

Солнечная энергетика

Солнечная энергетика

Определение:

Солнечная энергетика - использование солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде.

Источником энергии солнечного излучения являются термоядерные реакции, протекающие на Солнце.

1. Характеристики Солнца

- Поток мощности, излучаемый Солнцем в окружающее пространство $4 \cdot 10^{23}$ кВт
- Температура в активном ядре Солнца 10^7 К
- Расстояние от Солнца до Земли 150 млн.км
- Площадь поверхности Земли, облучаемой Солнцем $5 \cdot 10^8$ км²

1. Характеристики Солнца

➤ Поток солнечной радиации,
достигающей Земли

$1,2 \cdot 10^{14}$ кВт

Это значительно превышает ресурсы всех других
возобновляемых источников энергии

Для примера, суммарная мощность
всех электростанций России

$2,2 \cdot 10^8$ кВт

Интенсивность

Для количественной оценки излучения применяется величина, называемая **ИНТЕНСИВНОСТЬЮ**.

$$E_c$$

Интенсивность – это мощность лучистой энергии, приходящей за пределами земной атмосферы в секунду на квадратный метр площадки, перпендикулярной солнечным лучам.

Интенсивность

Поток солнечного излучения, проходящий через площадку в 1 м^2 , расположенную перпендикулярно потоку излучения на расстоянии **одной астрономической единицы** от центра Солнца (вне атмосферы Земли), равен **1367 Вт/м^2** (**солнечная постоянная**).

Из-за поглощения атмосферой Земли, **максимальный поток солнечного излучения на уровне моря - 1020 Вт/м^2** .

Интенсивность

В средних широтах в дневное время значение потока солнечного излучения достигает **800 Вт/м² летом**, снижаясь до **250-300 Вт/м²** зимой.

Ночью это значение равно 0.

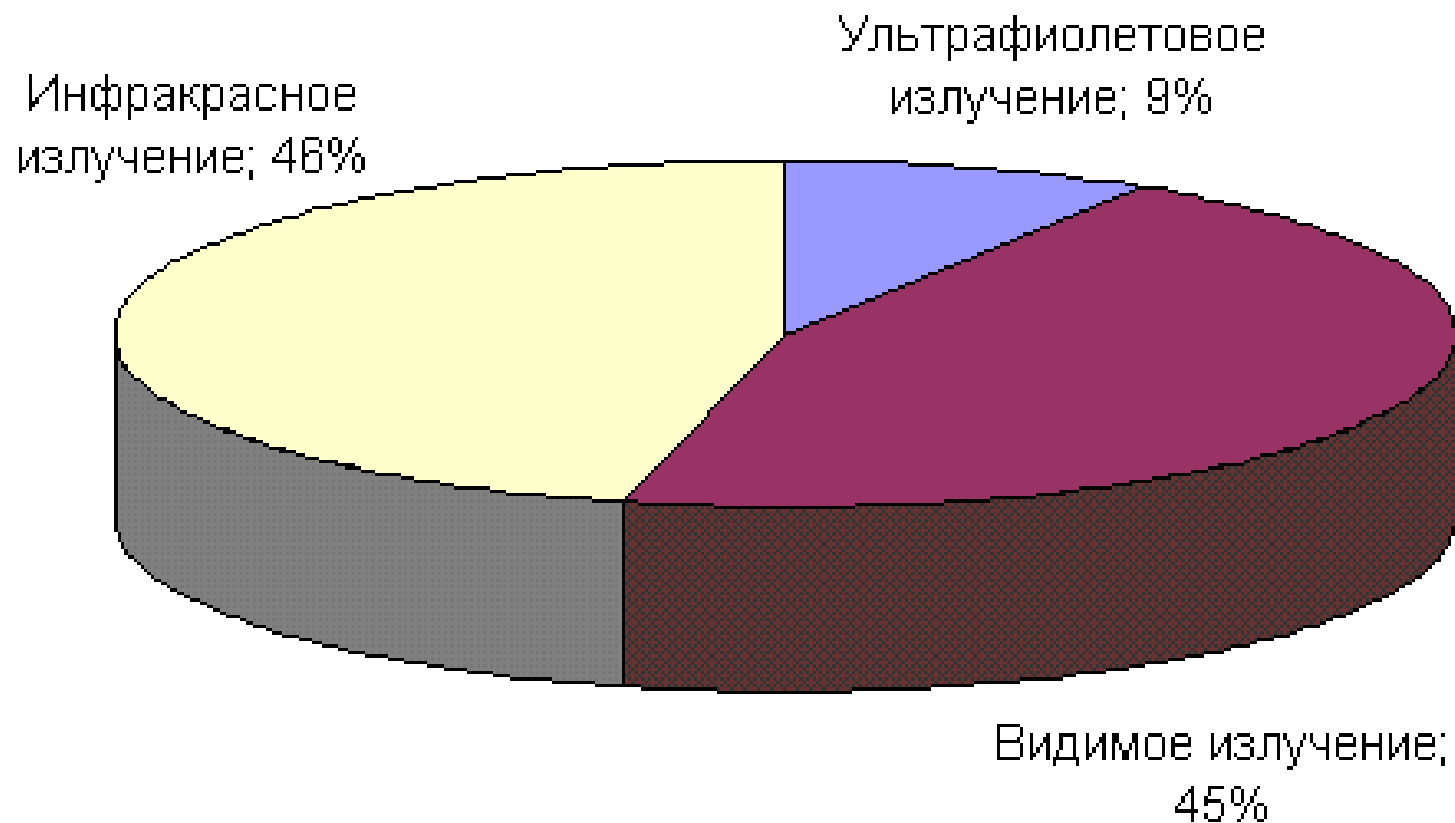
Это количество энергии с единицы площади определяет возможности солнечной энергетики.

Области солнечного спектра

До Земли доходит:

- **ультрафиолетовое** излучение
(длины волн до 0,4 мкм) – 9% интенсивности
- **видимое** излучение
(длины волн 0,4 - 0,7 мкм) – 45% интенсивности
- **инфракрасное (тепловое)** излучение
(длины волн более 0,7 мкм) – 46% интенсивности

Солнечный спектр



Причины ослабления солнечного света в атмосфере

- ❖ **инфракрасное излучение** поглощается парами воды;
- ❖ **ультрафиолетовое излучение** поглощается озоном;
- ❖ **видимое излучение** рассеивается молекулами газов и находящимися в воздухе частицами пыли и аэрозолями.

Баланс лучистой энергии Земли



Солнечное излучение на поверхность Земли зависит от многих факторов:

- ❖ широты и долготы местности;
- ❖ географических и климатических особенностей;
- ❖ состояния атмосферы;
- ❖ высоты Солнца над горизонтом;
- ❖ размещение приемника солнечного излучения на Земле;
- ❖ размещение приемника солнечного излучения по отношению к Солнцу и т.д.

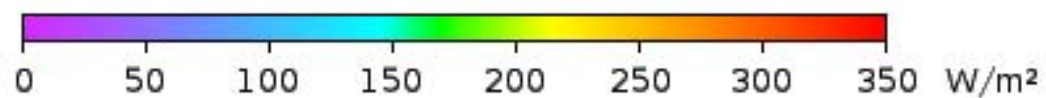
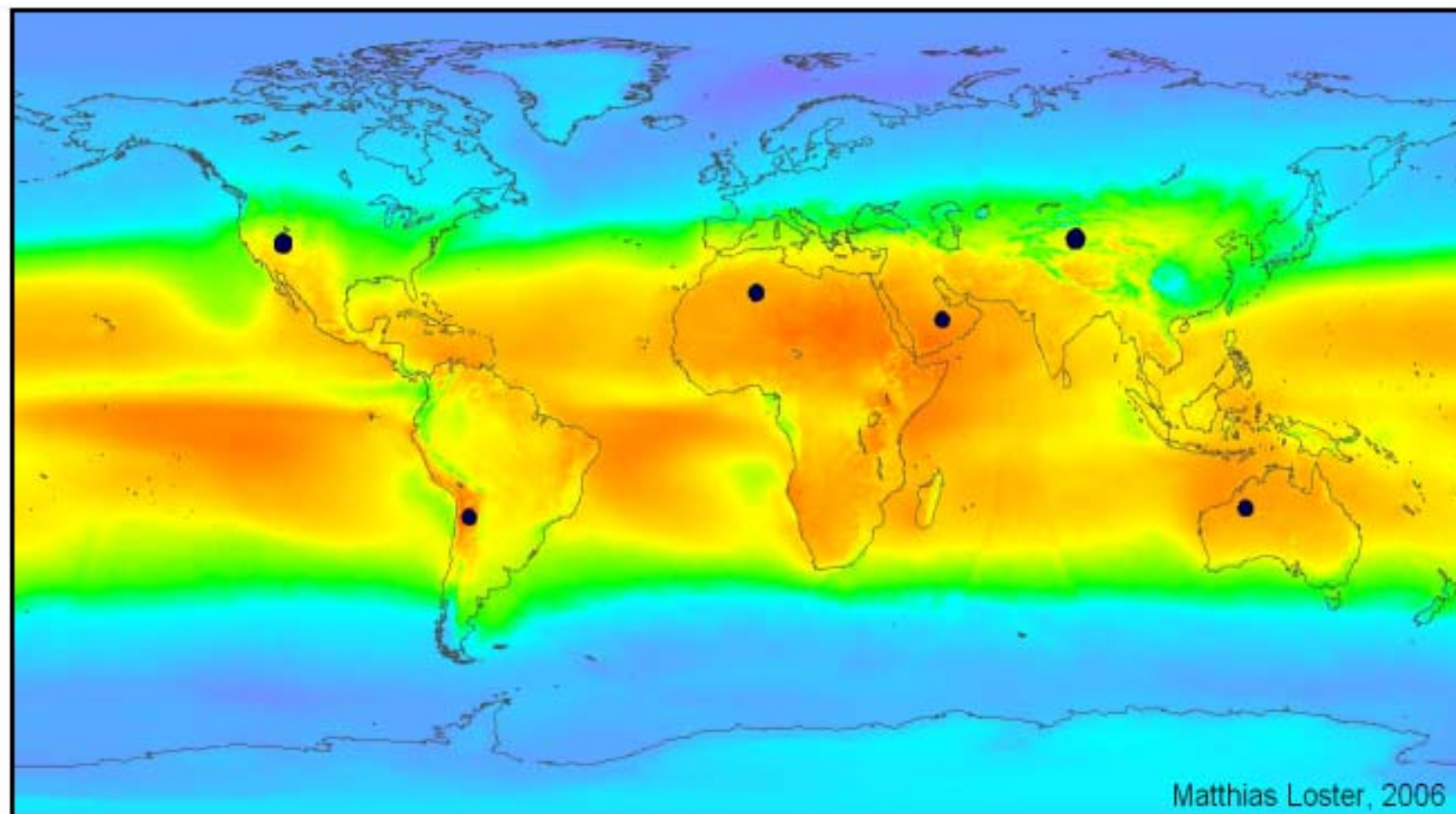
Суммарное солнечное излучение, достигающее поверхности Земли, обычно состоит из трех составляющих:

1. **Прямое солнечное излучение**, поступающее от Солнца на приемную площадку в виде параллельных лучей.
2. **Диффузионное, или рассеянное** молекулами атмосферных газов и аэрозолей солнечное излучение.
3. **Отраженная** земной поверхностью доля солнечного излучения.

