

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

*На правах рукописи*

УДК 621.311.243

**ТРОФИМОВИЧ**  
**Андрей Владимирович**

**ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ  
И ПАНЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание степени  
магистра техники и технологий

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

Минск 2019

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: **ПАВЛОВИЧ Александр Эдуардович**,  
кандидат технических наук, доцент

Защита диссертации состоится «28» июня 2019 года в 9<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 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

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.

# 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.

Одним из важнейших факторов, влияющих на эффективную работу солнечной электростанции является температура. Так в солнечный и морозный зимний день генерация солнечной электростанции может быть заметно больше чем в такой же солнечный, но жаркий летний день. Использовать энергию солнца можно в хозяйственной деятельности человека для обеспечения бытовых нужд, на промышленных предприятиях, для горячего водоснабжения и отопления. Преобразование солнечную энергию в электричество, можно обеспечивать освещение зданий, приводить в движение элементы самолётов, автомобилей, космических аппаратов.

Все указанные факторы необходимо учитывать при расчете окупаемости установки СЭС в Республике Беларусь.

## Степень разработанности проблемы

В настоящее время в Республике Беларусь не существует единой системы сертификации составляющих ФЭС 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.Ф. Гременка, М.С. Тиванова, В.Б. Залесского, В.В. Хорошко и др. Среди зарубежных авторов: В.Л. Strawnberry, Р. Yang, Shmidt J и др.

## Цель и задачи исследования

Целью диссертации является оценка температурных режимов солнечных батарей и панелей на основе анализа их вольт-амперных характеристик.

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

- аналитическое исследование методик испытаний ФЭС и составляющих её модулей;
- оценка влияния температурных режимов на эффективность работы солнечных элементов;
- определение гелиоэнергетического потенциала ФЭС, с установленной мощностью до 104 кВт для условий Республики Беларусь.

### **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 фотоэлектрические преобразователи, модули, батареи. **Предметом** работы являются изменения электрических характеристик ФЭС при изменениях температурных режимов.

### **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 ФЭС в РБ.

**Методологической основой исследования** являются публикации отечественных и зарубежных исследователей полупроводниковых ФЭС, 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 ФЭС. В основу изложения научных результатов положена гипотетико-дедуктивная схема научного исследования.

**Научная новизна и значимость полученных результатов** заключается в исследовании вольт-амперной характеристики ФЭС, определении влияния технологических особенностей изготовления модулей ФЭС на изменение их электрических характеристик с течением времени, гелиоэнергетический потенциал ФЭС, с установленной мощностью до 104 кВт в климатических условиях Республики Беларусь.

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

1. Установлены основные показатели вольт-амперной характеристики ФЭС: рассогласование коэффициентов термического расширения материалов фотоэлектрических модулей, воздействие УФ-излучения, недостатки кон-

структуры соединительных элементов, что приводит к уменьшению электрических характеристик в среднем на 1% в год.

2. Проведены ускоренные испытания солнечных элементов с КПД 21 %, что позволило установить: влияние температурных режимов на вольт-амперную характеристику, фоточувствительность образцов.

3. На примере проекта стационарной ФЭС, устанавливаемой под углом 30° к горизонту и азимутом 30°, установленной мощностью 104 кВт, разработана модель выработки электроэнергии и периода окупаемости.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в том, что в ней предложен подход к построению методик оценки эффективности применения ФЭС в Республике Беларусь на основе исследований влияния климатических условий эксплуатации.

**Практическая значимость** диссертации состоит в том, что на основе предложенных методов возможна эффективная оценка эффективности применения ФЭС 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.), 55-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, Беларусь, 2019 г.).

### **Публикации**

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в девяти опубликованных работах.

