

Андреев В. И.,
канд. техн. наук, доцент кафедры экологии и природопользования,
ЧГУ имени Петра Могилы, г. Николаев, Украина

Гончарук М. Д.,
врач, медицинская фирма «Биополис», г. Николаев, Украина

Клименко Л. П.,
д-р техн. наук, профессор
кафедры экологии и природопользования,
ЧГУ имени Петра Могилы, г. Николаев, Украина

Зюляев Д. Д.,
аспирант кафедры экологии и природопользования,
ЧГУ имени Петра Могилы, г. Николаев, Украина

Кубов В. И.,
канд. ф.-м. наук, заведующий кафедры медицинских приборов и систем,
ЧГУ имени Петра Могилы, г. Николаев, Украина

Кубова Р. М.,
канд. ф.-м. наук, заведующая кафедры математики
и информатики Московского университета имени Витте, г. Москва, Россия

Павленко А. А.,
магистрант кафедры медицинских приборов и систем,
ЧГУ имени Петра Могилы, г. Николаев, Украина

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ АНОМАЛИЙ В СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БАТАРЕЯХ

Приводятся результаты анализа поля температур поверхности солнечных фотоэлектрических батарей в зависимости от электрической нагрузки. Сравниваются значения, полученные с помощью контактных цифровых датчиков температуры, бесконтактного инфракрасного термометра и изображения тепловизора.

Ключевые слова: солнечные фотоэлектрические батареи; температурные аномалии; цифровые сенсоры температуры; бесконтактный инфракрасный термометр; тепловизор.

Актуальность работы. Солнечные фотоэлектрические батареи являются разновидностью полупроводниковых приборов, на эффективность которых оказывает значительное влияние рабочая температура [1]. Имеется значительное число работ, посвященных данной тематике, например [2–3].

Большинство моделей фотоэлектрических элементов строится на параллельно включенных элементах: генераторе тока, управляемом потоком световой энергии, и кремниевом диоде, шунтирующем выход схемы в прямом включении. Такая модель предсказывает увеличение тока короткого замыкания с одновременным уменьшением напряжения холостого хода при увеличении температуры. При этом мощность, отдаваемая в постоянную электрическую нагрузку, должна возрастать с ростом температуры.

Результаты экспериментальных исследований [4–7] дают основания подвергнуть сомнению такую простую связь. Кроме того, из общих законов термодинамики известно, что эффективность систем преобразования энергии увеличивается при уменьшении окружающей температуры, что в определенном смысле

противоречит положению о росте мощности в постоянной электрической нагрузке с увеличением температуры. Эти обстоятельства побудили организовать цикл специальных исследований температурного режима солнечных фотоэлектрических батарей.

1. Постановка проблемы.

В работе [7] было продемонстрировано влияние электрической нагрузки на соотношение температур задней поверхности солнечных батарей. Температуры измерялись с помощью цифровых датчиков температуры в системе автоматической регистрации [5]. Схема экспериментальной установки и потоков энергии в ней представлены на рис. 1, 2.

Уравнение теплового баланса для каждой из батарей имеет вид $W_S + Q_G = Q_R + P_L$ (рис. 2). Здесь: $W_S = F_s \cdot S_b$ – поток энергии солнечной радиации на поверхность батареи; $Q_R = (T_b - T_0) / \mathfrak{R}$ – тепловой поток от батареи в окружающее пространство, определяемый разностью температур батареи и окружающей среды, и тепловым сопротивлением \mathfrak{R} между батареей и внешней средой; $P_L = V \cdot I$ – электрическая

мощность, выделяемая в нагрузке, и определяющаяся напряжением и током в нагрузке; Q_G – дополнительный поток тепла, переотраженный от подстилающей поверхности (земли или крыши). Для разности температур одинаковых и одинаково ориентированных батарей получим уравнение $\Delta T = T_{b1} - T_{b2} = (P_{L2} - P_{L1} + Q_{G2} - Q_{G1}) \cdot R$. В случае, когда одна из батарей подключена к

нагрузке, а другая нет, получим уравнения $\Delta T = (\pm P_L + \Delta Q_G) \cdot R$. Здесь P_L – мощность в нагрузке; ΔQ_G – разница тепловых потоков переотражения для нижней и верхней батареи. Естественно, что ненагруженная батарея должна нагреваться сильнее, чем нагруженная.