Первая составляющая солнечного излучения может отсутствовать полностью или частично в течении как коротких (минуты, часы), так и длительных (сутки, недели) интервалов времени в конкретной точке Земли.

Солнечная энергетическая установка на Земле имеет **нулевую гарантированную мощность** при использовании только солнечного излучения без сочетания с другими источниками энергии.

Карта солнечного излучения



$\Sigma \bullet = 18 \text{ TWe}$

2. Состояние солнечной энергетики за рубежом

В США введены 8 крупных солнечных электростанций (СЭС) модульного типа общей мощностью около 450 МВт, энергия поступает в энергосистемы штатов.

Выпуск солнечных фотоэлектрических преобразователей в мире достиг 300 МВт в год, из них 40% приходится на долю США.

В настоящее время в мире работают более 2 млн. гелиоустановок теплоснабжения.

Площадь солнечных теплофикационных коллекторов в США составляет 10 млн. м², в Японии 8 млн. м².

2. Состояние солнечной энергетики за рубежом

Реализуются экзотические проекты. Так, правительство Австралии приняло план строительства «Солнечной башни» с диаметром основания 130 метров и высотой 1 км. У подножия башни раскинется огромная теплица диаметром 7 км. Воздух, нагретый в теплице, будет устремляться в трубу, вращая установленные в ней ветродвигатели. Мощность ВЭС должна составить 200 МВт. Стоимость проекта оценивается в \$308 млн.

3. Классификация солнечных энергетических установок

- по виду преобразования солнечной энергии в другие виды энергии – тепло или электричество;
- по концентрированию энергии – с концентраторами и без концентраторов;
- по технической сложности – простые (нагрев воды, сушилки, нагревательные печи, опреснители и т.д.) и сложные.

Сложные солнечные энергетические установки

1 группа

базируется в основном на системе преобразования солнечного излучения в тепло, которое далее чаще всего используется в обычных схемах тепловых электростанций:

- ❖ башенные солнечные электрические станции
- ❖ солнечные пруды
- ❖ солнечные энергетические установки с параболоцилиндрическими концентраторами
- ❖ солнечные коллекторы, в которых происходит нагрев воды с помощью солнечного излучения

Сложные солнечные энергетические установки

2 группа

базируется на прямом преобразовании солнечного излучения в электроэнергию с помощью солнечных термоэлектрических или фотоэлектрических установок.
(Безмашинные солнечные энергетические установки)

4. Термоэлектрические преобразователи

В основе лежит эффект Зеебека, открытый в 1821 году.

Если спаять концами два проводника разного химического состава и поместить спаи в среды с разными температурами, то между ними возникает термо-ЭДС:

$$E = \alpha(T_1 - T_2)$$

4. Термоэлектрические преобразователи

T_1 - абсолютная температура горячего спая

T_2 - абсолютная температура холодного спая

α - коэффициент пропорциональности

4. Термоэлектрические преобразователи

В цепи проводников возникает ток: J

Горячий спай за секунду поглощает теплоту из нагретого источника в количестве:

$$Q_1 = \alpha T_1 J$$

Холодный спай отдает теплоту низкотемпературному телу в количестве:

$$Q_2 = \alpha T_2 J$$

4. Термоэлектрические преобразователи

Разность подведенной и отведенной и отведенной теплоты составляет секундную работу тока, Вт:

$$L = \alpha(T_1 - T_2)J$$

Отношение работы к подведенной теплоте есть термический КПД процесса преобразования:

$$\eta_t = \frac{L}{Q_1} = \frac{\alpha(T_1 - T_2)J}{\alpha T_1 J} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

4. Термоэлектрические преобразователи

В реальных преобразователях имеют место потери:

- ❖ из-за электрического сопротивления проводников;
- ❖ их теплопроводности и термического сопротивления теплообмену спаев с окружающими средами

Действительный КПД установки равен: $\eta = \eta_{оэ} \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

$\eta_{оэ} < 1$ относительный электрический
КПД преобразователя

4. Термоэлектрические преобразователи

При использовании металлических термоэлектродов КПД термоэлектрических преобразователей очень мал – не превышает сотых долей процента.

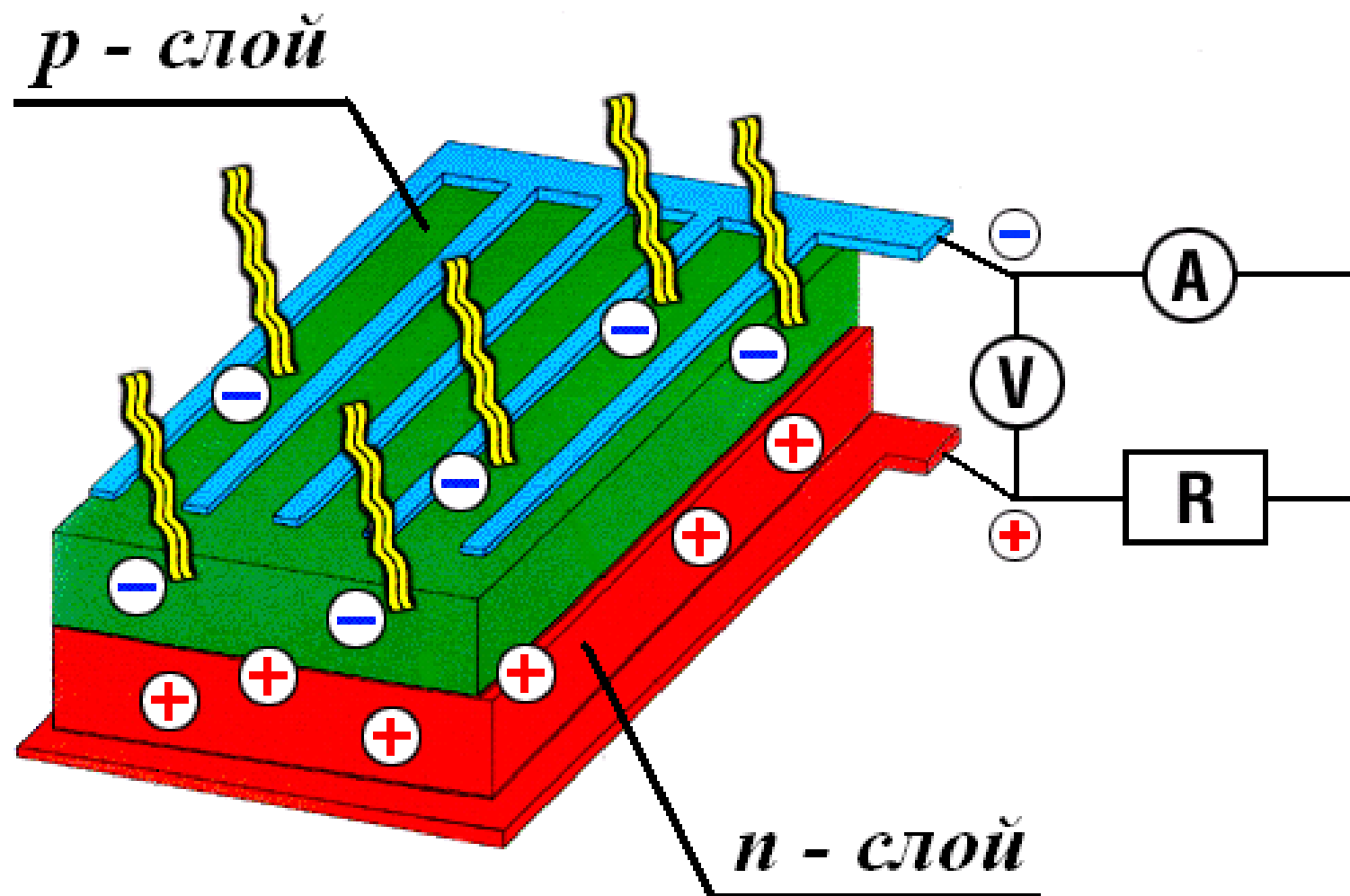
Значительный эффект дает применение полупроводников – КПД возрастает до величины порядка 10%.

Такого рода генераторы применяются в качестве автономных источников электроэнергии для потребителей малой мощности – маяков, морских сигнальных буюв и т.п.

5. Фотоэлектрические преобразователи

Фотоэлектрическая генерация энергии обусловлена пространственным разделением положительных и отрицательных носителей заряда при поглощении в полупроводнике электромагнитного излучения.

