



УДК 620.91

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ С КОНЦЕНТРАТОРОМ ПАРАБОЛОИДНОГО ТИПА

Панченко Владимир Анатольевич

кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник
Российский университет транспорта МИИТ, Москва,
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва

Аннотация

В работе представлены результаты испытаний разработанного солнечного теплофотоэлектрического модуля с концентраторами параболоидного типа. В качестве фотоэлектрических преобразователей использовались как планарные кремниевые фотоэлектрические преобразователи, так и матричные высоковольтные, которые имеют увеличенную электрическую эффективность. Наряду с электроэнергией модуль позволяет получать и тепловую энергию, охлаждая теплоносителем фотоэлектрические преобразователи и повышая таким образом их эффективность.

Ключевые слова: солнечная энергетика, концентратор солнечного излучения, фотоэлектрические преобразователи, высоковольтные матричные элементы, эффективность.

RESEARCH OF THE PHOTOVOLTAIC THERMAL MODULE WITH THE CONCENTRATOR OF THE PARABOLOID TYPE

Vladimir A. Panchenko

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher
Russian University of Transport, Moscow,
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow

ABSTRACT

The paper presents the test results of the developed photovoltaic thermal module with paraboloid type concentrators. As planar photoelectric converters used both planar silicon photoelectric converters and high-voltage matrix converters, which have increased electrical efficiency. Along with electricity, the module also allows to receive thermal energy, cooling the photoelectric converters with coolant and thereby increasing their efficiency.

Keywords: solar energy, solar radiation concentrator, photoelectric converters, high-voltage matrix elements, efficiency.

Солнечная энергетика в последние десятилетия развивается темпами, опережающими развитие других преобразователей возобновляемой энергии. Наибольшее

распространение получили планарные фотоэлектрические солнечные модули [1], однако наибольшую эффективность позволяют получить когенерационные, так называемые теплофотоэлектрические солнечные модули, которые наряду с электроэнергией позволяют получать и тепловую энергию [2, 3]. Наибольший интерес среди таких систем представляют концентраторные теплофотоэлектрические солнечные модули [4 – 7] в виду потенциала увеличения их эффективности и уменьшения стоимости удельной мощности. Подобные устройства позволяют получать температуры теплоносителя более высокого уровня по сравнению с планарными теплофотоэлектрическими модулями.

Для сравнения работы планарных и матричных фотоэлектрических преобразователей [8, 9] в условиях засветки концентрированным солнечным излучением, разработан солнечный теплофотоэлектрический модуль с концентраторами параболоидного типа, профиль которых обеспечивает равномерную освещённость в фокальной области. В результате разработки солнечного теплофотоэлектрического модуля с концентраторами параболоидного типа (рисунок 1 и рисунок 2) были проведены его испытания с целью определения вольтамперных характеристик фотоэлектрических преобразователей. Компоновка разработанного модуля иллюстрируется на рисунке 1.

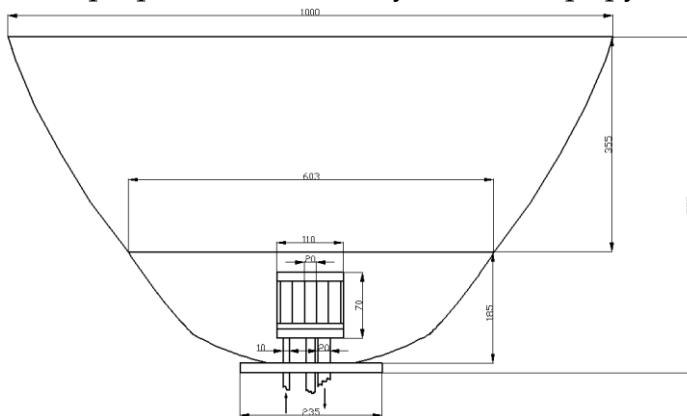


Рисунок 1. Компоновка модуля с концентраторами солнечного излучения

На рисунке 2 слева показан внешний вид модуля с установленным одним концентратором, который обеспечивает равномерную освещённость на поверхности фотоэлектрических преобразователей, которые в свою очередь располагаются на цилиндрическом радиаторе водяного охлаждения. На рисунке 2 справа представлен внешний вид солнечного модуля с установленным вторым концентратором, который обеспечивает догрев теплоносителя, концентрируя солнечное излучение на торцевой поверхности цилиндрического радиатора, догревая таким образом теплоноситель, который отбирает теплоту от фотоэлектрических преобразователей.

