

УДК 621.383

СОЛНЕЧНЫЕ МОДУЛИ С УВЕЛИЧЕННЫМ СРОКОМ СЛУЖБЫ НА УРОВНЕ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

В.А. Панченко, Д.С. Стребков, И.С. Персиц

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ)
РФ 109456, Москва, 1-й Вешняковский проезд, 2
тел.: +7(926)275-21-04; e-mail: pancheska@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.19.007

Заключение совета рецензентов: 07.10.15 Заключение совета экспертов: 15.10.15 Принято к публикации: 23.10.15

Лаборатория солнечных фотоэлектрических модулей ВИЭСХ предлагает применять в составе солнечных фотоэлектрических модулей в качестве заполнителя-герметика полисилоксановые гели, которые представля- ют собой редкосшитую структуру, образующуюся в процессе гидросилицирования.

Существенное увеличение срока службы солнечных модулей на уровне номинальной мощности, их ста- бильная работа с концентраторами, а также снижение производственных энергозатрат обеспечивается с по- мощью двухкомпонентного полисилоксанового компаунда в качестве материала-заполнителя, отверждаемого в присутствии платинового катализатора до состояния низкомолекулярного геля.

В статье рассматриваются разработанные в ВИЭСХ технология и установка для герметизации солнечных фотоэлектрических модулей с увеличенным в два раза сроком службы солнечных модулей на уровне номи- нальной мощности по сравнению со стандартными ламинированными солнечными модулями.

Ключевые слова: солнечные модули, полисилоксановые гели, увеличение срока службы солнечных модулей, высоковольт- ные солнечные модули, солнечная черепица.

SOLAR MODULES WITH EXTENDED RATED WORK

V.A. Panchenko, D.S. Strebkov, I.S. Persits

All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture
2, 1st Veshnyakovsky dr., Moscow, 109456 Russian Federation
ph.: +7(926)275-21-04, e-mail: pancheska@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.19.007

Referred 7 October 2015 Received in revised form 15 October 2015 Accepted 23 October 2015

The laboratory of solar photovoltaic modules VIESH proposed the using in solar photovoltaic modules as a filler- sealer the polysiloxane gels, which are rarely linked structure formed during hydrosilycation.

Significant increasing the service life of solar modules at the level of the nominal power, their stable operation with concentrators and reduction of energy consumption is provided by using bicomponent polysiloxane compound as the aggregate material, which solidifies in the presence of a platinum catalyst to a state of low modulus gel.

The paper deals with the technology and installation, developed in VIESH, for sealing of solar photovoltaic mod- ules with the two-fold increased service life of solar modules at the level of the nominal power compared with the standard laminate solar modules.

Keywords: solar modules, polysiloxane gels, increasing service life of solar modules, high-voltage solar modules, solar tiles.





Панченко
Владимир Анатольевич
Vladimir A. Panchenko

Сведения об авторе: канд. техн. наук, заведующий лабораторией солнечных фотоэлектрических модулей, ФГБНУ ВИЭСХ.

Образование: МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Область научных интересов: солнечная энергетика, автономное энергоснабжение, сельское хозяйство.

Публикации: 42.

Information about the author: PhD (engineering), the Head of the Laboratory of Solar Photovoltaic Modules, VIESH.

Education: Bauman Moscow State Technical University.

Research area: solar energy, autonomous power supply, agriculture.

Publications: 42.



Стребков Дмитрий Семёнович
Dmitriy S. Strebkov

Сведения об авторе: д-р техн. наук, научный руководитель института, ФГБНУ ВИЭСХ.

Образование: Московский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, МГУ им. М.В. Ломоносова.

Область научных интересов: возобновляемая энергетика, автономное энергоснабжение, сельское хозяйство.

Публикации: 1 340.

Information about the author: DSc (engineering), the scientific director of the institute, VIESH.

Education: Moscow Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture; Lomonosov Moscow State University.

Research area: renewable energy, autonomous power supply, agriculture.

Publications: 1 340.



Персиц Ирина Самуиловна
Irina S. Persits

Сведения об авторе: канд. техн. наук., ВИЭСХ.

Образование: Московский государственный университет тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова.

Область научных интересов: солнечная энергетика, автономное энергоснабжение, сельское хозяйство.

Публикации: 46.

Information about the author: Ph.D (engineering).

Education: Lomonosov Moscow State University of Fine Chemical Technologies.

