

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

*На правах рукописи*

УДК 620.92+621.382

ДОМБРОВСКИЙ  
Евгений Геннадьевич

**МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ДЕГРАДАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ  
РАСЧЕТЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание степени  
магистра техники и технологии

по специальности 1-39 81 01 Компьютерные технологии проектирования  
электронных систем

Минск 2018

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **ХОРОШКО Виталий Викторович**,  
кандидат технических наук, доцент, заведующий  
кафедрой проектирования информационно-  
компьютерных систем учреждения образования  
«Белорусский государственный университет ин-  
форматики и радиоэлектроники»

Рецензент: **ПОЛУБОК Владислав Анатольевич**,  
кандидат технических наук, ведущий инженер-программист  
Республиканского унитарного предприятия «Центр инфор-  
мационных технологий Национального статистического ко-  
митета Республики Беларусь»

Защита диссертации состоится «27» июня 2018 года в 13<sup>00</sup> часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П.Бровки, 6, копр. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## ВВЕДЕНИЕ

На протяжении нескольких веков развитие человечества, в плане энергопотребления, не встречало серьёзных проблем и происходило исключительно за счёт увеличения добычи таких ископаемых как нефть, газ и уголь, однако их запасы ограничены. Развитие технологий добычи труднодоступных месторождений, с учётом постоянно растущего энергопотребления, позволят лишь на незначительный промежуток времени отодвинуть будущие проблемы и к концу XXI века ожидается существенное удорожание традиционных источников энергии. Так, по различным оценкам текущие потребности в ~12-14 ТВт могут увеличиться до трёх раз к концу XXI века. Это обусловлено ростом экономик быстроразвивающихся государств, таких как Китай, Индия, ОАЭ и др., а также увеличением населения Земли.

В то же самое время существует огромный источник экологически чистой энергии, использование которой может позволить человеку решать значительное количество задач по обеспечению энергетической и экологической безопасности. Таким источником энергии является Солнце. Даже для регионов Беларуси годовое количество солнечной энергии, падающей на горизонтальную площадку находится на уровне  $1180 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ .

Фотовольтаический способ преобразования солнечного излучения признан одним из наиболее перспективных способов получения экологически чистой электроэнергии. Создание тонкопленочных фотовольтаических устройств в высокоразвитых странах Европы, США и Японии выделилось в самостоятельную отрасль электронной промышленности (PV-industry), развивающуюся ускоренными темпами. Так как стоимость энергии, добытой с использованием традиционных видов топлива постоянно растёт, а стоимость энергии, получаемой от солнечных батарей постоянно снижается можно предполагать, что в ближайшее время по уровню себестоимости данный вид энергии приблизится к традиционным.

На сегодняшний момент существует большое количество работ по методикам оценки надежности, испытаниям, как на этапе производства, так и на этапе эксплуатации и другим аспектам, позволяющим оценить эффективность применения солнечных электростанций (СЭС) в целом. Значительную информацию исследователи имеют возможность получать с помощью программного обеспечения, интегрированного СЭС. Среди основных авторов на территории СНГ стоит отметить работы Ж.И. Алфёрова, Е.И. Терукова, В.П. Афанасьева, А.А. Шерченкова и др. Среди зарубежных авторов: В.Ж. Strawnberry, Р. Yang, Shmidt J и др.

Вместе с тем, в связи с трудностью определения преимущественного фактора деградации для определенной географической области в публикациях присутствуют коррелирующие между собой, но всё же отличающиеся данные по скоростям деградации СЭ, СМ, СБ. Все вышесказанное определило направленность данной работы: определение гелиоэнергетического потенциала Республики Беларусь, определение параметров деградации солнечных модулей, установление влияния технологических особенностей изготовления модулей на общую скорость деградации СЭС.

# ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

## Актуальность темы исследования

В наземных условиях уровень излучения лишь изредка превышает  $1500 \text{ Вт/м}^2$ , а в условиях Республики Беларусь в среднем не достигает и  $1200 \text{ Вт/м}^2$ . В то же время СЭ могут работать в условиях гораздо большей освещенности. Концентрация солнечной энергии позволяет снизить площадь солнечных панелей. Если СМ изготовлен из высококачественных СЭ на основе монокристаллического кремния, то увеличение уровня освещенности приводит к пропорциональному увеличению тока короткого замыкания ( $I_{кз}$ ) и незначительному росту напряжения холостого хода ( $U_{oc}$ ) при неизменном значении коэффициента заполнения ВАХ ( $ff$ ).

В случае поликристаллических СЭ существует несколько факторов, снижающих КПД: рекомбинация на границах зерен; наличие примесей железа, уменьшающих время жизни неосновных носителей заряда. Поэтому, при проектировании СМ, работающих с концентраторами, необходимо знать процессы рекомбинации в полупроводниковых структурах.

Одной из важнейших тенденций развития являются постоянное повышение КПД солнечных элементов (СЭ) и применения новых материалов. Надежность солнечных панелей и стабильность их характеристик на протяжении всего периода эксплуатации является важнейшей составляющей прогресса фотовольтаики. При увеличении КПД происходит увеличение плотности тока, что предъявляет повышенные требования к качеству паяных соединений, а наличие ошибок пайки может привести к преждевременной деградации электрических характеристик СМ или его выходу из строя.

Все указанные факторы необходимо учитывать при расчете окупаемости установки СЭС в Республике Беларусь. Разработка методик, учитывающих деградационные процессы также является актуальной задачей.

## Степень разработанности проблемы

В настоящее время в Республике Беларусь не существует единой системы сертификации составляющих СБ компонентов: модулей, инверторов, панелей. Также отсутствуют полноценные исследования о влиянии климатических условий РБ на параметры деградации СБ. Указанные параметры необходимо использовать при оценке жизненного цикла СЭС.

Разработка тематики диссертационной работы осуществлялась на основе литературного обзора работ российских и белорусских ученых: Ж.И. Алфёрова, Е.И. Терукова, В.П. Афанасьева, А.А. Шерченкова и др. Среди зарубежных авторов: В. J. Strawnberry, P. Yang, Shmidt J и др.

## Цель и задачи исследования

Целью диссертации является разработка методики оценки жизненного цикла СБ с учетом климатических факторов РБ.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы **следующие задачи:**

- определение гелиоэнергетического потенциала Республики Беларусь;
- определение параметров деградации солнечных модулей
- установление влияния технологических особенностей изготовления модулей на общую скорость деградации СЭС.

### **Область исследования**

Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-38 81 01 Компьютерные технологии проектирования электронных систем. **Объектом** исследования являются солнечные элементы и панели. **Предметом** работы являются электрические характеристики СЭ и СМ.

### **Теоретическая и методологическая основа исследования**

В основу работы легли практический опыт магистранта в сфере электронных систем на возобновляемых источниках энергии, документация и информационные ресурсы разработчиков систем. **Теоретической основой исследований**, проведенных в работе, являются общенаучные методы сравнительного анализа, методы оценки количественной и качественной эффективности СЭС в РБ.

**Методологической основой исследования** являются публикации отечественных и зарубежных исследователей полупроводниковых СЭ/СМ, технической и иной документации. В магистерской диссертации используются следующие общенаучные методы: структурный и сравнительный анализ, метод формализации. В диссертации используется системный подход к разработке методологии оценки жизненного цикла СЭС. В основу изложения научных результатов положена гипотетико-дедуктивная схема научного исследования.

**Научная новизна и значимость полученных результатов** заключается в определении световой деградации СЭ, определении влияния технологических ошибок изготовления СМ на деградацию их электрических характеристик, разработка методики оценки окупаемости СЭС.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Экспериментально установлены параметры световой деградации СЭ на основе поликристаллического кремния: при увеличении уровня освещенности от 500 до 2000 Вт/м<sup>2</sup> происходит линейное уменьшение КПД с 12,5 до 10,4 % из-за рекомбинации носителей заряда на границах зёрен, что позволяет учитывать эти данные при прогнозировании выработки электроэнергии.