Рис. 1. Фотобатареи

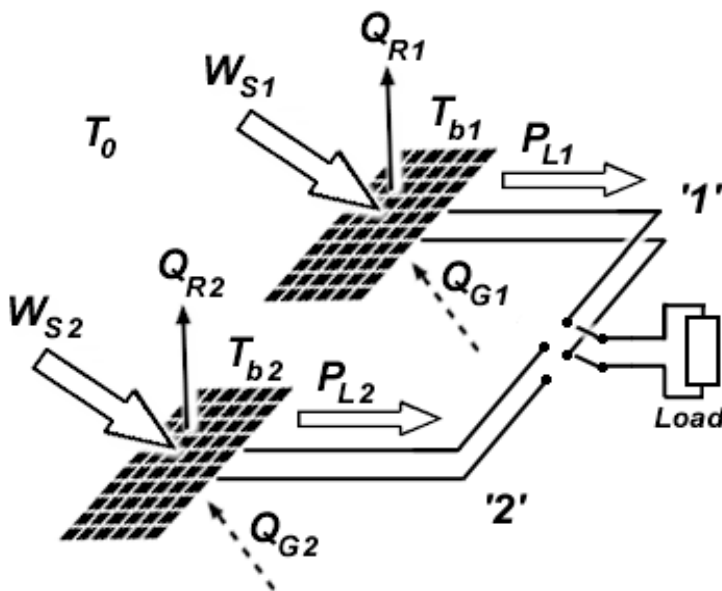
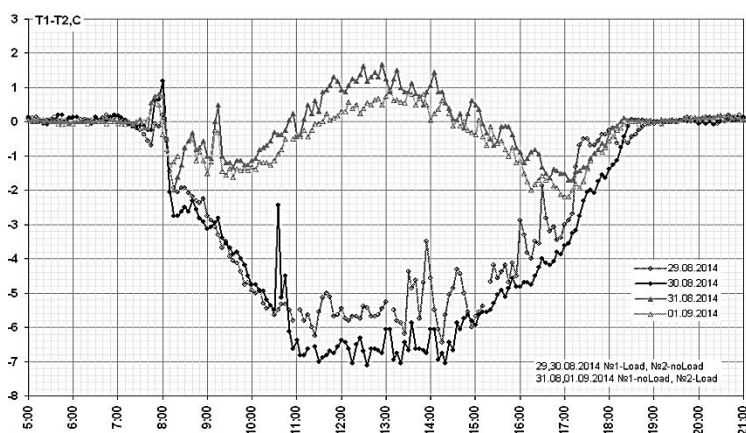


Рис. 2. Схема потоков энергии в эксперименте

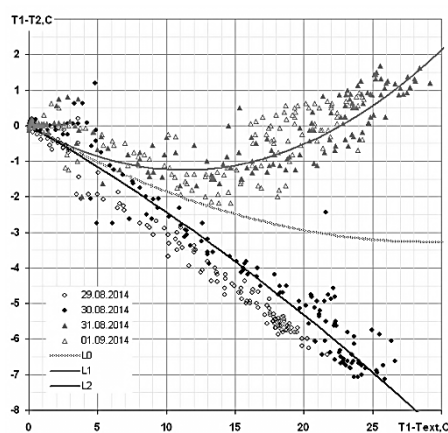
На рис. 3 приведены примеры результатов изменений разности температур задних поверхностей двух батарей для относительно безоблачного периода 29.08–01.09.2014.

Первые два дня (нижние кривые) была нагружена верхняя батарея №1, вторые два дня (верхние кривые) нагружена нижняя батарея № 2. Рис. 3а иллюстрирует суточный ход разности температур двух батарей, а рис.3б зависимость этой разности от температуры батареи №1 относительно температуры внешней среды – $T_1 - T_e$.

Как видно и приведенных графиков, разность температур батарей, в зависимости от варианта подключения нагрузки, имеет размах около 8 °С. При этом на задней поверхности батарей температура поднималась до 50 °С ...55 °С (примерно на 25 °С выше температуры окружающей среды). Кроме того, нижняя батарея явно получает больше дополнительного тепла. Соответственно, можно предположить достаточно большой вклад перизлучения подстилающей поверхности (крыши) в температуру нижней батареи – ориентировочно около 4 °С.



а) Суточный ход



б) Зависимость от температуры

Рис. 3. Разности температур солнечных батарей для разных вариантов подключения нагрузки

Оценки разности температур батарей в зависимости от варианта подключения нагрузки качественно

согласуются с теоретическими оценками ожидаемого эффекта для батареи площадью 0,5 м², с КПД около

13 % при потоке мощности солнечного излучения 1000 W/m^2 , и коэффициенте теплоотдачи $7 \text{ W/m}^2/\text{°K}$.

Описанные выше эксперименты были продолжены с целью построения количественной модели наблюдаемых явлений. Попытки количественного описания наблюдаемых температурных эффектов в системе из двух солнечных батарей с идентичными электрическими характеристиками натолкнулись на малопонятные проблемы.

Так, вне зависимости от того, в каком из электрических режимов находилась каждая из батарей, температура нижней батареи была систематически выше. При этом разности температур верхней и нижней батареи заметным образом изменялись в зависимости от того, какая из батарей была нагружена. Т. е., изменения разностей температур верхней и нижней батареи вели себя в полном согласии с законами термодинамики. В то время как сами значения температур не поддавались, какому-либо разумному, количественному описанию.

Ситуация усугубилась при проведении сравнительных измерений температур в режимах короткого замыкания и холостого хода. Из термодинамического анализа следует, что температуры батарей в режиме короткого замыкания и режиме холостого хода должны быть одинаковы, так как вся энергия остается в батареях и не передается во внешнюю нагрузку. Но результаты экспериментов явно противоречили общим положениям термодинамики. Температура нижней батареи существенно увеличивалась в режиме короткого замыкания. При детальном анализе оказалось, что температура нижней батареи увеличивается при протекании любого тока, будь то ток нагрузки, или ток короткого замыкания.

Для поиска причин, приводящих к явному «нарушению» законов термодинамики, были проанализированы опубликованные данные по температурным эффектам в солнечных фотоэлектрических батареях. В частности, были рассмотрены работы [9–11], где отмечалось наличие пятен повышенной температуры – Hot Patches в совершенно нормальных по своим эксплуатационным характеристикам батареях.

Соответственно, было принято решение по детальному исследованию температуры поверхности солнечных

фотоэлектрических батарей. Исследования проводились с помощью бесконтактного инфракрасного термометра и с помощью инфракрасного тепловизора. В ходе самых первых измерений было подтверждено наличие ярко выраженных горячих пятен на поверхности батарей. Соответственно, в наиболее горячее пятно на поверхности батареи № 1 был установлен дополнительный цифровой сенсор температуры.