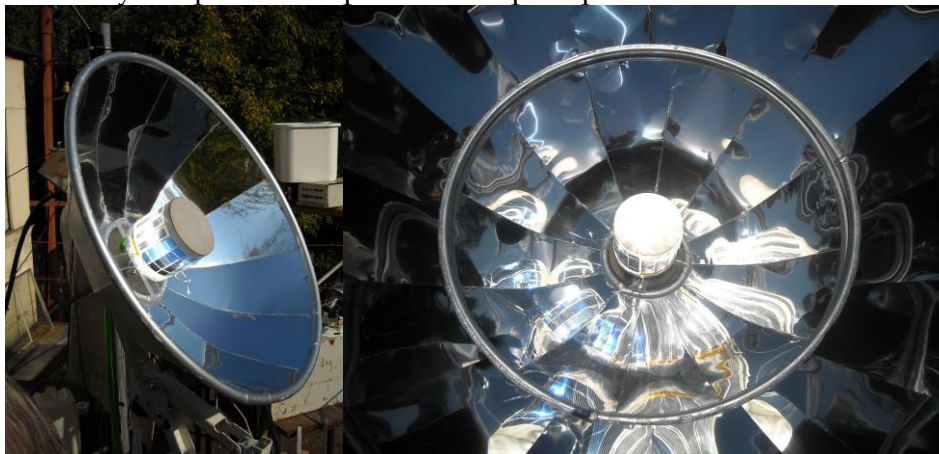


Рисунок 2. Концентраторный теплофотоэлектрический солнечный модуль с одним (слева) и двумя установленными концентраторами солнечного излучения (справа)

Следует отметить, что на поверхности цилиндрического радиатора водяного охлаждения располагались несколько групп фотоэлектрических преобразователей различных типов. Такой подход позволил сравнить их эффективность при одинаковых условиях освещения и охлаждения. Электроизоляция алюминиевого радиатора водяного охлаждения обеспечивалась микродуговым оксидированием его поверхности.

На рисунке 3 представлены различные типы кремниевых фотоэлектрических преобразователей, где три из них планарного типа, а один матричный высоковольтный [8, 9]. Два типа из трёх планарных преобразователей двусторонние. Из представленных фотоэлектрических элементов вырезались по нужным размерам мини-элементы, которые и устанавливались на радиатор.

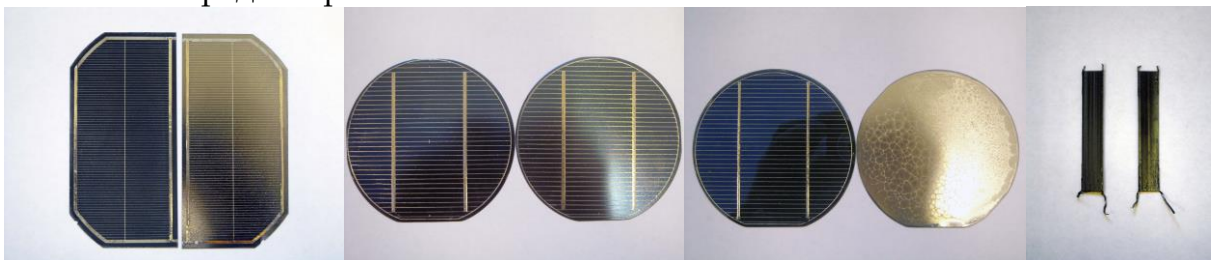


Рисунок 3. Различные фотоэлектрические кремниевые преобразователи, используемые в модуле

В ходе экспериментов получены вольтамперные характеристики различных фотоэлектрических преобразователей. На рисунке 4 представлены вольтамперные характеристики фотоэлектрических преобразователей трёх типов (планарной структуры) до резки на группы мини-элементов и установки на радиатор.

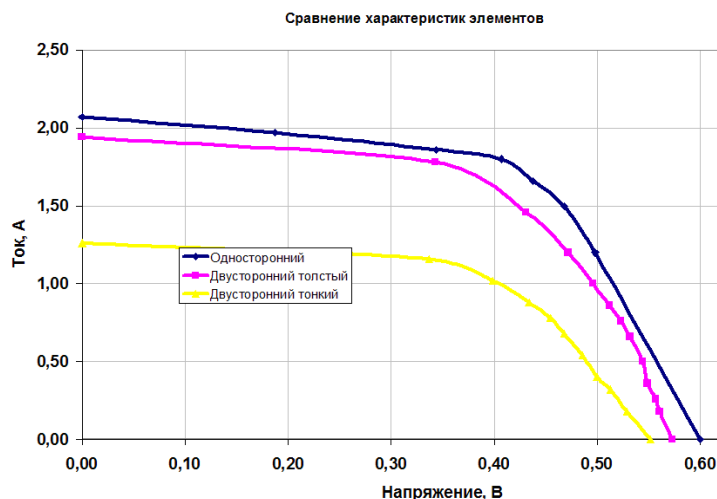


Рисунок 4. Вольтамперные характеристики трёх планарных фотоэлектрических преобразователей

