

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОБАТАРЕИ**

**Э.Б. Саитов**

*Ташкентский государственный технический университет*

Солнечная энергия становится ключевым ресурсом электрической энергии в современном мире. Поэтому необходимо ее рациональное и выгодное использование. В статье рассматриваются вопросы эффективного использования солнечных панелей благодаря устройствам автоматической очистки в зимнее время. Предложенное устройство позволяет использовать солнечную энергию в максимальных количествах независимо от погодных условий и времени года. Данное устройство может использоваться при строительстве новых солнечных электростанций, а также при модернизации уже существующих. Развитие и модернизация солнечной энергетики позволит в будущем улучшить экономическую сторону энергетического состояния нашей страны.

**Ключевые слова:** солнечная панель; система очистки; колебания проводов; резонанс; сила Ампера.

**Введение.** Актуальным вопросом в современном мире является проблема сокращения запасов ископаемого топлива и переход к альтернативным видам топлива. Связано это прежде всего с исчерпаемостью природных ресурсов и загрязнением окружающей среды. Из существующих направлений развития альтернативной энергетики наиболее перспективным является солнечная энергетика. Ее потенциал оценивается столетиями, а вредные влияния на окружающую среду минимальны.

Целью использования солнечной энергетики является преобразование солнечного излучения в различные виды энергии. Многие развивающиеся страны мира, заинтересованные в вопросах солнечной энергетики, ищут различные пути сокращения стоимости обслуживания и эксплуатации солнечных панелей.

Отметить, что в соответствии с Программой мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий и систем в отраслях экономики и социальной сфере на 2015 — 2019 годы, одобренной постановлением Президента Республики Узбекистан от 5 мая 2015 года № ПП–2343, в республике в последние годы реализуется широкий комплекс мер по обеспечению энергосбережения в отраслях экономики и социальной сфере.

К 2026 году увеличение доли возобновляемых источников энергии в ряде регионов страны до 25% позволит сэкономить около 3 млрд кубометров

## **СЕКЦИЯ 6. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации**

---

природного газа в год. Это также сократит количество выбрасываемых вредных газов на 8 млн тонн.

Плановые работы будут проводиться в соответствии с программой расширения и поддержки использования возобновляемых источников энергии, утвержденной соответствующим указом Президента.

Из этого:

а) Строительство 4 ГВт дополнительной мощности за счет строительства не менее 8 ветровых электростанций (ВЭС), в том числе:

- В 2023 году в Берунийском и Караузакском районах Республики Каракалпакстан и в Гиждуванском и Пешкунском районах Бухарской области 3

(1,1 ГВтч);

- 1 (0,5 ГВт) в Томдинском районе Бухарской области в 2024 году;

- Запуск не менее 4 (2,4 ГВт) ГЭС в Республике Каракалпакстан и других регионах в 2025-2026 гг.

Эти работы обошлись в 4,7 миллиарда долларов. будет финансироваться за счет привлечения прямых иностранных инвестиций в размере

б) Будет введено в эксплуатацию не менее 10 ФЭС для увеличения мощности солнечных фотоэлектрических установок (ФЭС) до 4 ГВт, в том числе:

- Завершение отбора инвесторов в 2022 году, 5 в Бухарской, Наманганской, Хорезмской, Кашкадарьинской и Ферганской областях общей мощностью 0,9 ГВт в 2024 году;

- 4 1,1 ГВт в Навоийской, Джизакской, Самаркандской и Сурхандарьинской областях в 2023 году;

- ввод в эксплуатацию ФЭС общей мощностью 1,8 ГВт в Республике Каракалпакстан и других регионах в 2025-2026 гг.

Эти работы обошлись в 1,5 миллиарда долларов. путем привлечения прямых иностранных инвестиций в размере

в) Строительство 15 новых гидроэлектростанций (ГЭС) и модернизация 5 существующих ГЭС позволит вырабатывать дополнительно 868 МВт электроэнергии в год.

