

СОЛНЕЧНЫЙ МОДУЛЬ С ПРЕЛОМЛЯЮЩИМИ КОНЦЕНТРАТОРАМИ И ОПТОВОЛОКОННЫМИ СВЕТОВОДАМИ

Дорошин А.Н. – аспирант, Савельев Д. А.
Московский энергетический институт (технический университет), Россия

Одним из перспективных методов преобразования солнечной энергии в электрическую является метод прямого преобразования с помощью фотопреобразователей. Для изучения процессов передачи солнечного излучения по оптоволоконным световодам была создана специальная экспериментальная установка. В данной работе дано описание системы экспериментальной установки и приведены результаты тестовых экспериментов по изучению влияния длины оптоволоконных световодов на основные характеристики фотоэлектрических преобразователей.

В настоящее время во всем мире резко возрос интерес как к теоретическим, так и к прикладным разработкам в области преобразования солнечного излучения. Успехи фотоэлектрического метода преобразования открывают возможность широко использовать на земле полупроводниковые солнечные батареи, которые в течение вот уже 40 лет служат надежным источником электроэнергии на борту космических аппаратов. Сегодня широкомасштабному распространению солнечных электростанций на земле препятствует высокая себестоимость фотоэлектрических преобразователей (ФЭП).

Существуют многочисленные пути снижения их себестоимости, но самым эффективным и надежным является использование дешевых концентраторов солнечного излучения, так как в этом случае большая поверхность полупроводниковых ФЭП заменяется линзами и зеркалами. Использование сфокусированной энергии приводит к увеличению выходной мощности установки приблизительно прямо пропорционально степени концентрации и к некоторому увеличению КПД преобразования.

Метод преобразования солнечной энергии в электрическую с помощью полупроводниковых солнечных элементов (СЭ) является в настоящее время наиболее разработанным в научном и практическом плане.

Очевидным недостатком солнечного излучения как источника энергии является неравномерность его поступления на земную поверхность, определяемая суточной и сезонной цикличностью, а также погодными ус-

ловиями. Еще недавно вопрос аккумуляции электроэнергии, вырабатываемой с помощью солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ), рассматривался как наиболее критичный при оценке перспектив крупномасштабной солнечной электроэнергетики вследствие необходимости равномерного энергоснабжения потребителей. Одним из приемлемых способов аккумуляции является использование электроэнергии для электролиза воды на водород и кислород с последующим хранением и расходом водорода в качестве обычного топлива или реагента в электрических топливных элементах.

Другим, еще более существенным недостатком солнечного излучения как источника энергии является его низкая плотность. Для выработки заметной электрической мощности необходимо собирать солнечное излучение с больших площадей, покрывая их дорогими полупроводниковыми солнечными элементами. Стоимость получаемой таким образом электроэнергии значительно превосходит стоимость электроэнергии, вырабатываемой традиционными методами. Именно это является основной причиной, сдерживающей развитие крупномасштабной солнечной электроэнергетики.

Один из способов решения данной проблемы – снижение стоимости полупроводниковых материалов и СЭ. Исследования в этом направлении проводятся широким фронтом. Однако в этой области необходимо решение ряда проблем, в первую очередь обеспечение воспроизводимости технологии получения дешевых СЭ и стабильности их параметров.

Предлагаемая работа рассматривает другой способ снижения стоимости солнечной электроэнергии – фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. В этом случае требуемая площадь солнечных элементов, а, следовательно, и их стоимость могут быть снижены пропорционально кратности концентрирования солнечного излучения дешевыми зеркалами или линзами.

СОЛНЕЧНЫЙ МОДУЛЬ С ПРЕЛОМЛЯЮЩИМИ КОНЦЕНТРАТОРАМИ И ОПТОВОЛОКОННЫМИ СВЕТОВОДАМИ

Благодаря применению концентраторов появляется возможность использования в крупномасштабной солнечной электроэнергетике дефицитных и дорогих полупроводниковых материалов, например арсенида галлия и твердых растворов на его основе, обеспечивающих получение термостабильных высокоэффективных СЭ с высоким КПД.