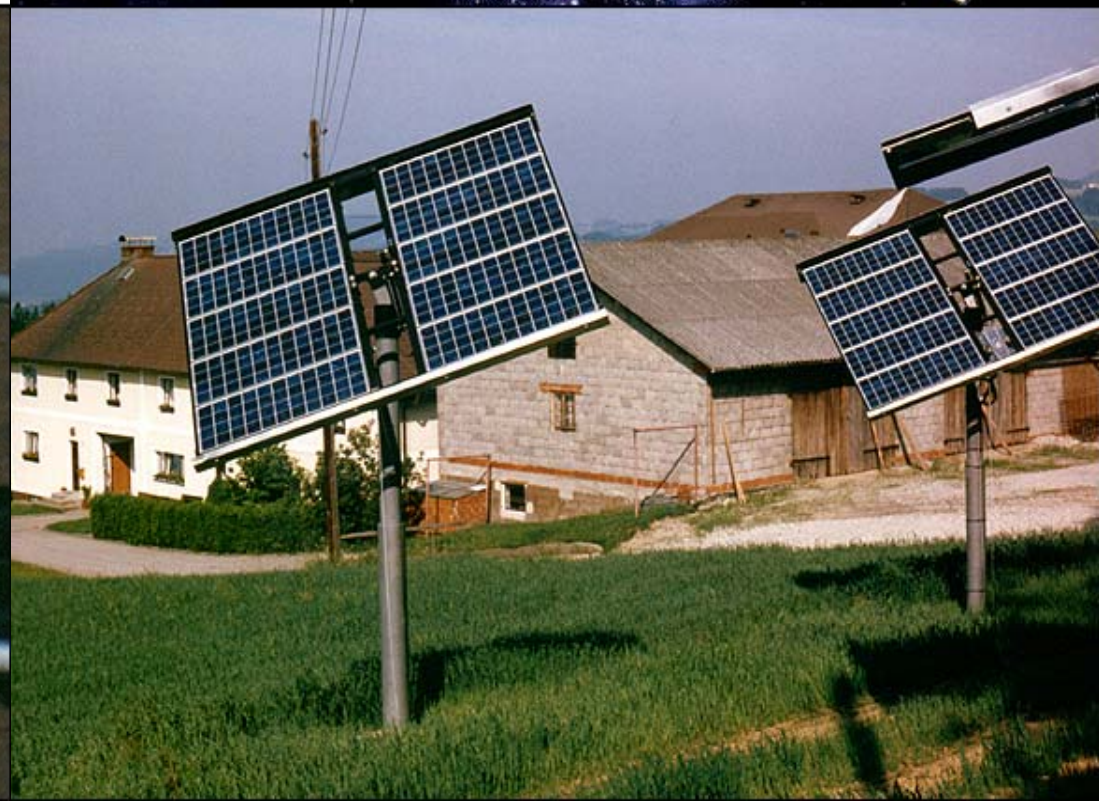
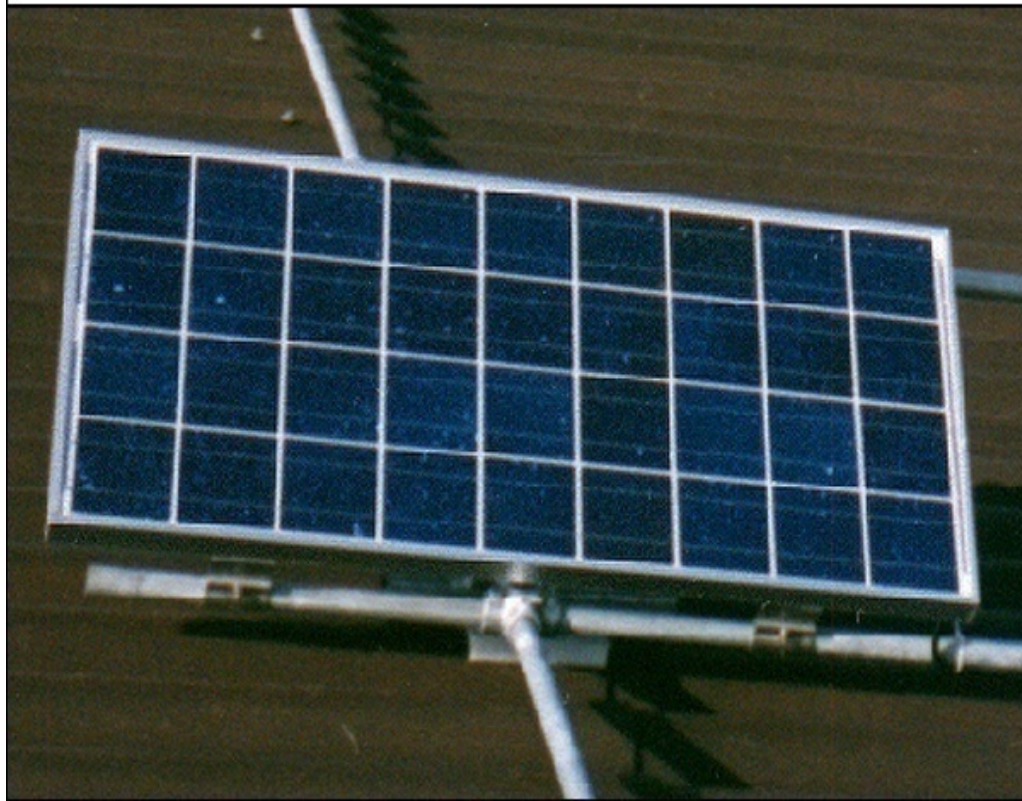
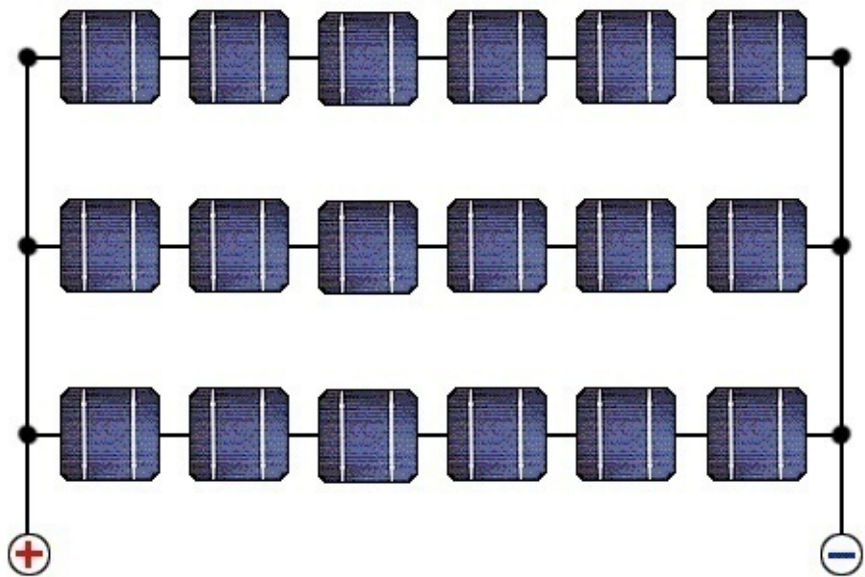
Конструкция солнечного элемента



Принцип работы

Солнечный элемент состоит из двух соединенных между собой кремниевых пластинок. Свет, падающий на верхнюю пластинку, выбивает из нее электроны, посылая их на нижнюю пластинку.

Так создается ЭДС элемента. Последовательно соединенные элементы являются источником постоянного тока. Несколько объединенных фотоэлектрических преобразователей представляют собой солнечную батарею.



Параметры и характеристики фотоэлементов

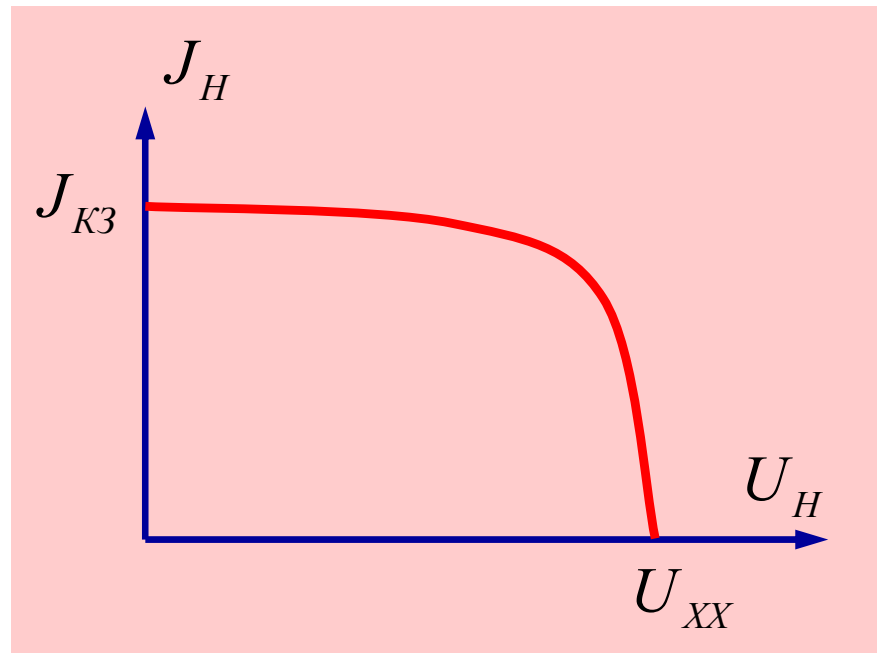
- ❖ вольт-амперная характеристика
- ❖ световые характеристики
- ❖ частотная и спектральная чувствительность
- ❖ КПД

Вольт-амперная характеристика

Нагрузочные вольт-амперные характеристики выражают зависимость тока нагрузки J_n от напряжения на фотоэлементе U_n при включении его в различные нагрузочные сопротивления R_n и постоянной освещенности:

$$J_n = f(U_n)_{E=const}$$

Вольт-амперная характеристика



При $R_H=0$ точка, лежащая на оси токов, соответствует **току короткого замыкания** J_{K3}

При $R_H \rightarrow \infty$ точка, лежащая на оси напряжений, соответствует **фото-ЭДС** $U_{ХХ}$

Световые характеристики

выражают зависимости фото-ЭДС U_{xx} , тока короткого замыкания $J_{кз}$ и тока нагрузки J_H от освещённости или светового потока E

1) $U_{xx} = f(E)$;

2) $J_{кз} = f(E)$;

3) $J_H = f(E)$.

