

## STUDY CONTACTING SURFACE MORPHOLOGY USING AN ELECTRON MICROSCOPE

*V. Korobsky, V. Gural*

**Annotation.** *The results of the study the morphology of the contact surfaces of sintered contact components on the basis of copper and metal impurities and other thermodynamically stable compounds. Spend X-ray and metallographic analysis of the contact surfaces, which helped to identify patterns of erosion frangible bridge contacts on the basis of Cu.*

**Key words:** *contact-details, contact material, erosive wear, morphology, metallographic analysis, emission spectra*

УДК 621.311

## ТЕХНОЛОГИИ И КОМПОНЕНТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

*Н. С. Филиппченкова, аспирантка\**  
*В. А. Панченко, кандидат технических наук*  
*ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации*  
*сельского хозяйства», г. Москва, Россия*  
*e-mail: pancheska@mail.ru*

**Аннотация.** *Рассмотрены технологии изготовления, характеристики материалов и основных конструктивных элементов солнечных теплофотоэлектрических модулей. Проведён сравнительный анализ технологий, используемых при изготовлении солнечных теплофотоэлектрических модулей. Определены условия эффективной работы фотоэлектрических преобразователей, выявлены основные требования, предъявляемые к компонентам и режимам работы теплофотоэлектрических модулей. Показана необходимость в проведении исследований, позволяющих повысить эффективность теплофотоэлектрических модулей, разработать оптимальную конструкцию и обеспечить работу фотоэлектрических преобразователей в наиболее благоприятных условиях.*

**Ключевые слова:** *энергоснабжение, солнечный коллектор, фотоэлектрическая установка, солнечный теплофотоэлектрический модуль*

---

\*Научный руководитель В.А. Панченко.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) уже несколько десятилетий проводятся исследования солнечных фотоэлектрических и теплофотоэлектрических установок. Такие установки создаются как в планарном исполнении, так и в составе с концентраторами солнечного излучения. На рис. 1 представлен один из теплофотоэлектрических приёмников концентраторной солнечной установки [1].

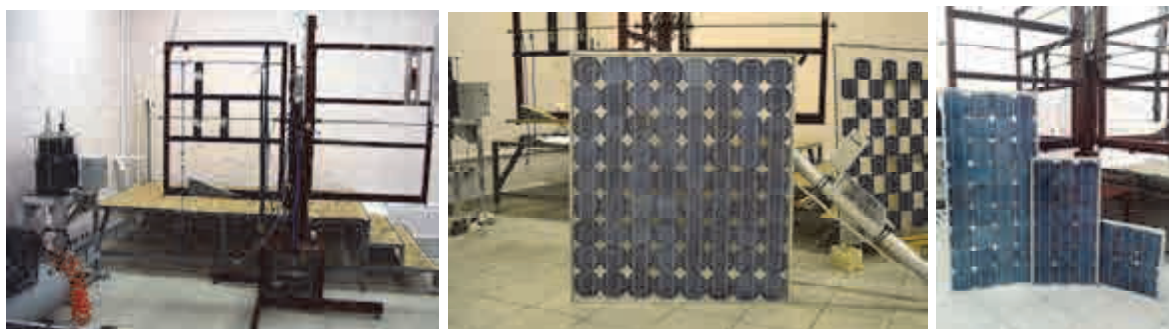


**Рис. 1. Общий вид теплофотоэлектрического приёмника и его поперечное сечение**

В качестве герметизирующего и капсулирующего материала солнечных элементов в подобных теплофотоэлектрических модулях используется разработанный в ВИЭСХ полисилоксановый двухкомпонентный кремнийорганический оптически прозрачный низкомолекулярный гель [2, 3], толщина слоя которого может варьироваться в зависимости от необходимости и расчётных характеристик от 0,1 мм до 2 мм и более.

Цель исследований – анализ технологий и компонентов, используемых при изготовлении солнечных теплофотоэлектрических модулей.

**Результаты исследований.** Сравнительные характеристики солнечных модулей, изготовленных по технологиям капсулирования компаундом (рис. 2) и ламинирования со стандартным термопластичным наполнителем на основе сополимера EVA (этилен – винилацетата) представлены в табл. 1 [2, 3].