Результаты исследований распределения температур на поверхности батарей описаны ниже.

2. Измерение температур бесконтактным инфракрасным термометром.

Температура задней поверхности каждого из элементов панели измерялась бесконтактным радиационным термометром IR-thermometer PTD1 фирмы Bosch с минимально возможным расстоянием (несколько сантиметров). Измерения выполнялись 13.04.2015 около полудня в интервале времени от 12:00 до 13:12. При этом присутствовала прозрачная перистая облачность, и отмечался слабый ветер. Радиационная температура неба в зените в процессе измерений изменялась от -6°C до -11°C . В момент регистрации теплового портрета фототок батареи на эталонной нагрузке составил около 1,35 А.

Было выполнено 4 сеанса измерений с различными электрическими режимами верхней батареи: интервал 12:00 – 12:22 – режим короткого замыкания – SC, батареи № 1; интервал 12:57 – 13:12 – режим холостого хода – OC, батареи № 1. Батарея № 2 была постоянно в режиме короткого замыкания – SC. Соответствующие данные приведены в таблице 1.

Результаты измерений были обработаны в пакете Excel. Рассчитывались средние значения температуры по всем элементам панели и отклонения температур элементов от среднего значения. При этом средняя радиационная температура задней панели батареи № 1 имела значение около 45°C , а батареи № 2 около 48°C .

При анализе результатов было обнаружено, что вариации температур относительно средних значений по всей поверхности каждой из батарей имеют меньший разброс между сеансами, чем сами значения температур, что, вероятнее всего, связано с порывами ветра.

Таблица 1

Сеансы измерения и температуры по данным IR-термометра

№	Время измерения		Температура воздуха, °C	Температура неба в зените, °C	Режим батарей		Средняя температура батарей, °C	
	Начало	Конец			1	2	1	2
1	12:00		19	-6	SC	SC	43	47
		12:09	23	-6				
2	12:16		23	-8	SC	SC	48	49
		12:22	26	-10				
3	12:57		23	-10	OC	SC	46	48
		13:03	24	-10				
4	13:05		25	-11	OC	SC	44	47
		13:12	26	-11				

При измерениях в режиме холостого хода батареи № 1 температуры батарей практически не изменились. Разброс значений температур элементов от сеанса к сеансу в одном и том же электрическом режиме, как правило, не превышал 5°C .

На рис. 4 приведены профили распределения отклонений радиационных температур от средних по дан-

ной панели значений для двух электрических режимов верхней батареи № 1: режим короткого замыкания – SC, и режим холостого хода – OC. Батарея № 2 при этом постоянно работала в режиме короткого замыкания.

На рис. 5 приведены карты распределения отклонений радиационных температур от средних по панели

значений для двух электрических режимов верхней батареи № 1: режим короткого замыкания – SC, и режим холостого хода – OC. Батарея № 2 при этом постоянно работала в режиме короткого замыкания. Изображение на рис. 5 развернуто так, чтобы соответствовать виду спереди.

В режиме холостого хода, ток не течет через батарею и вариации температур по поверхности минимальны – менее 5 °С. Наибольшие отклонения температуры отмечены на верхнем краю (меньше на 7 °С), и на правом элементе 12 (больше на 4 °С),

вблизи дополнительного датчика температуры. Увеличение температуры вблизи датчика, вероятнее всего связаны с дополнительной теплоизоляцией самого датчика, защищающего его от влияния окружающей температуры.

В режиме короткого замыкания на батарее № 1 фиксируются две горячие области – с левой стороны на 2 и 12 рядах элементов – температура выше средней на 28–29°С. Основной датчик попадает в более холодную область, где температура ниже средней примерно на 4 °С.

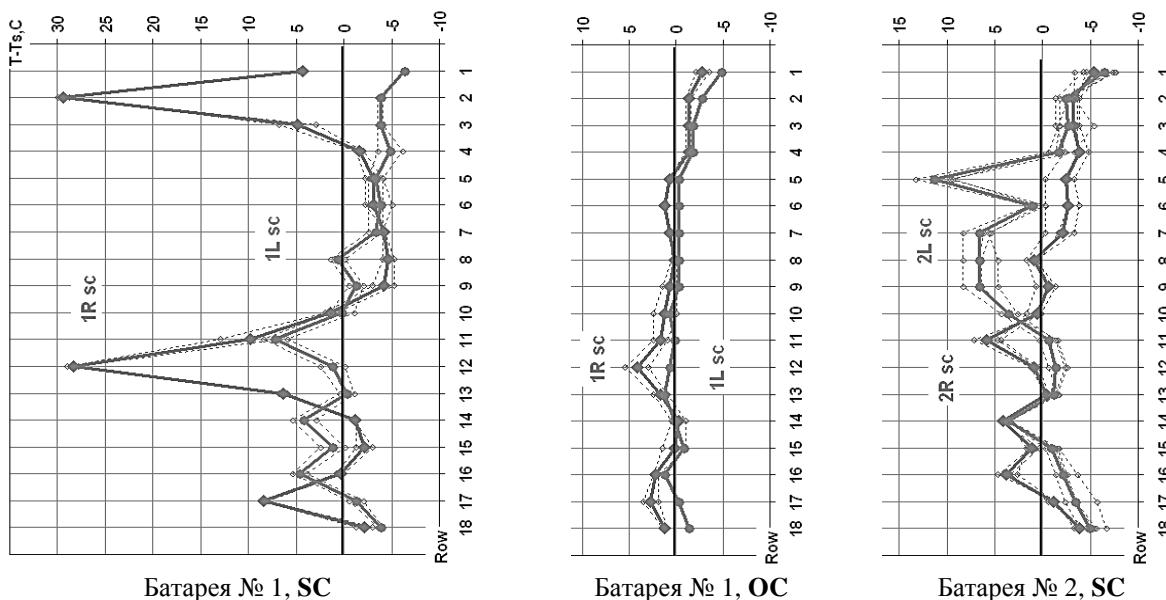


Рис. 4. Профили отклонения температур от среднего по панели значения для левой и правой сторон батареи

