

Таким образом, капельницу Кельвина можно изготовить из доступных материалов. Накопление заряда происходит не очень быстро, после разряда через 1–2 мин заряд восстанавливается.

#### Литература

1. Жилко, В. В. Физика : учеб. пособие для 11-го кл. учреждений, обеспечивающих получение общ. среднего образования, с русским яз. обучения / В. В. Жилко, А. В. Лавриненко, Л. Г. Маркович. – 2-е изд. – Минск : Народная асвета, 2004. – 382 с.
2. Капельница Кельвина. – Режим доступа: <https://nationalmaglab.org/education/magnet-academy/watch-play/interactive/kelvin-water-dropper>.

## ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

А. Г. Речиц

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. И. Злотников

В настоящее время вопросам использования возобновляемых источников энергии уделяется все больше внимания. Среди таких источников солнечная энергия по своим масштабам, экологической чистоте и повсеместной распространенности является наиболее перспективной. С экономической точки зрения именно солнечная энергетика выглядит привлекательнее всех остальных альтернативных источников энергии (энергия рек, ветра, морских приливов и другое). Несмотря на многочисленность способов преобразования солнечной энергии, на данный момент наиболее широко используется ее тепловое действие в солнечных установках различной конструкции.

Главным компонентом любой солнечной установки является солнечный коллектор, а самый распространенный вид солнечного коллектора – плоский коллектор, который представляет собой теплоизолированный контейнер, в котором находится металлическая теплопринимающая пластина (абсорбер), в которой циркулирует теплоноситель (обычно вода). Открытая сторона контейнера, которая обращена к солнцу, закрыта прозрачной пластиной (стекло, пластик и другое) и образует так называемое тепловое зеркало, пропуская солнечные лучи внутрь коллектора, но отражая обратно инфракрасное излучение с поверхности абсорбера. Поверхность абсорбера должна иметь черный цвет для максимального снижения отражения солнечных лучей. Согласно источнику [1], наиболее часто поверхность абсорбера окрашивают черными красками различных марок с добавлением сажи. Черное покрытие, кроме высокой поглощающей способности к солнечному излучению, должно обладать высокой адгезией, стойкостью к воздействию солнечного света, повышенной влажности, переменных температур, должно обеспечивать защиту металлической поверхности абсорбера от коррозии и атмосферного воздействия. Применяемые покрытия абсорбера должны обладать выраженной селективностью: иметь высокий коэффициент поглощения в коротковолновом диапазоне (длина волн менее 2 мкм) и низкую излучательную способность в инфракрасной области (длина волн более 2 мкм) [1], [2].

Целью исследования является изучение свойств некоторых перспективных светопоглощающих покрытий для солнечных коллекторов.

Для изготовления экспериментальных образцов брали алюминиевую фольгу марки АД1 толщиной 0,1 мм на которую наносили следующие черные покрытия:

1. Лак БТ с добавлением сажи. Такие покрытия отличаются простотой нанесения, дешевизной и широко применяются для окраски абсорберов солнечных коллекторов для нагрева воды [1]. Кроме того, такие покрытия хорошо защищают металлическую поверхность абсорбера от воздействия неблагоприятных атмосферных факторов.

2. Лакокрасочное покрытие для солнечного коллектора, разработанное на кафедре «Физика и электротехника» на основе нефтяного битума с добавлением оксида меди [3]. Данное покрытие обладает более высокими показателями преобразования солнечной энергии в тепловую по сравнению с предыдущим.

3. Оксидно-керамическое черное светопоглощающее покрытие, полученное методом микроплазменного анодирования алюминиевой фольги по технологии разработанной в предыдущем исследовании и описанной в работе [4].