Research area: solar energy, autonomous power supply, agriculture.

Publications: 46.

Современные тенденции

Подавляющее большинство современных солнечных модулей имеют в своём составе планарные кремниевые солнечные элементы. Наиболее распространённая технология изготовления солнечных модулей – ламинирование с применением плёнок на основе сополимера этилена с винилацетатом (EVA).

Причинами деградации солнечных фотоэлектрических модулей, изготовленных по технологии ламинирования, являются коррозия контактной сетки фотопреобразователей и увеличение оптических потерь в ламинирующих слоях. При использовании концентратора солнечного излучения процесс потемнения ламинирующего материала значительно ускоряется. К другим недостаткам данной технологии можно отнести выделение токсичных летучих веществ в процессе ламинирования, а также значи-

тельную энергоёмкость самого процесса. Основное следствие вышеописанных моментов – ограниченный срок номинальной мощности модуля (20–25 лет), обусловленный малой свето-, термо- и атмосферостойкостью. Такие модули нерационально использовать в установках с концентраторами солнечного излучения.

В последнее время активно совершенствуется технология производства фотоэлектрических модулей как в части замены этиленвинилацетатной плёнки на плёночные материалы с другой полимерной основой, так и в части технологических процессов, заменяющих стадию ламинирования [1]. Предлагается использовать оборудование и технологию, близкие к процессу производства заливочных триплексов, с применением жидкого УФ-отверждаемого двухкомпонентного полимерного состава на основе акриловых олигомеров [2].

Кроме того, существуют разработки по производству тонкопленочных и кристаллических модулей без каких-либо полимерных наполнителей, когда изготавливаются вакуумные стеклопакеты с применением термопластичного спейсера на основе полиизобутилена [3, 4]. При хороших показателях оптической прозрачности, широкого температурного диапазона эксплуатации и чистоты от примесей наиболее подходят кремнийорганические полимеры (полисилоксаны), которые используются при изготовлении солнечных батарей для космического использования. Применение полисилоксанового наполнителя, отверждаемого при температуре 100 °С, увеличивает долговечность модулей, однако ощутимо энергозатраты при производстве не сокращает и не позволяет производить двухсторонние модули для эксплуатации в установках с концентраторами [5]. Для герметизации микросхем и полупроводниковых приборов применяются полисилоксановые гели, которые представляют собой редкосшитую структуру, образующуюся в процессе гидросилицирования – реакции взаимодействия низкомолекулярных полисилоксанов, содержащих диметил-метилвинилсилоксановые звенья со сшивающим агентом на основе смеси различных циклических и линейных гидридсилоксанов в присутствии платинового катализатора (платинохлористоводородная кислота). Вулканизация осуществляется по схеме «полимер-полимер» без выделения побочных продуктов реакции, с образованием длинных поперечных мостиков, придающих вулканизату ряд уникальных свойств [6]: высокие диэлектрические характеристики и сохранение их при отрицательных температурах; регулировка

частоты сшивки и вязкоупругих характеристик; высокая степень чистоты по содержанию примесей; отсутствие внутренних механических напряжений; хорошее вибропоглощение (демпфирование); исправление дефектов, свойственное жидкостям, наряду с формоустойчивостью и размерной стабильностью, характерными для сшитых эластомеров, а также высокая адгезия к полупроводникам, стеклу и большинству других материалов; высокая устойчивость к температурной, ультрафиолетовой и озонной деградации; экологическая безопасность применения.

Экспериментальная работа ВИЭСХ

В результате работ, выполненных в ВИЭСХ в сотрудничестве с фирмой «Poulek Solar Ltd», Чехия, показано, что заявленные положительные моменты технологии заливки полисилоксановым компаундом подтверждаются. Разработана технология герметизации солнечных фотоэлектрических модулей с увеличенным сроком службы солнечных модулей на уровне номинальной мощности по сравнению со стандартными ламинированными солнечными модулями. В качестве основы принята технология изготовления вакуумного стеклопакета с термопластичным спейсером по периметру, где предварительно вакуумированная полость заполняется двухкомпонентным жидким полисилоксановым компаундом, структурируемым при комнатной температуре в низкомолекулярный гель. Для осуществления этого процесса разработана установка автоматического смешивания и дозирования двухкомпонентного полисилоксанового компаунда, которая представлена на рисунке 1.