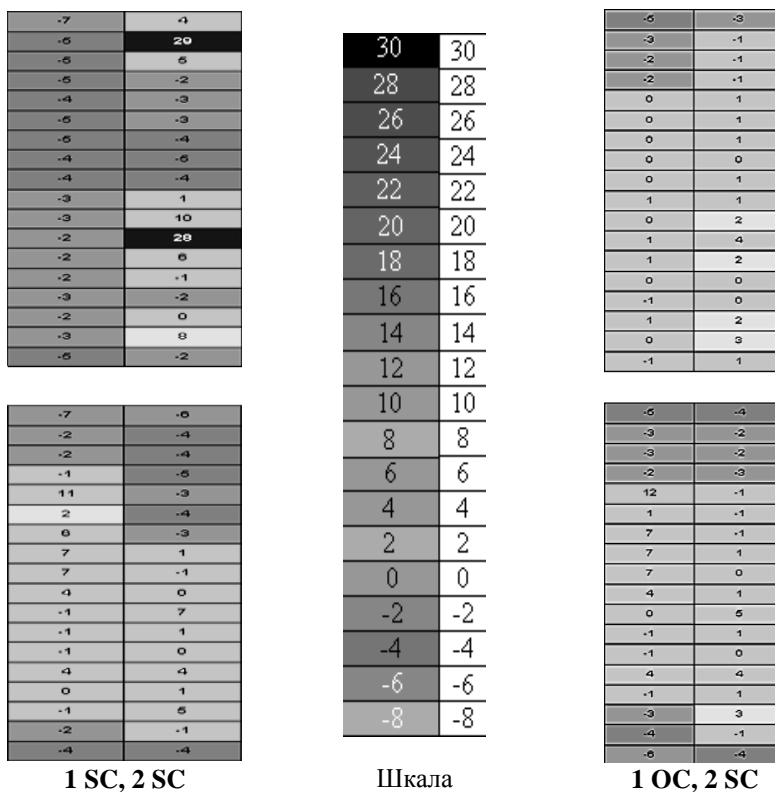


Рис. 5. Распределение отклонений температур от средних по панели значений

На батарее № 2 горячие области менее выражены и расположены с правой стороны. Основной датчик

попадает в более горячую область, где температура выше примерно на 4°С.

На рис. 6 показаны суточные вариации значения температур по данным цифровых датчиков, установ-

ленных на панелях солнечных батарей и датчиков, установленных вне помещений.

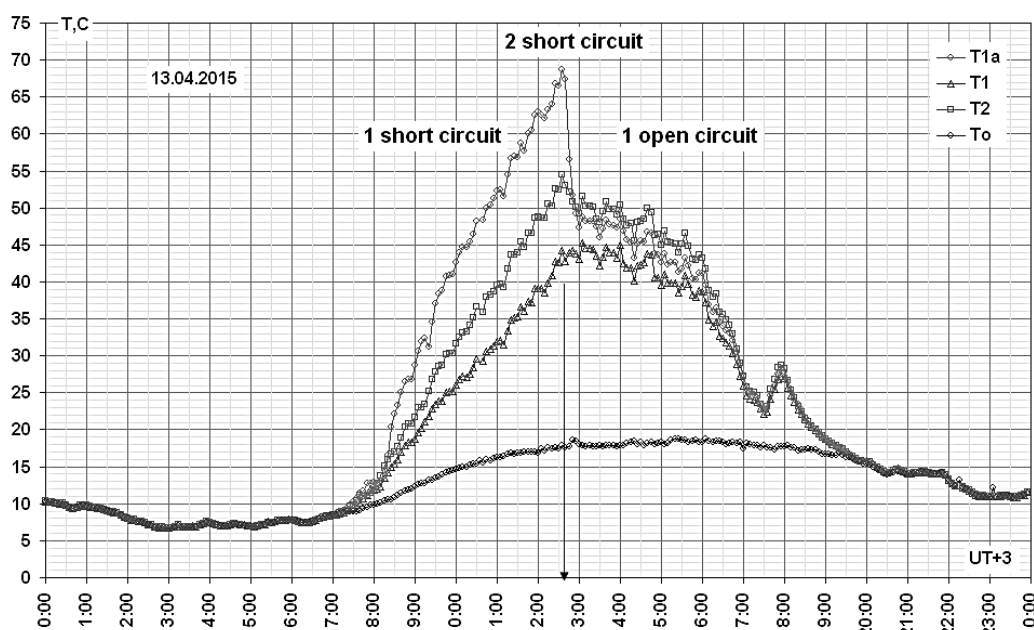


Рис. 6. Изменения температуры задней поверхности батарей № 1, 2 и температуры окружающей среды по данным цифровых датчиков

Стрелкой отмечен момент изменения электрического режима батареи № 1.