2. Установлено влияние технологических ошибок при пайке СМ: наличие 50% некачественных паяных соединений на оборотной стороне любого СЭ в модуле приводит к ускорению деградации электрических характеристик модуля за счёт уменьшения коэффициента заполнения ВАХ до 4,5 раз.

3. Разработана методика оценки жизненного цикла и окупаемости на примере СЭС 57 кВт в климатических условиях Республики Беларусь: с учетом деградационных факторов прибыль СЭС начнет приносить только начиная с 12 года своей установки.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в том, что в ней предложен подход к построению экономически и функционально методологии оценки жизненного цикла СЭС.

**Практическая значимость** диссертации состоит в том, что на основе предложенных методов возможна эффективная оценка применения СЭС с учетом разнообразных факторов.

### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Результаты исследования были применены на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем в учебном процессе.

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 54-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, Беларусь, 2018 г.), на международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современных исследований» (Омск, Россия, 2018) и на международной научно-практической конференции «Вопросы современных научных исследований» (Омск, Россия, 2018).

### **Публикации**

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в четырех опубликованных работах общим объемом 0,8 авторского листа.

### **Структура и объем работы**

**В первой главе** приведен обзор моделей солнечных элементов на основе полупроводников, а также строение солнечных панелей. **Во второй главе** проведены исследования деградации солнечных элементов и модулей под влиянием иммитационных факторов, проведена оценка гелиоэнергетического потенциала СЭС в Республике Беларусь. **В третьей главе** была разработана методология учета деградационных процессов солнечных модулей при расчете жизненного цикла СЭС. **В приложении** представлены публикации автора и акт внедрения.

Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка. Общий объем диссертации – 74 страницы. Работа содержит 35 рисунков и 10 таблиц. Библиографический список включает 115 наименований. Список собственных публикаций включает 4 наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено использования солнечного излучения как альтернативного источника энергии и перспективы развития данного направления, указаны основные направления исследований, проводимых по данной тематике, а также описано обоснование актуальности темы.

В **общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также апробация работы.

В **первой главе** проведен анализ моделей солнечных элементов. Потенциал развития солнечной энергетики заключен в использовании тонкопленочной технологии, однако, препятствием на пути массового внедрения этой технологии является, в том числе, не высокая надёжность солнечных батарей этого типа. Предельное время жизни солнечного элемента обусловлено деградацией основного барьера, однако существует ряд эффектов, которые выводят из строя батарею существенно раньше.

Обобщена история деградации с использованием полевых тестов, зарегистрированных в литературе за последние 40 лет. Почти 2000 показателей деградации, измеренных на отдельных модулях или целых системах, были собраны из литературы и показывают среднюю скорость разложения 0,8% в год и медианную величину 0,5% в год. Большинство, 78% всех данных, сообщили о степени деградации <1% / год. В течение последнего десятилетия показатели деградации тонкой пленки значительно улучшились, хотя они статистически ближе к 1% в год, чем к  $0 \cdot 5\%$  / год, необходимые для удовлетворения 25-летних коммерческих гарантий.

Несмотря на прогресс, достигнутый за последнее десятилетие, некоторые интересные вопросы, такие, как линейность и точное воздействие климата, не были удовлетворительными. Тем не менее в последние годы быстро растет число публикаций, посвященных долгосрочной деятельности, что отражает важность данной темы. Наконец, в настоящее время может существовать накопленный опыт работы на местах для поддержки долгосрочных гарантий как потому, что в настоящее время существует продукция на местах в течение более чем 25 лет, так и потому, что средний показатель деградации по-прежнему позволяет разумно работать после 25 лет.