На рисунке 5 представлены вольтамперные характеристики единичных мини-элементов с размерами 70 × 20 мм, подготовленных для установки на радиатор. Пропорционально площади уменьшился и ток фотоэлектрических преобразователей, а форма вольтамперной характеристики приобрела форму, близкую к прямой.

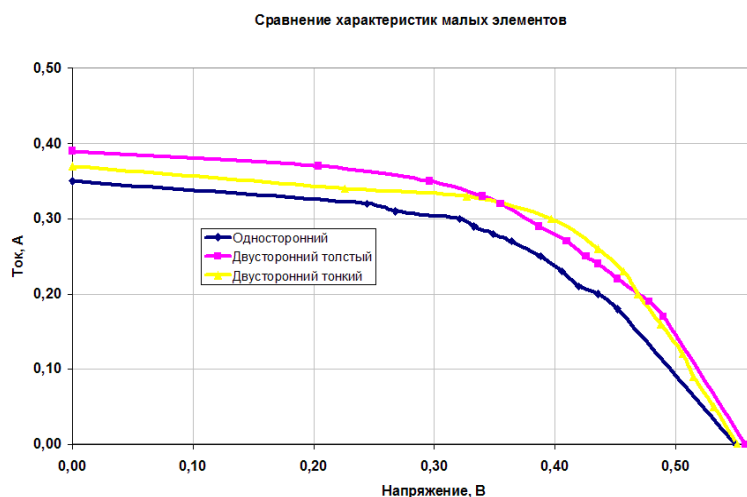


Рисунок 5. Вольтамперные характеристики единичных мини-элементов

Подготовленные мини-элементы собирались по 4 штуки в цепь для установки на цилиндрический радиатор водяного охлаждения. Вольтамперные характеристики секций различных фотоэлектрических преобразователей представлены на рисунке 6. При работе фотоэлектрических преобразователей в секциях, форма вольтамперной характеристики приблизилась к прямоугольной, что говорит о более эффективной их работе. Соединение в секции элементов происходило последовательно, о чём говорит увеличение напряжения.

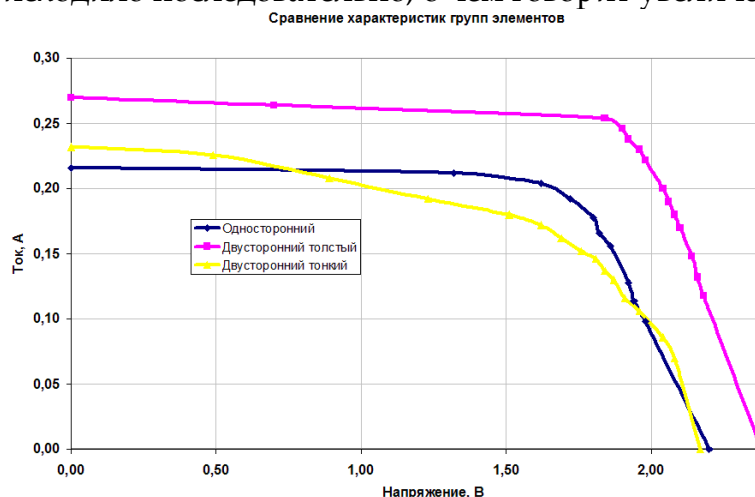


Рисунок 6. Вольтамперные характеристики секций различных фотоэлектрических преобразователей

При работе фотоэлектрических преобразователей в фокусе концентраторной установки и охлаждении преобразователей теплоносителем, ток увеличился пропорционально концентрации солнечного излучения (около 7 крат), а вольтамперная характеристика приблизилась к прямой линии, что говорит о неблагоприятной работе планарных фотоэлектрических элементов в концентрированном потоке солнечного излучения (рисунок 7).