**Рис. 2. Установка для заливки двухкомпонентного полисилоксанового компаунда и изготовленные с её помощью солнечные модули**

**1. Сравнительные характеристики технологических процессов герметизации компаундом (силиконовый гель) и ламинирования (EVA)**

Параметр, характеристика	EVA (этиленвинилацетат)	Полисилоксановый компаунд
Температурный диапазон эксплуатации материала-заполнителя	- 40 ÷ + 85 °С	- 60 ÷ + 260 °С
Стойкость к ультрафиолету	низкая	высокая
Срок службы модуля без концентрации солнечной энергии (умеренный и холодный климат, сухой тропический климат)	20–25 лет	40 лет
Срок службы модуля в установке с концентрацией солнечного излучения равной 3,5 крат	0,5–1 год	не менее 20 лет
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
Выделение вредных летучих веществ в процессе герметизации модуля	Оксиды углерода, активный кислород, уксусная кислота	нет
Механическое напряжение при изготовлении	есть	нет
Механическое напряжение при старении	есть	нет
Модуль упругости	10,0 N/мм <sup>2</sup>	0,006 N/мм <sup>2</sup>
Линейный коэффициент теплового расширения	4,0 x 10 <sup>-4</sup> K <sup>-1</sup>	2,5 x 10 <sup>-4</sup> K <sup>-1</sup>
Потребление электроэнергии при изготовлении модуля	40 кВт·ч	5 кВт·ч

Из таблицы виден ряд отличительных положительных моментов при использовании технологии капсулирования солнечных элементов двухкомпонентным компаундом по сравнению со стандартной технологией ламинирования.

При изготовлении солнечных теплофотоэлектрических модулей могут быть использованы энергосберегающие вакуумные стеклопакеты [4]. Они предназначены для герметизации солнечных элементов при изготовлении солнечных модулей и создания теплосберегающих прозрачных экранов в конструкциях зданий и теплиц в виде различных стеклянных покрытий (оконные проёмы, лоджии, зимние сады, оранжереи и т. п.).

Использование вакуумных паяных стеклопакетов позволяет в значительной мере решить проблемы энергосбережения. В ВИЭСХ совместно с предприятиями электронной промышленности разработаны принципиально новые вакуумные стеклопакеты, обладающие уникальными свойствами. В новых стеклопакетах нет клееной рамки, а стёкла соединены друг с другом по торцам сваркой или пайкой. В результате, срок службы, определяемый ресурсом сохранения герметичности, составляет 40–50 лет, вакуумный зазор составляет 40 мкм, а толщина – 6 мм. Воздух в пространстве между стеклами заменён на вакуум, что значительно улучшает теплоизолирующие и шумопоглощающие свойства. В табл. 2 представлены сопротивления теплопередачи различных материалов и конструкций.

## 2. Сопротивления теплопередачи различных материалов и конструкций [4]

Наименование	Толщина, мм	Сопротивление теплопередачи, $\text{м}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$
Один лист стекла	6	0,17
Два листа стекла с зазором 16 мм	30	0,37
Вакуумный стеклопакет	6	0,44
Вакуумный стеклопакет с ИК-покрытием на одном стекле	6	0,85
Вакуумный стеклопакет с ИК-покрытием на двух стёклах	6	1,2
Двойной вакуумный стеклопакет с ИК-покрытием на двух стеклах	12	2,0
Кирпичная стена толщиной 2,5 кирпича	64	1,2

Из табл. 2 видно, что при наличии ИК-покрытия на стёклах сопротивление теплопередачи может быть увеличено в 10 раз, по сравнению с одинарным остеклением.

Фотоприёмник теплофотоэлектрического солнечного модуля – абсорбер с каналом теплоносителя, в котором происходит нагрев этого теплоносителя, выполняется из стали. Стенки канала теплоносителя представляют собой стальные листы толщиной 1,5 мм по всей площади с

коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{\text{mat.abc.}} = 52 \text{ Вт/(м·К)}$  (теплопроводность стали) [5]. Использование алюминия в качестве материала для абсорбера с точки зрения лучшей теплопроводности предпочтительнее (теплопроводность алюминия  $\lambda_{\text{Al}} = 203,5 \text{ Вт/(м·К)}$ ), однако, следует учитывать высокую стоимость алюминия и трудности при изготовлении изделий из него – алюминий трудно поддается сварке. Сварка алюминия и его сплавов – это трудоёмкая и технологически сложная операция, требующая наличия определённых знаний и умений. На поверхности алюминиевых изделий всегда присутствует окисная пленка  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , которая имеет температуру плавления около  $2040 \text{ }^\circ\text{C}$ , в то время как плавление самого металла осуществляется при температуре  $660 \text{ }^\circ\text{C}$ . Высокая теплопроводность алюминия вызывает необходимость использования большого значения рабочего тока. Оно должно быть в 1,5–2 раза больше, чем ток для сварки стальных изделий [6].