Для оценки эффективности светопоглощающих покрытий определяли показатель селективности – отношение поглощательной способности черной поверхности к ее излучательной способности. Для проведения экспериментов была изготовлена лабораторная установка, схема которой приведена на рис. 1. В качестве источника световой энергии использовали медицинский рефлектор Минина 1, снабженный лампой накаливания 2 мощностью 75 Вт. Спектр ламп накаливания с вольфрамовой нитью наиболее близок к спектру солнечного излучения. Свет от рефлектора падал на белый светоотражающий экран 3 с квадратным отверстием размером  $30 \times 30$  мм, за которым устанавливали исследуемый образец с черным покрытием 4. Под действием излучения рефлектора образец нагревался, а температуру на его обратной стороне измеряли электрическим термометром 6. Для исключения тепловых потерь обратную сторону образца закрывали теплоизоляцией 5.

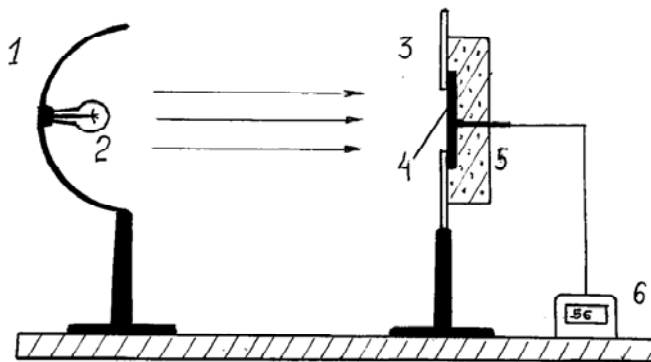


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:  
1 – медицинский рефлектор Минина; 2 – лампа накаливания;  
3 – светоотражающий экран; 4 – исследуемый образец;  
5 – теплоизоляция; 6 – электрический термометр

Возможность проведения таких опытов основывается на следующих теоретических предпосылках.

Если обозначить мощность излучения рефлектора, падающего на единицу поверхности исследуемого образца во всем диапазоне длин волн через  $P$ , а поглощательную способность черной поверхности образца через  $\alpha_c$ , то интенсивность поглощенного излучения будет равна  $P_{\text{пол}} = \alpha_c P$ . Под действием излучения рефлектора образец будет нагреваться до тех пор, пока не достигнет равновесной

температуры  $T$ , при которой мощность поглощенного и испускаемого с единицы поверхности излучения  $P_{\text{исп}}$  равны. По закону Стефана-Больцмана  $P_{\text{исп}} = \varepsilon\sigma T^4$ , где  $\varepsilon$  – излучательная способность образца в инфракрасном диапазоне. Следовательно,  $\alpha_c P = \varepsilon\sigma T^4$ . Тогда отношение  $\alpha_c / \varepsilon = \sigma T^4 / P$  будет характеризовать селективность покрытия. Так как мощность излучения рефлектора  $P$  является постоянной в данном эксперименте, то равновесная температура  $T$  образца является мерой степени селективности покрытий и, следовательно, их эффективности при применении в солнечном коллекторе. В приведенном выводе отражением света пренебрегали, так как все рассматриваемые образцы покрытий имеют высокий коэффициент поглощения (более 82 %). На основе литературных данных [4] мощность излучения рефлектора во всем диапазоне длин волн электромагнитного излучения, падающего на единицу поверхности исследуемого образца, установленного на расстоянии 50 см от него, принималась примерно равной  $P = 45 \text{ Вт/м}^2$ . Хотя эта оценка является приближенной, но так как в данном эксперименте все образцы испытывались при абсолютно одинаковых условиях, то полученные величины показателя селективности могут служить объективным сравнительным параметром эффективности исследуемых покрытий. Все испытания проводились при температуре окружающей среды  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Коэффициент поглощения света (отношение величины поглощенной световой энергии к величине световой энергии, падающей на поверхность) полученных покрытий определяли с помощью фотометра отражения модели ФО-1. Результаты испытаний исследуемых покрытий приведены в таблице.