### **Структура и объем работы**

**В первой главе** приведен обзор конструкций фотоэлектрических преобразователей и разработка фотоэлектрических модулей. **Во второй главе** проведены исследования вольт-амперной характеристики солнечных элементов и модулей под влиянием, выявлена зависимость полученных результатов от температуры, так же был проведен анализ сценария работы ФЭС мощностью 104 кВт и с учетом влияния ультрафиолетового излучения, термоциклирования и др. эксплуатационных факторов. **В третьей главе** был проведен анализ надежности 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 – 104 страниц. Работа содержит 22 ри-

сунков и 10 таблиц. Библиографический список включает 92 наименований. Список собственных публикаций включает 9 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрены физические принципы использования энергии Солнца как основного источника для электронных систем на возобновляемых источниках энергии и перспективы развития данного направления, указаны основные области проводимых исследований, 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 (СЭ). В качестве основных приведены модели СЭ на основе поли, монокристаллического, и аморфного кремния.

Проведен литературный обзор, с использованием более 70 научных статей за период 1990-2015 с информацией об эксплуатации ФЭС. Выделены основные механизмы изменения электрических характеристик модулей, инверторов. Исследования позволили установить, что средняя скорость уменьшения КПД ФЭС составила 0,8 %. При этом стоит отметить значительный процент случаев, при которых происходит полная потеря модуля из-за внезапно наступающих отказов.

Несмотря на прогресс, достигнутый за последнее десятилетие, некоторые интересные вопросы, такие, как линейность и точное воздействие климата, не были установлены. Тем не менее в последние годы быстро растет число публикаций, посвященных долгосрочной деятельности, что отражает важность данной темы.

Во **второй** проводятся ускоренные испытания фотоэлектрических преобразователей. В эксперименте использовались монокристаллические СЭ класса А с КПД 20,6 % производства CNH Solar. Изначальные параметры: КПД – 20,7 %;  $U_{oc}$  – 0,65 В;  $I_{sc}$  – 9,65 А;  $U_{mpp}$  – 0,55 В;  $I_{mpp}$  – 9,16 А. Испытания проводились при температуре 150 °С в течении 200 часов с периодическим измерением характеристик через каждые 50 часов. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений

Время, ч	$U_{oc}$ , мВ	$I_{sc}$ , А	$ff$ , %	$\eta$ , %
50	680	9,25	78	19,2
100	675	9,12	72	17,5
150	677	8,78	70	16,4
200	670	8,7	68	15,8

По результатам испытания можно отметить, что старение солнечных элементов при проведении ускоренных испытаний происходит преимущественно за счёт старения контактов и как следствие увеличения последовательного сопротивления, что обусловило потерю 16 % в точке максимальной мощности, а также деградации на 10 % за счет уменьшения фототока СЭ.

Были проведены исследования вольт-амперной характеристики при различных температурных режимах. Произведены замеры напряжения холостого хода и тока короткого замыкания. Измерения проводим при различной мощности и различном спектральном составе излучения. Питающее напряжение, подаваемое на лампы 220В и 240В. При 240В мощность, потребляемая лампами, увеличивается с 600 до 655 ватт, что увеличивает температуру нагрева солнечной батареи и позволяет в более широких пределах исследовать температурную зависимость основных выходных величин. Результаты измерений занесены в таблицу 2 и таблицу 3.

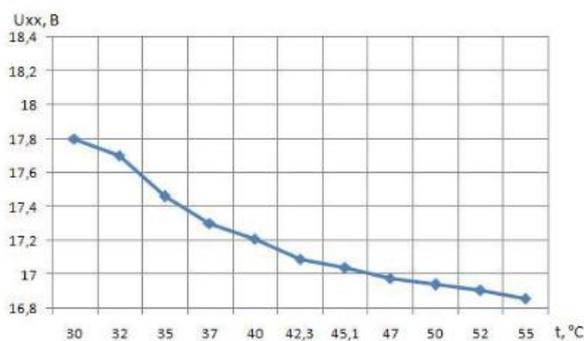
Таблица 2 – Зависимость напряжения холостого хода и тока короткого замыкания от температуры солнечной батареи при напряжении питания 220В.