В том числе:

- 7 по созданию дополнительных 173 МВт в Самаркандской, Сурхандарьинской и Ташкентской областях в 2022 году;

- Завершение модернизации 1 ГЭС в Ташкентской области в 2023 году и 2 в Кашкадарьинской и Андижанской областях общей мощностью 29 МВт;

- Завершение модернизации 1 ГЭС в Андижанской, Наманганской, Сурхандарьинской и Ташкентской областях в 2024 году и 4 общей мощностью 122 МВт;

## СЕКЦИЯ 6. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации

- Ввод в эксплуатацию 4 ГЭС общей мощностью 544 МВт в Кашкадарьинской и Ташкентской областях в 2025-2026 гг.

Всего на эти работы было потрачено 1,6 миллиарда долларов. АО «Узбекгидроэнерго» и другие источники, предусмотренные законодательством.

В связи с этим возникает необходимость увеличения эффективности эксплуатации солнечных панелей. Своевременное выявление загрязнений, инородных предметов на поверхности панели и быстрое их удаление позволит сделать это. Именно от степени загрязненности зависит эффективность и ресурс работы солнечных панелей.

По средним многолетним данным в год в г. Уфе устойчивый снежный покров образуется в середине ноября (иногда и первую декаду апреля) и сохраняется до конца марта. В среднем в году бывает около 164 дней со снежным покровом, т.е. более пяти месяцев [2]. Несомненно, наличие снежного покрова сказывается на эффективности работы солнечных панелей и их КПД.

Таблица 1.

### Энергетические показатели кристаллического модуля СЭС

	Пасмурный день		Ясный день	
	Без снежного покрытия (12 ноября)	Со снежным покрытием (20 ноября)	Без снежного покрытия (2 ноября)	Со снежным покрытием (20 января)
Максимум интенсивности солнечной радиации	25	32	420	375
Максимум вырабатываемой мощности	2,8	0,9	100	43
Выработанная электрическая энергия за сутки	13	2	450	180

## СЕКЦИЯ 6. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации

Таблица 2

### Энергетические показатели микроморфного модуля СЭС

	Пасмурный день		Ясный день	
	Без снежного покрытия (12 ноября)	Со снежным покрытием (20 ноября)	Без снежного покрытия (2 ноября)	Со снежным покрытием (20 января)
Максимум интенсивности солнечной радиации	25	32	420	375
Максимум вырабатываемой мощности	2,1	0,8	47	46
Выработанная электрическая энергия за сутки	10	2	200	170

Для оценки влияния погодных условий на выработку энергии солнечными панелями была выбрана СЭС, установленная на кафедре Альтернативных источников энергии Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова. Используются 10 кВт фотоэлектрические станции производства компании ООО «Чинт Электрик» (микроаморфный модуль номинальной мощностью 125 Вт и кристаллический модуль площадью 1,286 м<sup>2</sup>, номинальная мощность кристаллического модуля 223 Вт, угол установки фотоэлектрических модулей 39 град). Для изучения было выбрано четыре дня: два ясных дня и два пасмурных. При этом в один из двух дней наблюдалось налипание снега на солнечные панели.

Средняя продолжительность этих дней составляла 8 ч 30 мин. При этом уровень интенсивности солнечной радиации в сравниваемых днях приблизительно одинаковый.

Проведенные исследования позволили получить результаты, с помощью которых можно оценить влияние снежного покрова на эффективность выработки энергии солнечными панелями (табл. 1, 2). Наличие снежного покрова приводит к снижению мощности кристаллического модуля в 2 раза, а микроморфного – на 10%. То есть на вырабатываемую электрическую мощность влияют и плохие погодные условия, и наличие снежного покрова, но практически не влияет прозрачный лед.

Необходимо, чтобы поверхность солнечных панелей периодически могла самоочищаться от снега, опавших листьев и пыли, так как обычно

## **СЕКЦИЯ 6. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации**

---

установка солнечных электростанций производится на удаленных территориях и постоянная слежка персоналом за их чистотой невозможна [3]. Контроль и постоянное обслуживание удорожает стоимость сооружения, а уменьшение стоимости строительства и обслуживания солнечных электростанций является ключевым фактором дальнейшего развития.