#### Свойства светопоглощающих покрытий

Тип покрытия	Коэффициент поглощения света, %	Равновесная температура, К	Показатель селективности
Лак БТ [1]	82–84	298	9,9
По патенту 19482 [3]	90–94	307	11,2
Оксидно-керамическое [4]	90–92	313	12,1

Как следует из полученных результатов, наилучшими характеристиками обладает черное оксидно-керамическое покрытие, хотя и остальные покрытия обладают достаточно высокими показателями селективности и могут успешно применяться в гелиоустановках по преобразованию солнечной энергии в тепло. Согласно источнику [1] наилучшие солнечные коллекторы имеют показатели селективности 12 и более и характеризуются высоким КПД преобразования солнечного излучения в тепло, не менее 60 %. Кроме высокой поглощающей способности, оксидно-керамическое покрытие, в отличие от двух остальных, обладает очень высокой стойкостью к воздействию агрессивных сред и неблагоприятных атмосферных факторов (влажность, воздействие солнечного света, перепады температуры) и очень хорошо защищает металлический абсорбер коллектора от коррозии. Такие покрытия могут наноситься или непосредственно на рабочую поверхность абсорбера или на алюминиевую фольгу, которой затем покрывают нужные участки поверхности. Единственным препятствием к широкому применению таких покрытий является их сравнительно высокая стоимость, что связано с большими затратами электроэнергии при их нанесении на поверхность изделий из алюминия и его сплавов.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- оксидно-керамические черные светопоглощающие покрытия, полученные методом микроплазменного анодирования поверхности алюминия, обладают высоким коэффициентом поглощения солнечного света и высоким показателем селективности;
- для практического применения таких покрытий необходимо снизить энергозатраты при их нанесении, что возможно за счет выбора оптимальных токовых режимов и разработки новых составов электролитов для проведения процесса микроплазменного анодирования.

#### Литература

1. Харченко, Н. В. Индивидуальные солнечные установки / Н. В. Харченко. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
2. ГОСТ 28310–89. Коллекторы солнечные. Общие технические условия.
3. Лакокрасочная композиция для солнечного коллектора : пат. 19482 Респ. Беларусь / И. И. Злотников, П. А. Хило ; заявитель ГГТУ им. П. О. Сухого // Афіцыйны бюл. – 2015. – № 5.
4. Речиц, А. Г. Изучение технологии микроплазменного анодирования / А. Г. Речиц // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 22–23 апр. 2021 г. В 2 ч. Ч. 1. – Гомель, 2021. – С. 72–75.
5. Ландсберг, Г. С. Оптика / Г. С. Ландсберг. – 6-е изд. – М. : Физматлит. – 2010. – 848 с.

## СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СОЛНЕЧНЫХ СТАНЦИЙ В ТУРКМЕНИСТАНЕ

А. Матьякубов

*Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары*

Научный руководитель К. А. Сарыев

Концентрированные солнечные станции (КСС) – это технология концентрации солнечных лучей в одной точке для получения большой температуры (до 1000 °С) [1].

Концентрированные солнечные тепловые станции (КСТС) являются одним из основных направлений развития использования солнечной энергии, но, к сожалению, являются и одним из тех видов, которые развиваются очень медленно по сравнению с фотоэлектрическими солнечными и ветряными станциями, хотя их КПД в несколько раз превышает КПД фотоэлектрических солнечных и ветряных станций. Это происходит по нескольким причинам, которые заключаются в их технологическом процессе получения тепла и в преобразовании в электрическую энергию.

Основной технологической задачей в КСС является достижение требуемой оптической точности устойчивости к воздействиям окружающей среды (сильным ветрам и запылению) при минимуме произведенных затрат.

Существует четыре основных типа КСС: солнечные башни, параболоцилиндрические концентраторы, линзы Френеля и блюдо Стерлинга, а все остальные основываются на этих типах.

Важной составляющей и, можно сказать, особенностью КСС является накопление тепла в больших объемах и температурах, что в свою очередь помогает снизить себестоимость полученной продукции. В зависимости от используемого теплоносителя это тепло может храниться или использоваться непосредственно для выработки тепла или электричества. В качестве теплоносителя используются различные жидкости, это может быть синтетическое масло или вода.

Теплоаккумуляторы на основе жидкой соли представляют собой емкости (резервуары) диаметром до 40 м и высотой 15 м. Они заполнены смесью нитрата калия