094059961	12,40593596
6:30	22,36671238	20,826792	49,35404959
7:30	50,45343645	46,97977999	78,85860163
8:30	99,92909312	93,04909912	89,57894847
9:30	146,300299	136,227705	107,6080098
10:30	181,5981489	169,0953418	112,8319876
11:30	204,4904179	190,4115065	113,9458249
12:30	227,2115755	211,5683406	113,9458249
13:30	238,9449328	222,4938708	114,9409967
14:30	211,3226541	196,7733517	112,0916768
15:30	187,3670496	174,4670609	110,2510135
16:30	148,524748	138,2990035	99,49021253
17:30	86,53351018	80,57578544	83,53779705
18:30	61,60012589	57,3590337	65,1311638
19:30	42,04453037	39,14981666	53,34552464
20:30	0,955796458	1,456737364	9,924748769
Всего	1807,291471	1682,861697	1198,840879

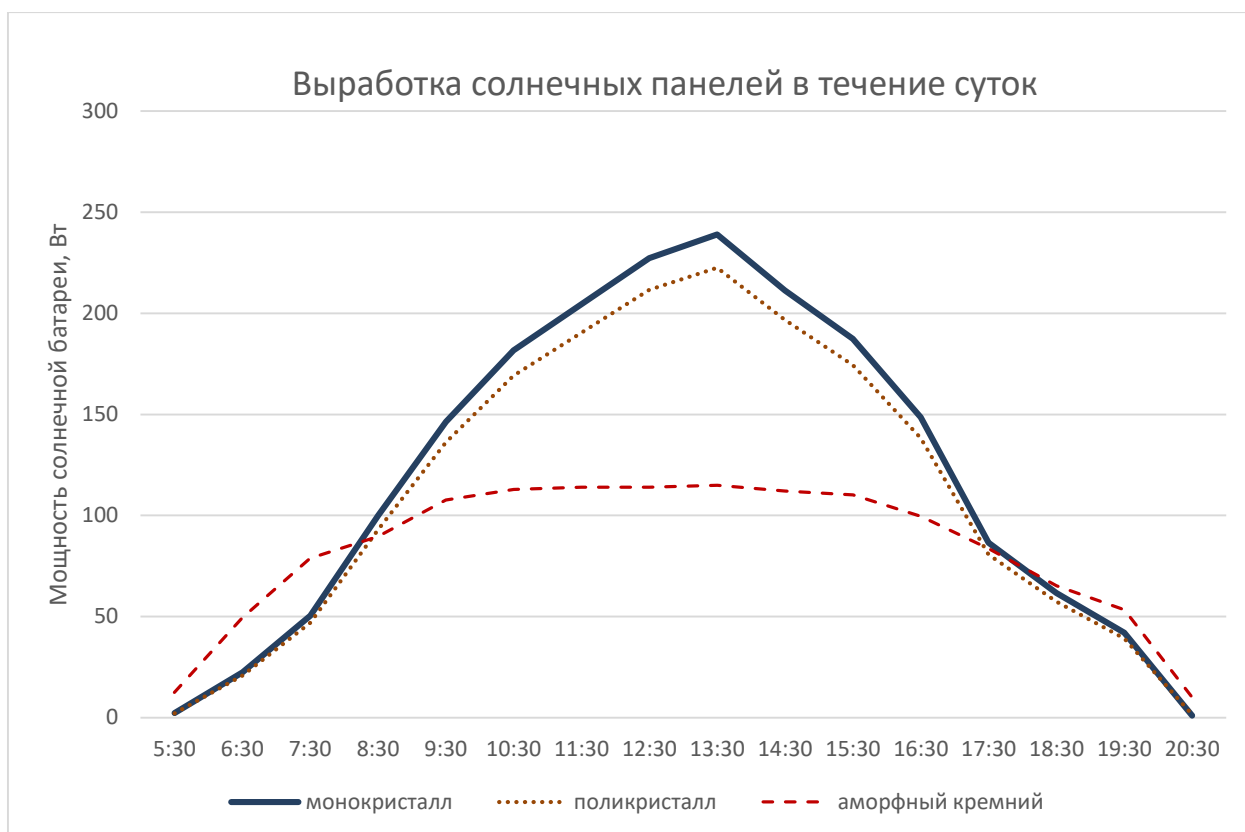


Рисунок 2.11. - Выработка солнечных панелей в течение суток

Выработка монокристаллических и поликристаллических солнечных батарей сильно зависит от освещения, поэтому у них утром и вечером низкая выработка по сравнению с панелями на аморфном кремнии.

Выводы по разделу 2.

Процессу деградации подвергаются все модули без исключения: моно- и поликристаллические; тонкопленочные. В каждом конкретном случае она, однако протекает особенным образом и с различной степенью интенсивности.

Было проанализирована деградация солнечных модулей, по которой видно, что панели из аморфного кремния ухудшают свои свойства медленнее остальных.

Так же было проанализирован суточный график солнечных панелей, по которому видно, что модули с аморфного кремния имеют гораздо выше КПД

при небольшой освещённости. Однако при максимальной освещённости монокристаллические панели вырабатывают больше всех электроэнергии.

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 даже самых богатых стран 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 батареи 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 монокристаллических панелей.

Таблица 3.1 – Капитальные затраты для сетевой СЭС из монокристаллических панелей, грн.

№ п / п	Наименование технических средств (комплектующих изделий)	Количество	Цена за единицу, грн.	Сумма, грн.	Обоснование
1	Монокристаллическая панель	108	5434	586872	[29]
2	Инвертор	2	117600	235200	[30]
3	Система креплений на 40 солнечных модулей	2	44505	89010	[31]
