

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЕКТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

А. В. Шашев<sup>1</sup>, Е. А. Герман<sup>1</sup>, Ю. Ю. Почкайлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова г. Барнаул

<sup>2</sup> ООО «Котельный завод «Энергия», г. Барнаул

*В статье приведено описание исследовательских установок для определения основных показателей эффективности селективных покрытий солнечных коллекторов, созданных в лаборатории энергоаудита АлтГТУ в целях подготовки магистерских диссертаций.*

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, солнечный коллектор, селективные покрытия.

В энергетическом балансе всех развитых стран мира основным энергоносителем на сегодняшний день является ископаемое топливо. Известно, что мировые запасы угля, нефти и газа с каждым годом сокращаются, а новые месторождения находятся все реже. По оценке специалистов запасы нефти закончатся еще при жизни нынешнего поколения. Сегодня перед учеными и инженерами стоит чрезвычайно ответственная и серьезная задача: предложить нашей техногенной цивилизации путь рационального, ресурсосберегающего и природосберегающего пользования, найдя новые источники энергии. Большинство развитых стран прилагают большие усилия в плане разработки методов производства и использования энергии из возобновляемых источников (ВИЭ): ветер, солнце, волны, морские приливы-отливы и прочие.

В соответствии с Федеральным законом № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. (ред. от 29.12.2014) «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» предусмотрено расширение объемов использования ВИЭ. Одним из наиболее перспективных направлений является солнечная энергия. Внедрение ВИЭ повлияет на решение трех глобальных проблем: энергетики, экологии, продовольствия.

В СССР, несмотря на развитую угледобывающую отрасль и быстро развивающиеся нефте- и газодобывающие отрасли, исследованиям и реализации разработок в области ВИЭ и, в частности, солнечной энергетике, уделялось большое внимание. Тому свидетельствуют многочисленные остатки зданий и фундаментов многочисленных лабораторий и станций по выработке солнечной энергии на

территории бывших республик СССР. В 80-х годах 20 века была построена Крымская СЭС-5 (солнечная электростанция) башенного типа мощностью 5 МВт. Полная установленная мощность всех солнечных электростанций мира на тот момент составляла 21 МВт.

В настоящее время в мире действует множество электростанций такого типа с максимальной мощностью до 392 МВт. В России – ни одной. Кроме того концу 80-х годов в СССР в эксплуатации находились солнечные установки горячего водоснабжения с общей площадью около 150 тыс. м<sup>2</sup>, а производство солнечных коллекторов доходило до 80 тыс. м<sup>2</sup> в год. На территории Узбекской, Дегестанской, Грузинской, Армянской и Украинской республик были реализованы проекты солнечных домов, в которых годовая потребность в тепловой энергии покрывалась на 50-70% за счет солнца. На рисунке 1 приведены данные о солнечной радиации на территории России [1]. Из представленного материала видно, что потенциал солнечной энергии достаточно высок во всех федеральных округах, что дает право утверждать о необходимости планомерного интенсивного развития в нашей стране такой отрасли энергетики как солнечная.

Преобразование солнечной энергии в тепловую обеспечивается за счет солнечного коллектора, основным элементом которого является абсорбер. В нем энергия электромагнитного излучения преобразуется в кинетическую энергию атомов и молекул вещества, т.е. в тепловую энергию.



Рисунок 1 – Распределение солнечной энергии на территории РФ

Результатом этого является повышение температуры. Основные тепловые потери, от которых значительно зависит производительность солнечного коллектора, происходят за счет теплового излучения и конвекции через абсорбер. Эти потери могут составлять до 90% всех тепловых потерь солнечного коллектора.

Наиболее эффективный способ повышения КПД коллекторов солнечной энергии связан с применением селективнопоглощающих покрытий. Селективные покрытия для абсорбера солнечного коллектора должны обладать высоким коэффициентом поглощения  $\alpha$  коротковолнового солнечного излучения, низкой излучательной способностью  $\epsilon$  в длинноволновой области, стабильной величиной степени селективности  $\alpha/\epsilon$ , способностью выдерживать кратковременный перегрев поверхности, хорошей коррозионной стойкостью, быть совместимыми с материалом основы и иметь низкую стоимость. Для идеальной селективнопоглощающей поверхности  $\alpha = 1$  и  $\epsilon = 0$ . Разработка новых селективных покрытий – вот что может в скором времени приобрести решающее значение. Вклад преобразованной солнечной энергии в энергетические ресурсы будущего

сможет оказаться весомым только в том случае, если будет существенно повышена эффективность существующих устройств и снижена их стоимость.