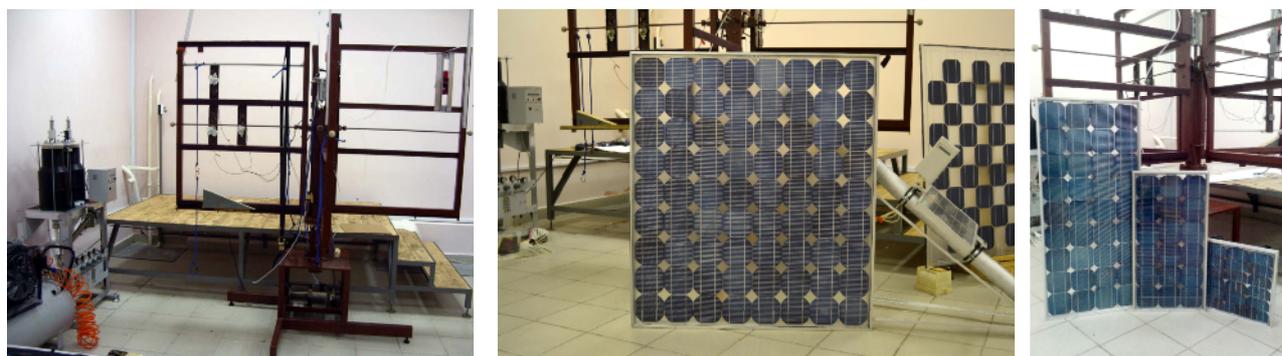


Рис. 1. Установка автоматического смешивания компонентов
Fig. 1. Installation of automatic mixing

Сравнение созданного комплекта оборудования со стандартным оборудованием для ламинирования с такой же производительностью показало, что стои-

мость комплекта для заливки геля составляет не более 15 % от стоимости стандартного ламинатора, а годовые энергозатраты снижаются более чем в 10 раз.

С применением новой технологии изготовлены солнечные фотоэлектрические модули, которые прошли испытания в концентраторных солнечных

установках со слежением за Солнцем (Чешский сельскохозяйственный университет) (рис. 2а).

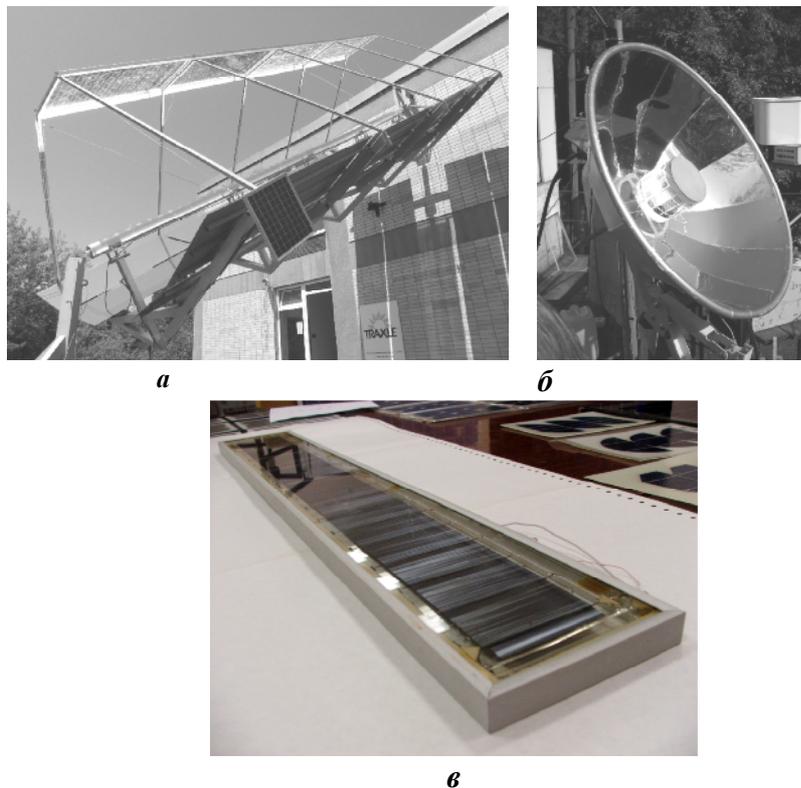


Рис. 2. Испытания двухстороннего солнечного модуля (а) и высоковольтных солнечных модулей в установке с концентратором (б); отдельный высоковольтный солнечный модуль с напряжением 1 000 В (в)
Fig. 2. Test of bilateral solar module (a) and high-voltage solar modules installed with the concentrator (б); a single high-voltage solar module with 1000 V (в)