4	Система креплений на 30 солнечных модулей	1	28944	28944	[32]
4	Соединители MC4, силовой кабель	108	86	9288	[33]
5	Кабель для солнечных батарей	250	32,83	8207	[34]
Всего:				957521	

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

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

где, $K_{\text{об}} \left(\sum_{i=1}^k \zeta_i \right)$ стоимость приобретения электрооборудования (средств автоматизации, программного обеспечения и т.д.) по проекту или суммарная стоимость комплектующих элементов и - го вида, 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 составляют 8-10 % от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{ТЗС}} = 957521 * 0,1 = 95752 \text{ тыс.грн}$$

Затраты на наладку и монтаж равны 100800 тыс.грн (по данным компании которая осуществляет монтаж и наладку) [35]

Определяем величину проектных капиталовложений:

$$K_{\text{пр1}} = 957521 + 95752,1 + 100800 = 1154073 \text{ грн}$$

3.3. Расчет эксплуатационных затрат

Годовые эксплуатационные затраты по объекту проектирования составляют:

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

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:

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

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

$T_{п}$ – срок полезного использования.

Зная данную группу основных средств определим норму амортизации для солнечных панелей:

$$H_a = \frac{1154073}{1154073 * 12} \cdot 100\% = 8,33\%,$$

Изменение затрат в связи с эксплуатацией солнечных панелей рассчитывается по формуле:

$$C_a^{сп} = K_{пр} \cdot H_a / 100 \quad (3.3)$$

где N_a – норма амортизации

$$C_a^{сп} = 1154073,1 * 8,33 / 100 = 96134 \text{ тыс.грн}$$

Изменение затрат в связи с эксплуатацией инвертора рассчитывается по формуле:

$$C_a^{инв} = K_{пр} \cdot N_a / 100 \quad (3.4.)$$

$$N_a = \frac{1}{12} \cdot 100\% = 8,33\%,$$

$$C_a^{инв} = 1154073,1 * 8,33 / 100 = 96134 \text{ тыс.грн}$$

$$C_T = 96134 + 96134 = 192369 \text{ тыс.грн}$$

3.4. Расчет стоимости выработки электро энергии

При установлении сетевой СЭС мощностью 30 кВт, доход будет составлять:

$$D = P * n * a_{зе} = D_{год} \quad (3.5.)$$

где, P -мощность панелей,

n -количество панелей,

$a_{зе}$ -зеленый тариф на эл. энергию до 2019 г.