В табл. 3 приведено сравнение основных характеристик теплоизолирующих материалов, которые применяются в конструкции солнечных теплофотоэлектрических модулей (сотовый поликарбонат (СПК), монолитный поликарбонат (МПК), вспененный полиэтилен, пенопласт, экструдированный пенопласт) [7].

### 3. Сравнение основных характеристик теплоизолирующих материалов

Свойства	СПК	МПК	Вспененный полиэтилен	Пенопласт	Экструдированный пенопласт
Плотность, $\text{кг/м}^3$	1200	1200	30–90	18–35	28–38
Температура применения, $^\circ\text{C}$	от -60 до +130 $^\circ\text{C}$	от -60 до +130 $^\circ\text{C}$	от -80 до +105 $^\circ\text{C}$	от -200 до +85 $^\circ\text{C}$	от -50 до +75 $^\circ$
Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$	0,2	0,3	0,032–0,037	0,037	0,03
Прочность на сжатие, МПа	80–100	80–100	0,35	0,25–0,35	0,25
Предел прочности, МПа	95	60–70	-	0,35–0,5	0,4–0,7
Модуль упругости, МПа	2250	2200–2300	0,26–0,77	-	15
Горючесть, группа	В1	Г1	Г2	Г1-Г2	Г3

В качестве теплоизоляционного материала в разработанном теплофотоэлектрическом модуле используются два листа прозрачного сотового поликарбоната толщиной 4 мм каждый с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{\text{сот.}} = 0,2 \text{ Вт/(м·К)}$  [8]. Сотовый поликарбонат отличается по строению от монолитных листов – он сформирован из двух листов, наложенных друг на друга и объединённых ребрами жесткости,

которые образуют полые каналы – "соты". Конструкции из сотового поликарбоната имеют низкий коэффициент теплопроводности, поскольку наполнены воздухом, и служат хорошим теплоизолятором. Сотовый поликарбонат обладает исключительно высокой стойкостью к неблагоприятным условиям внешней среды. Коэффициент линейного термического расширения для данного материала составляет 0,0065 мм/м°С. При горении поликарбонат не выделяет газов токсичных и опасных для человека и животных [9]. В табл. 4 представлены основные характеристики сотового поликарбоната.

#### 4. Основные характеристики сотового поликарбоната

Параметр	Значение
Плотность материала, кг/м <sup>3</sup>	1200
Предел прочности при растяжении, МПа	60
Относительное удлинение при разрушении, %	95–120
Предел прочности при изгибе, МПа	95
Модуль упругости при изгибе, МПа	2250
Твердость по Роквеллу	95
Максимальная температура эксплуатации, °С	130
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,2
Температура размягчения по Вика, °С	150
Температура устойчивости под нагрузкой, °С (0,46 МПа)	136–144
Температура устойчивости под нагрузкой, °С (1,8 МПа)	124–131
Воспламеняемость (DIN 4102)	B1
Светопропускание, % (для прозрачных марок)	77–88

Для охлаждения солнечных элементов в солнечном теплофотоэлектрическом модуле используется теплоноситель, циркулирующий в канале фотоприёмника – абсорбера. Основными требованиями, предъявляемыми к теплоносителю, являются:

- способность переносить максимум тепла за короткое количество времени по периметру рабочего участка;
- минимум теплопотерь;
- небольшая вязкость, так как этот показатель влияет на скорость прокачки;
- теплоноситель не должен быть причиной возникновения коррозии составных частей и механизмов системы, иначе возникнет ограничение при их выборе;
- теплоноситель должен быть безопасным для потребителей, то есть не превышать нормы по температуре возгорания или токсичности;
- важным фактором является также стоимость теплоносителя: он должен быть или сравнительно дешевым, или, в случае дороговизны, обладать свойствами, позволяющими использовать его долгое время без замены [10].