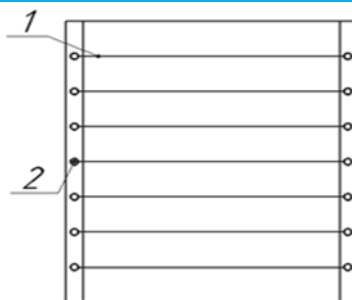
**Оценка эффективности применения солнечных панелей.** Предложен ряд вариантов, позволяющих автономно и самостоятельно производить очистку панелей. Например, нанесение специального состава, установка защитной панели, использование автоматизированных роботов, применение гибких модулей, применение явления вибрации [4]. Каждая предложенная концепция обладает своими достоинствами и недостатками. Нашей инициативной группой была разработана модель с усовершенствованной технологией очистки, лишенная ключевых недостатков. В будущем такие технологии позволят полностью исключить зависимость производства электроэнергии от погодных условий и наличия обслуживающего персонала.

Целью данной работы стала автоматизация процессов очистки солнечных панелей с целью увеличения их эффективности и работоспособности. Важным моментом является использование солнечных панелей независимо от температурных и погодных условий, а также отсутствие обслуживающего персонала и возможность установки данной системы на уже существующих солнечных панелях.

Данное устройство позволяет получить результат, который позволит увеличить работоспособность и КПД панели. Достигается это благодаря эффективному способу очистки поверхности солнечной панели от снега, льда, мусора и других объектов, мешающих преобразованию солнечной энергии (рис. 1).

Все это реализуется с помощью технических средств: источника питания, соединенного с солнечной панелью, параллельных проводов, датчиков контроля загрязнения проводов, расположенных на поверхности солнечной панели. Датчики контроля загрязнения выполнены в виде датчиков натяжения проводов, расположенных по всей внешней грани (рис. 2).

Провода, выполненные с возможностью колебания, располагаются параллельно друг другу и установлены на поверхности солнечной панели. В качестве источника питания используют источник переменного тока.

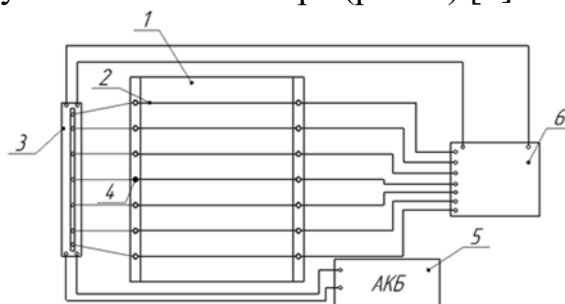


**Рис. 1.** Система очистки солнечной панели:

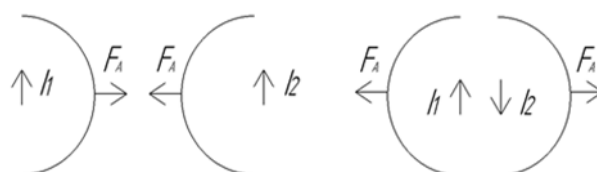
*1 – провода; 2 – датчики натяжения проводов*

Удаление гололеда предлагается производить не с помощью термического воздействия от протекающего по проводам тока, а с помощью электромеханического воздействия на лед [5].

Известно, что два параллельных тока одинакового направления притягиваются друг к другу или отталкиваются под действием возникающей между ними силы Ампера (рис. 3) [6].



**Рис. 2.** Общий вид солнечной панели с установленной системой очистки: *1 – солнечная панель; 2 – провода; 3 – контроллер; 4 – датчики натяжения проводов; 5 – аккумуляторный блок; 6 – инвертор*



**Рис. 3.** Действие силы Ампера на провода

Численно сила Ампера, действующая на участок провода длиной, равна:

$$dF_A = \frac{\mu_0 \mu 2I_1 I_2}{4\pi R} dl$$

где  $dFA$  – сила Ампера, действующая на участок провода длиной  $dl$ , Н;  $dl$  – длина участка провода, м;  $I_1$  – ток, протекающий в первом проводе, А;  $I_2$  – ток, протекающий во втором проводе, А;  $R$  – расстояние между проводами,

## СЕКЦИЯ 6. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации

м;  $\mu_0$  – магнитная постоянная, равная  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Н/А<sup>2</sup>;  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость. При пропускании по двум проводам импульсов переменного тока провода будут совершать механические колебания под действием периодически появляющейся и исчезающей силы Ампера. Благодаря этим колебаниям провода соприкасаются друг с другом, и снежный покров, образовавшийся на проводах, будет со временем спадать [6].