$D_{год}$ - годовая экономия

$$D = 108 * 599,5 * 1,64 * 5,09 = 540473 \text{ тыс.грн}$$

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:

$$Э_{год}^{полн} = Э_{год} - C_T, \text{ грн}, \quad (3.6.)$$

$$Э_{год1}^{полн} = 540473 - 192369 = 348104 \text{ тыс. грн.},$$

Период окупаемости составит:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{пр}}}{\text{Э}_{\text{год}}^{\text{полн}}}, \quad (3.7.)$$

$$T_{\text{ок1}} = \frac{1154073}{348104} = 3,3 \text{ года}$$

Вариант 2. Сетевая СЭС с использованием поликристаллических панелей.

Таблица 3.2. Капитальные затраты для сетевой СЭС из поликристаллических панелей

№ п / п	Наименование технических средств (комплектующих изделий)	Количество	Цена за единицу, грн.	Сумма, грн.	Обоснование
1	Поликристаллическая панель	116	4019	466204	[35]
2	Инвертор	2	117600	235200	[31]
3	Система креплений на 40 солнечных модулей	3	44505	133515	[32]
4	Соединители MC4, силовой кабель	116	86	9976	[33]
5	Кабель для солнечных батарей	250	32,83	8207,5	[34]
Всего:				853102,5	

Стоимость транспортно-заготовительных и складских расходов составляют 8-10 % от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{тзс}} = 853102,5 * 0,1 = 85310 \text{ тыс.грн}$$

Затраты на наладку и монтаж равны 100800 тыс.грн (по данным компании которая осуществляет монтаж и наладку оборудования) [35]

Определяем величину проектных капиталовложений:

$$K_{\text{пр2}} = 853102,5 + 85310,25 + 100800 = 1039212 \text{ грн}$$

Зная данную группу основных средств определим норму амортизации для солнечных панелей по формуле 3.1.

$$H_a = \frac{1039212}{1039212 * 12} * 100\% = 8,33 \%$$

Изменение затрат в связи с эксплуатацией солнечных панелей и инвертора рассчитывается по формуле 3.2. 3.3.

$$C_a^{cp} = 1039212,75 * 8,33 / 100 = 86566 \text{ тыс.грн}$$

$$C_a^{инв} = 1154073,1 * 8,33 / 100 = 86566 \text{ тыс.грн}$$

$$C_T = 85666 + 85666 = 173132 \text{ тыс. грн}$$

При установлении сетевой СЭС мощностью 30 кВт, доход будет составлять:

$$D = 116 * 558,2 * 1,64 * 5,09 = 540517 \text{ тыс. грн}$$

Полная годовая экономия от внедрения принятого технического решения определяется с учетом эксплуатационных расходов по данному объекту по формуле 3.6.

$$Э_{год1}^{полн} = 540517 - 173132 = 367384 \text{ тыс. грн.},$$

Период окупаемости составит:

$$T_{ок2} = \frac{1039212}{367384} = 2,8 \text{ года}$$

Выводы по разделу

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

И расчеты показали, что вариант СЭС с поликристаллическими панелями окупится быстрее.

Капитальные вложения для СЭС с монокристаллическими панелями составляют 1154073 грн, срок окупаемости 3,3 года

Для СЭС с поликристаллическими панелями составляют 1039212 грн,
срок окупаемости 2,8 года

Выводы

Можно сделать заключение о том, что в современном мире идут поиски альтернативных источников энергии. Перспективным направлением является солнечная энергетика, которая основана на использовании солнечных батарей.

Был проведен обзор разных типов солнечных панелей, их эффективности, их преимущества и недостатки.