Частотные характеристики

выражают зависимость тока в цепи фотоэлемента J_H от частоты модуляции светового потока ν_M при постоянной освещённости и сопротивлении нагрузки

$$J_H = f(\nu_M)$$

Когда на поверхность фотоэлемента падает переменный световой поток с частотой модуляции ν_M , то сила возникающего при этом тока J_H зависит от ν_M .

С увеличением ν_M сила тока J_H уменьшается из-за инерционности фотоэлементов

Спектральные характеристики

выражают зависимость фототока $J_{\phi\lambda}$ на единицу падающего светового потока Φ_{λ} от длины волны падающего света λ

$$\frac{J_{\phi\lambda}}{\Phi_{\lambda}} = f(\lambda)$$

Спектральная чувствительность это отношение тока короткого замыкания в цепи фото-элемента к падающему на него потоку монохроматического

излучения Φ_{λ} :

$$K = \frac{J_{кз}}{\Phi_{\lambda}}$$

Коэффициент полезного действия

это отношение мощности, выделяемой фотоэлементом на нагрузке, к падающему световому потоку

$$\eta = \frac{J_H U_H}{\Phi}$$

Значение КПД фотоэлемента определяется потерями энергии, которые зависят от:

- ❖ применяемых материалов;
- ❖ конструкции фотоэлемента;
- ❖ режима работы фотоэлемента (сопротивлением нагрузки, освещенностью и температурой).

Классификация потерь

Световые потери –

- ❖ потери на отражение светового потока от поверхностного фотоэлемента, и зависящие от длины волны падающего света.
- ❖ потери от фотоэлектрически неактивного поглощения света:
 - образование фотонов
 - поглощение с возбуждением внутризонных переходов
 - поглощение доли светового потока, прошедшего на большую глубину, вдоль до нижнего металлического электрода

Классификация потерь

Энергетические потери - потери количества возбужденных пар электронов и дырок или переносимой им энергии.

Эти потери обусловлены рекомбинацией носителей, непрошедших до *p-n*-перехода, и зависят от:

- конструкции фотоэлемента
- толщины наружного слоя полупроводника
- состояния его поверхности.

Кроме того, если энергия квантов света значительно превышает ширину запрещенной зоны, то избыточная часть поглощенной энергии растрачивается на нагревание фотоэлемента.

Коэффициент полезного действия

Теоретический КПД фотоэлементов 25%.

Теоретический предел КПД для кремниевого фотоэлемента 22-23%.

Реальные кремниевые солнечные батареи имеют КПД около 13%.

Энергия теряется на:

- ❖ отражение от поверхности (20%)
- ❖ фотоэлектрически неактивное поглощение (10-20%)
- ❖ рекомбинацию созданных светом пар носителей (до 25%) и т.д

Условия эффективной работы ФЭ

- ❖ оптический коэффициент поглощения активного слоя полупроводника должен быть достаточно большим, чтобы обеспечить поглощение существенной части энергии солнечного света в пределах толщины слоя;
- ❖ генерируемые при освещении электроны и дырки должны эффективно собираться на контактных электродах с обеих сторон активного слоя;
- ❖ солнечный элемент должен обладать значительной высотой барьера в полупроводниковом переходе;

Условия эффективной работы ФЭ

- ❖ полное сопротивление, включенное последовательно с солнечным элементом (исключая сопротивление нагрузки), должно быть малым для того, чтобы уменьшить потери мощности (джоулево тепло) в процессе работы;
- ❖ структура тонкой пленки должна быть однородной по всей активной области солнечного элемента, чтобы исключить закорачивание и влияние шунтирующих сопротивлений на характеристики элемента

Способы повышения эффективности ФЭ

Переход на другие материалы:

- ❖ вместо структур на основе монокристаллического кремния - аморфный кремний.
 - *оптическое поглощение аморфного кремния в 20 раз выше, чем кристаллического.*
 - *не требуется операции резки, шлифовки и полировки, необходимых для СЭ на основе монокристаллического кремния.*
 - *пока максимальный КПД экспериментальных ФЭ на основе аморфного кремния 12% – несколько ниже КПД кристаллических кремниевых ФЭ (~15%).*

Способы повышения эффективности ФЭ

❖ арсенид галлия $GaAs$.

- почти идеальная для однопереходных солнечных элементов ширина запрещенной зоны 1,43 эВ;
- повышенная способность к поглощению солнечного излучения: требуется слой толщиной всего в несколько микрон;
- высокая радиационная стойкость, что совместно с высокой эффективностью делает этот материал чрезвычайно привлекательным для использования в космических аппаратах;

Способы повышения эффективности ФЭ

- *относительная нечувствительность к нагреву батарей на основе GaAs;*
- *характеристики сплавов GaAs с алюминием, мышьяком, фосфором или индием дополняют характеристики GaAs, что расширяет возможности при проектировании СЭ*

Основной недостаток арсенида галлия – высокая стоимость

Способы повышения эффективности ФЭ

- ❖ теллурид кадмия (CdTe) .
 - у него почти идеальная ширина запрещенной зоны (1,44 эВ) и очень высокая способность к поглощению излучения
 - пленки CdTe достаточно дешевы в изготовлении

Способы повышения эффективности ФЭ

Каскадные солнечные элементы:

Большинство современных СЭ обладают одним $p-n$ -переходом. В таком элементе свободные носители заряда создаются только теми фотонами, энергия которых больше или равна ширине запрещенной зоны. Другими словами, фотоэлектрический отклик однопереходного элемента ограничен частью солнечного спектра, энергия которого выше ширины запрещенной зоны, а фотоны меньшей энергии не используются. Преодолеть это ограничение позволяют многослойные структуры из двух и более СЭ с различной шириной запрещенной зоны. Такие элементы называются многопереходными, каскадными или тандемными. Поскольку они работают со значительно большей частью солнечного спектра, эффективность фотоэлектрического преобразования у них выше.

6. Нагрев воды солнечным излучением

Наиболее очевидная область использования солнечной энергии - подогрев воздуха и воды.

Основным элементом солнечной нагревательной системы является **приемник**, в котором происходит поглощение солнечного излучения и передача энергии жидкости.

6A51

1	Аслямова Р.Р.	75
2	Демин И.А.	35
3	Дутов Л.М.	60
4	Дьяченко О.С.	40
5	Захаров Е.В.	35
6	Кенина И.В.	30
7	Килин А.А.	0
8	Колесников П.В.	1
9	Манчын А.А.	85
10	Перцева М.И.	45
11	Пушкин П.С.	100
12	Сыродой С.В.	85
13	Цик А.Г.	0
14	Бардокин Д.А.	20

6A52

1	Арефьев А.В.	60
2	Беляев Д.О.	50
3	Григорьев М.В.	45
4	Дель М.В.	100
5	Есипенко П.А.	50
6	Климова Е.А.	25
7	Кобелева А.Г.	20
8	Кульчицкая Г.В.	65
9	Мартынов С.А.	50
10	Матусевич А.А.	75
11	Параскун А.В.	55
12	Пиховкина Н.В.	70
13	Рахматулин С.В.	0
14	Садовников Е.Р.	20
15	Фролов Д.М.	0
16	Чащина Ю.А.	65
17	Чистяков Д.А.	50
18	Шакирова Д.Р.	40
19	Шелпаков И.А.	60
20	Шихова Т.М.	40

6A53

1	Альфонов В.В.	50
2	Бараулин П.И.	0
3	Беспалова Е.А.	55
4	Глухова А.Ю.	90
5	Гончаров М.Н.	10
6	Дьяченко М.С.	0
7	Лоншаков А.А.	25
8	Марусина О.А.	30
9	Пескова И.П.	50
10	Попов Д.С.	0
11	Садыков А.Н.	65
12	Сладков С.О.	60
13	Смолянинова М.	45
14	Сошина Е.А.	1
15	Сошина О.А.	20
16	Старченков П.А.	0
17	Суходолов А.В.	50
18	Хамматов Р.В.	50
19	Чурикова А.В.	0
20	Шилов Н.А.	90

6A54

1	Гарин И.В.	40
2	Змеев А.В.	30
3	Кошкаров А.В.	20
4	Крель А.А.	0
5	Переходько Д.В.	55
6	Пищальникова К.С.	40
7	Показаньев Н.В.	40
8	Протасевич Е.В.	0
9	Смышляев О.Н.	15
10	Степанов И.А.	75
11	Сунин А.А.	5
13	Шаклеин Н.В.	1

Классификация приемников

Плоские приемники собирают как прямое, так и рассеянное излучение и поэтому могут работать также и в облачную погоду. В связи с этим, а также с учетом относительно невысокой стоимости плоские приемники являются предпочтительными при нагревании жидкостей до температур ниже 100°C.

Простые приемники содержат весь объем жидкости, которую необходимо нагреть.

