

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

Ф. В. САВРАСОВ

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Институт кибернетики, 634034, Томск Россия
E-mail: savrasov@tpu.ru*

Исследуется возможность повышения выработки электроэнергии фотоэлектрическим модулем за счет излучения, отраженного от снежного покрова. Проведен эксперимент по определению величины тока, вырабатываемого с помощью дополнительной подсветки от подстилающей снежной поверхности. Проведены эксперименты по определению влияния на производительность фотоэлементов снега, расположенного на поверхности модуля.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, снежный покров, отраженное излучение.

Многие электронные устройства являются автономными системами, функционирующими без непосредственного участия человека. Соответственно возникает задача обеспечения непрерывного и стабильного электропитания таких устройств. В настоящее время для энергоснабжения автономных систем все большее распространение получают источники питания на основе возобновляемых видов энергии, среди которых наиболее перспективной (в силу доступности) является фотоэлектрическая [1].

Несмотря на популярность данного вида энергии за рубежом, в России его использование пока весьма ограничено, хотя в некоторых регионах страны оно целесообразно в силу климатических особенностей. Снежный покров, при определенных условиях, может выступать естественным концентратором солнечной энергии, которую возможно использовать для фотопреобразования.

Снежный покров обладает малой плотностью, возрастающей со временем. В зависимости от угла падения лучей отражательная способность (альбедо) свежеснежного покрова составляет до 90 % от значения падающего на него светового потока (для сравнения, альбедо темной почвы составляет около 10 %). Отражательная способность талого снега не более 40 % [2]. На большей части территории России снег лежит 4—5 месяцев в году, а в северных районах — 8—9 месяцев. Средняя продолжительность существования снежного покрова в г. Томске, где проводилось исследование, более 6 месяцев (преимущественно с начала октября до середины марта).

Представляет интерес исследование влияния снежного покрова на производительность фотоэлектрического модуля и, как следствие, на производительность фотоэлектрической системы в целом [3—4].

Как известно, производительность фотоэлектрического модуля зависит от интенсивности солнечного излучения и угла ориентирования приемной поверхности модуля относительно Солнца и света, отраженного от подстилающей поверхности и рассеянного в окружающей атмосфере [2].

Кроме таких параметров атмосферы, как прозрачность и облачность, большое влияние на рассеянное излучение оказывает характер подстилающей поверхности. По мере увеличения отражательной способности подстилающей поверхности значительно возрастает поток

рассеянного света. Снежный покров увеличивает отражение прямого солнечного света, вторичное рассеяние которого в атмосфере приводит к увеличению рассеянного света [5].

Упрощенная схема воздействия солнечного света на поверхность фотоэлектрического модуля приведена на рис. 1.

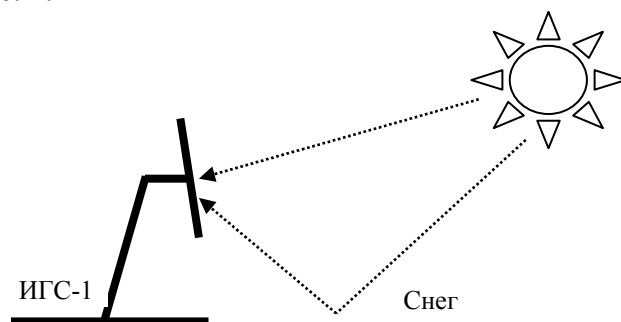


Рис. 1

Для определения влияния отражающей способности снежного покрова на величину вырабатываемой фотоэлектрическим модулем электроэнергии была разработана двухкоординатная механическая система слежения за Солнцем ИГС-1, позволяющая размещать на специальной штанге малогабаритные фотоэлектрические модули в качестве чувствительного элемента (рис. 2). Эталонным элементом выступала измерительная часть стандартного пиранометра М-80.