Исследованием солнечных коллекторов занимались Аvezов Р.Р., Бекман У.А., Бузузов В.А., Даффи Дж.А., Зоколей С., Казанджан Б.И., Попель О.С., Тарнижевский Б.В., Твайделл Дж., Трушевский С.Н., Уэйр А. Большой вклад в разработку селективных покрытий, в т.ч. солнечных коллекторов внесли такие ученые, как Ефремов Г.А.; Хромушкин А.В.; Минасбеков Д.А.; Дударев Н.В.; Дремлюга А.А.; Дьячишин А.С.

Температура поглощающей поверхности у большинства плоских коллекторов не превышает  $200^{\circ}\text{C}$  (473 K), в то время как эффективная температура поверхности Солнца приблизительно равна 6000 K. Это означает, что спектральные диапазоны падающего солнечного излучения и испускаемого поверхностью длинноволнового излучения перекрываются незначительно (на область длин волн менее 3 мкм приходится 98% спектра заатмосферного солнечного излучения и менее 1% излучения черного тела при температуре  $200^{\circ}\text{C}$ ). Именно это обстоятельство делает возможным создание поверхностей с высокой поглощающей способностью относительно солнечного излучения и низкой излу-

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЕКТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

чательной способностью в области длинноволнового излучения, т.е. селективных поверхностей [2].

В рамках подготовки магистрантов в лабораториях АлтГТУ проводятся работы по исследованию эффективности селективного покрытия на основе базальта. Базальт имеет высокую механическую прочность. Он устойчив к воздействию ультрафиолетового излучения, атмосферных осадков, которые могут содержать кислоты и щелочи, а также, что не маловажно сохраняет свои свойства в широком температурном диапазоне.

В Алтайском государственном техническом университете в лаборатории ПНИЛ СВС-материаловедения методом детонационного напыления были получены: образцы солнцезащитной поверхности абсорбера солнечного коллектора и методом магнетронного напыления образцы светопрозрачной части конструкции – защитного стекла. Для исследования оптических характеристик полученных образцов селективного покрытия в лаборатории Энергоаудита АлтГТУ были изготовлены ряд экспериментальных установок.

### 1 Установка для качественного определения поглощающей способности солнечного излучения.

Для качественного определения поглощающей способности солнечного излучения селективным покрытием была собрана уста-

новка принципиальная, схема которой представлена на рисунке 2.

Установка представляет собой макет, в который устанавливаются исследуемые образцы солнцезащитного покрытия. С обратной стороны образцов наклеиваются датчики измерения теплового потока и температуры. Также предусмотрена регистрация температуры окружающего воздуха. Регистрируемые в режиме реального времени параметры сохраняются в память прибора для измерения теплового потока и температуры ИТП-МГ4.03-10 «Поток». Данная установка размещается на открытом воздухе (желательно на крыше здания) таким образом, чтобы поток солнечного излучения был направлен перпендикулярно к образцам. Настройки прибора позволяют фиксировать параметры с шагом от одной минуты и больше.

### 2. Установка для определения излучательной способности длинноволнового излучения.

Для определения излучательной способности длинноволнового излучения селективного покрытия была собрана установка. Принципиальная схема установки показана на рисунке 3. Установка представляет собой экран, в который встраиваются изучаемые образцы поверхности абсорбера солнечного коллектора. Со стороны источника инфракрасного излучения образцы окрашиваются специальной краской, обладающей высоким светопоглощением.