Для повышения эффективности предлагаемого способа и снижения потребления энергии, необходимо, чтобы частота импульсов тока, проходящих по проводам, была равна собственной частоте колебаний обледеневших проводов, закрепленных на солнечной панели. При этом возникает явление резонанса, приводящее к разрушающему воздействию на лед.

Предлагаемая разработка должна уменьшить энергозатраты на очистку проводов. Так как производится механическое разрушение льда и время, затрачиваемое на очистку, будет существенно меньше времени, затрачиваемого на плавку. Кроме того затраты энергии на очистку будут ниже, чем при плавке, даже при большей мгновенной мощности, необходимой для создания колебаний.

Устройство работает следующим образом:

- аккумуляторный блок как накопитель энергии;
- инвертор преобразует постоянный ток от аккумуляторных батарей в переменный;
- датчики натяжения проводов, позволяют сигнализировать о наличии обледенений на проводах;
- контроллер состояния проводов и включения системы очистки.

При накоплении льда или тяжелого слоя грязи на проводах срабатывают датчики натяжения, которые передают данные на контроллер. Контроллер позволяет оценить состояние проводов и при необходимости запустить механизм подачи переменного тока с частотой 50 Гц на провода. После подачи тока провода начинают постепенно колебаться в течение определенного времени. Далее датчики либо срабатывают, либо нет в зависимости от натяжения проводов.

Очевидным требованием, предъявляемым к таким устройствам, будет являться относительная простота реализации, сравнительно низкая стоимость и высокая надежность.

Например, если взять два параллельных провода длиной 1 м и пропускать по ним ток одинаковой величины 5 А, но противоположного направления, при этом менять расстояние между проводами, то получим

## СЕКЦИЯ 6. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации

график зависимости силы взаимодействия между проводами от расстояния между ними (рис. 4):

– при  $d = 5$  см.

$$F_{A1} = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5^2 \times 10^3}{2\pi \times 50} = 10^{-4} \text{ Н};$$

-при  $d=10$  см.

$$F_{A2} = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5^2 \times 10^3}{2\pi \times 100} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ Н};$$

-при  $d=15$  см.

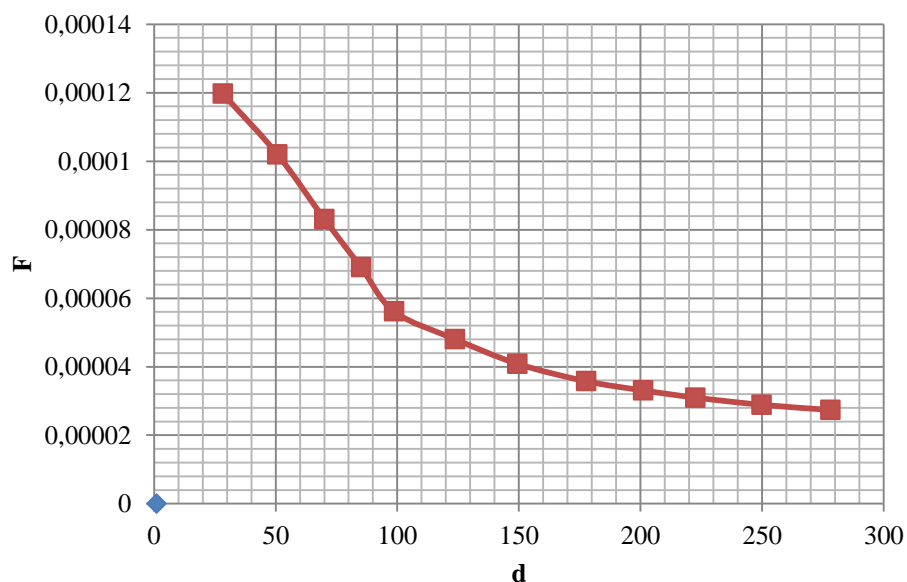
$$F_{A3} = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5^2 \times 10^3}{2\pi \times 150} = 0,33 \cdot 10^{-4} \text{ Н};$$

-при  $d=20$  см.

$$F_{A4} = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5^2 \times 10^3}{2\pi \times 200} = 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ Н};$$

-при  $d=25$  см.

$$F_{A5} = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5^2 \times 10^3}{2\pi \times 250} = 0,2 \cdot 10^{-4} \text{ Н};$$



