

## Лекция 12

### 3. Материалы, используемые в нетрадиционной и возобновляемой энергетике

#### Гелиоколлекторы

*Солнечные коллекторы* являются особым видом теплообменников, которые преобразуют энергию солнечного излучения во внутреннюю энергию транспортной среды (обычно воздух, вода или масло), протекающей через коллектор. Энергия, полученная таким способом, обычно используется в системах горячего водоснабжения, кондиционирования космических аппаратов, а также в тепловых резервуарах.

Солнечные коллекторы можно разделить на следующие основные типы: стационарные коллекторы и следящие за Солнцем коллекторы-концентраторы. Стационарные коллекторы могут быть плоскими (степень концентрации солнечного излучения равна 1) либо трубчатыми с параболическим концентратором и степенью концентрации солнечного излучения от 1 до 5. Следящие системы могут быть разделены на системы одноосного и двуосного слежения. В коллекторах с одноосным слежением используются трубчатые нагреватели, а с двуосным слежением – точечные. Такие системы комплектуются эффективными концентраторами: в коллекторах с трубчатым нагревателем и одноосным слежением степень концентрации солнечного излучения достигает 50, в коллекторах с точечным нагревателем и двуосным слежением – 1500.

Солнечные коллекторы могут иметь разнообразные конструкции из различных материалов. Могут быть использованы различные жидкие и газообразные теплоносители. Но их основной целью является сбор как можно большего количества энергии с наименьшими экономическими затратами. Коллектор должен также иметь длительный эффективный срок службы, несмотря на пагубное воздействие солнечного излучения, коррозию, засорение системы циркуляции теплоносителя вследствие его кислотности или щелочности либо вследствие его замерзания, осаждение пыли и влаги на остеклении, поломку остекления из-за перепада температур, града, вандализма или других причин.

Типичный плоский солнечный коллектор показан на Рис. 12.1. Солнечное излучение, пройдя через прозрачное защитное покрытие, поглощается поверхностью нагревательного элемента (поглотителя). Поглощенная нагреваемой пластиной энергия передается затем

прокачиваемой по трубкам жидкости. Трубки для прокачки жидкости либо привариваются к нагреваемой пластине, либо являются ее неотъемлемой частью.

Прозрачное защитное покрытие используется для уменьшения конвекционных потерь от поглощающей пластины. Защитное покрытие также снижает излучательные потери от коллектора, так как является прозрачным для коротковолнового солнечного излучения и непрозрачным для длинноволнового теплового излучения, испускаемого поглощающей пластиной (парниковый эффект).