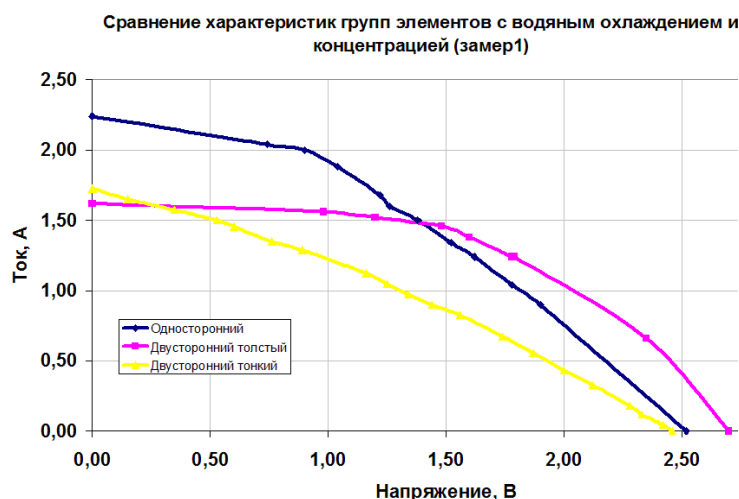


Рисунок 7. Вольтамперные характеристики секций различных фотоэлектрических преобразователей в концентрированном солнечном потоке и водяном охлаждении

Высоковольтные матричные кремниевые фотоэлектрические преобразователи в секцию были соединены параллельно для увеличения общего тока, так как напряжение единичного элемента около 15 В. Вольтамперные характеристики матричных фотоэлектрических преобразователей представлены на рисунке 8. Представлены вольтамперные характеристики секции матричных элементов при естественном солнечном излучении, без водяного охлаждения в концентрированном солнечном потоке и два замера при концентрированном солнечном излучении и водяном охлаждении.

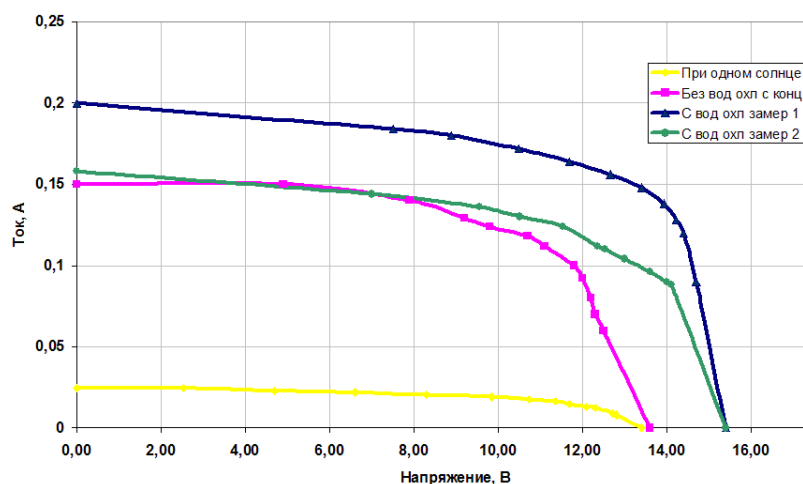


Рисунок 8. Вольтамперные характеристики секции матричных высоковольтных фотоэлектрических преобразователей при различных условиях освещения и охлаждения

После анализа вольтамперных характеристик матричных и планарных фотоэлектрических преобразователей при различных условиях освещения и охлаждения можно сделать вывод о более эффективной работе матричных элементов при высокой концентрации солнечного излучения даже без должного охлаждения. В результате испытаний электрическая эффективность матричных фотоэлектрических преобразователей увеличилась с 9 % до 12 %. Такого результата удаётся добиться благодаря технологии их изготовления и герметизации двухкомпонентным полисилоксановым компаундом [10, 11]. Эти технологии были разработаны специально для работы фотоэлектрических преобразователей в теплофотоэлектрических установках, с концентраторами параболического типа в частности.