Основные датчик температуры батареи № 1 и № 2 установлены примерно посередине между правой и левой половиной батареи на уровне 8 ряда элементов.

Дополнительный датчик температуры батареи № 1 установлен на самом горячем пятне, примерно посередине левого элемента 12 ряда.

Температура окружающей среды определялась как минимум из значений датчиков температур, установ-

ленных за окном 4 этажа северной стороны 1-корпуса, в тени на стене котельной и трех датчиков на солнечных батареях.

Сводные результаты по соотношениям температур в сеансах измерений по показаниям различных приборов на разных элементах батарей, и разных способах усреднения температур, а также температуры окружающей среды приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сводная таблица температур

№	Воздух терм., °C	Воздух sensor, °C	Батарея №1, °C						Батарея №2, °C		
			Сред. IR	8RL IR.	8RL sens.	12R IR	11-13R IR.	12R sens.	Сред. IR	8RL IR	8RL sens
1	21	17	43	39	39	71	57	62	47	51	49
2	25	18	48	44	41	77	64	64	49	53	50
3	24	18	46	44	43	47	46	47	48	51	50
4	26	18	44	41	45	46	44	49	47	46	51

Обозначения в таблице:

Воздух терм. – температура на корпусе бесконтактного радиационного термометра.

Воздух sensor – минимум из значений датчиков.

Сред. IR – средняя радиационная температура всей поверхности батареи.

8RL IR – средняя радиационная температура правого и левого элемента 8 ряда.

8RL sens. – температура основного датчика вблизи центра батареи.

12R IR – радиационная температура правого элемента 12 ряда батареи № 1.

11-13R IR – средняя радиационная температура правых элементов 11–13 рядов батареи №1.

12R sens. – температура дополнительного датчика правого элемента 12 ряда батареи № 1.

Как видно из приведенных данных, значения температур цифровых сенсоров температуры и радиационные температуры задней поверхности батареи, при усреднении по элементам в окрестности сенсоров, находятся в согласии между собой. Если же сравнивать экстремальные значения радиационных температур на отдельных элементах, то для них

значения температур существенно больше, чем значения, фиксируемые цифровыми сенсорами на поверхности.

3. Измерение температур инфракрасным тепловизором.

Регистрация теплового портрета лицевой поверхности батарей осуществлялась тепловизором MobIR

M8 (Wuhan Duide Infrared Co. Ltd.) с рабочей матрицей 160*120 чувствительных элементов. Теоретические основы работы тепловизоров детально описаны в работе [11].

Фиксация поля температур солнечных батарей выполнялась 27.04.2015 около 13:45. Регистрировалась температура передней поверхности панелей солнечных батарей. Точка съемки расположена спереди снизу. В момент измерения верхняя и нижняя батареи работали в режиме короткого замыкания по электрической нагрузке.

На рис. 7 приведены примеры изображений, полученных с помощью тепловизора.

На верхней батарее №1 пятна температуры выражены сильнее, чем на нижней батарее №2. На

верхней батарее №1 ярко выделяются две горячие области – справа вверху и справа немного ниже середины. Кроме того, прослеживаются две области слегка повышенной температуры в центре посередине (под датчиком температуры) и вблизи правого нижнего края батареи. На нижней батарее №2 отмечается раздвоенная область повышенной температуры слева немного выше центра с небольшой областью более высокой температуры ближе к центру под датчиком температуры. Кроме того, прослеживается область незначительного повышения в нижней половине батареи, более узкая по высоте слева и более широкая – справа.