➤ **Открытые нагреватели:**

Открытый резервуар на поверхности земли

Открытый резервуар, изолированный от земли

Черный резервуар

Черный резервуар с изолированным дном

➤ **Закрытые черные нагреватели**

Классификация приемников

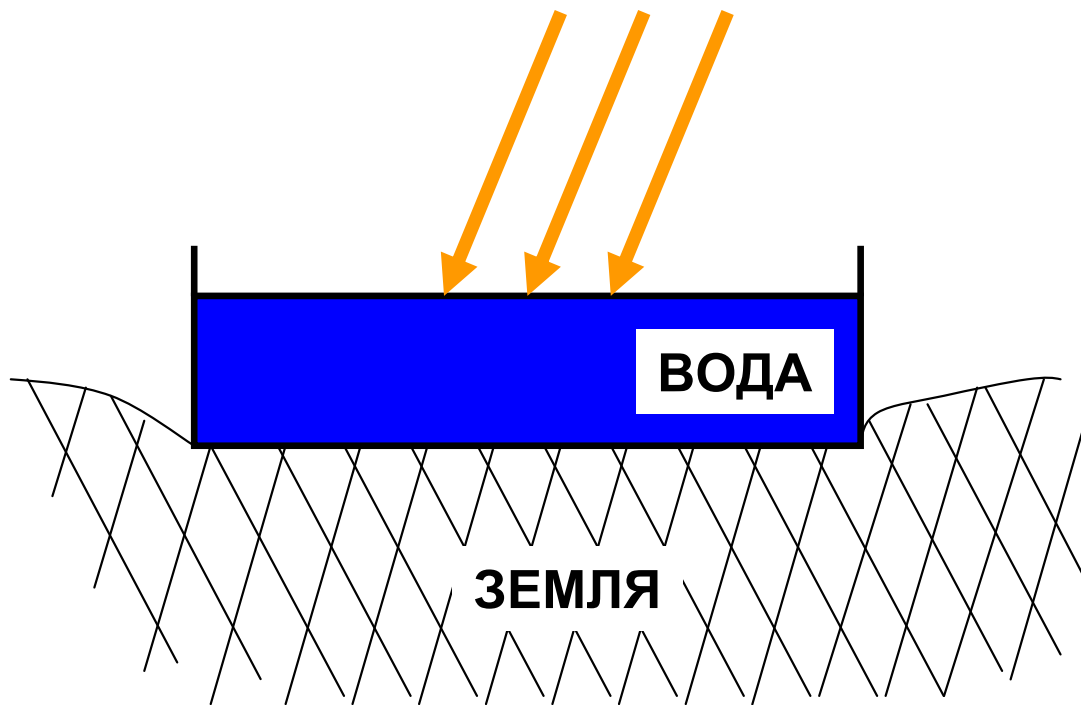
Приемники более сложной конструкции

нагревают за определенное время только небольшое количество жидкости, которая затем, как правило, накапливается в отдельном резервуаре, что позволяет снижать теплопотери системы в целом.

- **Металлические проточные нагреватели: трубчатые и пластинчатые**
- **Металлические проточные нагреватели с двойным стеклянным покрытием**
- **Нагреватели с селективным покрытием**
- **Вакуумированный приемник**

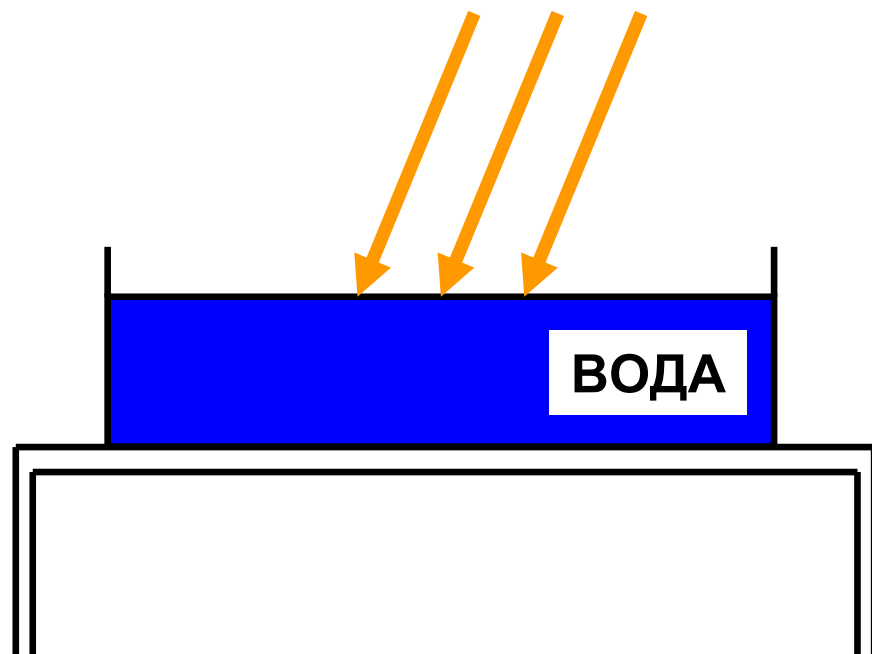
Фокусирующие приемники собирают только прямое излучение. Позволяют нагреть жидкость до 700°C

Открытый резервуар на поверхности земли



Емкость, наполненная водой, нагревается под действием солнечного излучения, однако повышение температуры воды ограничено вследствие того, что тепло легко передается земле

Открытый резервуар, изолированный от земли

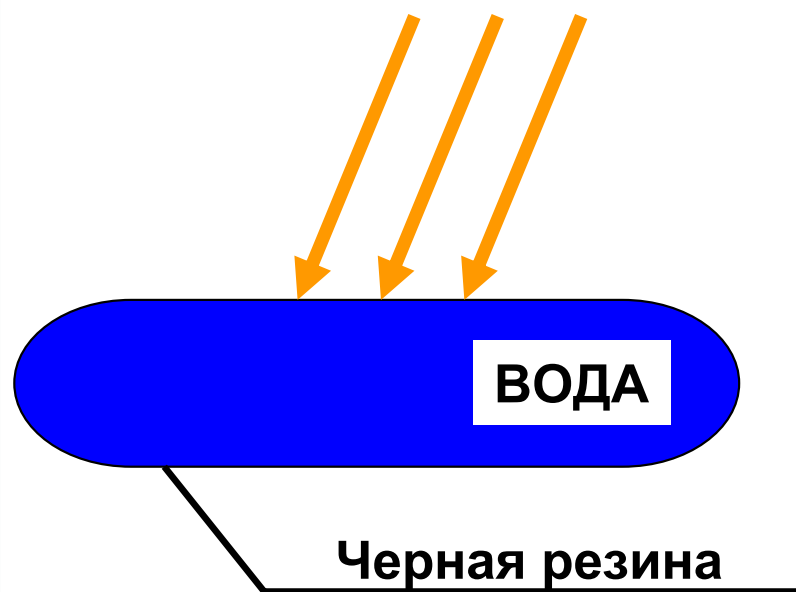


Тепловые потери меньше по сравнению с предыдущим случаем.

Повышение температуры ограничено вследствие низкого коэффициента поглощения воды.

Значительная часть поглощенного тепла идет на испарение воды, что также препятствует повышению температуры

Черный резервуар



В этом случае жидкость заключена в емкости с черной матовой поверхностью, обычно располагаемой на крыше здания.

Потери тепла на испарение в этой конструкции сведены к нулю.

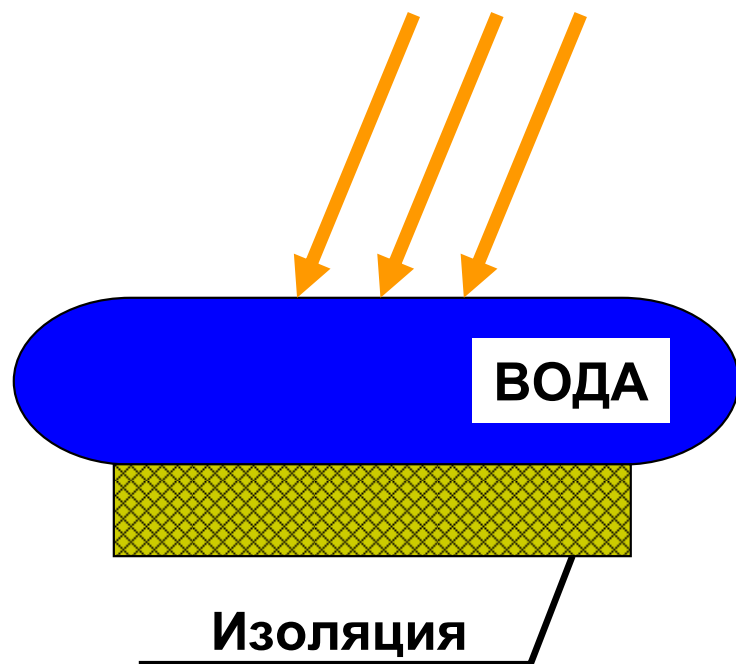
Черная поверхность емкости поглощает излучение намного лучше, чем прозрачная вода.

Часть поглощенного тепла передается жидкости.

Черный резервуар

Нагреватели этого типа достаточно недороги, просты в изготовлении и позволяют нагревать воду до температуры около 45° С. Широкое применение получили такие нагреватели в Японии, где с их помощью подогревают воду для вечерних ванн. Параметры нагревателя ограничены увеличением тепловых потерь в ветреную погоду. Другая проблема заключается в том, что многие дешевые черные водонепроницаемые материалы (например, старые автомобильные покрышки, полиэтиленовые емкости) быстро разрушаются на солнце и через несколько месяцев начинают пропускать воду. Однако в некоторых случаях может оказаться более выгодным периодически, заменять старые емкости новыми, чем использовать более сложные конструкции. Следует отметить, что материал, из которого изготовлена емкость нагревателя, не обязательно должен быть черного цвета, ему достаточно иметь черное покрытие

Черный резервуар с изолированным дном

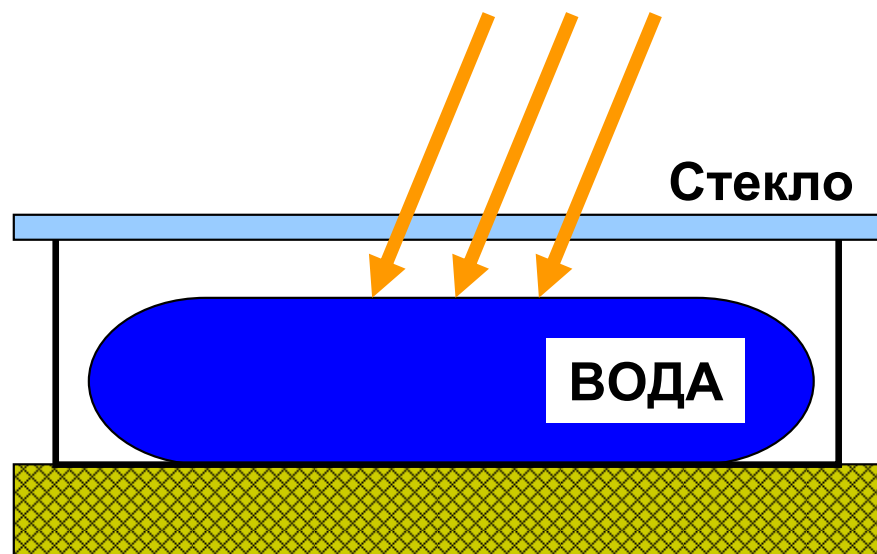


Потери тепла системой, изображенной на предыдущем рисунке можно уменьшить почти в 2 раза, если изолировать дно приемника.