Во **второй главе** были проведены испытания солнечных элементов и панелей. Для исследования были использованы 10 СЭ на основе поликристаллического кремния размером  $52 \times 52$  мм<sup>2</sup>. Образцы были получены скрайбированием исходного СЭ размером  $156 \times 156$  мм<sup>2</sup>. Все СЭ были проверены на отсутствие замыкающих контактов между тыльным и фронтальными электродами, которые могли

возникнуть в результате процесса скрайбирования. Пайка осуществлялась с помощью шин (медь чистоты 99,99 %, луженая оловянно-свинцовым припоем). В процессе исследований происходило измерение ВАХ при различных уровнях освещенности: 500, 750, 1000, 1250, 1500, 2000 Вт/м<sup>2</sup>. Как известно,  $U_{oc}$  СЭ сильно зависят от температуры, поэтому для исключения влияния повышенной температуры применялось охлаждение образцов в процессе измерений. Температура во всех измерениях контролировалась с помощью ИК пирометра и составляла 20-21 °С. Среднеарифметические результаты измерений электрических характеристик образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений

$P_{пад}, \text{Вт/м}^2$	$U_{oc}, \text{мВ}$	$I_{sc}, \text{мА}$	$ff, \%$	$\eta, \%$
500	594	398	71,6	12,5
750	594	602	71,8	12,6
1000	596	810	72,2	12,5
1250	600	1020	71,5	12,3
1500	600	1240	65,5	11,4
2000	602	1605	58,2	10,4

Как видно из таблицы увеличение напряжения холостого хода (незначительное) и тока короткого замыкания (линейное) соответствуют теории. Основной причиной падения КПД является уменьшение коэффициента заполнения ВАХ, что объясняется большим уменьшением шунтирующего сопротивления  $R_{sh}$  по сравнению со сравнительно медленным падением последовательного сопротивления  $R_s$ . Таким образом итоговое падение КПД при увеличении освещения составило 17 %.

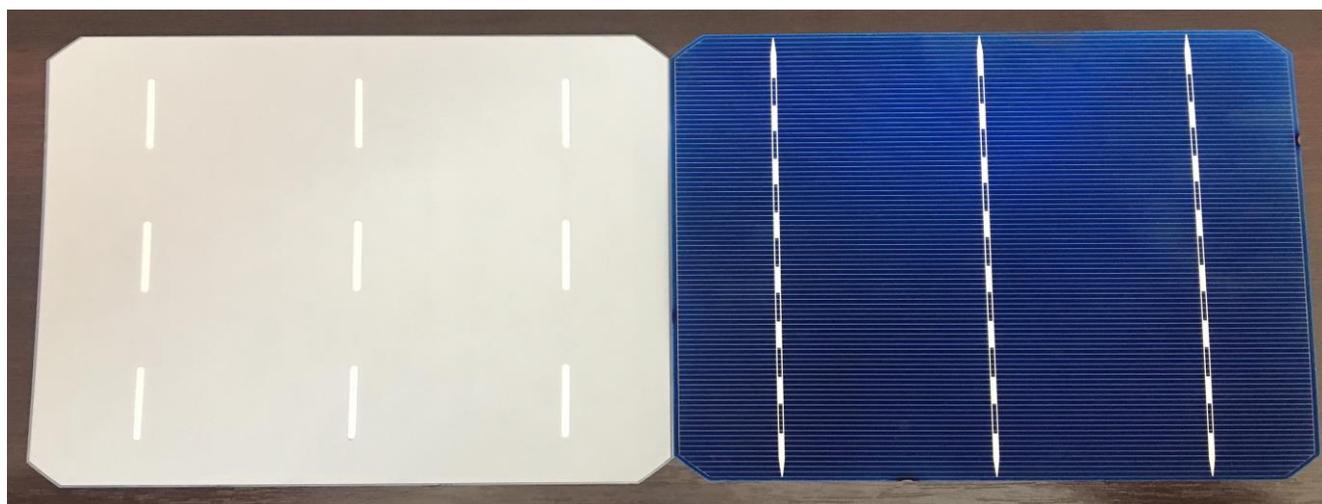
Для исследований специально были взяты СЭ класса Б для того, чтобы можно было более четко зафиксировать падение КПД при увеличении освещенности. Целью работы являлось исследование электрических характеристик поликристаллических СЭ при высоких уровнях освещенности. Было установлено, что для всех 10 образцов значения электрических характеристик в точке максимальной мощности не соответствовали теоретическим.