Актуальность исследований обусловлена следующим: мировая фотоэнергетика является одной из самых перспективных и бурно развивающихся отраслей современной промышленности. Ни в одной отрасли за последние годы не наблюдался такой рост производства – 30 и более% (за 2004 г. – 57%). Экологические проблемы, связанные с традиционными источниками энергии, программы правительственной поддержки и целый ряд преимуществ, характерных для фотоэнергетики, определяют всё возрастающий спрос и обеспечивают рост объемов производства.

Фотопреобразователи — самая дорогая часть ФЭС, поэтому наряду с улучшением их показателей актуально использование концентрированного излучения, которое позволяет повысить КПД, снизить стоимость, снизить количество полупроводникового материала.

Использование концентраторов в солнечных установках позволяет повысить температуру теплоносителя в случае теплового преобразования энергии. При фотоэлектрическом преобразовании концентраторы позволяют увеличить эффективность и уменьшить количество дорогих солнечных элементов.

Цель данной работы – разработка новой конструкции фотоэлектрического модуля (ФЭМ) с использованием сфокусированного света и оптоволоконных световодов. В настоящей работе представлен спроектированный и изготовленный фотоэлектрический модуль комбинированного типа с новыми как конструктивными, так и физическими решениями (рисунок 1).

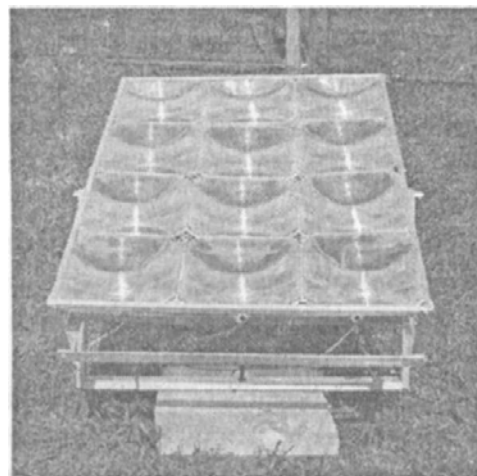


Рисунок 1– Солнечный модуль в натуральных условиях.

Данный модуль представляет собой подвижную рамку с преломляющими концентраторами (www.siltec.ru), которые подходят к солнечным элементам.

При выборе материалов для изготовления солнечного модуля с фотоэлектрическими преобразователями особое внимание следует обратить на зону спектральной чувствительности применяемых солнечных элементов.

Кремниевые солнечные элементы имеют наибольшие значения спектральной чувствительности в желто-красной части спектра ($\lambda = 0,5\text{--}1\text{ мкм}$) с максимумом в красной части спектра ($\lambda = 0,8\text{--}0,9\text{ мкм}$).

Солнечные элементы, используемые в установке, выполнены на основе монокристаллического кремния. Рабочие поверхности текстурированы. Контакты на рабочих поверхностях — сетчатые, полученные осаждением металлических паст методом трафаретной печати.

Круглые солнечные элементы $\varnothing 20\text{ мм}$. Солнечные элементы сохраняют работоспособность в диапазоне температур $-50\text{...}+75\text{ }^{\circ}\text{C}$ при атмосферном давлении $84\text{--}106,7\text{ кПа}$.

В качестве герметизирующей основы, защищающей солнечные элементы от воздействия пыли, применяется этил-винилацетат (ЭВА) толщиной $0,6\text{ мм}$. ЭВА характеризуется высокими теплоизолирующими свойствами и устойчивостью к механическим воздействиям.

Несущая конструкция модуля выполняется из металла марки Ст. 3. Для изгото-

вления профиля концентратора применяется уголок 25Х25Х4 СтЗСП/ПС ГОСТ 8509—93. Для соединения деталей несущей конструкции используют болты по ГОСТ 7798—70 и гайки по ГОСТ 5915—70.

Линзы Френеля представляют собой оптические детали со ступенчатой поверхностью (рис. 2) формы псевдоквадрат со стороной 280 мм.

