

УДК 620.193.16

## ЗАВИСИМОСТЬ ФОТОЭДС СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОТ УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ

*С.А. Токтогонов, Э.М. Токторбаев, Р.Б. Молдонасиров*

Проведен анализ экспериментальных результатов измерения фотоЭДС солнечных элементов (СЭ) на основе TiO<sub>2</sub> и кремния Si в зависимости от условий освещения. Показано, что для нормальной работы солнечного элемента достаточно расположить его по отношению направления распространения потока света между 20÷160 градусами. При этом выходной фотоЭДС не будет сильно отличаться от максимального значения.

*Ключевые слова:* солнечный элемент; условия освещения; фотоЭДС; фототок; источник питания; угол падения.

---

## ФОТОЭКК КҮН ЭЛЕМЕНТТЕРИНИН ЖАРЫКТАНДЫРУУ ШАРТТАРЫНАН БОЛГОН КӨЗ КАРАНДЫЛЫГЫ

*С.А. Токтогонов, Э.М. Токторбаев, Р.Б. Молдонасиров*

Бул эмгекте жарыктандыруу шарттарына жараша TiO<sub>2</sub> жана Si кремнийдин негизинде фотоЭКК күн элементтерин өлчөөнүн эксперименталдык жыйынтыктарына талдоо жүргүзүлгөн. Күн элементтеринин нормалдуу иштеши үчүн, аны жарык агымынын багытына жараша 20÷160 градустардын ортосуна жайгаштыруу жетиштүү экендиги көрсөтүлгөн. Бул учурда фотоЭКК максималдуу мааниден көп деле айрымаланбайт.

*Түйүндүү сөздөр:* күн элементи; жарыктандыруу шарты; фотоЭКК; фототок; азыктандыруу булагы; түшүү бурчу.

---

## DEPENDENCE PHOTOVOLTAGE OF SOLAR PHOTOCELLS ON LIGHTING CONDITIONS

*S.A. Toktogonov, E.M. Toktorbaev, R.B. Moldonasirov*

The article considers analysis of the experimental results of measuring the photovoltage of solar cells based on TiO<sub>2</sub> and silicon Si depending on the lighting conditions. It is shown that for the normal operation of the solar cell, it is sufficient to arrange it in relation to the direction of propagation of the light flux between  $\approx 20 \div 160$  degrees. In this case, the output photovoltage will not be very different from the maximum value.

*Keywords:* solar cells; lighting conditions; photovoltage; photocurrent; power supply; angle of incidence.

Возрастающая роль экологических технологий делает солнечные элементы перспективными источниками получения энергии. Но их широкое использование сдерживается высокой ценой изготовления и эксплуатации.

Коммерчески производимые фотоэлектрические ячейки в основном являются твердыми материалами, р-п-контактными устройствами, как, например, силиконовые солнечные ячейки. Эти солнечные ячейки довольно дорогостоящи из-за высокой стоимости добычи силикона, производства совершенных кристаллов и использованием микротехнологии изготовления [1].

В коммерческом производстве силиконовые ячейки в различных кристаллических формах обеспечивают примерно 99 % рынка [2].

Фотоэлектрохимические ячейки, такие как цветосенсибилизированные солнечные ячейки (ЦСЯ) представляют собой альтернативу существующим р-п-контактным устройствам [2, 3–5].

Для широко внедрения солнечных элементов необходимо изучение реальных условий их эксплуатации и выбор оптимальных режимов использования [6, 7]. Одним из таких условий является зависимость выходных параметров солнечных элементов от условий освещения.

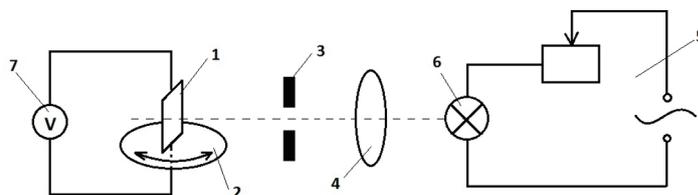


Рисунок 1 – Схема для исследования фотоЭДС СЭ от угла падения:  
1 – солнечный элемент, 2 – вращательный столик МПУ-1, 3 – диафрагма,  
4 – линза, 5 – источник питания, 6 – лампа накаливания, 7 – вольтметр

В данной работе ставилась цель: изучение зависимости фотоЭДС солнечных элементов на основе Si и  $TiO_2$  от угла освещения их поверхности.