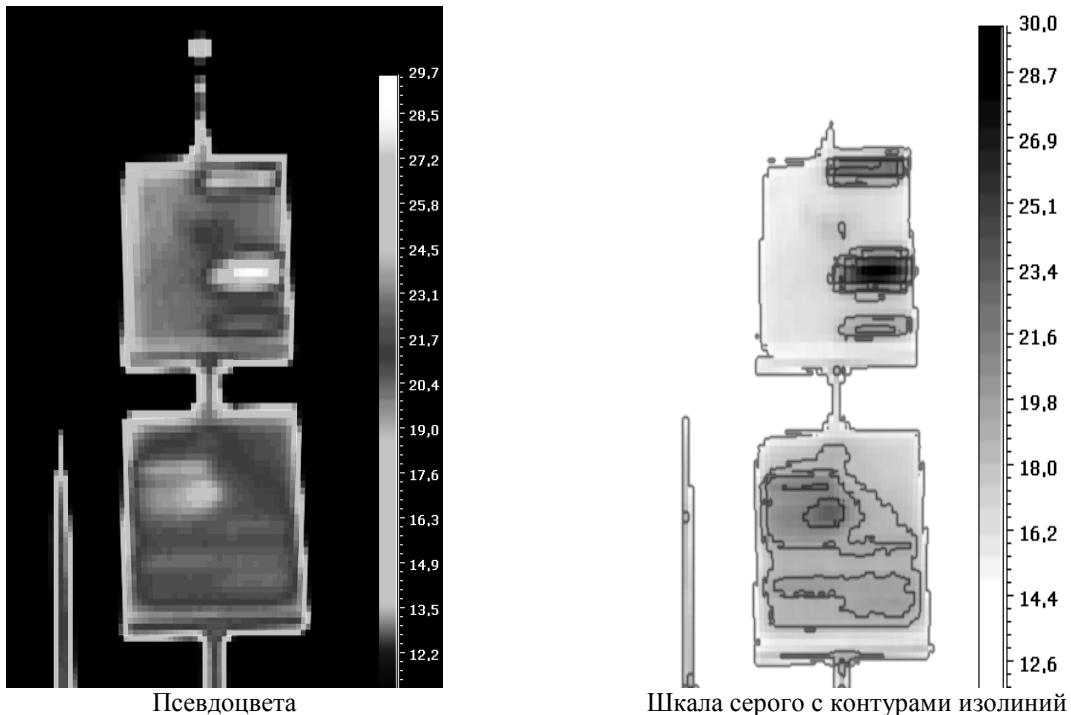


Рис. 7. Тепловой портрет солнечных батарей и шкала радиационных температур

Дополнительная теплоизоляция датчиков температуры на задней поверхности батарей ухудшает теплоотдачу и вызывает дополнительное увеличение температуры.

Радиационная температура батарей, фиксируемая тепловизором, определяется не только температурой батарей, но и температурой окружающей среды [11], прежде всего радиационной температурой неба (около – 10 °С). Это связано с тем, что поверхность батарей далека от модели абсолютно черного тела, и, в определенной степени работает как зеркало для окружающей среды. Поэтому абсолютные значения температур поверхности батареи существенно занижены. Для абсолютных оценок необходимо знать так называемый коэффициент «серости», и радиационную температуру фона.

Результаты измерений теплового поля передней поверхности солнечных батарей с помощью тепловизора, с поправкой на неопределенность значения коэффициента «серости», подтверждают результаты

измерений температур задней поверхности солнечных батарей, полученных бесконтактным инфракрасным термометром. Вполне естественно, что картина теплового поля, полученная с помощью тепловизора, имеет более высокое пространственное разрешение. Кроме того, получение теплового портрета тепловизором потребовало несопоставимо меньше затрат времени, что практически исключает влияние изменчивых во времени факторов (например, порывов ветра).

Привязка тепловизионного изображения к показаниям датчиков температуры.

На рис. 8 приведены суточные зависимости температур датчиков на задней поверхности солнечных батарей и температуры окружающей среды для условий проведения эксперимента. Этот график иллюстрирует влияние электрической нагрузки на температуру поверхности солнечных батарей.

В течение полных суток 27.04.2015 нижняя батарея №2 постоянно находилась в режиме короткого замыкания.

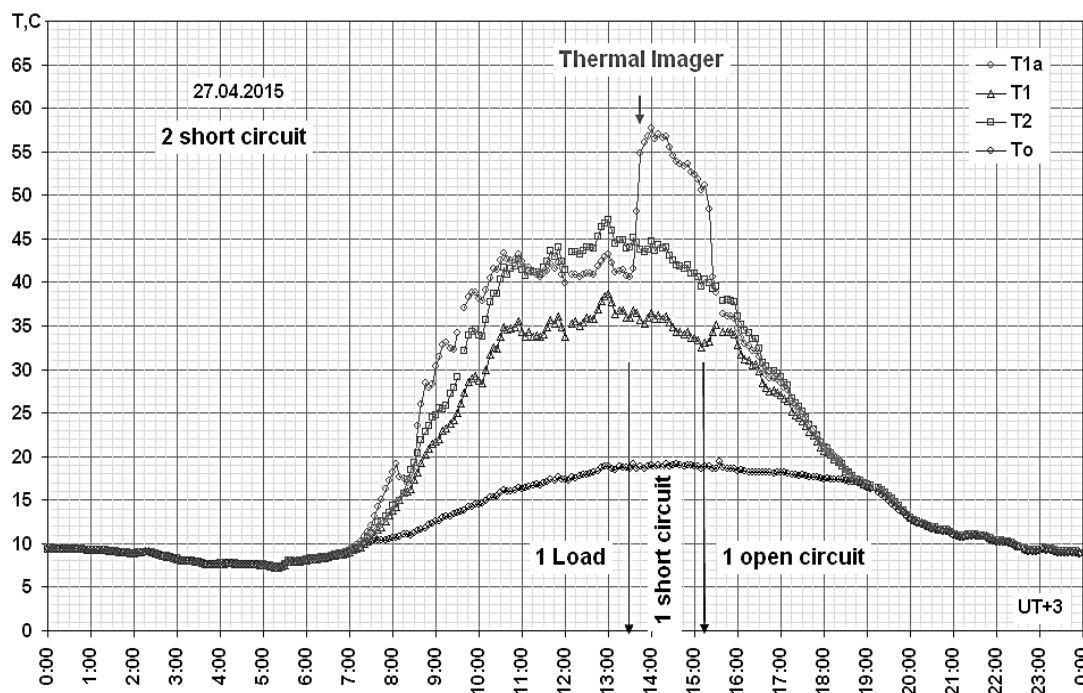


Рис. 8. Температуры на задней поверхности солнечных батарей и температура окружающей среды

Электрический режим верхней батареи № 1 несколько раз изменялся в течение суток. До момента съемки теплового портрета батарея была нагружена на резистивную нагрузку 9Ω. За 15 минут до проведения съемки батарея была переведена в режим короткого замыкания для более яркого проявления температурных аномалий. Через 2 часа после съемки батарея была переведена в режим холостого хода.

До момента переключения верхней батареи в режим короткого замыкания разность температур двух датчиков этой батареи изменялась в диапазоне от 0 до 8 °С. В режиме короткого замыкания разность температур

увеличилась до 25 °С. После переключения верхней батареи в режим холостого хода разности температур уменьшились до 3 °С.