Наряду с заливкой солнечных модулей с планарными солнечными элементами (рис. 1 и 2а) [7] технология заливки гелем также применяется для изготовления высоковольтных матричных солнечных модулей, которые в свою очередь непосредственно используются в концентраторных теплофотоэлектрических установках (рис. 2б) [8, 9]. При использовании высоковольтного солнечного модуля с напряжением 1 000 В в стеклопакете с полисилоксановым компаундом и в установке с концентраторами снижается расход кремния солнечного качества, вырабатывается большая мощность и увеличивается электрический КПД до 24–28 % (рис. 2в).

Кроме планарных и высоковольтных солнечных модулей в ВИЭСХ разрабатываются и изготавливаются солнечные модули, интегрированные в кровельный материал, – солнечная черепица [10] (рис. 3). Солнечная черепица используется при строительстве зданий с одновременной электрогенерацией от солнечного излучения, что, с одной стороны, решает архитектурные и строительные задачи, а с другой, – обеспечивает автономное или параллельное с сетью электроснабжение потребителя. Одним изделием заменяется два (обычная покрывная черепица и фотоэлектрический модуль), совмещая в себе обе функции (защитная и электрогенерирующая). Солнечная черепица представляет собой черепицу стандартной формы и изготавливается из вторичного сырья, что снижает стоимость производства и благоприятно сказывается на экологии. В состав данной черепицы входят солнечные элементы, герметизированные с помощью кремнийорганического двухкомпонентного полисилоксанового компаунда, который обеспечивает срок номинального режима работы солнечных элементов в 40–50 лет. Солнечная черепица изготавливается в двух вариантах – планарном (рис. 3а) и концентраторном (рис. 3б, в). В концентраторном исполнении солнечные элементы работают совместно с дополнительно установленным концентратором, что снижает стоимость солнечного модуля ввиду экономии кремния солнечного качества. Для увеличения работы в течение дня в концентраторную черепицу дополнительно устанавливается оптическая отклоняющая система, выполненная из множества ориентированных в одном направлении призм с острым углом между поверхностью входа и поверхностью выхода лучей [11].

Солнечная черепица представляет собой черепицу стандартной формы и изготавливается из вторичного сырья, что снижает стоимость производства и благоприятно сказывается на экологии. В состав данной черепицы входят солнечные элементы, герметизированные с помощью кремнийорганического двухкомпонентного полисилоксанового компаунда, который обеспечивает срок номинального режима работы солнечных элементов в 40–50 лет. Солнечная черепица изготавливается в двух вариантах – планарном (рис. 3а) и концентраторном (рис. 3б, в). В концентраторном исполнении солнечные элементы работают совместно с дополнительно установленным концентратором, что снижает стоимость солнечного модуля ввиду экономии кремния солнечного качества. Для увеличения работы в течение дня в концентраторную черепицу дополнительно устанавливается оптическая отклоняющая система, выполненная из множества ориентированных в одном направлении призм с острым углом между поверхностью входа и поверхностью выхода лучей [11].