Было показано, что теоретические модели переноса носителей заряда в СЭ представлены и хорошо описывают поведение ВАХ в крайних точках, но в то же время не объясняют уменьшение коэффициента заполнения. Уменьшение  $ff$  увязано в исследуемых СЭ с наличием примесей железа в кремнии и именно этим объясняется нелинейное изменение времени жизни неосновных носителей заряда и как следствие нелинейное изменение КПД.

Современные СЭ при КПД ~ 21 % способны в условиях АМ 1,5 способны давать мощность около 5 Вт. При увеличении КПД происходит увеличение плотности тока, что предъявляет повышенные требования к качеству паяных соедине-

ний, а наличие ошибок пайки может привести к преждевременной деградации электрических характеристик СЭ или его выходу из строя.

Было исследовано влияние различных вариантов ошибок пайки на фронтальной и оборотной сторонах СЭ (рисунок 1) при сборке СМ. В эксперименте использовались монокристаллические СЭ класса А с КПД 20,6 % производства CNH Solar. Внешний вид показан на рисунке 1. Спереди имеются 24 контактные площадки, с обратной стороны 9 контактных площадок. Исходные параметры: КПД – 20,7 %;  $U_{oc}$  – 0,65 В;  $I_{sc}$  – 9,65 А;  $U_{mpp}$  – 0,55 В;  $I_{mpp}$  – 9,16 А. Для оценки влияния ошибок пайки часть контактных площадок не паялась, при этом использовались типы ошибок, показанные в таблице 2. После пайки проводились ускоренное старение контактов при температуре 160 °С в атмосфере азота в течении 150 часов. При этом проводились периодические измерения параметров в условиях эквивалентных АМ 1,5 1000 Вт/м<sup>2</sup>. Перед измерениями проводилось двухчасовое охлаждение образцов с целью исключения появления дефектов паяных соединений за счет различных коэффициентов термического расширения шин и СЭ.



**Рисунок 1 – Внешний вид исследуемых СЭ до пайки**

Для исключения погрешностей измерений в каждом из случаев ошибки использовалось по 5 образцов. В таблицу 2 занесены среднеарифметические значения деградации. Установлено, что дефекты пайки на фронтальной стороне не оказывают существенного влияния на электрические характеристики. Дефекты оборотной стороны СЭ оказывают существенное влияние на выходные характеристики снижая коэффициент заполнения ВАХ, что при работе в первую очередь будет вызывать систематические перегревы СЭ в модуле. Освещение СЭ осуществлялось при помощи 4 светодиодных матриц по 150 Вт, а освещенность калибровалась по току короткого замыкания эталонного СЭ, измеренного на повернутом имитаторе спектра солнечного излучения. Уровень неоднородности внутри светового пятна составлял не более 3 %. Температура образцов контролировалась пирометром.

Таблица 2 – Среднеарифметические значения

№ п/п	Ошибки пайки	Относительное падение $P_{mp}$ , %		
		Через 50 ч	Через 100 ч	Через 150 ч
1	Без ошибок пайки	1,5	1,9	4
2	25 % фронтальной стороны	1,8	2,5	4,5
3	50 % фронтальной стороны	1,8	3,2	5,3
4	25 % обратной стороны	4,6	9,7	13,5
5	50 % обратной стороны	8,2	14,1	18

По результатам испытаний уменьшение  $U_{oc}$  происходит не более чем на 0,5 % независимо от вида образца.  $I_{sc}$  уменьшился на 1,5% в случае №4, однако никакой статистической зависимости между его падением и типом образца обнаружено не было. Наибольшее падение зафиксировано для  $ff$ , которое и определило общую деградацию СЭ.

Можно сделать выводы, что ошибки при пайке на фронтальной стороне не вносят существенный вклад в ухудшение электрических характеристик. Наличие некачественных паяных соединений на обратной стороне СЭ довольно быстро приводит к ухудшению  $ff$ , которое в экспериментах составило до 17-18 %. На те же 17-18 % в таком случае снизилась бы КПД и мощность СМ. В случае длительной эксплуатации такой модуль будет работать, но выработка будет значительно меньше, чем у других качественных модулей. Причём независимо от того как модули соединены в солнечной батарее (СБ) последовательно или параллельно, такой модуль будет в целом ухудшать работу всей СБ.