Список литературы

1. Панченко В.А. Обзор и применение солнечных модулей, разрабатываемых и выпускаемых ГНУ ВИЭСХ // Вестник ВИЭСХ, 2014, № 4 (17), с. 20 – 29.
2. Панченко В.А., Филиппченкова Н.С. Теплофотоэлектрические бесконцентраторные солнечные модули (гибридные солнечные коллекторы) // Инновации в сельском хозяйстве, № 5 (15) / 2015, с. 128 – 133.
3. Панченко В.А., Чирский С.П. Разработка и исследование солнечных теплофотоэлектрических модулей в системах автоматизированного проектирования и конечно-элементного анализа // Строительство и техногенная безопасность, №14 (66), 2019, с. 57 – 72.
4. Синицын С.А., Стребков Д.С., Панченко В.А. Паркетирование поверхности параболического концентратора солнечного теплофотоэлектрического модуля по заданным дифференциально-геометрическим требованиям // Геометрия и графика, 2019, Т. 7, № 3, с. 15 – 27.
5. Синицын С.А. Моделирование линейных погрешностей при конструировании поверхности концентратора солнечного модуля // Научный электронный журнал Меридиан, 2020, № 4 (38), с. 219-221.
6. Синицын С.А. Энтропийная погрешность при моделировании конструктивных форм теплофотоэлектрических солнечных модулей // Научный электронный журнал Меридиан, 2020, № 3 (37), с. 438-440.
7. Синицын С.А. Информационная методика управления качеством поверхности солнечного концентратора, заданной дискретным множеством точек // E-Scio, 2020, № 1 (40), с. 421-427.
8. Стребков Д.С., Поляков В.И., Панченко В.А. Исследование высоковольтных солнечных кремниевых модулей // Альтернативная энергетика и экология, 2013, № 6-2 (128), с. 36-42.
9. Панченко В.А., Стребков Д.С., Поляков В.И., Арбузов Ю.Д. Высоковольтные солнечные модули с напряжением 1000 В // Альтернативная энергетика и экология, 2015, № 19 (183), с. 76 – 81.
10. Стребков Д.С., Персиц И.С., Панченко В.А. Солнечные модули с увеличенным сроком службы // Инновации в сельском хозяйстве, № 3(8)/2014, с. 154 – 158.
11. Панченко В.А., Стребков Д.С., Персиц И.С. Разработка солнечных модулей с увеличенным сроком номинальной работы // Наноструктурированные материалы и преобразовательные устройства для солнечной энергетики Сборник трудов III всероссийской научной конференции 19-20 июня 2015 г., Чебоксары, с. 91 – 94.

References

1. Panchenko V.A. Review and application of solar modules developed and manufactured by GNU VIESH // Bulletin of VIESH, 2014, No. 4 (17), p. 20 – 29 [in Russian].
2. Panchenko V.A., Filippchenkova N.S. Photovoltaic thermal concentratorless solar modules (hybrid solar collectors) // Innovations in Agriculture, No. 5 (15) / 2015, p. 128 – 133 [in Russian].
3. Panchenko V.A., Chirskiy S.P. Development and research of solar photovoltaic thermal modules in computer-aided design and finite element analysis systems // Construction and industrial safety, No. 14 (66), 2019, p. 57 – 72 [in Russian].
4. Sinitsyn S.A., Strebkov D.S., Panchenko V.A. Surface parqueting for a parabolic concentrator of a solar photovoltaic module according to specified differential geometric requirements // Geometry and Graphics, 2019, V. 7, No. 3, p. 15 – 27 [in Russian].
5. Sinitsyn S.A. Modeling linear errors in constructing the surface of a solar module concentrator // Scientific electronic journal Meridian, 2020, No. 4 (38), p. 219-221 [in Russian].

6. Sinitsyn S.A. Entropy error in modeling the structural forms of photovoltaic thermal solar modules // Scientific electronic journal Meridian, 2020, No. 3 (37), p. 438-440 [in Russian].
7. Sinitsyn S.A. An information technique for controlling the surface quality of a solar concentrator defined by a discrete set of points // E-Scio, 2020, No. 1 (40), p. 421-427 [in Russian].
8. Strebkov D.S., Polyakov V.I., Panchenko V.A. The study of high-voltage solar silicon modules // Alternative Energy and Ecology, 2013, No. 6-2 (128), p. 36-42 [in Russian].
9. Panchenko V.A., Strebkov D.S., Polyakov V.I., Arbuzov Yu.D. High-voltage solar modules with a voltage of 1000 V // Alternative Energy and Ecology, 2015, No. 19 (183), p. 76 - 81 [in Russian].
10. Strebkov D.S., Persits I.S., Panchenko V.A. Solar modules with extended life // Innovations in Agriculture, No. 3 (8) / 2014, p. 154 - 158 [in Russian].
11. Panchenko V.A., Strebkov D.S., Persits I.S. Development of solar modules with an extended nominal life // Nanostructured materials and converting devices for solar energy Proceedings of the III All-Russian Scientific Conference June 19-20, 2015, Cheboksary, p. 91 - 94 [in Russian].