Рис. 2

Механическая система слежения за Солнцем позволяет вращать модуль в горизонтальной плоскости от 0 до 360° и вертикальной от 0 до 90°, также возможно размещать принимающую поверхность модуля параллельно подстилающей поверхности фотоэлектрическими преобразователями вниз.

При проведении эксперимента по определению влияния отражающей поверхности на производительность модуля использовались две механические системы. Первая была установлена на открытой незатененной горизонтальной поверхности на черное покрывало для исключения воздействия отраженного солнечного света на измерительный модуль (рис. 2), вторая — непосредственно на снежный покров.

Эксперимент проводился 08 февраля 2013 года с 10:00 до 16:00 по местному времени, использовался цифровой мультиметр М-832Р. Приемная поверхность модуля располагалась под углом к подстилающей поверхности, равным широте местности (приблизительно 56°), и была ориентирована на юг.

В эксперименте использовался фотоэлектрический модуль ФСМ-2-6 (номинальная мощность — 2 Вт, напряжение холостого хода $U_{xx} = 6$ В, ток короткого замыкания $I_{кз} = 0,5$ А,

размеры 230×145×4 мм) из монокристаллического кремния, серийно производимый в Исследовательском институте полупроводниковых приборов (Томск).

Местом проведения эксперимента была выбрана ровная площадка неподалеку от реки Томь. За весь период наблюдения Солнце не было заслонено облаками, а также строениями и деревьями, средняя температура воздуха составляла $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При проведении эксперимента было отмечено, что напряжение фотоэлектрического модуля слабо меняется в зависимости от освещенности. Результаты измерения вырабатываемого модулями тока приведены на рис. 3.

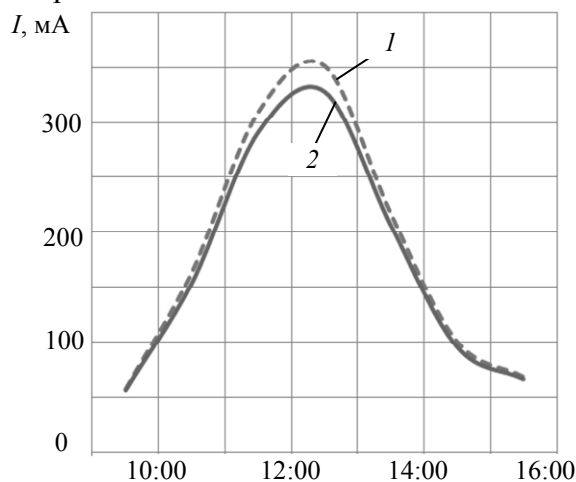


Рис. 3

Из полученных данных видно, что фотоэлектрический модуль, расположенный непосредственно на снегу (кривая 1), вырабатывает больше (до 7,3 %) энергии, чем находящийся на черном полотне (2). Следует отметить, что при различной освещенности фотоэлектрического модуля в зависимости от времени дня (и соответственно от положения Солнца на небе) существует разница в вырабатываемых токах. Так, при освещении поверхности модуля Солнцем под углом, при котором отраженная инсоляция оказывает меньшее влияние на фотопреобразователи, наблюдается снижение эффективности выработки тока.

Суммарное (за весь день) значение тока, выработанного за счет расположения фотоэлектрического модуля на снегу, превышает значение, выработанное модулем на черном полотне, на 6 %. При наличии устойчивого снежного покрова с высоким альбедо в короткие световые дни (декабрь и январь) выигрыш будет меньше, а в более длинные (март) — больше.

Таким образом, проведенный эксперимент показал, что отраженный от снежного покрова свет увеличивает вырабатываемый фотоэлектрическим преобразователем ток. Следовательно, целесообразно устанавливать фотопреобразователи, являющиеся неотъемлемой частью источников питания приборов, на поверхности с высоким альбедо (к примеру, на крыши, выкрашенные в светлые тона, крыши из оцинкованного железа и т.п.) либо на поверхности, на которых значительную часть времени года присутствует снежный покров. Также определенный вклад в выработку дополнительной энергии фотопреобразователями вносит рассеянное солнечное излучение.