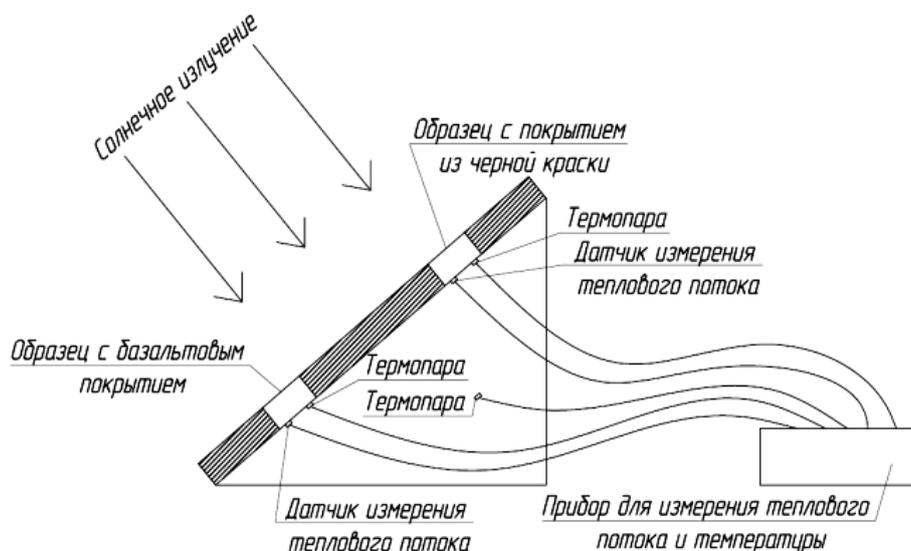


Рисунок 2 – Принципиальная схема установки для качественного определения поглощающей способности солнечного излучения селективного покрытия

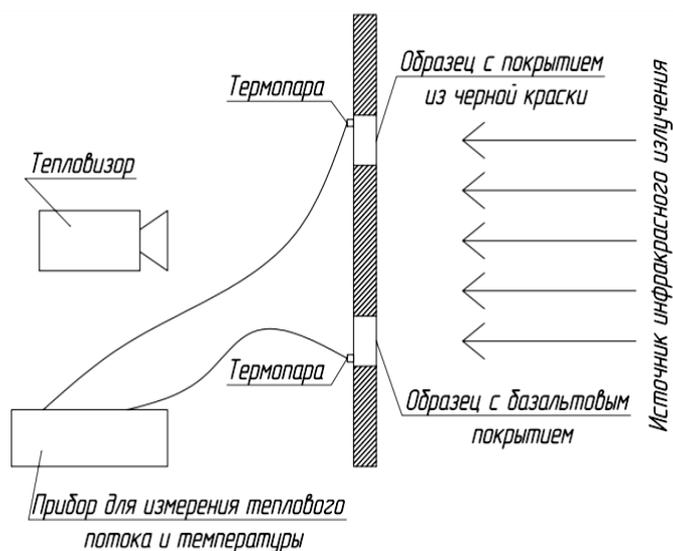


Рисунок 3 – Принципиальная схема установки для определения излучательной способности длинноволнового излучения селективного покрытия



Рисунок 4 – Экспериментальная установка для определения излучательной способности длинноволнового излучения