В момент фиксации теплового изображения отмечены следующие значения температур цифровых датчиков. Температура на верхней батарее в горячем пятне 56 °С, около центра 36 °С. Температура нижней батареи около центра 44 °С. Температура окружающего воздуха в тени 19 °С.

На следующем графике (рис. 9) приведен суточный ход фототока батареи № 1 на эталонной нагрузке.

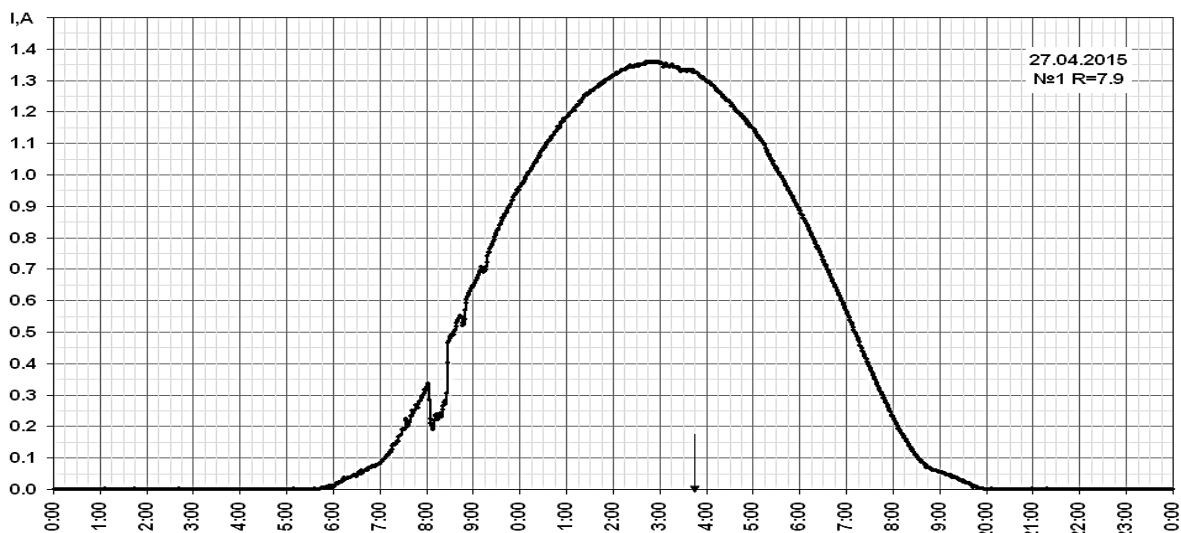


Рис. 9. Суточный ход фототока батареи № 1 на эталонной нагрузке

Эталонная нагрузка подключается на 0,1 секунды раз в одну минуту, вне зависимости от электрического режима батареи, и практически не влияет на тепловой режим батареи.

Провалы в ходе фототока в утренние часы обусловлены тенью от мачты на Юго-Востоке от батареи, и тенью от ее растяжек.

В момент регистрации теплового портрета фототок батареи на эталонной нагрузке составлял 1.35А.

Моменты изменения электрического режима батареи сопровождалось небольшими изменениями фототока, вероятнее всего, связанными с изменениями теплового режима солнечной батареи.

4. Обсуждение полученных результатов.

Таким образом, проведенные измерения выявили причины кажущегося «нарушения» законов термодинамики при сравнительном анализе температур двух фотоэлектрических батарей в различных режимах электрической нагрузки. Оказалось, что на поверхности вполне исправных солнечных фотоэлектрических батарей с практически идентичными электрическими характеристиками имеются аномальные пятна повышенной температуры. Эти пятна привязаны к конкретным элементам батареи.

Аномальная температура в пятнах сложным образом определяется электрическим током батареи.

На верхней батарее № 1 пятна температуры выражены значительно сильнее. На нижней батарее № 2 такие пятна менее выражены. Не исключено, что более низкие значения тока батареи № 1 (на 6 %) по сравнению током батареи № 2 связаны с этой аномалией.

По случайному стечению обстоятельств, средние точки, в которых изначально были размещены цифровые датчики температуры, имеют различные знаки отклонения температур от среднего по панели значений. Для батареи № 1 значение температуры датчика сдвинуто в область меньших значений, а для батареи № 2 – в область больших значений. Именно этим и обусловлено систематически более высокое значение температур на батарее № 2.

Можно считать, что в пределах точности проведения измерений, средние значения температур по всей поверхности панели батареи согласуются с законами термодинамики. Средние температуры батарей в режимах короткого замыкания и холостого хода практически одинаковы.

Остается открытым вопрос о механизмах перераспределения тепла между отдельными элементами батареи. Из законов термодинамики с очевидностью следует, что имеет место не просто дополнительный нагрев аномальных элементов, а перераспределение тепла с одновременным охлаждением других элементов. Охлаждение должно быть как раз таким, чтобы средняя температура панели не изменилась. Наиболее вероятным кандидатом на соответствующий механизм перераспределения тепла является электротепловой эффект Пельтье.

Выводы и рекомендации.

1. Для анализа температурных режимов солнечных фотоэлектрических батарей необходимо учитывать наличие температурных аномалий – горячих пятен, на их поверхности. Температура в пятнах на несколько десятков градусов может быть выше средней по всей поверхности температуры.

2. Средние температуры батарей по всей поверхности панели солнечной батареи в режимах короткого замыкания и в режиме холостого хода в пределах точности измерений одинаковы. Это в очередной раз подтверждает справедливость термодинамического подхода к анализу температурных явлений в солнечных батареях.