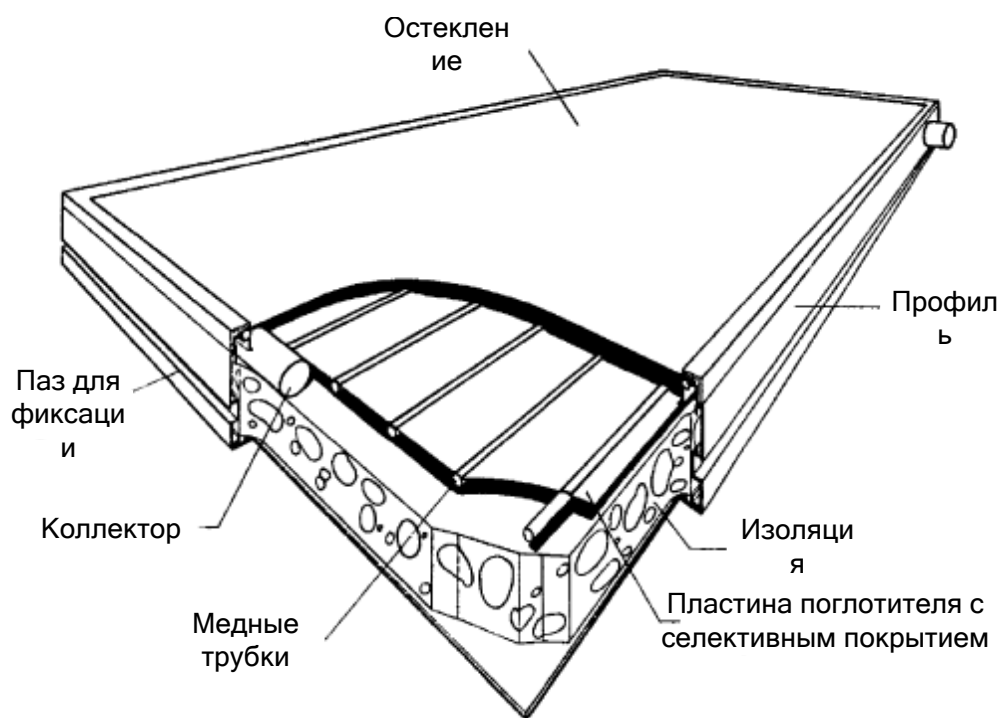


Рис. 12.1. Схема плоского солнечного коллектора.

Коллекторы данного типа обычно жестко ориентированы на юг в северном полушарии и на север в южном. Оптимальный угол наклона коллектора к горизонту равен широте местности с небольшой вариацией в зависимости от особенностей применения.

Основные элементы таких коллекторов представлены на Рис. 12.2. В качестве прозрачного защитного покрытия традиционно используется стекло, поскольку оно способно пропускать до 90% падающей солнечной радиации и в то же время практически не пропускает длинноволновое излучения от нагретого коллектора. Стекла с низким содержанием железа имеют относительно высокое пропускание для солнечного излучения (примерно 0,85-0,90 при нормальном падении), и по существу равное нулю пропускание для длинноволнового теплового излучения (5,0-50 мкм), испускаемого нагретой поверхностью.

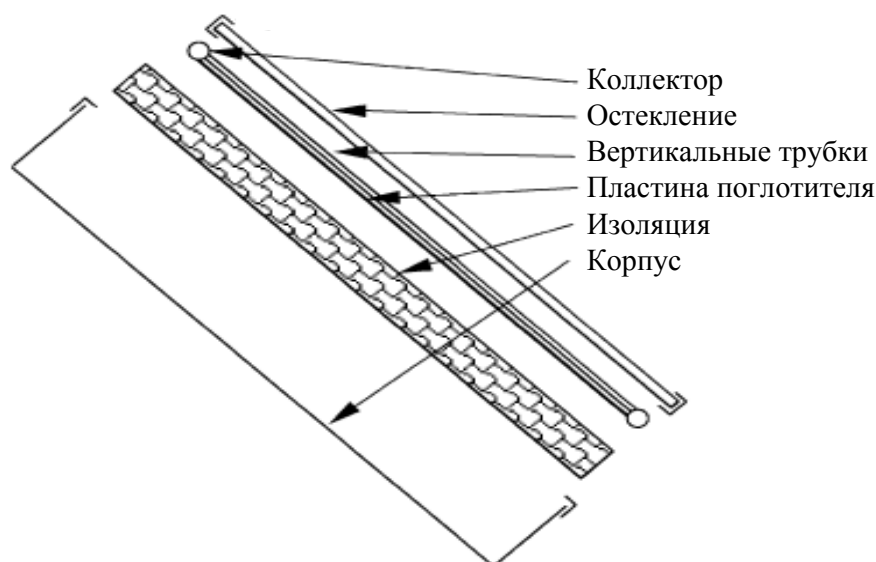


Рис. 12.2. Основные элементы плоского солнечного коллектора.

Некоторые пластмассы обладают высоким коэффициентом пропускания в коротковолновой области, однако в области длинноволнового теплового излучения они также имеют полосы пропускания. Применение пластмасс обычно ограничивает рабочие температуры коллектора. Кроме того, лишь немногие виды пластмасс стойки к ультрафиолетовому излучению солнца. Однако по отношению к стеклу пластмассы менее хрупки, а в виде тонких пленок очень гибки и имеют малую массу.

Использование просветляющих покрытий и текстурирование поверхности также может улучшить поглощение излучения коллектором.