Температура, °С	Напряжение холостого хода, В	Ток короткого замыкания, А
30	17,8	155,3
32	17,7	155,4
35	17,46	155,5
37	17,3	155,2
40	17,21	155,6
42,3	17,09	155,1
45,1	17,04	155,3
47	16,98	155,4
50	16,94	155,6
52	16,91	155,5
55	16,86	155,3

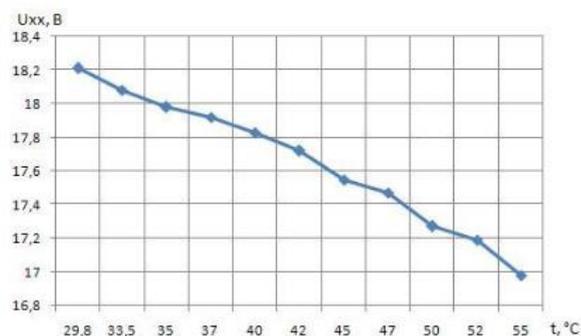
Таблица 3 – Зависимость напряжения холостого хода и тока короткого замыкания от температуры солнечной батареи при напряжении питания 240В.

Температура, °С	Напряжение холостого хода, В	Ток короткого замыкания, А
29,8	18,21	178
33,5	18,08	177,9
35	17,98	178
37	17,92	177,7
40	17,83	177,8
42	17,72	178,1
45	17,55	178
47	17,47	178
50	17,27	178,2
52	17,19	178
55	16,98	177,9

На рисунке 1 построены соответствующие графики по данным из таблицы 2 и таблицы 3 соответственно:



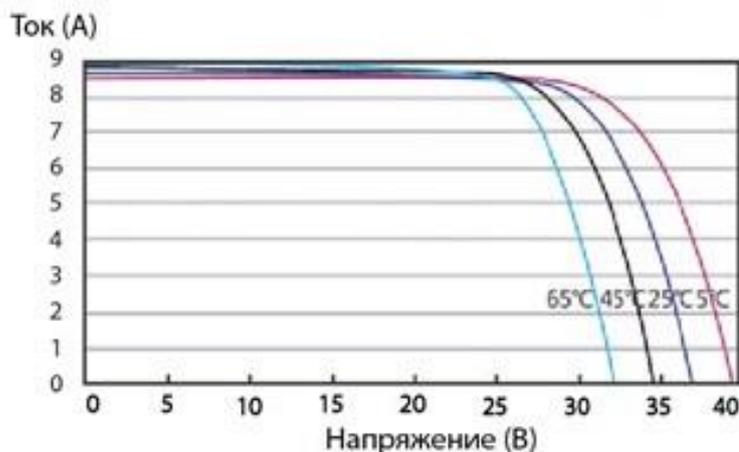
а – при напряжении питания 220в;



б – при напряжении питания 240В

**Рисунок 1 – График зависимости напряжения холостого хода от температуры**

Как видно из рисунка 2, с повышением температуры ток короткого замыкания остаётся неизменным, а напряжение холостого хода уменьшается линейно, следовательно, учитывая постоянство коэффициента заполнения, повышение температуры снижает мощность солнечной батареи. Любой способ снижения рабочей температуры фотоэлектрического преобразователя даже на один градус в течение года дает ощутимый прирост мощности.



**Рисунок 2 – Кривые P-V при различных температурах**

Эксперимент показывает снижение напряжения холостого хода на  $0.0376 \text{ В}/^\circ\text{C}$ , в эксперименте при напряжении питания 220В и  $0.0488 \text{ В}/^\circ\text{C}$  для напряжения питания в 240В, что соответствует потере мощности на 0.211 и 0.268 процента соответственно, при повышении температуры на  $1^\circ\text{C}$ .

Так же проводится моделирование сценариев эксплуатации ФЭС, с мощностью 104 кВт. В таблице 4 приведен состав оборудования для формирования ФЭС.

