

## СЕЛЕКТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Про прочих равных условиях эффективность коллектора будет тем выше, чем больше часть солнечного излучения, которая поглотилась абсорбером. Коэффициент поглощения определяется как доля мощности падающего излучения поглощенная поверхностью. Эта величина зависит от длины волны падающего излучения и угла падения. По отношению к солнечным коллекторам эффективный коэффициент поглощения  $\alpha$  представляет полный угловой коэффициент поглощения в спектральном интервале соответствующем спектральному интервалу солнечного излучения в наземных условиях. Величина  $\alpha$  изменяется от 0 до 1. Тело называется **абсолютно черным**, если оно при любой температуре поглощает всю падающее на него излучение. Величина  $\alpha$  абсолютно черного тела равна 1. Реальные тела не являются абсолютно черными, однако некоторые из них по своим оптическим свойствам близки к абсолютно черному телу. Например, сажа и платиновая чернь в области видимого излучения имеют  $\alpha$  мало отличающийся от единицы. Наиболее совершенной моделью абсолютно черной поверхности может служить небольшое отверстие в непрозрачной стенке замкнутой полости. Электромагнитное излучение, проходящее из вне в полость за счет многократного отражения от ее внутренней поверхности практически полностью ею поглощается независимо от того, из какого материала сделаны стенки указанной полости.

Нагретое под действием излучения тело за счет преобразования энергии теплового движения частиц тела в энергию излучения начинает излучать электромагнитные волны. Интегральная излучательная способность ( $\epsilon_T$ ) представляет собой поверхностную плотность мощности теплового излучения тела, т.е. энергию излучения всех возможных частот, испускаемого с единицы поверхности тела за единицу времени. Для абсолютно черного тела величина  $\epsilon_T$  определяется законом Стефана-Больцмана :

$$\epsilon_T = \sigma T^4, \quad (1)$$

где  $\sigma$  = универсальная постоянная Стефана-Больцмана, равная  $5.67 \cdot 10^{-8}$  Вт/ м<sup>2</sup>\*град,  
T – температура тела, К

Для оценки излучательной способности реальных поверхностей достаточно часто используют относительную излучательную способность  $\epsilon$ , которая представляет долю излученной тепловой энергии по отношению к величине энергии падающего излучения.

Главная функция поверхности теплоприемника солнечного коллектора заключается в увеличении доли поглощаемой солнечной энергии. По определению абсолютно черное тело является превосходным поглотителем излучения. Волны всех длин при любом угле падения будут поглощаться абсолютно черным телом. Однако реальные тела всегда будут отражать часть излучения, которое на них падает, причем в возрастающей степени при увеличении угла падения. Абсолютное черное тело является превосходным излучателем тепловой радиации, оно излучает столько энергии сколько и поглощает.

Идеальной поверхностью теплоприемника будет та которая полностью поглощает коротковолновое солнечное излучение т.е. не его не отражает ( $\alpha \rightarrow 1$ ) и совершенно не излучает длинноволновое излучение т.е. полностью его отражает ( $\epsilon \rightarrow 0$ ). Такая идеальная поверхность называется **селективной поверхностью**. Сочетание высокой поглощательной способности с низкой излучательной способностью является возможным благодаря тому, что солнечный спектр и спектр теплового излучения при  $T < 500\text{K}$  на 98% не перекрываются. В настоящее время величина  $\alpha$  у современных коллекторов достигает

значений 0.96-0.97,  $\epsilon$  не превосходит 0.12-0.16. Основным техническим параметром селективного покрытия наряду с величинами  $\alpha$  и  $\epsilon$  является их отношение  $\alpha/\epsilon$ . Чем больше это отношение, тем выше качество селективного покрытия. Важную роль при выборе селективного покрытия играет цена  $1\text{ м}^2$  такого покрытия. Современные эффективные селективные покрытия стоят (3-10)  $\$/\text{м}^2$ . Для экономической оценки селективного покрытия огромную роль играет его долговечность. Среди факторов оказывающих неблагоприятное внимание на долговечность селективного покрытия и деградацию их теплофизических свойств, следует отметить влагу, высокие температуры и интенсивное солнечное излучение. Если воздействие последнего из неблагоприятных факторов невозможно ослабить, то два первых минимизируют. Для предотвращения проникновения влаги внутрь коллектора необходимо применять штампованный, а не клеенный корпус коллектора. Наибольшую долговечность селективных покрытий имеют вакуумные коллектора, в конструкции которых исключено проникновение влаги и атмосферы внутрь коллектора. При работе коллектора не допускают его функционирование без теплоносителя в условиях сильного солнечного излучения, так как это приводит к перегреву селективного покрытия и его деградации. Выбор селективного покрытия определяется материалом теплоприемника. Для изготовления теплоприемных пластин коллектора используют медь, алюминий или сталь. В свою очередь при выборе материала теплоприемника учитывают теплопроводность, стоимость, долговечность, технологичность. Медь обладает наиболее высокой теплопроводностью, лучше противостоит коррозии, чем алюминий и сталь, но имеет более высокую стоимость. Высокие рабочие температуры коллектора могут вызвать коррозию и меди. Для уменьшения коррозии в состав теплоносителя добавляют специальные ингибиторы. В таблице 2 приведены два наиболее распространенных комбинации теплоприемника и селективного покрытия.