Прошедшее через стекло излучение поглощается нагреваемой коллекторной пластиной. В свою очередь коллекторная пластина отдает тепло циркулирующему теплоносителю. При этом важным фактором является минимизация потерь тепла как за счет теплового излучения обратно через прозрачное покрытие, так и за счет разогрева задней части корпуса коллектора. Коэффициент поглощения солнечного излучения поверхностью коллектора определяется природой и цветом покрытия, углом падения излучения. Обычно используется черный цвет, однако по эстетическим причинам могут быть использованы покрытия различных цветов.

**Поглотитель** является ключевым элементом всей конструкции коллектора. Роль поглотителя заключается в преобразовании энергии видимого и ИК-излучения в тепло (фототермическое преобразование). Это требует использования для поглотителей материалов с высоким значением коэффициента поглощения поверхности в спектральном диапазоне излучения солнца. С другой стороны, в области длинных волн теплового излучения от поверхности поглотителя для минимизации энергетических потерь

требуется малое значение коэффициента поглощения, а следовательно и коэффициента излучения. Кроме того, материал поглотителя должен обеспечить эффективную теплопередачу к теплоносителю и быть температуростойким. Наиболее популярными материалами для абсорберов являются медь и алюминий благодаря своей теплопроводности и другим свойствам. Самым простым решением для повышения коэффициента поглощения является покраска в черный цвет поверхности поглотителя, обращенной к падающему излучению. С увеличением рынка солнечных коллекторов более широкое применение в будущем могут иметь альтернативные материалы, такие как полимеры и нержавеющая сталь. Также могут быть применены селективные покрытия.

Работу селективных поглотителей можно понять, если рассмотреть зависимость поглощательной и излучательной способности от длины волны. Для заданной длины волны  $\lambda$  монохроматические коэффициенты поглощения (поглощательная способность)  $\alpha_\lambda$  и излучения (излучательная способность)  $\varepsilon_\lambda$  равны в соответствии с законом Кирхгофа для теплового излучения:

$$\alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda. \quad (12.1)$$

При этом подавляющая доля энергии излучения Солнца, достигающего земной поверхности, приходится на видимый и ближний ИК-диапазон, в то время как более холодная поверхность (в сравнении с поверхностью Солнца) поглотителя испускает излучение в ИК-диапазоне с существенно большими длинами волн. Сказанное определяется законом смещения Вина:

$$\lambda_{\max} T = b. \quad (12.2)$$

где  $\lambda_{\max}$  – длина волны для максимума спектра излучения,  $T$  – термодинамическая температура излучающего черного тела,  $b$  – константа пропорциональности, именуемая постоянной смещения Вина.

Для различных длин волн поглощательная и излучательная способности могут отличаться. Спектральные зависимости коэффициента поглощения (излучения) используются для оптимизации работы солнечных коллекторов.

В табл. 12.1 приведены средние значения для различных поверхностей коэффициента поглощения в спектральном диапазоне солнечного излучения  $\alpha_S$  и коэффициента излучения в длинноволновом ИК-диапазоне  $\varepsilon_I$ . Для хороших селективных поглотителей требуется большое значение отношения  $\alpha_S/\varepsilon_I$ .

Таблица 12.1. Оптические свойства поглотителей

Материал		Солнечное излучение		Длинноволновое ИК-излучение		$\alpha_s/\varepsilon_I$
		$\alpha_s(\varepsilon_s)$	$\rho_s$	$\alpha_I(\varepsilon_I)$	$\rho_I$	
Селективный поглотитель	черный никель	0,88	0,12	0,07	0,93	12,57
	черный хром	0,87	0,13	0,09	0,91	9,67
	алюминий	0,70	0,30	0,07	0,93	10,00
	нитрид/оксид титана	0,95	0,05	0,05	0,95	19,00
Неселективный поглотитель		0,97	0,03	0,97	0,97	1,00

Для непрозрачных материалов (коэффициент пропускания  $\tau = 0$ ) в соответствии с законом сохранения энергии сумма коэффициентов поглощения  $\alpha_\lambda$  и отражения  $\rho_\lambda$  должна быть равна единице (см. Таблица 12.1):

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1. \quad (12.3)$$

Одной из основных проблем создания солнечных коллекторов является получение хорошего теплового контакта между трубками с циркулирующим теплоносителем и пластинами поглотителя без существенных затрат на рабочую силу и материалы. Наиболее часто для создания коллекторных пластин используются медь, алюминий и нержавеющая сталь – материалы, имеющие высокие значения теплопроводности. Если же вся поверхность поглотителя находится в контакте теплоносителем, то теплопроводность материала уже не имеет столь существенного значения.