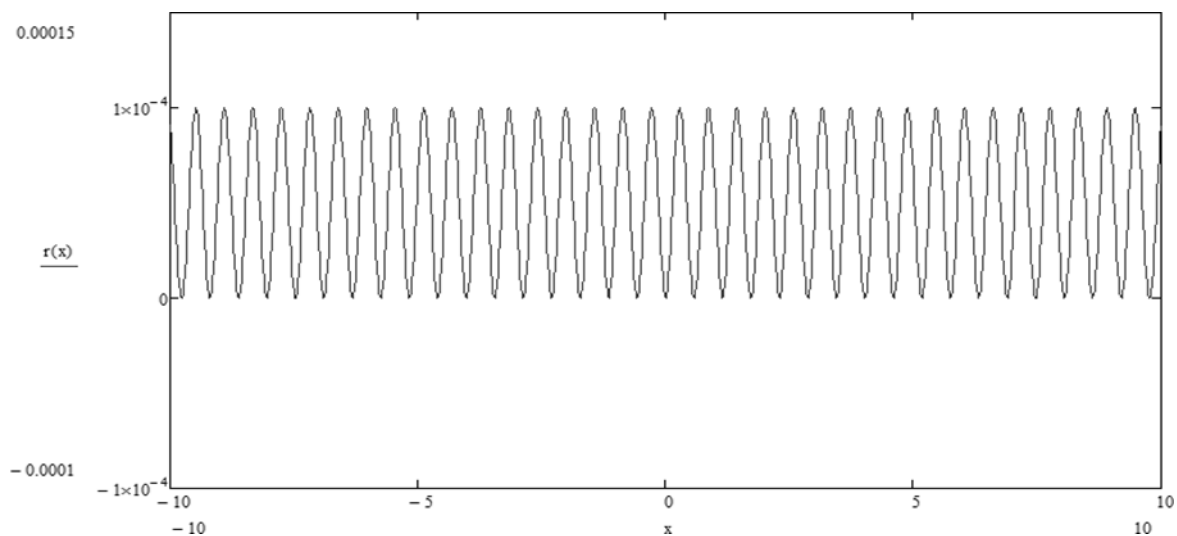
**Рис. 4.** Зависимость силы взаимодействия проводов от расстояния между ними

Из графика видно, что расстояние между параллельными проводами существенно влияет на силу взаимодействия между ними. Поэтому для



## СЕКЦИЯ 6. Полупроводниковая микро- и нанoeлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации

достижения максимального эффекта расстояние между проводами должно быть 5–10 см (табл. 3).



**Рис. 5.** Колебания силы взаимодействия проводов

Переменный ток, протекающий в проводах, изменяется по синусоидальному закону, тогда сила взаимодействия проводов будет равна

$$F_A = \frac{\mu_0(I \sin\omega t)^2 l}{2\pi d} = \frac{\mu_0 l}{2\pi d} \frac{I(1 - \cos 2\omega t)}{2}$$

Можно заметить, что сила пульсирует с двойной частотой  $\cos 2\omega t$  по сравнению с частотой тока (рис. 5). То есть при пропускании по проводам переменного тока с частотой 50 Гц возникают устойчивые колебания, способные создать механические колебания проводов. Возникает явление резонанса.

Если принять во внимание время этих колебаний, за которое спадет отложившийся снежный покров и лед, то можно привести данные силы в зависимости от времени и частоты.

Таблица 3

### Зависимость силы от частоты и времени работы устройства.

$f$ , Гц	Время работы, с		
	300	600	900
2	$3,069 \cdot 10^{-5}$	$1,19 \cdot 10^{-4}$	$2,54 \cdot 10^{-4}$
5	$8,184 \cdot 10^{-4}$	$5,944 \cdot 10^{-4}$	$6,129 \cdot 10^{-5}$
10	$5,944 \cdot 10^{-4}$	$9,643 \cdot 10^{-4}$	$2,301 \cdot 10^{-4}$