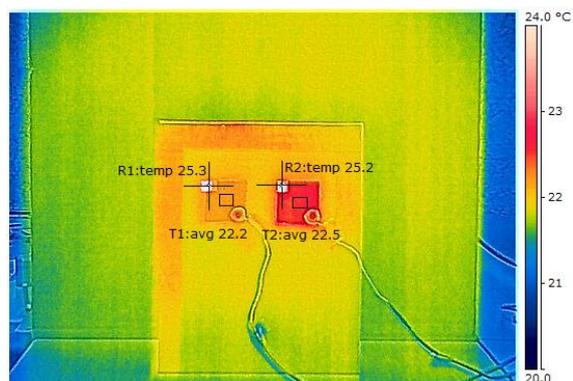


Рисунок 5 – Пример термограммы, получаемой в ходе эксперимента

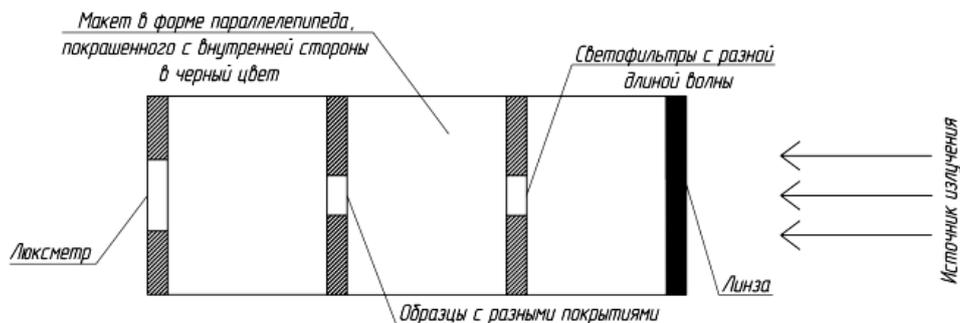


Рисунок 6 – Принципиальная схема установки для определения светопропускной способности различных покрытий

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЕКТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

С обратной стороны источника инфракрасного излучения на образцах устанавливаются термопары. Источником инфракрасного излучения служит лампа накаливания. Наблюдения за распределением температуры на образцах проводится с помощью тепловизора FLIR P620.

Для определения температуры поверхности образцов применяется прибор для измерения теплового потока и температуры ИТП-МГ4.03-10 «Поток», для определения температуры окружающего воздуха – ртутный термометр. Наглядно экспериментальная установка показана на рисунке 4.

Полученные в ходе эксперимента термограммы (рисунок 5) подвергаются дальнейшей обработке для определения излучательной способности исследуемого покрытия в длинноволновой части спектра. Спектральный коэффициент излучения рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{T_p^{n_{\lambda}} - T_r^{n_{\lambda}}}{T_p^{n_{\lambda}} - T_r^{n_{\lambda}}},$$

где  $T_p^{n_{\lambda}}$  – радиационная «кажущаяся» температура поверхности, измеренная тепловизором;  $T_r^{n_{\lambda}}$  – «отраженная температура», температура фона;  $T_r^{n_{\lambda}}$  – фактическая температура поверхности, измеренная контактной термопарой;  $n_{\lambda}$  – показатель степени, зависящий от спектрального интервала тепловизора (для  $\lambda = 8,0 \div 14,0$  мкм  $n_{\lambda} = 4,83$ ).

Таким образом, определяется спектральный коэффициент излучения селективного покрытия.

### 3 Установка для определения светопропускной способности селективного покрытия.

Для определения зависимости светопропускной способности от толщины селективного покрытия была собрана установка. Принципиальная схема установки показана на рисунке 6. Установка представляет собой макет в форме параллелепипеда, покрашенного с внутренней стороны в черный цвет. С одной стороны установки размещена линза для концентрации светового потока. С другой стороны размещен люксметр RS 180-7133. В установку вставляются исследуемые образцы

с нанесенным селективным покрытием. Для оценки зависимости светопропускной способности в зависимости от толщины селективного покрытия применялся желтозеленый светофильтр, соответствующий максимальному потоку солнечного излучения.

Для сравнения светопропускной способности различных покрытий используется эта же установка с набором светофильтров, пропускающих длины волн 400-435; 435-480; 480-490; 490-500; 500-560; 560-580; 580-595; 595-605; 605-730; 730-760 нм. Данные светофильтры выбраны потому, что видимый спектр лежит в этом диапазоне.

### Выводы

1. Создана экспериментальная установка для качественного определения поглощающей способности солнечного излучения селективным покрытием.

2. Создана экспериментальная установка для определения излучательной способности длинноволнового излучения селективного покрытия.

3. Создана экспериментальная установка для определения зависимости светопропускной способности селективного покрытия светопрозрачной части коллектора.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям) / Под ред. д-ра техн. наук П. П. Безруких. – М. : ИАЦ «Энергия», 2007. – 272 с.
2. Agnihotri, O. R. Solar Selective Surfaces / O. R. Agnihotri, B. K. Gupta. – Wiley, New York, 1981.

**Шашев А.В.** – к.т.н., доцент кафедры «Теплогасоснабжение и вентиляция» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. Ползунова, E-mail: shashev4@mail.ru.

**Герман Е.А.** – к.т.н., доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. Ползунова, E-mail: evg.german@mail.ru.

**Почекайлов Ю.Ю.** – ведущий инженер-проектировщик ООО «Котельный завод «Энергия», E-mail: yran-pochekaylov@yandex.ru.