Трубчатые коллекторы с параболическим концентратором обладают способностью отражать на поглотитель все падающее излучение в широких пределах (Рис. 12.3). Это позволяет стационарному коллектору эффективно работать при изменении положения солнца без использования системы слежения.

Две обращенные друг к другу параболические секции концентратора могут принимать входящее излучение в относительно широком диапазоне углов. Благодаря нескольким внутренним отражениям любое излучение, падающее на коллектор в пределах некоторого угла, попадает на поверхность поглотителя, расположенного в нижней части коллектора. Поглотитель, как правило, представляет собой цилиндр (Рис. 12.3) с прокачиваемым теплоносителем. Поскольку от верхней части концентратора относительно малая доля излучения достигает поглотителя, часто используется более дешевая укороченная версия концентратора.

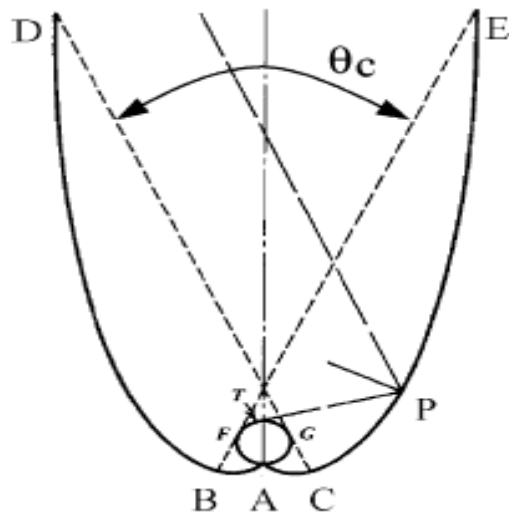


Рис. 12.3. Схема коллектора с параболическим концентратором

Угол приема  $\theta_c$  определяется как угол между крайними направлениями, под которыми излучение от источника света сходится в поглотителе. Ориентация коллектора связана с его углом приема. Кроме того, такой коллектор может быть стационарным или с системой слежения. В случае стационарного коллектора оптимальное расположение длинной осью (осью, параллельной трубке для прокачки теплоносителя) с востока на запад и ориентация концентратора на экватор под углом к горизонту, равным широте местности.

В то же время при использовании коллектора совместно со следящей системой оптимально расположение длинной осью с севера на юг и отслеживание положения солнца поворотом вокруг этой оси – коллектор-концентратор с одноосным слежением (Рис. 12.4).

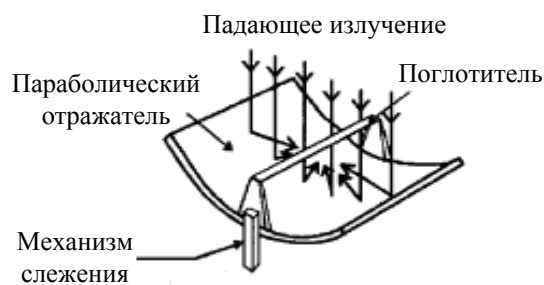


Рис. 12.4. Параболический коллектор-концентратор с одноосным слежением.

Параболический коллектор-концентратор с дуосным слежением и точечным нагревателем схематически показан на Рис. 12.5. В точке фокуса такого параболического концентратора располагается приемник, на который концентрируется все нормально

падающее на концентратор излучение. Поэтому для данного типа коллектора необходимо двусное слежение за положением солнца.