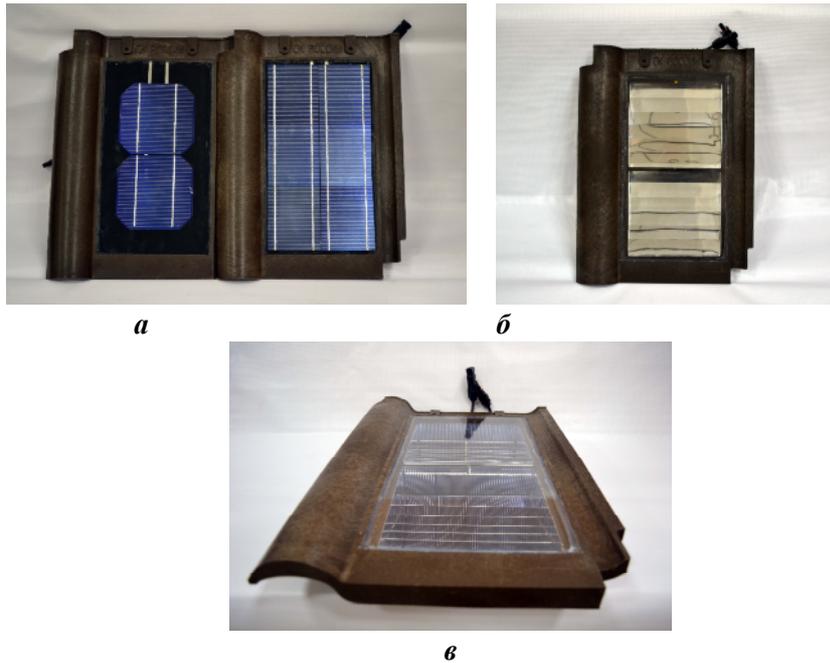


Рис. 3. Планарные (а) и концентраторные (б и в) солнечные черепицы с полисилоксановым компаундом
Fig. 3. Planar (a) and concentrator (б and в) solar tiles with the polysiloxane compound

Кровельные концентраторные солнечные панели устанавливаются на южном скате крыши здания под двумя возможными углами – для максимальной выработки в летние месяцы или же для максимальной выработки в зимние месяцы. При использовании дополнительной призматической оптической отклоняющей системы увеличивается эффективный апертурный угол солнечного модуля с концентратором, продолжительность работы в стационарном режиме, и уменьшаются косинусные потери. Кровельная концентраторная солнечная панель работает в ста-

ционарном режиме без слежения за Солнцем и собирает на приёмнике прямую и диффузную солнечную радиацию в пределах апертурного угла.

Результаты экспериментов и выводы

По результатам испытаний солнечных модулей [6] можно выявить положительные отличия между технологией герметизации с полисилоксановым компаундом и стандартной технологией ламинирования (таблица 1).

Таблица 1

Сравнительные характеристики технологических процессов герметизации (полисилоксановый компаунд) и ламинирования (EVA)

Table 1

Comparative characteristics of technological sealing (polysiloxane compound) and laminating (EVA) processes

	EVA (этиленвинилацетат)	Полисилоксановый компаунд
Температура эксплуатации	-30 ÷ + 60 °С	-50 ÷ + 250 °С
Стойкость к ультрафиолету	низкая	высокая
Срок номинальной мощности	20–25 лет	40–50 лет
Потребление электроэнергии	40 кВт·ч	5 кВт·ч
Коэффициент преломления	1,482	1,406
Прозрачность для солнечного излучения с различными длинами волн	8 % ($\lambda = 360$ нм)	90 % ($\lambda = 360$ нм)
	62 % ($\lambda = 400$ нм)	92 % ($\lambda = 400$ нм)
	91 % ($\lambda = 600 \div 1000$ нм)	93 % ($\lambda = 600 \div 1000$ нм)
Корродирующий агент при изготовлении	уксусная кислота	нет
Корродирующий агент при старении	уксусная кислота	нет
Механическое напряжение изготовления старение	да	нет
	да	нет
Модуль упругости	10,0 N/мм ²	0,006 N/мм ²
Линейный коэффициент теплового расширения	4,0 x 10 ⁻⁴ K ⁻¹	2,5 x 10 ⁻⁴ K ⁻¹

Таким образом, солнечные модули, изготовленные по разработанной технологии герметизации, сохраняют более высокий уровень выработки энергии в течение периода, вдвое превышающего срок службы стандартного ламинированного модуля; в них отсутствуют внутренние механические напряжения; сохраняется высокая устойчивость к температурной, ультрафиолетовой и озонной деградации, а сама технология экологически безопасна.