В качестве изолятора можно использовать практически любой пористый материал, размер пор которого не превышает 1 мм, например стеклоткань, пенополистирол, древесную стружку и т. д.

Теплопроводность этих материалов сравнима с теплопроводностью воздуха.

Закрытые черные нагреватели



«-» предыдущих конструкций -
охлаждение ветром.

Защитить емкость нагревателя
от ветра можно, помещая его в
контейнер с прозрачной для
солнечного излучения крышкой.

Наличие стеклянной крышки примерно в 4 раза повышает сопротивление теплотерям между поверхностью нагретой воды и окружающим воздухом

Простой закрытый нагреватель позволяет повышать температуру воды более чем на 50°C

Закрытые черные нагреватели

Наиболее распространенные материалы для изготовления крышек

- стекло
- полиэтилен
- пластики

стекло

«+» :

- ❖ Коэффициент пропускания стекла в инфракрасной области спектра меньше, чем полиэтилена, следовательно, радиационные потери приемника со стеклянной крышкой ниже, чем с полиэтиленовой.
- ❖ Не подвержена разрушению от ультрафиолета. Долговечнее полиэтилена.

«-» :

- ❖ Хрупкость.
- ❖ Дороговизна.

Закрытые черные нагреватели

полиэтилен

«+» :

- ❖ Дешевизна.
- ❖ Не хрупкий – любая форма.

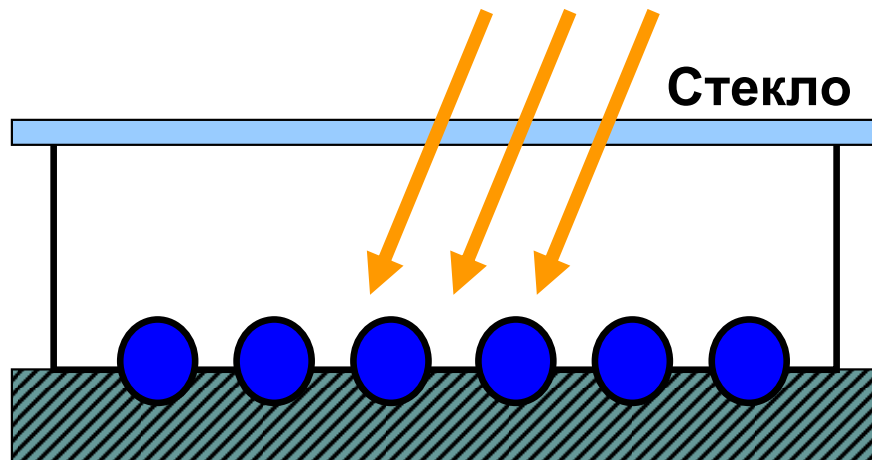
«-» :

- ❖ Недолговечный.
- ❖ Большие тепловые потери.

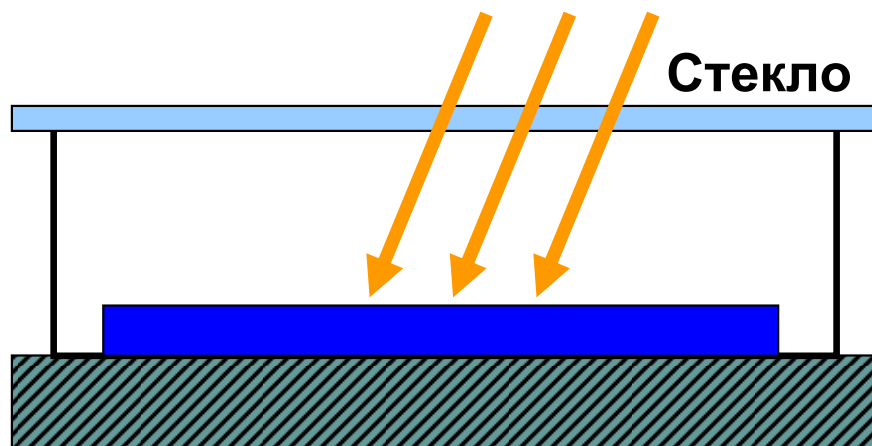
Для приемников солнечного излучения используются также специальные покрытия из **пластика**, имеющие подобные стеклу свойства, но менее хрупкие.

Лучшим материалом для крышек является стекло.

Металлические проточные нагреватели



1. Трубчатые проточные нагреватели



2. Пластинчатые проточные нагреватели

Закрытые черные нагреватели

В приемнике вода протекает по параллельным трубкам, закрепленным на зачерненной металлической пластине.

В такой системе необходимо обеспечивать **низкое термическое сопротивление** между пластиной и трубками и вдоль пластины между трубками.

Геометрические характеристики:

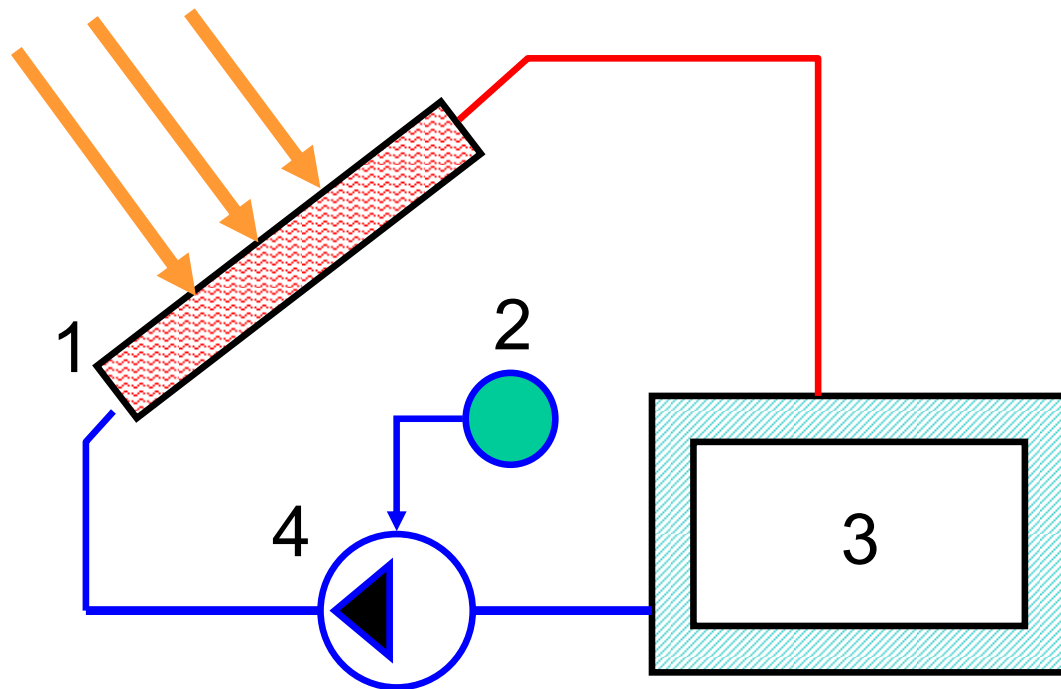
- ❖ диаметр трубок составляет около 2 см
- ❖ расстояние между ними 20 см
- ❖ толщина пластины 0,3 см

Пластину с трубками для защиты от ветра помещают в контейнер со стеклянной крышкой.

Заполненная водой пластина в принципе более эффективна, чем трубчатая, так как имеет большую поверхность теплового контакта.

Закрытые черные нагреватели

Нагретую жидкость можно использовать сразу или можно ее запасать и (или) перекачивать, как показано ниже



- 1 – приемник
- 2 – регулятор
- 3 – изолированный
накопительный
резервуар
- 4 – насос

Закрытые черные нагреватели

Способы организации циркуляции:

1. Принудительная циркуляция.

Приемники позволяют нагревать небольшие объемы жидкости, которая с помощью насоса перекачивается в изолированную накопительную емкость.

Обычно скорость прокачки выбирают такой, чтобы температура воды повышалась примерно на 4°C при каждом проходе через нагреватель.

Так как повышение температуры зависит от облученности приемной площадки и температуры воды на входе приемника, повышение на 4°C будет достигаться только для одного типа условий.

Закрытые черные нагреватели

«+»

- ❖ можно использовать существующие водонагревательные системы, вводя в них приемник солнечного излучения и насос
- ❖ нет необходимости располагать накопительную емкость выше приемника

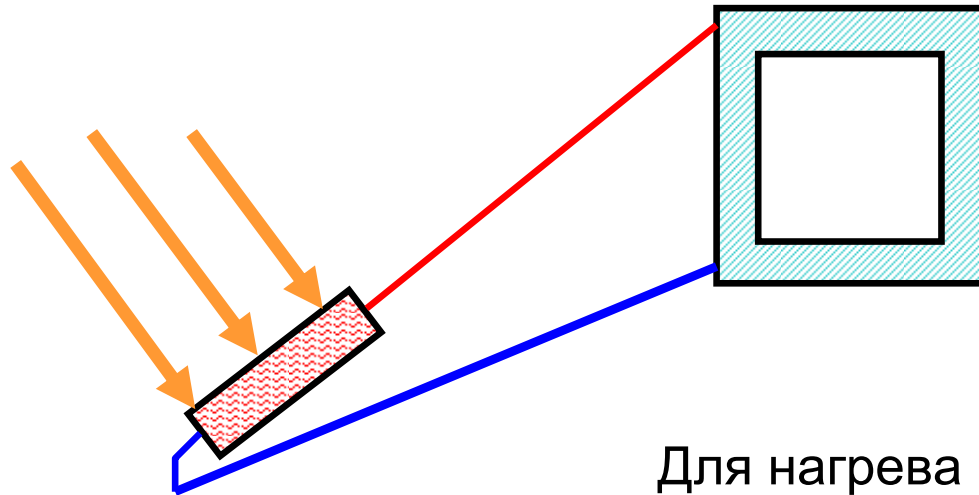
«-»

- ❖ зависимость от электроэнергии, потребляемой насосом, которая может быть дорогостоящей или может подаваться нерегулярно

Закрытые черные нагреватели

Тепловая (естественная) циркуляция.