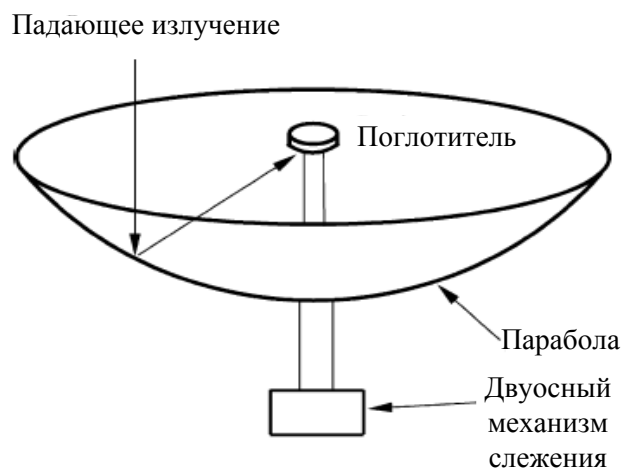


Рис. 12.5. Параболический коллектор-концентратор с двусным слежением и точечным нагревателем.

### **Материалы с особыми свойствами отражения и поглощения электромагнитного излучения**

**Селективные поглотители.** Поглотители электромагнитного излучения чаще всего выполняются в виде металлической поверхности, на которую нанесен поглощающий слой диэлектрика, толщина и диэлектрические свойства которого выбираются из совместного решения уравнений, выводимых для случая отсутствия отражения электромагнитного излучения заданной частоты от системы диэлектрик-металл.

Также в качестве поглотителя может быть использован гелиоприемник. Он имеет черную матовую поверхность с большим коэффициентом поглощения солнечной радиации (около 0,95—0,98). Его можно сделать из алюминия, оцинкованной стали, стекла, бетона и обязательно покрыть кузбас-лаком, ламповой чернью, термостойкой резинобитумной мастикой. Рабочую площадь гелиоприемника делают максимально большой. В некоторых случаях для увеличения количества падающей на гелиоприемник солнечной энергии устанавливают отражатели, сделанные из плоских или изогнутых пластин. Для гелиоприемников лучше использовать алюминий и сплавы из легких цветных металлов.

Селективные покрытия должны оцениваться по возможности их нанесения на определенный материал теплоприемника, по их стоимости, наличию и долговечности.

Каждое селективное покрытие предназначено для нанесения на определенный материал: селективные покрытия для меди, необязательно годятся для алюминия.

Таблица 12.2. Свойства селективных покрытий

Поверхность	Поглощательная способность для солнечной энергии, $\alpha$	Излучательная способность для длинноволнового излучения поверхностей, типичных для плоских солнечных коллекторов, $\varepsilon$
«Черный никель»; содержит окиси и сульфиды Ni и Zn на полированном Ni	0,91...0,94	0,11
«Черный никель» на оцинкованном железе	0,89	0,16...0,18
«Черный никель» 2 слоя поверх гальванопокрытия из Ni на мягкой стали ( $\alpha$ и $\varepsilon$ после 6-часового погружения в кипящую воду)	0,94	0,07
CuO на Ni; медь в качестве электрода с последующим окислением	0,81	0,17
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> на серебре; методом осаждения и окисления	0,90	0,27
CuO на Al; методом набрызгивания разбавленного раствора Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> на горячую алюминиевую пластину с последующей горячей сушкой	0,93	0,11
«Черная медь» на Cu; методом обработки Cu раствором NaOH и NaClO <sub>2</sub>	0,89	0,17
«Эбанол С» на Cu; промышленная обработка чернением Cu, обеспечивающая покрытия в основном на CuO	0,90	0,16
CuO на анодированном Al; обработка Al горячим раствором Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> —KMnO <sub>4</sub>	0,85	0,11
Горячая сушка Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —Mo—Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Mo—Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Mo—Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; промежуточные слои на Mo ( $\varepsilon$ измеряется при 260°C)	0,91	0,085
Кристаллы PbS на Al	0,89	0,20

Обычными методами нанесения покрытий являются гальванические, химические и пареоосадительные ванны. Микроскопические слои в полмикрона должны иметь равномерную толщину.



Эффективность селективной поверхности измеряется *коэффициентом поглощения* ( $\alpha$ ) солнечной энергии, *относительной излучающей способностью* ( $\epsilon$ ) длинноволновой тепловой радиации и отношением поглощательной способности к излучательной ( $\alpha/\epsilon$ ). В Табл. 12.2 приводятся некоторые характеристики селективных поверхностей.