Проведен расчет потенциала применения солнечных электростанций в климатических условиях Республики Беларусь на примере СЭС мощностью 57 кВт. Установлено, что прибыль СЭС начнет приносить только начиная с 12 года своей установки. В случае, когда СЭС работает только на продажу электроэнергии в сеть по «зелёному» тарифу окупаемость наступит раньше (рисунок 2).

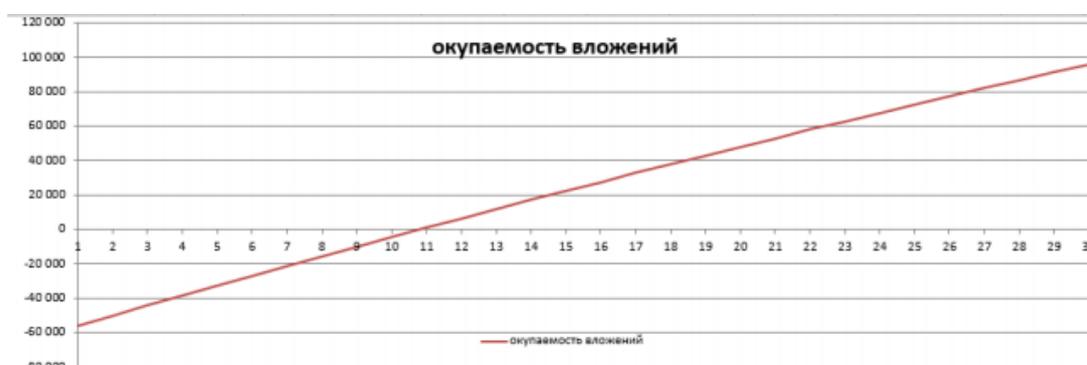


Рисунок 2. – График окупаемости

В третьей главе с использованием моделирования и расчетов показано, что с развитием солнечной энергетики и ростом мощностей солнечных электро-

станций, их конструкция должна определяться не только целевыми энергетическими показателями, но и надёжностью конструкции этой электростанции.

С использованием математической диффузионно-дрейфовой модели фотопреобразователей при расчёте тонкопленочной фоточувствительной структуры Mo/CIGS/CdS/ZnO/Ni-Al были получены данные о некоторых оптимальных значениях для составляющих слоев: ширина запрещённой зоны поглощающего слоя не менее 1,15 эВ; толщина активного поглощающего слоя не менее 1,5 мкм; для увеличения всех выходных параметров последовательное сопротивление должно быть минимально возможным.

Показано, что даже элементы, которые сами по себе имеют высокие показатели средней наработки на отказ, при больших количествах используемых элементов не обеспечивают высокие показатели надёжности. Даны рекомендации по внедрению «умных» модулей, способных выявлять вышедшие из строя элементы и восстанавливать нормальную работу солнечных электростанций.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## Основные научные результаты диссертации

1. Проведен анализ моделей солнечных элементов. Потенциал развития солнечной энергетики заключен в использовании монокристаллических и поликристаллических элементов, но их деградационные характеристики по-прежнему высоки. 78% всех данных, показывают степень деградации  $\sim 1\%$  / год.

2. Теоретические модели переноса носителей заряда в СЭ представлены и хорошо описывают поведение ВАХ в крайних точках, но в то же время не объясняют уменьшение коэффициента заполнения. Уменьшение  $ff$  увязано в исследуемых СЭ с наличием примесей железа в кремнии и именно этим объясняется нелинейное изменение времени жизни неосновных носителей заряда и как следствие нелинейное изменение КПД.

3. Исследовано влияние различных вариантов ошибок пайки на фронтальной и оборотной сторонах СЭ при сборке СМ. Установлено, что дефекты пайки на фронтальной стороне не оказывают существенного влияния на электрические характеристики. Дефекты оборотной стороны СЭ оказывают существенное влияние на выходные характеристики снижая коэффициент заполнения ВАХ, что при работе в первую очередь будет вызывать систематические перегревы СЭ в модуле.