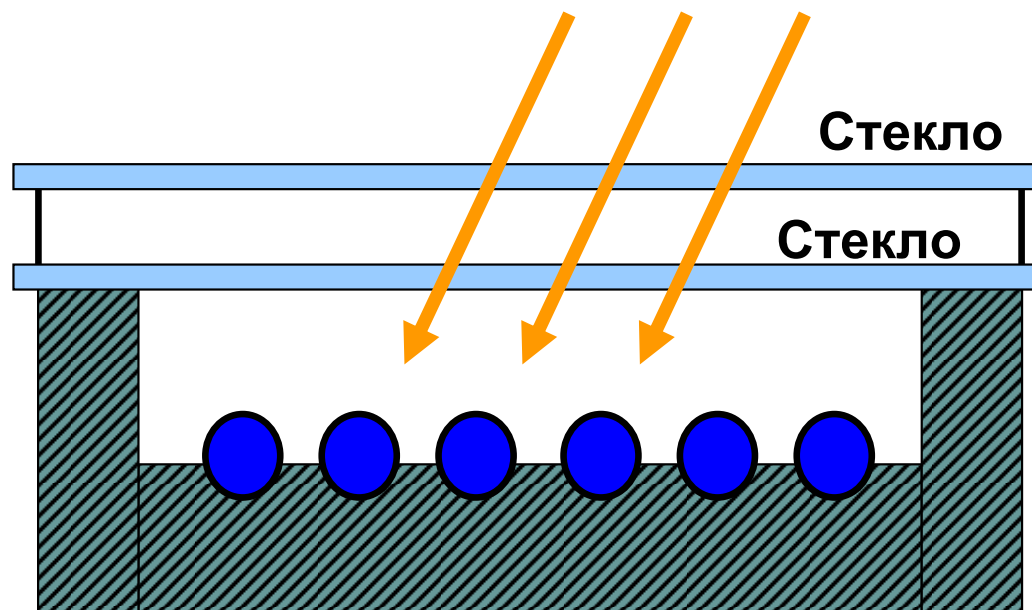
Циркуляция жидкости в нагревательной системе осуществляется вследствие различия плотностей холодной (плотной) и горячей (менее плотной) воды.



Для нагрева 100 литров воды от 40 до 44 градусов необходимое время на полную циркуляцию - 2 часа

Металлические проточные нагреватели с двойным стеклянным покрытием

Характеристики плоского пластинчатого приемника и его эффективность при высоких температурах могут быть улучшены в результате уменьшения конвективного переноса между приемной пластиной и стеклянной крышкой, если над первой стеклянной крышкой поместить еще одну дополнительную стеклянную крышку



Нагреватели с селективным покрытием

Селективная поверхность - сильно поглощающая, но слабо излучающая в определенной области спектра

Идеальные селективные поверхности.

Максимум энергии солнечного излучения, поглощаемой приемником, соответствует длине волны, равной приблизительно 0,5 мкм; максимум энергии, излучаемой приемником - длине волны 10 мкм.

Идеальная поверхность приемника должна по возможности поглощать как можно больше энергии и сводить к минимуму потери, т.е. поверхность должна иметь большой монохроматический коэффициент поглощения α_λ при $\lambda \sim 0,5$ мкм и низкий монохроматический коэффициент излучения ε_λ при $\lambda \sim 10$ мкм.

Для селективной поверхности справедливо $\alpha_\lambda \gg \varepsilon_\lambda$.

Нагреватели с селективным покрытием

Структура металл-полупроводник.

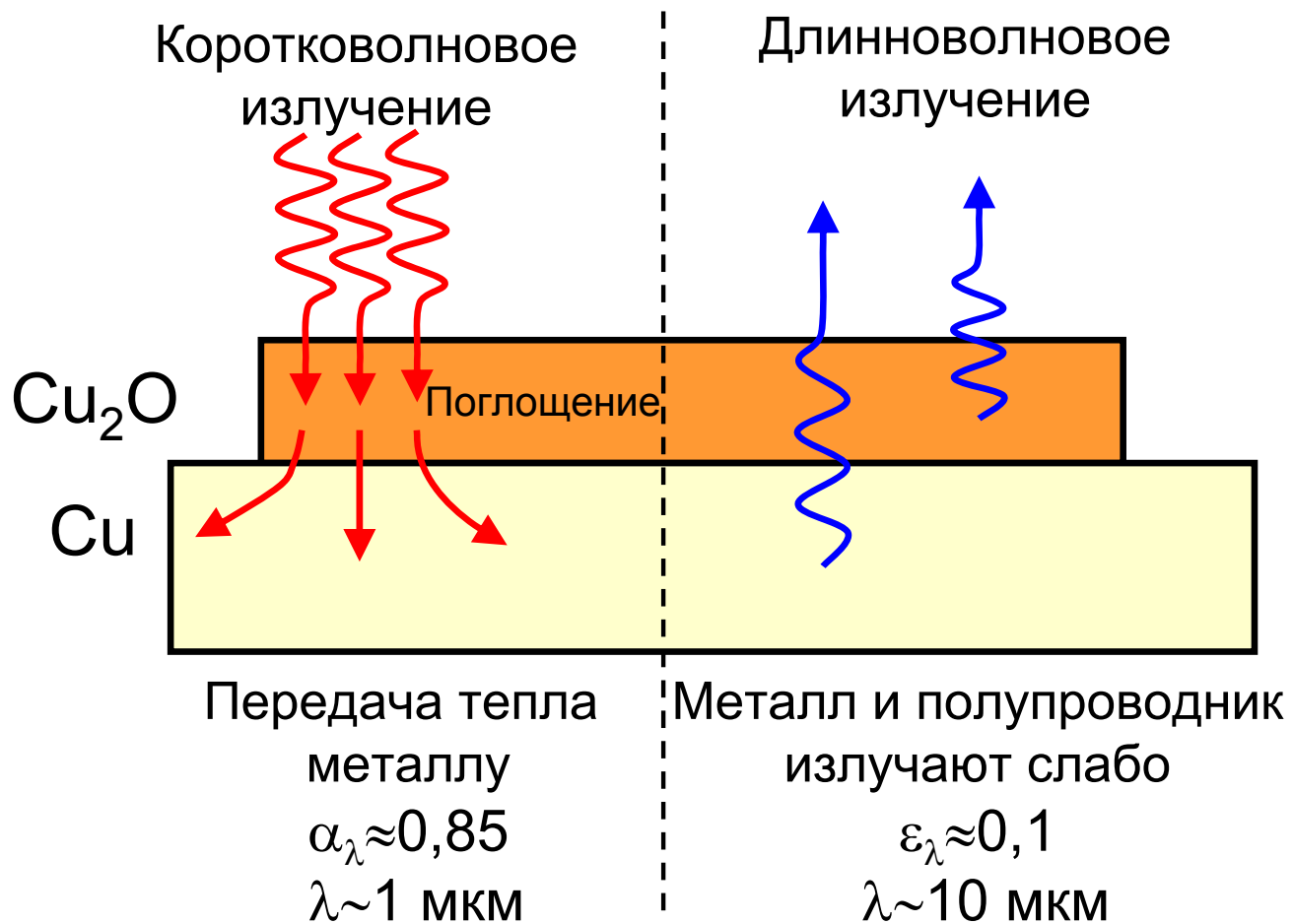
Некоторые полупроводники характеризуются близким к требуемому для идеальной селективной поверхности отношением $\alpha\lambda / \varepsilon\lambda$.

Однако низкая механическая прочность, низкая теплопроводность и высокая стоимость полупроводников делают их мало пригодными для изготовления всего приемника солнечного излучения.

Металлы прочны, хорошо проводят тепло и относительно дешевы, но, к сожалению, хорошо отражают (т. е. слабо поглощают) излучение в видимой и инфракрасной областях спектра.

Если слой металла покрыть тонким слоем полупроводника, их характеристики можно скомбинировать.

Нагреватели с селективным покрытием



Нагреватели с селективным покрытием

Толщина слоя полупроводника определяется, с одной стороны, необходимостью обеспечения эффективной теплопередачи (теплопроводность полупроводника мала), с другой стороны - требованием, поглощения максимальной доли потока излучения.

Слой полупроводника...

1 мкм поглощает 63% приходящего излучения

3 мкм поглощает 95% приходящего излучения

Нагреватели с селективным покрытием

«-»

- Сложность и дороговизна покрытий по сравнению с простой окраской поверхности приемника в черный цвет
- Хрупкость
- «Старение» покрытия
- Плохо воспроизводимые параметры
- Интерференция волн в тонких пленках
- Многократные отражения на шероховатостях поверхности металла.
- Нецелесообразно использовать для приемников, работающих при температурах ниже 60° С.

«+»

- Повышенное поглощение, пониженное отражение, снижение радиационных потерь в приемнике
- При температурах, составляющих сотни градусов Цельсия (например, в солнечных башнях) требуются селективные поверхности, которые способны в течение нескольких лет сохранять достаточно высоким отношение $\alpha_\lambda / \varepsilon_\lambda$, например, равным 30.