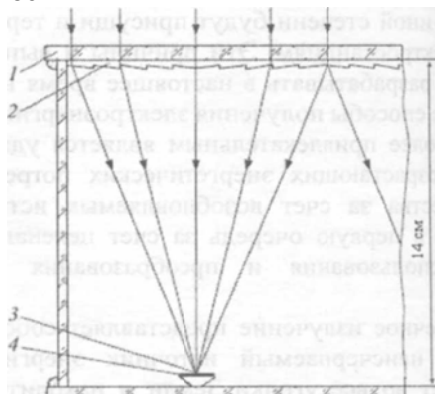


Рисунок 2 – Поперечный разрез концентраторного модуля: 1 – основа линзовой панели, выполненная из стекла; 2 – микропризмы линз Френеля, выполненных из силикона; 3 – сфокусированные солнечные лучи; 4 – устройство, вводящее сконцентрированные лучи в световод

Чем меньше расстояние между соседними ступеньками, тем точнее выполняется условие уменьшения остаточных aberrаций при малой толщине разграничены концентрическими, спиральными или параллельными канавками и представляют собой в первых двух случаях участки конических или сферических поверхностей, а в третьем случае – участки плоскостей или цилиндрических поверхностей.

Такие поверхности с малым шагом технологически осуществимы путем прессования из пластмасс.

Материалом для линз Френеля может быть полиметилметакрилат, имеющий следующие характеристики: $n_D=1,4903$, $n_D=57,8$; температурный коэффициент показателя преломления ($\beta_{t,D}=-16 \cdot 10^{-5}$; температурный коэффициент линейного расширения: $\alpha_t=(70-190) \cdot 10^{-6}$; температура размягчения 72°C и обладающий хорошим пропусканием в ультрафиолетовой области спектра.

Пластмассовые линзы Френеля применяют в качестве луп, конденсоров, призм, зеркал и других оптических деталей, они обеспечивают малые габаритные размеры системы.

Основание модуля выполнено из бетона марки М200 ГОСТ 6666—81.

Солнечный модуль имеет 12 плоских линз Френеля, 12 оптоволоконных световодов по 2 м каждый, расположенные на фокусном расстоянии плоских линз Френеля ($f=14$ см), 12 солнечных элементов 0,20 мм.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ С ПРЕЛОМЛЯЮЩИМИ КОНЦЕНТРАТОРАМИ

Солнечные модули с концентраторами – одна из перспективных областей применения кремниевых фотопреобразователей и один из основных путей снижения стоимости и повышение КПД солнечных систем.

Натурные испытания являются важным этапом в области разработки и исследований солнечных модулей с преломляющими концентраторами. Для определения основных технических характеристик образца модуля фиксируются энергетические характеристики модуля при имеющемся уровне солнечной радиации.

Испытания по определению энергетических параметров модуля проводились на широте Москвы в ясный безоблачный день, когда АМ было близко к 1,5. Интенсивность солнечного излучения составляла около 800 Вт/м^2 , что близко к максимальному значению для условий Москвы. Для унификации результатов испытаний характеристики приводятся к стандартным условиям – интенсивности солнечной радиации $I_{es} = 1000 \text{ Вт/м}^2$ и температуре окружающей среды $+25^\circ\text{C}$.

Программа испытаний включала в себя следующие этапы: проверка внешнего вида, проверка габаритных размеров, проверка массы, измерение энергетических характеристик, проверка углов рассогласования концентратора. Средства измерения, применяемые для лабораторных испытаний, удовлетворяли ГОСТ 24555—81 и ГОСТ 8.513—81.

Проверка внешнего вида, качества происходила с помощью визуального осмотра. Проверка габаритных размеров модуля проводилась измерительным инструментом, обеспечивающим точность и погрешность измерения в соответствии с ГОСТ 8.051—81. Массу модулей определяли взвешиванием на весах с точностью ± 100 г.

Проверка энергетических параметров проводилась при наличии стабильной солнечной радиации.

Электрические параметры образцов фотоэлектрических модулей определялись под

СОЛНЕЧНЫЙ МОДУЛЬ С ПРЕЛОМЛЯЮЩИМИ КОНЦЕНТРАТОРАМИ И ОПТОВОЛОКОННЫМИ СВЕТОВОДАМИ

непосредственным воздействием солнечной радиации посредством снятия вольт-амперных характеристик методом амперметра-вольтметра с регулированием нагрузки: магазин сопротивлений Р-4831 (многозначная МЭС 0-111111,1 Ом $\pm 0,01$, двухдекадная МЭС при измерении сопротивлений методом замещения, кл. точн. 0,2 (шаг от 0,001 Ом)). Измерение параметров вольт-амперных характеристик выполнялось при точной ориентации на солнце.