Было проанализирована деградация солнечных модулей, по которой видно, что панели из аморфного кремния ухудшают свои свойства медленнее остальных.

Так же было проанализирован суточный график солнечных панелей, по которому видно, что модули с аморфного кремния имеют гораздо выше КПД при небольшой освещенности. Однако при максимальной освещенности монокристаллические панели вырабатывают больше всех электроэнергии.

Также была обоснована экономическая целесообразность внедрения данного решения на основе следующих параметров: произведен расчет капитальных затрат на приобретение и монтаж оборудования; расчет годовых эксплуатационных расходов на содержание и обслуживание объекта проектирования.

Рассчитано сроки окупаемости двух вариантов, которые подтвердили их экономическую целесообразность внедрения. В этом разделе был проведен расчет капитальных затрат на приобретение и монтаж СЭС, расчет годовых эксплуатационных расходов на содержание и обслуживание объекта проектирования.

Производился анализ двух вариантов. И расчеты показали, что вариант СЭС с поликристаллическими панелями окупится быстрее.

Список использованной литературы

1. Интернет -энциклопедия по обустройству сетей 2016-2018. [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://sovet-ingenera.com/eco-energy/sun/vidy-solnechnyx-batarej.html#i-5>
2. Виды и типы солнечных панелей. [Электронный ресурс].Режим доступа : <http://batsol.ru/vidy-i-tipy-solnechnyx-batarej.html>
3. Сравнительный обзор солнечных панелей. . [Электронный ресурс].Режим доступа : <http://www.solnpanels.com/sravnitelnyj-obzor-solnechnyh-panelej-dlya-vashego-doma/>
4. Сравнительный обзор солнечных панелей. . [Электронный ресурс].Режим доступа : <http://www.solnpanels.com/sravnitelnyj-obzor-solnechnyh-panelej-dlya-vashego-doma/>
5. Типы солнечных панелей. [Электронный ресурс].Режим доступа : http://utem.org.ua/materials/show/tipy_solnechnyh_batarey
6. Тонкопленочные солнечные панели. [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://greenevolution.ru/enc/wiki/tonkoplenochnye-solnechnye-batarei/>
7. Тонкопленочные солнечные панели. [Электронный ресурс].Режим доступа : <http://greenevolution.ru/enc/wiki/tonkoplenochnye-solnechnye-batarei/>
8. Staebler D.L., Wronski C.R. Reversible conductivity changes in dischargeproduced amorphous Si // Appl. Phys. Lett. 31, 1977. P. 292–294.
9. Stutzmann M. Metastability in amorphous and microcrystalline semiconductors // Amorphous and Microcrystalline Semiconductor Devices: Materials and Device Physics, edited by J. Kanicki, MA: Artech House, Norwood, 1992. P. 129–187.
10. Winer K. Defect formation in a-Si:H // Phys. Rev. B41, 1990. P. 12150–12161. 21.
11. Street R.A. Hydrogenated Amorphous Silicon. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 1991.