## СЕКЦИЯ 6. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации

15	$6,129 \cdot 10^{-5}$	$2,301 \cdot 10^{-4}$	$4,652 \cdot 10^{-4}$
20	$9,643 \cdot 10^{-4}$	$1,376 \cdot 10^{-4}$	$7,087 \cdot 10^{-4}$
25	$3,473 \cdot 10^{-4}$	$9,068 \cdot 10^{-4}$	$9,011 \cdot 10^{-4}$
50	$9,068 \cdot 10^{-4}$	$3,382 \cdot 10^{-4}$	$3,565 \cdot 10^{-4}$
75	$9,011 \cdot 10^{-4}$	$3,565 \cdot 10^{-4}$	$3,291 \cdot 10^{-4}$
100	$3,382 \cdot 10^{-4}$	$8,953 \cdot 10^{-4}$	$9,176 \cdot 10^{-4}$
150	$3,565 \cdot 10^{-4}$	$9,176 \cdot 10^{-4}$	$8,832 \cdot 10^{-4}$

Процесс возникновения колебаний в проводах позволяет обеспечить достижение поставленной цели с помощью минимальных затрат и максимальных энергоэффективных показателей. Это позволяет оценивать перспективу использования как альтернативной энергетики, так и солнечной энергетики.

**Заключение.** Таким образом, представленное изобретение автоматизирует процесс очистки солнечных панелей. Процесс очистки происходит независимо от температурных и погодных условий и при отсутствии обслуживающего персонала, также позволяет устанавливать и использовать данную систему на уже существующих солнечных панелях.

В результате повышается эффективность очистки поверхности солнечной панели от снега, льда, мусора и других объектов, мешающих преобразованию солнечной энергии. Решая экономические аспекты, устройство позволяет сократить затраты на содержание обслуживающего персонала, использования моющих средств и дополнительного дорогостоящего оборудования. Конструкция минимизирована относительно составного оборудования и тем самым лишена затрат на техническое содержание и обслуживание. Благодаря такой конструкции срок окупаемости данного устройства сократится, а срок эксплуатации увеличится.

Использование таких устройств позволит уже сегодня использовать солнечную энергию весьма интенсивно и даст возможность занять значимое место в топливно энергетическом комплексе ряда стран. Также активное принятие на государственном уровне законов, которые дают существенную поддержку развитию солнечной энергетики, позволит значительно увеличить количество строящихся и эксплуатируемых солнечных электростанций, которые в свою очередь поспособствуют постепенному переходу от производств, зависящих от традиционного вида топлива к альтернативным.

## СЕКЦИЯ 6. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации

---

Работа выполнена в рамках гранта государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (проект НШ-6858.2016.8 «Фундаментальные исследования электромагнитных и тепловых полей высокооборотных электромеханических преобразователей энергии с учетом требований прочности, с целью их многомерной оптимизации»).

### Использованные литературы

1. **Бурибаевская** солнечная электростанция вышла на проектную мощность [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node> (дата обращения 07.06.2017). [ Buribaevskaya solar power station reached its designed capacity (2017, Jun. 7) [Online]. Available: <https://minenergo.gov.ru/node> ]

2. **Климат\_Башкортостана** [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 07.06.2017). [ Climate of Bashkortostan (2017, Jun. 7) [ Online]. Available: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> ]

3. **Робот sharp** повысит КПД солнечных батарей [Электронный ресурс]. URL: [http://energysafe.ru/alternative\\_energy/companies/1776/](http://energysafe.ru/alternative_energy/companies/1776/) (дата обращения 10.06.2017). [ The robot sharp will improve the efficiency of solar panels (2017, Jun. 10) [ Online ]. Available: [http://energysafe.ru/alternative\\_energy/companies/1776/](http://energysafe.ru/alternative_energy/companies/1776/) ]

4. **Трофимова Т. И.** Курс физики: учеб. Пособие. М.: Высш. шк., 1990. 478 с. [ Т. И. Trofimova, Physics course (in Russian). М.: Vyssh. sch., 1990. ]

**Факторы**, влияющие на эффективность использования солнечных панелей [Электронный ресурс]. URL: <http://www.alterenergy.info/interesting-facts/110-the-solar-energy/432-factors-affecting-efficiency-solar-panels> (дата обращения 8.06.2017). [Factors affecting the efficiency of solar panels (2017, Jun. 8) [Online]. Available <http://www.alterenergy.info/interesting-facts/110-the-solar-energy/432-factors-affecting-efficiency-solar-panels> ]