4. Проведен расчет гелиоэнергетического потенциала СЭС на примере фотоэлектрической станции мощностью 57 кВт. Показано, что прибыль от её использования наступит только начиная с 12 года установки. В случае, когда СЭС работает только на продажу электроэнергии в сеть по «зелёному» тарифу окупаемость наступит раньше.

5. Показано, что с развитием солнечной энергетики и ростом мощностей солнечных электростанций, их конструкция должна определяться не только целевыми энергетическими показателями, но и надёжностью конструкции этой электростанции. Установлено, что даже элементы, которые имеют высокие показатели средней наработки на отказ, при больших количествах используемых элементов не обеспечивают высокие показатели надёжности. Даны рекомендации по внедрению «умных» модулей, способных выявлять вышедшие из строя элементы и восстанавливать нормальную работу солнечных электростанций.

## Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно–компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники в учебный курс «Электронные системы на возобновляемых источниках энергии».

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### *Статьи в сборниках научных трудов*

1. Фещенко А.А., Марков А.Н., Домбровский Е.Г. Прогнозирование деградации солнечных элементов / А.Н. Марков, А.А. Фещенко, Е.Г. Домбровский // Материалы работы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск: БГУИР, 7-11 мая 2018 (в печати)

2. Хорошко В.В., Фещенко А.А., Марков А.Н., Домбровский Е.Г. Световая деградация электрических характеристик поликристаллических солнечных элементов / Хорошко В.В., Фещенко А.А., Марков А.Н., Домбровский Е.Г. // II Международная научно-практическая конференция. Актуальные исследования и инновации. – Самара: Центр научных исследований и консалтинга, 9 июня 2018 (в печати)

3. Хорошко В.В., Фещенко А.А., Марков А.Н., Голубов Н.А., Домбровский Е.Г., Жидиляева Н.И. Влияние ошибок при пайке солнечных элементов на скорость деградации их электрических характеристик / Хорошко В.В., Фещенко А.А., Марков А.Н., Голубов Н.А., Домбровский Е.Г., Жидиляева Н.И. // Международная конференция «Актуальные вопросы современных исследований». – Омск: Научный центр «Дельта», 11 июня 2018 (в печати)

4. Хорошко В.В., Фещенко А.А., Марков А.Н., Голубов Н.А., Домбровский Е.Г., Жидиляева Н.И. Потенциал применения солнечных электростанций в климатических условиях Республики Беларусь / Хорошко В.В., Фещенко А.А., Марков А.Н., Голубов Н.А., Домбровский Е.Г., Жидиляева Н.И. // XXVI Международная научно-практическая конференция «Вопросы современных научных исследований». – Омск: Научный центр «Орка», 12 июня 2018 (в печати)

## РЭЗІЮМЭ

Дамброўскага Яугенія Геннадзьевіча

### Метадалогія ацэнкі дэградацыі сонечных панеляў при разліку жыццёвага цыклу сонечнай электрастанцыі

**Ключавыя словы:** сонечная электрастанцыя, фотавальтаіка, мадэляванне.

**Мэта працы:** мэта работы заключалася ў выяўленні асноўных працэсаў, якія прыводзяць да дэградацыі сонечных элементаў і батарэй на аснове аналізу дадзеных атрыманых практычным шляхам, і пабудове мадэляў, якія б дазволілі ацаніць уплыў канструктыўна-тэхналагічных параметраў і ўмоў эксплуатацыі на дэградацыю сонечных элементаў і працягласць жыццёвага цыклу сонечных электрастанцыі.