12. Deposition and extensive light soaking of highly pure hydrogenated amorphous silicon / T. Kamei, N. Hata, A. Matsuda, T. Uchimya et al. // *Appl. Phys. Lett.* 68, 1996. P. 2380–2382.
13. Stutzmann M. Metastability in amorphous and microcrystalline semiconductors // *Amorphous and Microcrystalline Semiconductor Devices: Materials and Device Physics*, edited by J. Kanicki, MA: Artech House, Norwood, 1992. P. 129–187.
14. Kolodziej A. Staebler–Wronski effect in amorphous silicon and its alloys // *OptoElectron. Rev.*, 12, no. 1, 2004.
15. Light induced defect creation kinetics in thin film protocrystalline silicon materials and their solar cells / R. Wronski, J.M. Pearce, R.J. Koval et al. // *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 715, 2002. P. A.13.4.1–A.13.4.12.
16. Kolodziej A., Krewniak P., Nowak S. Technology of the thin silicon solar cells // Report for the State Committee for Scientific Research on realization of the Goal Orientated Research, Project No. PBZ KBN 05/T11/98, AGH, Kraków, 2003.
17. Kolodziej A., Krewniak P., Nowak S. Improvements in silicon thin film solar cell efficiency // *Opto-Electron. Rev.* 11, 2003. P. 71–79.
18. Street R.A., Guha S. *Technology and Applications of Amorphous Silicon*. Berlin: Springer, 2000. P. 1–100, 252–305.
19. Application of deposition phase diagrams for the optimisation of a-Si:H-based materials and solar cells / R.W. Collins, A.S. Ferlauto, G.M. Ferreira, et al. // *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 762, 2003. P. A10.1.1–A10.1.12.
20. Karpov V.G. *Physics of CdTe Photovoltaics from Front to Back* // Invited talk F10.1, MRS Spring Meeting, March 28 – April 1, San Francisco, CA. 2005.
21. Shvydka D., Rakotoniaina J.P., Breitenstein O. Lock-in thermography and nonuniformity modeling of thin-film CdTe solar cells // *Appl. Phys. Lett.* 84, 729, 2004.

22. Sites J. R., Nagle T. J. Cu-related recombination in CdS/CdTe solar cells // Proc. 31th IEEE, PVSC, Orlando, Florida January 3-7, 2005.
23. McMahon T. J., Bernard T. J., Albin D. S. Nonlinear shunt paths in thin-film CdTe solar cells // J. Appl. Phys., 97, 054503, 2005.
24. Karpov V. G., Shvydka D., Roussillon Y. E2 phase transition: Thin-film breakdown and Schottky-barrier suppression // Phys. Rev. B 70, 155332, 2004
25. Karpov V.G., Shvydka D., Roussillon Y. // 31th IEEE, PVSC, Orlando, Florida, 2005.
26. Albin D.S.. Accelerated Stress Testing and Diagnostic Analysis of Degradation in CdTe Solar Cells // SPIE Optics+Photonics Meeting Reliability of Photovoltaic Cells, Modules, Components and Systems San Diego, California August 10–14, 2008
27. Воронков Э.Н. Неравновесные процессы в тонких пленках полупроводников с неупорядоченной структурой: Автореф. дисс. д-ра физ. - мат. наук. -М., 1992. – 42 с.
28. Воронков Э.Н. Исследование конденсированных слоев теллурида кадмия и разработка пленочных фотодиодов и фоторезисторов на их основе: Дисс. канд. физ. -мат. наук. -М., 1967. – 139 с.
29. Солнечная панель. [Электронный ресурс].Режим доступа : <https://elektro.in.ua/home-catalog/solnechnye-paneli/solnechnaya-panel-longi-lr6-60-290-w.html>
30. Сетевой солнечный инвертор. [Электронный ресурс]. Режим доступа:<https://prom.ua/p559275405-setevoj-solnechnyj-invertor;all.html>
31. Система крепления. [Электронный ресурс]. Режим доступа : <https://prom.ua/p542124686-sistema-krepleniya-solnechnyh;all.html>
32. Система крепления. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://prom.ua/p542586897-sistema-krepleniya-solnechnyh;all.html>
33. Коннектор. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://prom.ua/p444341532-konnektor-ms4-para;all.html>

34. Кабель для солнечных панелей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://prom.ua/p612094394-kabel-dlya-solnechnyh;all.html>

35. Сетевая система [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ecoist.com.ua/setevaja-sistema-na-solnechnyh-batarejah30kvt380v.htm>

36. Солнечная панель. [Электронный ресурс]. Режим доступа : <https://elektro.in.ua/home-catalog/solnechnye-paneli/solnechnaya-panel-perlight-plm-270-p.html>

37. Гибкий фотомодуль. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://prom.ua/p548936489-qst-100-gibkij;all.html>