Список литературы

1. Стребков Д.С., Персиц И.С., Чирков А.В., Кузнецов К.В. Опытно-промышленная технология производства фотоэлектрических модулей и комплект оборудования для её реализации // Труды 7-й Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Ч. 4. Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология» (Москва, 18–19 мая 2010 г.). М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. С. 87–92.
2. Sitec Solar GmbH. Sitec: Module production using adhesive rather than EVA // Photon International. 2008. No 6. P. 68.
3. Christoph Podewils. Photovoltaic insulation glass. A German company has developed production equipment for module manufacturing without the need for encapsulation foils // Photon International. 2007. No 7. P. 26–34.
4. Christoph Podewils. A nice module. Apollon Solar presents its line for innovative module technology // Photon International. 2008. No 6. P. 18–26.
5. Dow Corning Corp. Module encapsulation: Silicone rather than plastic // Photon International. 2009. No 4. P. 108.
6. Poulek V., Strebkov D.S., Persic I.S., Libra M. Towards 50 years lifetime of PV panels laminated with silicone gel technology // Solar Energy. 2012. Vol. 86. P. 3103–3108.
7. Panchenko V.A. Review and applications of solar modules developed and produced by GNU VIESH // Research in Agricultural Electric Engineering. 2014. Vol. 2, № 3. P. 82–89.
8. Стребков Д.С., Майоров В.А., Панченко В.А. Солнечный тепло-фотоэлектрический модуль с параболоторическим концентратором // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2013. № 1/2. С. 35–39.
9. Стребков Д.С., Майоров В.А., Панченко В.А., Осьмаков М.И., Плохих С.А. Солнечная установка с матричными фотоэлементами и концентратором // Электро. 2013. № 2. С. 50–52.
10. Патент № 2557272 РФ МПК E04D 13/18. Кровельная солнечная панель / Стребков Д.С., Кирсанов А.И., Иродионов А.Е., Панченко В.А., Майоров В.А. // Изобретение. 2015. № 20.

11. Решение о выдаче патента № 2014121269/20 РФ. Солнечный модуль с концентратором (варианты) / Стребков Д.С., Кирсанов А.И., Иродионов А.Е., Панченко В.А. // Изобретение. 2015.

References

1. Strebkov D.S., Persits I.S., Chirkov A.V., Kuznetsov K.V. Opytno-promyshlennââ tehnologiâ proizvodstva fotoelektričeskikh modulej i komplet oborudovaniâ dlâ eë realizacii. *Trudy 7-j Meždunarodnoj naučno-tehničeskoj konferencii «Ėnergoobespečenie i Ėnergobereženie v sel'skom hozâjstve. P. 4. Vozobnovlâemye istočniki Ėnergii. Mestnye Ėnergoresursy. Ėkologiâ»* (Moscow, 18-19 May 2010). Moscow: GNU VIESH Publ., 2010, pp. 87–92 (in Russ.).
2. Sitec Solar GmbH. Sitec: Module production using adhesive rather than EVA. *Photon International*, 2008, no. 6, p. 68 (in Eng.).
3. Christoph Podewils. Photovoltaic insulation glass. A German company has developed production equipment for module manufacturing without the need for encapsulation foils. *Photon International*, 2007, no. 7, pp. 26–34 (in Eng.).
4. Christoph Podewils. A nice module. Apollon Solar presents its line for innovative module technology. *Photon International*, 2008, no. 6, pp. 18–26 (in Eng.).
5. Dow Corning Corp. Module encapsulation: Silicone rather than plastic. *Photon International*, 2009, no. 4, p. 108 (in Eng.).
6. Poulek V., Strebkov D.S., Persits I.S., Libra M. Towards 50 years lifetime of PV panels laminated with silicone gel technology. *Solar Energy*, 2012, vol. 86, pp. 3103–3108 (in Eng.).
7. Panchenko V.A. Review and applications of solar modules developed and produced by GNU VIESH. *Research in Agricultural Electric Engineering*, 2014, vol. 2, no. 3, pp. 82–89 (in Eng.).
8. Strebkov D.S., Majorov V.A., Panchenko V.A. Solnečnyj teplofotoelektričeskij modul' s parabolotoričeskim koncentratorom. *International Scientific Journal «Al'ternativnââ Ėnergetika i Ėkologiâ» (IS-JAEE)*, 2013, no. 1/2, pp. 35–39 (in Russ.).
9. Strebkov D.S., Majorov V.A., Panchenko V.A., Os'makov M.I., Plohih S.A. Solnečnaâ ustanovka s matričnymi fotoelementami i koncentratorom. *Ėlektrô*, 2013, no. 2. pp. 50–52 (in Russ.).
10. Strebkov D.S., Kirsanov A.I., Irodionov A.E., Panchenko V.A., Majorov V.A. Krovel'naâ solnečnaâ panel' Patent no. 2557272 RF МПК E04D 13/18. *Izobretenie*, 2015, no. 20 (in Russ.).
11. Strebkov D.S., Kirsanov A.I., Irodionov A.E., Panchenko V.A. Solnečnyj modul' s koncentratorom (varianty) Rešenie o vydače patenta no. 2014121269/20 RF. *Izobretenie*, 2015 (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995