Концентраторы представляют собой плоские линзы Френеля с геометрическим коэффициентом концентрации $C_g = 100$.

Измерение вольт-амперных характеристик (ВАХ) происходило с помощью цифрового мультиметра Escort EDM-169S с регулируемой активной нагрузкой (базовая погрешность 0,5 %). Электрические параметры солнечного модуля определены с помощью расчетов по данным испытаний в условиях естественного солнечного облучения.

На рисунке 3 показаны вольт-амперные характеристики (ВАХ) солнечного модуля с преломляющим концентратором (линза Френеля) при разных длинах световодов.

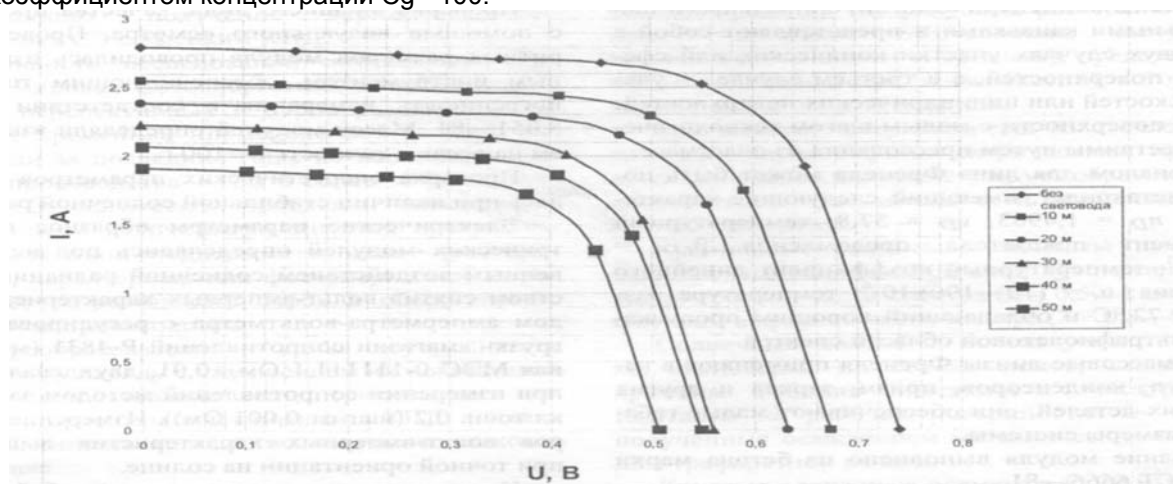


Рисунок 3 – Вольт-амперные характеристики (ВАХ) солнечного модуля с преломляющим концентратором (линза Френеля) при разных длинах световодов

Выводы

Разработаны солнечные модули с преломляющими концентраторами и оптоволоконными световодами. Исследованы технологические и электрофизические параметры солнечных модулей.

Разработана методика проведения испытаний солнечных модулей с преломляющими концентраторами в натурных условиях.

Испытаны образцы солнечных модулей с длиной оптоволоконных световодов 10, 20, 30, 40, 50 м. Результаты исследований показали, что СМ с оптоволоконным световодом длиной 10 м обладает максимальной рабочей мощностью $P_{max} = 1,3$ Вт.

Предложены конструкции на основе солнечных модулей с установкой на земле. СМ позволяют расширить область применения фотопреобразователей, повысить привлекательность и потребительский спрос, более полно удовлетворить запросы потребителей. Солнечные модули с концентраторами и оптоволоконными световодами могут быть ис-

пользованы как в качестве автономных источников электрической и тепловой энергии, так и в системах электроснабжения при создании высокоэффективных солнечных электростанций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория оптических систем: учебник для вузов / Б.Н. Бегунов, Н.П. Заказов, СИ. Кирюшин, В.И. Кузичев. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1981. 432 с.
2. Анистратов А.В., Виссарионов В.И. Фотоэлектрическое устройство с концентраторами, патент на полезную модель № 37576. Государственный реестр полезных моделей Российской Федерации, приоритет полезной модели 30 декабря 2003 г.
3. Алексеев В.В., Рустамов Н.А., Рустамов К.А. Гелиоэнергетика: анализ состояния, перспективы развития, воздействие на окружающую среду. М.: Фирма «Промысел», 1995. 92 с.