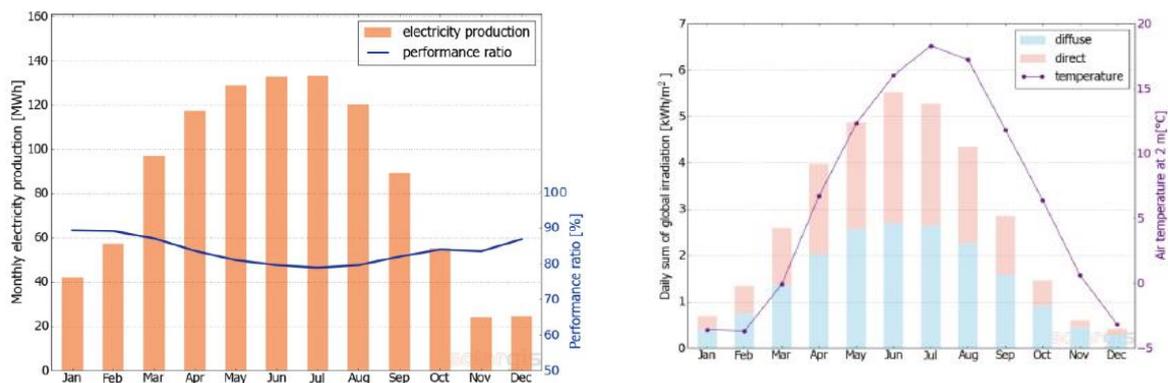
Таблица 4 – Состав оборудования

№ п/п	Наименование	Кол-во, шт
1	Фотоэлектрический модуль Sunpower E20-327-COM 327w	320
2	Инвертор Sungrow 60KTL	2
3	Инвертор Sungrow 20KTL	1
4	Кабель PV, Провод ПуГВ, кабель ПВС, коннекторы MC4, металлорукав	1
5	Комплект креплений	1
6	Силовой щиток, автоматика, грозозащита	1
<b>Итого за оборудование, евро</b>		<b>97 000</b>

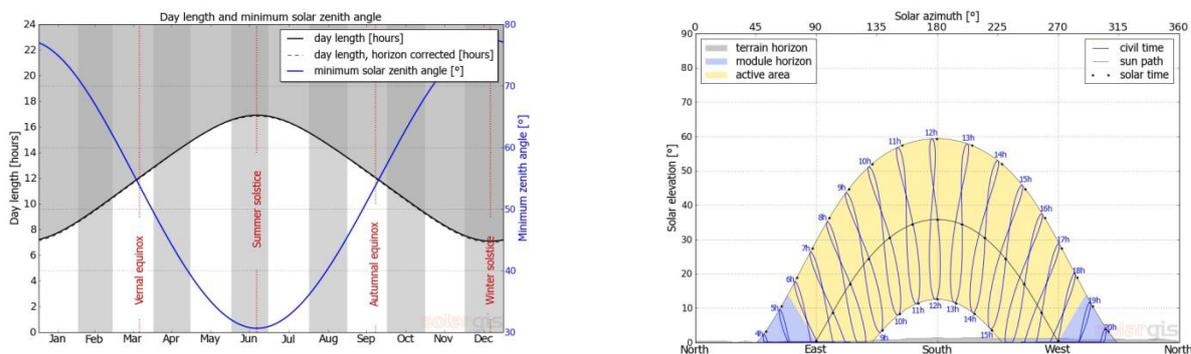
Устанавливаемая ФЭС имеет стационарный угол  $30^\circ$  и азимут  $30^\circ$ . В таблице 5 и рисунке 4 даны сведения по выработке электроэнергии, основанные на среднеарифметических данных по уровням инсоляции в области установки за 30 лет, а также технических характеристиках оборудования.

Таблица 5 – Планируемая выработка электроэнергии

Месяц	Количество часов пиковой нагрузки, ч	Выработка в месяц, кВт*ч	Тариф, евро	Экономия, евро
Январь	43	4500	0,17	765
Февраль	58	6069	0,17	1032
Март	98	10255	0,17	1743
Апрель	119	12452	0,17	2117
Май	129	13499	0,17	2295
Июнь	133	13917	0,17	2366
Июль	134	14022	0,17	2384
Август	122	12766	0,17	2170
Сентябрь	93	9732	0,17	1654
Октябрь	58	6069	0,17	1032
Ноябрь	29	3035	0,17	516
Декабрь	25	2616	0,17	445



а – среднемесячная выработка от ФЭС; б – уровень инсоляции на ФЭС  
**Рисунок 3 – Прогнозируемые данные ФЭС**



а – среднемесячные диапазоны температур; б – угол Солнца от азимута  
**Рисунок 4 – Прогнозируемые данные ФЭС**

Как видно из рисунка 3а подавляющее большинство выработки приходится на период апрель-сентябрь. Температурные диапазоны эксплуатации ФЭС приведены на рисунке 4. На основании себестоимости и с учетом того факта, что применение ФЭС планируется для собственных нужд окупаемость наступит через 6 лет.