**Атрыманя вынікі і іх навізна:** Вільготнасць аказвае значны ўплыў на карозію металаў і гідроліз пластмас. Вадзяной пар дыфундзіруе праз заднюю сценку тыповага модуля і ў EVA (этиленвинилацетат) утворацца інкапсулянт. Гэта прыводзіць да паслаблення сувязяў кантактаў і алюмініевай металізацыі на заднім боку. Гэта, у сваю чаргу, памяншае магчымасць пераносу зараду ў канчатковым рахунку зніжаючы прадукцыйнасць модуля, таксама гэта можа паскорыць карозію металу і прывесці да зніжэння эфектыўнасці. У рэшце рэшт, хоць вада не лёгка расейваецца ў крэмнію, яна можа змяняць хуткасць павярхоўнай рэкамбінацыі

Сонечныя элементы ў модулі з'яўляюцца, крыніцамі току, злучаны-нымі паслядоўна. Калі іх бягучы струмень не ідэальна супадае, узнікаюць страты і неадпаведнасці, а «самыя слабыя» вочкі пачынаюць працаваць у зваротным зрушэнні. Калі клетка знаходзіцца ў зваротным зрушэнні, яна па сутнасці спажывае энергію з суседніх клетак і пераўтворае яе ў цяпло. Гэта прыводзіць да знясілення энергіі і патэнцыйна разбурае цеплааддачу ў здзіўленай клетцы. Агульная прычына неадпаведнасці і зваротнага зрушэння абумоўлена частковым зацяненне, якое можа мець месца ў шырокім дыяпазоне выпадкаў.

**Ступень выкарыстання:** Атрыманя вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектравання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм ўстанавы адукацыі "Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі ў навучальны курс "Электронныя сістэмы на аднаўляльных крыніцах энергіі".

**Вобласць прымянення:** энергетыка Рэспублікі Беларусь, аднаўляльныя крыніцы энергіі.

## РЕЗЮМЕ

Домбровского Евгения Геннадьевича

### Методология оценки деградации солнечных панелей при расчете жизненного цикла солнечной электростанции

**Ключевые слова:** солнечная электростанция, фотовольтаика, деградация

**Цель работы** заключалась в выявлении основных процессов, приводящих к деградации солнечных элементов и разработка методики оценки жизненного цикла СБ с учетом климатических факторов РБ.

**Полученные результаты и их новизна:** исследовано влияние различных вариантов ошибок пайки на фронтальной и оборотной сторонах СЭ при сборке СМ. Установлено, что дефекты пайки на фронтальной стороне не оказывают существенного влияния на электрические характеристики. Дефекты оборотной стороны СЭ оказывают существенное влияние на выходные характеристики снижая коэффициент заполнения ВАХ, что при работе в первую очередь будет вызывать систематические перегревы СЭ в модуле.

Проведен расчет гелиоэнергетического потенциала СЭС на примере фотоэлектрической станции мощностью 57 кВт. Показано, что прибыль от её использования наступит только начиная с 12 года установки. В случае, когда СЭС работает только на продажу электроэнергии в сеть по «зелёному» тарифу окупаемость наступит раньше.

**Степень использования:** Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники в рамках учебной дисциплины «Электронные системы на возобновляемых источниках энергии».

**Область применения:** электронные системы на возобновляемых источниках энергии.

## SUMMARY

**Dombrovskiy Evgeny Gennadevich**

### **Methodology for assessing the degradation of solar panels in the calculation of the life cycle of a solar batteries**

**Keywords:** solar battery, photovoltaic, degradation

**Purpose of the work:** was to identify the main processes leading to the degradation of solar cells and the development of a methodology for assessing the life cycle of the Security Council, taking into account the climatic factors of the Republic of Belarus

**The results obtained and their novelty:** The influence of various variants of solder errors on the front and back sides of the solar cell during the assembly of SM is investigated. It is established that solder defects on the front side do not have a significant effect on the electrical characteristics. Defects of the back side of the solar cells have a significant effect on the output characteristics, reducing the filling factor of the VAC, which in the first instance will cause systematic overheating of the solar cells in the module.

The solar energy potential of SES is calculated using the example of a photoelectric station with a power of 57 kW. It is shown that profit from its use will come only from the 12th year of installation. In the case when SES only works to sell electricity to the grid, the "green" tariff will pay off earlier.

**Degree of use:** The results are implemented in the educational process at the Department of Design of Information and Computer Systems of the Educational Establishment "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics within the framework of the educational discipline" Electronic Systems on Renewable Energy Sources ".

**Scope:** renewable energy sources.