С наступлением периодов с отрицательной температурой окружающей среды становится актуальным использование "незамерзайки" – незамерзающей жидкости для системы циркуляции теплоносителя [11].

Трубы, наполненные подобным теплоносителем, не лопнут при низкой температуре. Носителем тепловой энергии данного типа является антифриз. Как правило, он рассчитан на работу до температуры -30 °С или -65 °С. Если температура опускается ниже нормы, антифриз, в отличие от воды, не твердеет, а переходит в гелеобразное состояние. Возвращаясь в жидкое состояние, он не теряет своих первоначальных свойств и не несет угрозы для теплосистемы. Для удаления накипи или очагов коррозии производители добавляют различные присадки – специальные ингибиторы. Благодаря им, период службы системы циркуляции теплоносителя увеличивается. Однако следует помнить, что антифриз – не универсальная жидкость, и присадки подходят только для определенных материалов конструкции. Некоторые из них способны разрушить полимерные трубы, другие – вызвать коррозию электрохимического типа. В табл. 5 приведены сравнительные характеристики антифризов.

### 5. Сравнительные характеристики антифризов компании ОАО «Техноформ» (Россия) [10]

Характеристика, размерность	Концентрат Hot Stream С	Hot Stream 65	Hot Stream 30	Hot Stream 20	Вода
Концентрация объёмная, %	100	66	44	34	-
Концентрация массовая, %	100	69	48	37	-
Температура кристаллизации, °С	-15	-65	-30,2	-20,2	0
Температура потери текучести, °С	не измеряется	не измеряется	-37,3	-25,9	0
Температура кипения (при 1 атм), °С	Более +170	+116	+108	+105	+100
Плотность при 20°С, г/см <sup>3</sup>	1,111	1,084	1,062	1,047	0,998
Теплоёмкость при 20°С, кДж/кг К	2,4	3,1	3,5	3,7	4,2
Теплопроводность при 20°С, Вт/м К	0,27	0,38	0,42	0,46	0,60
Кинематическая вязкость при 20°С, мм <sup>2</sup> /с	28	7,2	3,6	2,7	1,0
Электропроводность при 20°С, мкСм/см	500	2000	2500	2500	0–1
Поверхностное натяжение, мН/м	48	53	56	60	73
Коэффициент расширения при 20°С, %/К	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03
Показатель пре- ломления при 20°С	1,4300	1,4005	1,3820	1,3695	1,3330
pH при 20°С	8,6	8,6	8,5	8,3	7–8

У антифризов, в сравнении с водой, кроме преимуществ, можно выявить и ряд недостатков:

- повышенная вязкость требует оснащения оборудования мощным циркуляционным насосом;
- более низкая теплоёмкость, следовательно, количество отдаваемого тепла меньше;
- более тщательно следует герметизировать разъёмные соединения;
- требуются радиаторы, которые по объёму на 50 % больше, чем аналогичные для воды;
- необходим расширительный закрытый бак, так как во время нагрева происходит повышенное расширение;
- токсичные вещества (например, этиленгликоль) в составе антифризов ограничивают их применение в целях безопасности и экологичности.

Преимущественное использование воды объясняется её наивысшей среди всех жидкостей теплоёмкостью и высокой плотностью, вода отличается от синтетических веществ токсикологическими и экологическими свойствами, она абсолютно безопасна для людей. В случае утечки, она не причинит вреда, её легко восполнить, залив в систему недостающее количество воды. У данного теплоносителя нет конкурентов и по стоимости – более дешёвой жидкости нет.

### **Выводы**

Необходимо отметить, что в настоящий момент технологии производства солнечных модулей являются довольно освоенными и отработанными, а большинство исследований связано с изучением теплофотоэлектрических модулей, созданных на основе традиционных солнечных коллекторов. С другой стороны, есть необходимость особенного подхода к выбору конструкций, материалов и режимов работы теплофотоэлектрических модулей. В этой связи, возникает потребность в проведении исследований, позволяющих повысить эффективность теплофотоэлектрических модулей, выработать оптимальную конструкцию и, по возможности, обеспечить работу фотоэлектрических преобразователей в наиболее благоприятных условиях.