Технология изготовления селективного покрытия представляет коммерческую тайну. Поэтому, ниже приведены не рецепты, а всего лишь некоторые сведения об изготовлении селективных покрытий, которые, тем не менее, дают общие представления о существующих технологических подходах к изготовлению селективных покрытий.

Основными методами нанесения селективных покрытий являются гальванические и химические методы. Иногда применяют и вакуумную конденсацию.

Элемент конструкции	THERMOSOLAR	CROMOGEN
Теплоприемник	Коррозионно-стойкий алюминиевый сегмент с медными трубками по которым протекает жидкий теплоноситель	Медный сегмент к которому ультразвуком приварены алюминиевые трубки, по которым протекает жидкий теплоноситель
Селективное Покрытие	Оксид алюминия, покрытый коллоидным никелем $\alpha_{\min}=0.94$ $\epsilon_{\max}=0.16-0.17$	Электрохимический хром $\alpha_{\min}=0.95$ $\epsilon_{\max}=0.12$

Таблица 2. Технические характеристики плоских тепловых коллекторов известной словацкой фирмы THERMOSOLAR и израильской фирмы CROMOGEN

1. **«Черный никель».** Данное селективное покрытие получают путем электролиза на химически чистой металлической поверхности, которая выступает в качестве катода. Электролитическая ванна содержит на 1 литр воды 75 г сульфата никеля ( $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), 28 г сульфата цинка, 24 г. сульфата аммония, 17 г тиоцианата аммония, 2г лимонной кислоты. Показатель концентрации водородных ионов в растворе должен быть около 4, а качестве анода используется чистый никель. Процесс протекает при 30°C. Электролиз занимает 2-4 минуты при токе 2 мА на 1 см<sup>2</sup>. Такие покрытия имели  $\alpha$  на уровне не более 0.89 и  $\epsilon$  на уровне не менее 0.18. Для увеличения теплофизических показателей селективного покрытия в современных конструкциях «черный никель» формируют на поверхности оксида алюминия (см. таблицу 2). Оксид алюминия создается путем анодирования алюминиевого теплоприемника. Полученный таким образом слой оксида алюминия имеет пористую развитую поверхность, что увеличивает поглощение падающего излучения за счет многократного отражения солнечных лучей отразившихся от поверхности слоя. Так как оксид алюминия имеет большое электросопротивление. То на его поверхности «черный никель» формируют химическим коллоидным способ.

2. **Электрохимический хром** на поверхности меди формируют гальваническим методом подобным описанному выше для «черного никеля». Для увеличения степени развитости поверхности электрохимический никель формируют на подслое электрохимически осажденного никеля толщиной 5 мкм. Время осаждения подслоя никеля варьируется от 100 до 200 секунд.

Существенным недостатком указанных выше селективных покрытий является экологически вредное производство.

В настоящее время известен широкий набор селективных покрытий не только неорганической, но и органической природы на основе органических лаков и красок. Однако такие селективные покрытие имеют не оптимальные теплофизические характеристики, которые испытывают существенную деградацию при эксплуатации.

Альтернативой существующим черням в солнечных коллекторах могут быть селективные покрытия на основе низковакуумных конденсатов (НВК) алюминия.

Покрытия такого типа представляют собой пористые слои алюминия толщиной (0.1-5) мкм, полученные специальными методами конденсации металла в низком вакууме на различных подложках и последующей термообработке конденсатов в газовых средах. Общий объем пор в таких объектах достигает 50%. Наличие лабиринта открытых пор и субмикропор с широким распределением по размерам обеспечивает НВК алюминия высокие значения  $\alpha = 0.96-0.97$  в диапазоне длин волн видимой и инфракрасной области спектра. При толщине 0.15 мкм и более НВК алюминия наряду с высокими  $\alpha$  имеют низкие  $\epsilon = 0.05-0.10$  в области собственного теплового излучения ( $\lambda=4-60$  мкм при 300К).

**Высокая селективность НВК алюминия обеспечивается характерной структурой субмикропор размером менее 0.1 мкм. Дегградация селективности НВК алюминия происходит путем коалесценции мелких пор. Конденсаты с размером пор более 1 мкм не обладают селективностью.**