С целью выявления потенциального значения тока, вырабатываемого за счет отраженного от снежного покрова света, был проведен соответствующий эксперимент. В ходе эксперимента фотоэлектрический модуль располагался (преобразователями вниз) в плоскости, параллельной солнечным лучам, по направлению к Солнцу (рис. 4). При этом с двух сторон он ограждался фанерными пластинами, окрашенными в черный цвет, для максимального снижения воздействия периферийного отраженного и рассеянного солнечного света, а также исключения воздействия прямых лучей. Измерялся вырабатываемый ток при различном типе подстилающей поверхности (снег либо фрагмент черного полотна, I_c и I_{Π} соответственно).

Также одновременно с этим измерялся ток I_r , вырабатываемый модулем, расположенным на горизонтальной поверхности преобразователями вверх (при данном расположении нет воздействия отраженной от подстилающей поверхности радиации на преобразователи). При этом снималось значение двух токовых величин: I_{r1} — для случая, когда поверхность модуля не была занесена снегом, и I_{r2} — для случая, когда на поверхность модуля был нанесен снежный слой толщиной 2 см. Последняя величина измерялась с целью определения возможности выработки модулем электроэнергии вследствие покрытия его снежным налетом (например, в случае снегопада или метели).

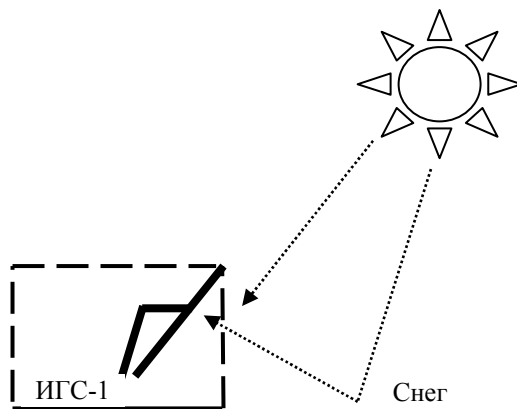


Рис. 4

Для этого эксперимента использовался фотоэлектрический модуль ФСМ-2-6. Показания снимались с помощью мультиметра М-832Р. Эксперимент проводился в течение трех дней, в одно и то же время (13:00). Даты наблюдения подбирались таким образом, чтобы произвести замеры при различных условиях облачности и насыщенности атмосферы аэрозольными составляющими (низкая облачность, дымка либо туман). Результаты измерений представлены в таблице.

Дата измерения	Температура воздуха, °С	Состояние атмосферы	I_{r1} , мА	I_{r2} , мА	I_c , мА	$I_{п}$, мА
07.03.13	-10	Пасмурно	124	75	35	15
12.03.13	-8	Ясно	311	272	199	52
13.03.13	-5	Дымка	146	97	56	23

Из результатов для горизонтально расположенного модуля следует, что в моменты, когда прямое солнечное излучение незначительно (туманный или пасмурный день), значение вырабатываемого тока в 2—2,5 раза меньше, чем при безоблачном небе. При этом зависимость значения вырабатываемого тока от состояния атмосферы не столь существенна.

За счет только отраженного от поверхности излучения фотопреобразователи способны генерировать ток, в зависимости от интенсивности инсоляции разница может быть существенной (64 % от значения тока, генерируемого прямым солнечным светом, в ясную погоду, и 28—38 % — в пасмурную погоду и туман). В зависимости от степени отражения излучения значения тока также меняются: когда отраженный свет образуется за счет прямого излучения, наличие снежного покрова способствует увеличению тока в 3,83 раза по сравнению с темной поверхностью; когда отраженный свет образуется за счет рассеянного, происходит увеличение в 2,3—2,4 раза. При этом разница между вырабатываемым током при различных типах поверхности в случае рассеянного освещения составляет 53—60 %. Необходимо отметить, что, согласно работе [6], альbedo снежной поверхности в облачную погоду превышает альbedo в ясную погоду примерно на 3—5 %.