Основываясь на вышеизложенном, можно сделать вывод, что, подходя к вопросу подбора основных конструкционных материалов и технологий для создания теплофотоэлектрических солнечных модулей, следует предъявлять ряд важных требований к материалам и сочетанию различных свойств каждого компонента ввиду сложности конструкции данного типа солнечных модулей.

### **Список литературы**

1. Пат. № 2546332 РФ. Гибридный фотоэлектрический модуль / Стребков Д. С., Иродионов А. Е., Персиц И. С., Филиппченкова Н. С. – № 2013154732/07 ; заявл. 11.12.2013 ; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10.



2. Стребков Д. С. Солнечные модули с увеличенным сроком службы / Д. С. Стребков, И. С. Персиц, В. А. Панченко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2014. – № 3 (8). – С. 154–158.
3. Панченко В. А. Солнечные модули с увеличенным сроком службы на уровне номинальной мощности / В. А. Панченко, Д. С. Стребков, И. С. Персиц // Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 19 (183). – С. 55–60.
4. Пат. № 2382162 РФ. Вакуумированный стеклопакет с индикатором / Митина И. В., Стребков Д. С., Трушевский С. Н., Алехина М. Б., Ануров С. А. – № 2008151043/03 ; заявл. 24.12.2008 ; опубл. 20.02.2010, Бюл. № 5.
5. Электронный ресурс URL: <http://www.xiron.ru/content/view/58/28/> (дата обращения 04.03.2016).
6. Электронный ресурс URL: <http://moyasvarka.ru/process/tehnologiya-svarki-alyuminiya.html> (дата обращения 03.03.2016).
7. Технические характеристики вспененного полиэтилена. ISOLUX group. URL: <http://www.tsstrade.ru/catalogue/insulation/polietilen/teplofol/> (дата обращения: 06.02.2016).
8. Электронный ресурс URL: <http://polikarbonatstroy.ru/osobennosti/teploprovodnost-polikarbonata.html> (дата обращения 03.03.2016).
9. Электронный ресурс URL: <http://srbu.ru/stroitelnye-materialy/237-tehnicheskie-kharakteristiki-sotovogo-polikarbonata.html> (дата обращения 03.03.2016).
10. Электронный ресурс URL: <http://aqua-rmnt.com/otoplenie/radiatory/teplonositel-dlya-sistem-otopleniya.html> (дата обращения 01.02.2016).
11. Электронный ресурс URL: <http://www.cool-stream.ru/hotstream/> (дата обращения 05.01.2016).

## **ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМПОНЕНТИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ СОНЯЧНИХ ТЕПЛОФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ**

***Н. С. Філіппченкова, В. А. Панченко***

**Анотація.** Розглянуто технології виготовлення, характеристики матеріалів і основних конструктивних елементів сонячних теплофотоелектричних модулів. Проведено порівняльний аналіз технологій, що використовуються при виготовленні сонячних теплофотоелектричних модулів. Визначено умови ефективної роботи фотоелектричних перетворювачів, виявлено основні вимоги, що пред'являються до компонентів і режимів роботи теплофотоелектричних модулів. Показано необхідність проведення досліджень, що дають змогу підвищити ефективність теплофотоелектричних модулів, розробити оптимальну конструкцію і забезпечити роботу фотоелектричних перетворювачів у найсприятливіших умовах.

**Ключові слова:** енергопостачання, сонячний колектор, фотоелектрична установка, сонячний теплофотоелектричний модуль

## TECHNOLOGIES AND COMPONENTS USED IN THE MANUFACTURE OF SOLAR HEAT PV MODULES

*N. Filippchenkova, V. Panchenko*

**Annotation.** *The article deals with the manufacturing processes, characteristics of the materials and the basic design elements of solar photovoltaic thermal modules. Spend a survey comparative analysis of technologies used in the manufacturing of solar photovoltaic thermal modules. Identified the conditions for the efficient operation of photovoltaic cells, identified the main requirements for the components and operation modes of solar photovoltaic thermal modules. Shown the necessity in studies for improving the efficiency of the solar photovoltaic thermal modules to develop an optimal design and ability to provide photovoltaic cells work in the most favorable conditions.*

**Key words:** *energy power supply, solar collector, photovoltaic installation, solar photovoltaic thermal module*