Для исследования зависимости фотоЭДС солнечных элементов от угла падения была собрана следующая экспериментальная схема. Солнечный элемент (1) устанавливается на вращательный столик МПУ-1 (2) ровно по оси вертикального вращения как показано на рисунке 1. На СЭ поступает пучок света от лампы накаливания (6), которая питается от сети, 220 В (5). Лампа накаливания имеет спектр, аналогичный солнечному естественному свету. Поток света проходит через увеличительную линзу (4) и фокусируется на СЭ. Диафрагма служит для задания нужных размеров потока света на поверхности СЭ. ФотоЭДС СЭ измеряется с помощью вольтметра, в качестве которого в экспериментах использовался мультиметр DT740L.

Для получения зависимости фотоЭДС  $U_{фэ}$  от угла падения потока света ( $\alpha$ ) на СЭ из кремния Si, порядок измерения был следующим. Вначале пластина располагалась продольно по ходу распространения потока света. При этом угол между поверхностью СЭ и направлением распространения потока света составлял 0 градусов, затем шагом 5 град. пластина поворачивалась относительно потока света. Каждый раз замерялось значение фотоЭДС при фиксированных углах  $\alpha$ . Полученная зависимость  $U_{эдс}$  ( $\alpha$ ) представлена на рисунке 2.

На рисунке 2 видно, что при малых углах до 20 град. идет резкое увеличение выходного напряжения СЭ, затем при увеличении угла до 40 град. фотоЭДС стабилизируется и дальнейшее увеличение угла до 90 град. идет к медленному увеличению фотоЭДС. Дальнейший поворот угла до 160 град., приводит к постепенному мед-

ленному уменьшению фотоЭДС, а при увеличении угла до 180 град., приводит к резкому уменьшению выхода. В целом, зависимость  $U_{эдс}$  ( $\alpha$ ) носит симметричный характер относительно положения 90°. Отклонение от симметрии данной зависимости при начальных (0–20 град.) и конечных (160–180 град.) углах объясняется влиянием фоновой освещенности в помещении.

Это позволяет предположить, что для нормальной работы солнечного элемента достаточно расположить его по отношению направления распространения потока света в пределах от 20 и до 160 градусов. При этом выходной ЭДС будет давать наиболее максимальное значение.

Для получения зависимости фотоЭДС  $U_{фэ}$  от угла падения потока света ( $\alpha$ ) на СЭ из  $TiO_2$ , поступали аналогичным образом. Вначале поверхность пластины диоксид титана располагалась по ходу распространения потока света. При этом угол между поверхностью и направлением распространения потока света составлял 0 градусов, затем с шагом 5 градусов пластина поворачивалась относительно потока света, каждый раз замерялось значение фотоЭДС при фиксированных углах  $\alpha$ . Полученная зависимость  $U_{эдс}$  ( $\alpha$ ) представлена на рисунке 3.