Наличие тонкого слоя снега на поверхности монокристаллических фотопреобразователей приводит к снижению производительности: на 13 % при ясной погоде и на 34 и 40 % при наличии аэрозолей и сильной облачности. Выявленные тенденции коррелируют с данными работы [7].

Обобщая полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

— снежный покров способствует увеличению вырабатываемого фотоэлектрическим модулем из монокристаллического кремния тока до 7,3 %; в случае использования систем автоматического наведения на Солнце данная величина, по всей видимости, будет больше;

— отраженное от снежного покрова излучение и его влияние на производительность фотоэлектрического модуля в значительной степени зависят от наличия облачности и аэрозолей в атмосфере;

— запорошенность поверхности фотоэлемента может снизить его производительность на 13 % в ясную погоду, и на 40 % — в пасмурную.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саврасов Ф. В. Применение возобновляемых источников энергии для питания измерительной аппаратуры и интеллектуальных датчиков // Информационно-измерительная техника и технологии: Матер. IV науч.-практ. конф. Томск, 2013. С. 216—220.
2. Хромов С. П., Петросяну М. А. Метеорология и климатология. М.: Изд-во МГУ, 2006. 582 с.
3. Andrews R. W., Pearce J. M. Prediction of energy effects on photovoltaic systems due to snowfall events // 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conf. (PVSC), 2012. P. 3386—3391.
4. Becker G., Schiebelsberger B., Weber W., Vodermayr C., Zehner M., Kummerle G. An Approach to the Impact of Snow on the Yield of Grid Connected PV Systems // 21th European Photovoltaic Solar Energy Conf. Dresden, Germany, 2006. P. 2732—2735.
5. Лукутин Б. В. Возобновляемые источники электроэнергии. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 187 с.
6. Wang X., Zender C. S. Arctic and Antarctic diurnal and seasonal variations of snow albedo from multiyear Baseline Surface Radiation Network measurements // J. of Geophysical Research. 2011. Vol. 116, Is. F3. DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2010JF001864>.
7. Andrews R. W., Pollard A., Pearce J. M. The effects of snowfall on solar photovoltaic performance // Solar Energy. 2013. Vol. 92. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.02.014>.

Сведения об авторе

Федор Витальевич Саврасов — канд. техн. наук; Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Институт кибернетики, кафедра информатики и проектирования систем; E-mail: savrasov@tpu.ru

Рекомендована кафедрой информатики и проектирования систем

Поступила в редакцию 06.05.15 г.

Ссылка для цитирования: Саврасов Ф. В. Исследование влияния снежного покрова на производительность фотоэлектрического модуля // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 8. С. 639—644.

THE EFFECT OF SNOW COVERING ON PHOTOVOLTAIC SOLAR CELL EFFICIENCY

F. V. Savrasov

National Research Tomsk Polytechnic University, Cybernetic Institute, 634034, Tomsk, Russia
E-mail: savrasov@tpu.ru

The suggestion that output power of a PV solar module may increase due to ambient radiation reflected by a snow covering is tested experimentally. The current generated by the additional radiation from underlying snow surface is determined. Experiments are performed to estimate the effect of snow on the module surface on the solar cell performance.

Keywords: photovoltaic module, snow cover, reflected radiation.

Data on author

Fedor V. Savrasov

— PhD; National Research Tomsk Polytechnic University, Cybernetic Institute, Department of Informatics and System Design;
E-mail: savrasov@tpu.ru

Reference for citation: Savrasov F. V. The effect of snow covering on photovoltaic solar cell efficiency // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie. 2015. Vol. 58, N 8. P. 639—644 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-8-639-644