**В третьей главе** с использованием моделирования и расчетов 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.

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. Литературный обзор, с использованием более 70 научных статей за период 1990-2015 с информацией об эксплуатации ФЭС позволил выделить основные механизмы изменения электрических характеристик модулей, инверторов. Исследования позволили установить, что средняя скорость уменьшения КПД ФЭС составила 0,8 %. При этом стоит отметить значительный процент случаев, при которых происходит полная потеря модуля из-за внезапно наступающих отказов.

2. По результатам испытаний можно отметить, что старение солнечных элементов при проведении ускоренных испытаний происходит преимущественно за счёт старения контактов и как следствие увеличения последовательного сопротивления, что обусловило потерю 16 % в точке максимальной мощности, а также деградации на 10 % за счет уменьшения фототока СЭ.

3. Исходя из полученных в результате испытаний данных можно отметить, что с повышением температуры ток короткого замыкания остаётся неизменным, а напряжение холостого хода уменьшается линейно, следовательно, учитывая постоянство коэффициента заполнения, повышение температуры снижает мощность солнечной батареи. Таким образом, качественный анализ температурных режимов позволяет производителям электроэнергии активно управлять переменной производительностью солнечных электростанций, тем самым оптимально интегрируя солнечные ресурсы в общую энергосистему.

4. Проведен расчет гелиоэнергетического потенциала СЭС на примере фотоэлектрической станции мощностью 104 кВт. Показано, что прибыль от её использования наступит только начиная с 6 года установки.

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. Методы определения движения объектов на основе данных трехосевых акселерометров / И.В. Большелапов, В.А. Иванов, А.В. Трофимович, А.М. Панасик // международный научный журнал «Научные горизонты – 2018», 2018. – С. 54.

2. Воздействие температурных режимов на эффективность использования солнечных батарей / А.В. Трофимович // Компьютерное проектирование и технология производства электронных систем: сборник тезисов 54 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апреля 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; отв. ред. Раднёнок А. Л. – Минск, 2018.

3. Способы организации управления внутренней памяти при разработке программного обеспечения на платформе Unity / А.Ч. Турчин, А.В. Трофимович // Компьютерное проектирование и технология производства электронных систем: сборник тезисов 55 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22–26 апреля 2019 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники – Минск, 2019.

4. Деградация инкапсулянта под воздействием ультрафиолетового излучения / М.О. Макуца, А.В. Трофимович // Молодежный научный форум: электронный сборник статей по материалам LII международной студенческой научно-практической конференции № 22(52). – Москва, 2019. – В печати.

5. Выращивание монокристаллов методом Бриджмена / М.О. Макуца, А.В. Трофимович // Студенческий: электронный научный журнал 2019. № 24(68). – Новосибирск, 2019. – В печати.

6. Определение структуры  $\text{CuIn}_7\text{Se}_{11}$  рентгеновским методом / М.О. Макуца, А.В. Трофимович // Студенческий: электронный научный журнал 2019. № 24(68). – Новосибирск, 2019. – В печати.

7. Измерение теплового расширения  $\text{CuIn}_7\text{Se}_{11}$  / М.О. Макуца, А.В. Трофимович // Студенческий: электронный научный журнал 2019. № 24(68). – Новосибирск, 2019. – В печати.

8. Перспективы солнечной энергетики как альтернативного источника энергии на территории Республики Беларусь / А.В. Трофимович, М.О. Макуца // Студенческий: электронный научный журнал 2019. № 24(68). – Новосибирск, 2019. – В печати.

9. Оценка воздействия температурных режимов на производительность солнечных элементов / А.В. Трофимович, М.О. Макуца // Студенческий: электронный научный журнал 2019. № 24(68). – Новосибирск, 2019. – В печати.