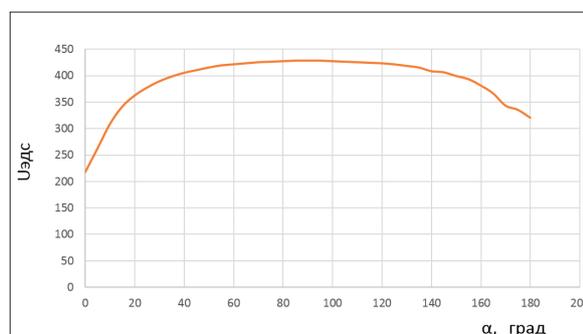


Рисунок 2 – Зависимость  $U_{эдс}$  ( $\alpha$ ) для кремниевого СЭ

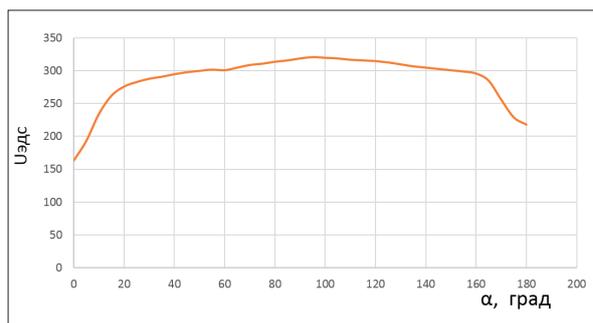


Рисунок 3 – Зависимость  $U_{эдс}(\alpha)$  для СЭ на основе диоксида титана

На рисунке 3 видно, что при малых углах до 16 град. идет резкое увеличение выходного напряжения СЭ, затем при дальнейшем увеличении угла до 20 град., фотоЭДС стабилизируется, и дальнейшее увеличение угла до 90 град. идет к медленному увеличению фотоЭДС. Поворот угла до 164 град. приводит к постепенному медленному уменьшению фотоЭДС, а при дальнейшем увеличении угла до 180 град.,  $U_{эдс}$  резко уменьшается. Несимметричность данной зависимости при начальных (0–16 град.) и конечных (164–180 град.) углах объясняется влиянием фоновой освещенности в помещении.

Данный факт дает основание предположить, что для нормальной работы солнечного элемента достаточно расположить его по отношению направления распространения потока света между 16 и 164 градусами. При этом выходная ЭДС будет иметь максимальное значение. Из этого следует, что при эксплуатации СЭ необязательно выставлять его перпендикулярно направлению распространения света, а достаточно расположить его в пределах выше указанного интервала градусов. Сравнение зависимостей  $U_{эдс}(\alpha)$  для кремниевых пластин и СЭ на основе диоксида

титана, позволяет говорить об их идентичности. По абсолютным значениям фотоЭДС кремниевых пластин больше, чем у СЭ на основе диоксида титана. Полученные  $U_{эдс}(\alpha)$  для СЭ из кремниевой Si пластины и на основе диоксида титана  $TiO_2$ , показывают, что существует довольно широкий интервал углов ( $\alpha = 20\text{--}160$  для кремниевых СЭ и  $\alpha = 16\text{--}164$  – для СЭ на основе диоксида титана), при котором фотоЭДС СЭ имеет максимальное значение, кроме того, использование данных СЭ не требует усилий для ориентации их относительно направления потока света.

### Литература

1. *Goetzberger A.* Photovoltaic materials, history, status and outlook / A. Goetzberger, C. Hebling, H.-W. Schock // *Mathematical Science and Engineering: R: Reports.* 2003. 40. P. 1–46.
2. *Kojiro H.* Dye-sensitized solar cells, in Lique A., Hegedus S., ed. / H. Kojiro, A. Hironi // *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering.* New York: John Wiley & Sons, 2003. P. 663–700.
3. *Smestad G.* Solar Energy Materials and Solar Cells / G. Smestad. 1994. 32. P. 259–288.
4. *Hagfeld A.* Chemical Reviews / A. Hagfeld, M. Gratzel. 1995. 95. P. 49–68.
5. *Kay A.* Solar Energy Materials and Solar Cells / A. Kay, M. Gratzel. 1996. 44. P. 99–117.
6. *Токтогонов С.А.* Исследование характеристик солнечного элемента на основе диоксида титана / С.А. Токтогонов, Т.М. Иманалиев, Е.С. Бурова, С.Т. Кожоева, Э.М. Токторбаев // *Научн. журн. "Физика".* 2013. № 3. С. 36–40.
7. *Токтогонов С.А.* Источник питания на основе солнечного элемента на диоксиде титана для автономных систем связи / С.А. Токтогонов, А. Абдыбек // *Вестник КPCY.* 2016. Т. 16. № 1. С. 116–119.