3. Разность температур по поверхности батареи сложным образом зависит от протекания тока через нее. В отсутствие тока перепады температур по поверхности батареи минимальны.

4. Представляет определенный практический и теоретический интерес построение количественной модели температурных аномалий поверхности фотоэлектрической батареи от протекающего через батарею электрического тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фаренбрух А. Солнечные элементы: Теория и эксперимент / А. Фаренбрух, Р. Бьюб. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.
2. King D. L. Photovoltaic Module and Array Performance Characterization Methods for All System Operating Conditions // Proceeding of NREL/SNL Photovoltaics Program Review Meeting, November 18–22, 1996.
3. Alonso Garcia M. C., Balenzategui J. L. Estimation of photovoltaic module yearly temperature and performance based on Nominal Operation Cell Temperature calculations // Renewable Energy, v. 29, Is. 12, October 2004.
4. Андреева Н. Ю. Исследование вариаций солнечной радиации для оценки энергетической эффективности солнечных фотоэлектрических батарей / Н. Ю. Андреева, В. И. Кубов, Р. М. Кубова, А. А. Павленко // Наукові праці. Т. 233, Вип. 221. Техногенна безпека. – Миколаїв : ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. – С. 126–133.
5. Зюляев Д. Д. Комплекс засобів контролю температурних режимів університету та дослідження джерел «зеленої» енергії у миколаївському регіоні / Д. Д. Зюляев, В. И. Кубов, В. В. Черемисина // Вісник київського національного університету технологій та дизайну. – № 6(74), 2013. – Київ, 2013. – С. 40–44.
6. Андреев В. И. Экспериментальные и теоретические исследования параметров солнечных фотоэлектрических батарей для оценки их энергетической эффективности / В. И. Андреев, В. И. Кубов, Р. М. Кубова, А. А. Павленко // Наукові праці. т. 210, вип.198. Техногенна безпека. – Миколаїв : ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. – С. 129–136.
7. Кубов В. И. Тепловой режим солнечных фотоэлектрических батарей / В. И. Кубов, А. А. Павленко // Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів. – Кременчук : КДУ, 2014. – С. 31–33.
8. Tsanakas J. A., Karoglou M., Delegou E. T., Botsaris P. N., Bakolas A., Moropoulou A. Assessment of the Performance and Defect Investigation of PV Modules after Accelerated Ageing Tests. // International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREQP'13), Bilbao (Spain), ISSN 2172-038 X, No. 11, March 2013
9. Tsanakas J. A., Botsaris P. N. An infrared thermographic approach as a hot-spot detection tool for photovoltaic modules using image histogram and line profile analysis // The International Journal of Condition Monitoring, V. 2, Issue 1, March 2012, p.p. 1–9.
10. Tsanakas J. A., Botsaris P. N. Non-destructive in situ evaluation of a PV module performance using infrared thermography. // https://www.researchgate.net/publication/267337150_Non-destructive_In_Situ_Evaluation_of_a_PV_Module_Performance_using_Infrared_Thermography.
11. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение / Ж. Госсорг. – Москва : Мир, 1988, 400 с.

В. І. Андрєєв,
Чорноморський державний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна
М. Д. Гончарук,
медична фірма «Біополіс», м. Миколаїв, Україна
Л. П. Клименко, Д. Д. Зюляєв, В. І. Кубов,
Чорноморський державний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна
Р. М. Кубова,
Московський університет імені Вітте, м. Москва, Росія
А. А. Павленко,
Чорноморський державний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРНИХ АНОМАЛІЙ У СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ БАТАРЕЯХ

Наводяться результати аналізу поля температур поверхні сонячних фотоелектричних батарей в залежності від електричного навантаження. Порівнюються значення, отримані за допомогою контактних цифрових датчиків температури, безконтактного інфрачервоного термометру та зображення тепловізора.

Ключові слова: сонячні фотоелектричні батареї; температурні аномалії; цифрові сенсори температури; безконтактний інфрачервоний термометр; тепловізор.

V. I. Andreev,
Petro Mohyla Black Sea State University, Mykolaiv, Ukraine
M. D. Goncharuk,
medical company «Biopolis», Mykolaiv, Ukraine
L. P. Klimenko, D. D. Zuliyaev, V. I. Kubov,
Petro Mohyla Black Sea State University, Mykolaiv, Ukraine
R. M. Kubova,
Department of Mathematics and Informatics of Moscow Witte University, Moscow, Russia
A. A. Pavlenko,
Petro Mohyla Black Sea State University, Mykolaiv, Ukraine

THE ANALYSIS OF TEMPERATURE ANOMALIES IN SOLAR PHOTOVOLTAIC BATTERIES

The analysis results in solar panel's surface temperature field according to electric load. The temperature was measured with a few device, such as: contact digital temperature sensors, non-contact IR-thermometer and Thermal Imager. Obtained values are compared to each other.

Key words: Solar Photovoltaic Batteries; «Hot Patches», Digital Temperature Sensors; non-contact IR-thermometer; Thermal Imager.

Рецензенти: *Кутковецкий В. Я.,* д-р техн. наук, професор;
Мусиенко М. П., д-р техн. наук, професор.

© Андрєєв В. І., Гончарук М. Д., Клименко Л. П.,
Зюляєв Д. Д., Кубов В. І., Кубова Р. М.,
Павленко А. А., 2015

Дата надходження статті до редколегії 12.05.2015