## РЭЗІЮМЭ

Трафімовіча Андрэя Удадзіміравіча

Ацэнка тэмпературных рэжымаў сонечных батарэй і панэляў на аснове  
аналізу іх вольт-ампернай характарыстык

**Ключавыя словы:** сонечная энергія, вольт-амперная характарыстыка.

**Мэта працы:** заключалася ў ацэнцы ўплыву тэмпературы сонечных батарэй і панэляў на аснове аналізу іх вольт-ампернай характарыстык..

**Атрыманая вынікі і іх навізна:**

даследавана ўплыў розных тэмпературных рэжымаў на эфектыўнасць працы сонечных батарэй. Устаноўлена, што пры павышэнне тэмпературы ток кароткага замыкання застаецца нязменным, а напружанне халастога ходу памяншаецца лінейна, такім чынам, павышэнне тэмпературы зніжае моц-насць сонечнай батарэй. Гэтак жа дэфекты адваротнага боку СЭ аказваюць істотны ўплыў на выходныя характарыстыкі зніжаючы каэфіцыент завыкананнем ВАХ, што пры працы ў першую чаргу будзе выклікаць систематиче-скія перагрэву СЭ у модулі.

Праведзены разлік гелиоэнергетического патэнцыялу СЭС на прыкладзе фота-электрычнай станцыі магутнасцю 104 кВт. Паказана, што прыбытак ад яе выка-арыстання наступіць толькі пачынаючы з 6 года ўстаноўкі. У выпадку, калі СЭС працуе толькі на продаж электраэнергіі ў сетку па «зялёнаму» тарыфе акупаемость наступіць раней.

**Ступень выкарыстання:** вынікі ўкаранены ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм ўстановы адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі» у лекцыйны курс «*Электронныя сістэмы на аднаўляльных крыніцах энергіі*».

**Вобласць ужывання:** электронныя сістэмы на аднаўляльных крыніцах энергіі.

## РЕЗЮМЕ

Трофимовича Андрея Владимировича

### Оценка температурных режимов солнечных батарей и панелей на основе анализа их вольт-амперных характеристик

**Ключевые слова:** солнечная энергия, вольт-амперная характеристика.

**Цель работы:** заключалась в оценке влияния температуры солнечных батарей и панелей на основе анализа их вольт-амперных характеристик.

**Полученные результаты и их новизна:** исследовано влияние различных температурных режимов на эффективность работы солнечных батарей. Установлено, что при повышении температуры ток короткого замыкания остаётся неизменным, а напряжение холостого хода уменьшается линейно, следовательно, повышение температуры снижает мощность солнечной батареи. Так же дефекты обратной 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 104 кВт. Показано, что прибыль от её использования наступит только начиная с 6 года установки. В случае, когда СЭС работает только на продажу электроэнергии в сеть по «зелёному» тарифу окупаемость наступит раньше.

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

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

## SUMMARY

**Trafimovich Andrei Vladimirovich**

### **Evaluation of temperature regimes of solar panels and panels based on the analysis of their current-voltage characteristics**

**Keywords:** solar power, current-voltage characteristic.

**The object of study:** was to assess the influence of temperature of solar cells and panels based on an analysis of their current-voltage characteristics.

**The results and novelty:** the influence of different temperature regimes on the efficiency of solar batteries has been investigated. It has been established that when the temperature rises, the short-circuit current remains unchanged, and the no-load voltage decreases linearly, therefore, the temperature rise reduces the power of the solar battery. The defects of the reverse side of the ESS also have a significant effect on the output characteristics, reducing the filling coefficient of the I – V characteristic, which, in operation, will primarily cause systematic overheating of the EE in the module.

The solar energy potential of SES is calculated on the example of a photo-electric power station with a capacity of 104 kW. It is shown that the profit from its use will come only from the 6th year of installation. In the case when the SES works only for the sale of electricity to the grid at the “green” tariff, the pay-in rate comes first.

**Degree of use:** the results are implemented in the educational process at the Department of Information and Computer-Aided Systems Design of the Education Institution “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics” in the lecture course "Renewable Energy Electronic Systems".

**Sphere of application:** renewable energy electronic systems.