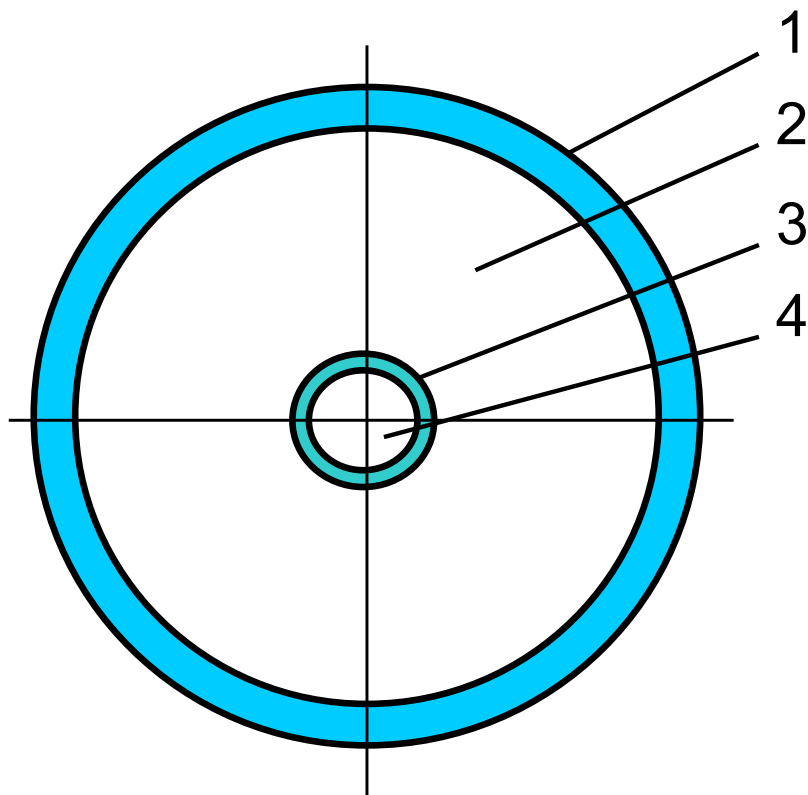
Вакуумированные приемники

Для достижения еще более высоких температур (например, температур около 100°C или выше, в которых особенно нуждается промышленность) необходимо уменьшить также и конвективные потери.

Одним из способов является размещение дополнительных стеклянных покрытий над плоским приемником.

Лучшим, но технически более сложным способом является вакуумирование пространства между приемной поверхностью и ее стеклянной крышкой.

Вакуумированные приемники



- 1 - покрытие из стекла
- 2 - вакуум
- 3 - селективное покрытие на поверхности внутренней стеклянной стенки
- 4 - жидкость

Вакуумированные приемники

Основным элементом вакуумированного приемника является двойная трубка. Внешняя трубка изготовлена из стекла, так как оно прозрачно для солнечного излучения, но непрозрачно для теплового.

Внутренняя трубка также обычно изготавливается из стекла, широко используемого в вакуумной технике. Степень обезгаживания отожженного стекла (пирекса) такова, что давление может поддерживаться ниже 0,1 Па в течение 300 лет, что в 10^{12} раз дольше, чем при использовании медной трубки.

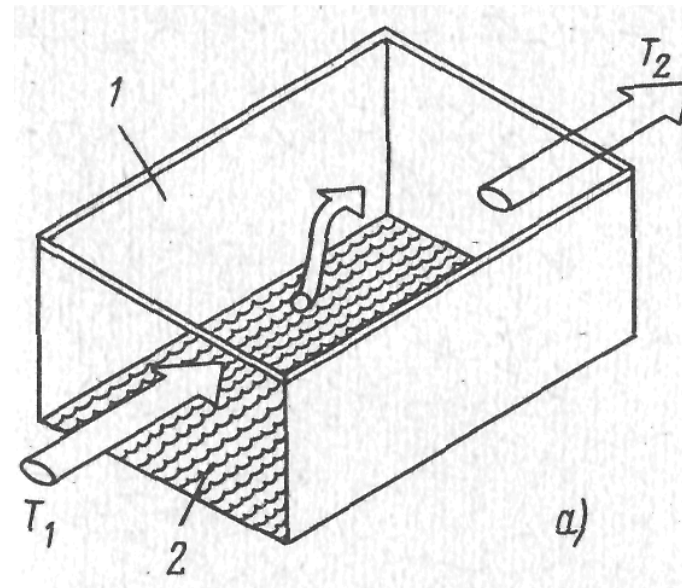
Внутренняя трубка имеет кольцевое сечение; это позволяет довольно хрупкому стеклу противостоять действию напряжений, возникающих в нем из-за перепада давлений между жидкостью внутри трубки и вакуумом снаружи. Обычно внешний диаметр трубок $D = 2$ см, внутренний $d = 1$ см.

Соответствующим образом соединяя такие трубки, можно сконструировать приемник, который будет принимать как направленное, так и диффузное солнечное излучение.

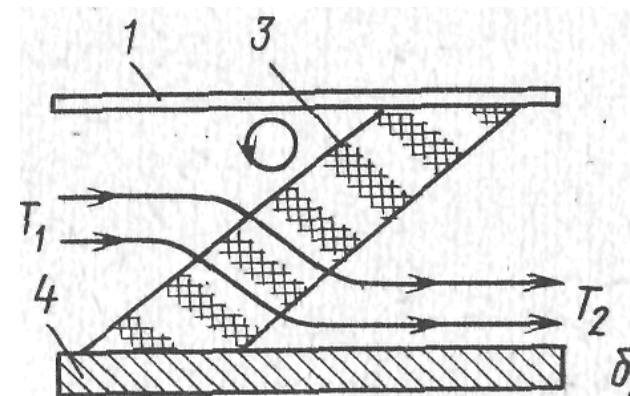
Другие применения солнечной энергии

1. Подогреватели воздуха

а) нагреватели изготавливают с шероховатыми приемными поверхностями или с поверхностями, на которых нарезаны канавки для увеличения площади и усиления турбулентности, необходимой для теплопередачи в воздухе.



б) альтернативный вариант состоит в увеличении контактной поверхности при использовании пористых или сетчатых приемников.

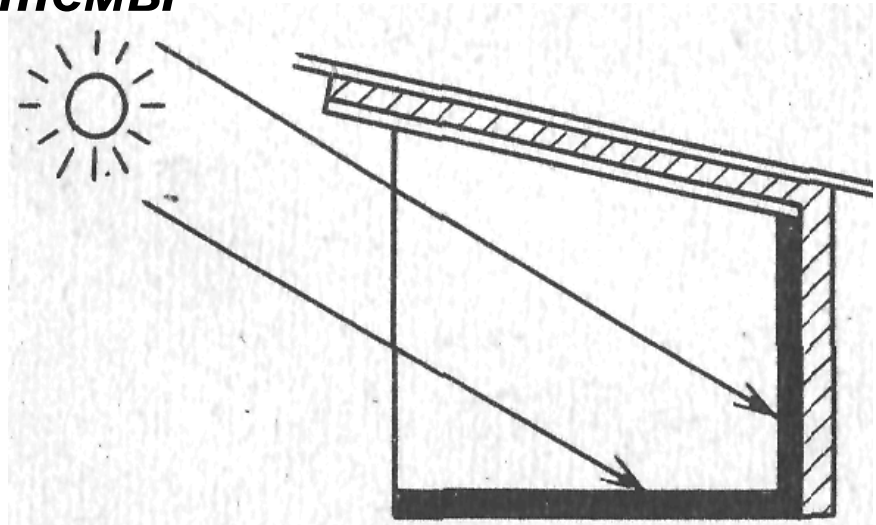


Другие применения солнечной энергии

2. Солнечные отопительные системы

2.1. Пассивные солнечные системы.

Идея пассивной отопительной солнечной системы состоит в выборе приемлемой площадки с обращенной к Солнцу поверхностью так, чтобы получить оптимальное количество солнечного тепла для данной строительной конструкции. Первый шаг состоит в обеспечении качественной изоляции здания, включающей предупреждение сквозняков и устройство контролируемой вентиляции с регенерацией тепла.



Стрелками указано, где использованы массивные, окрашенные в черный цвет поверхности с усиленной теплоизоляцией для поглощения и накопления солнечного тепла

Недостатком простых систем прямого нагрева является то, что в таком доме может быть слишком жарко в течение дня, особенно летом. Это неудобство может быть уменьшено, если делать достаточно большим козырек крыши.

2.2. Активные солнечные системы

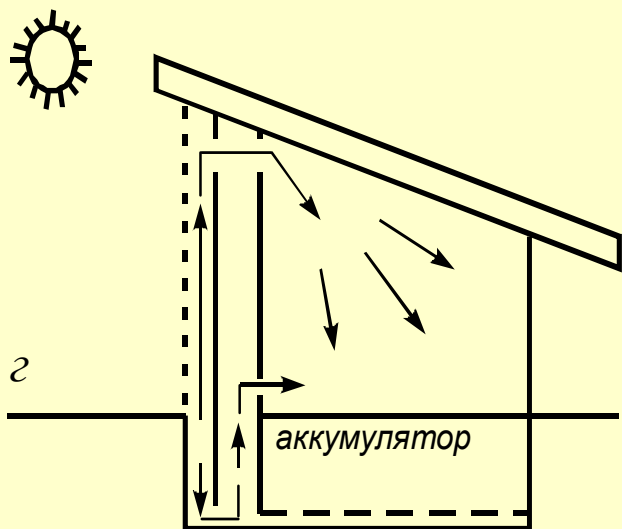
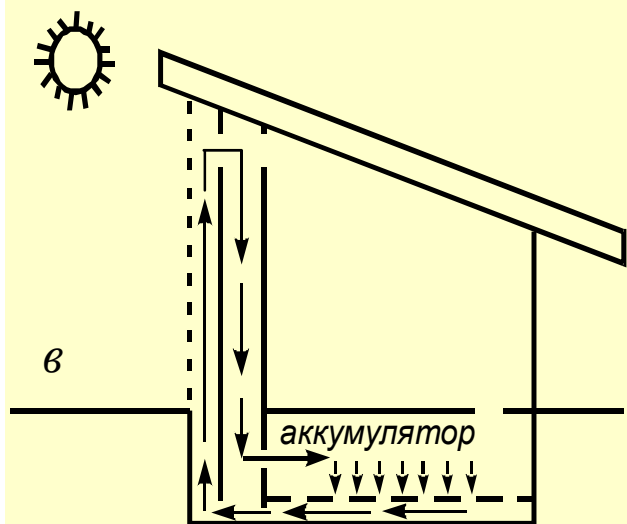
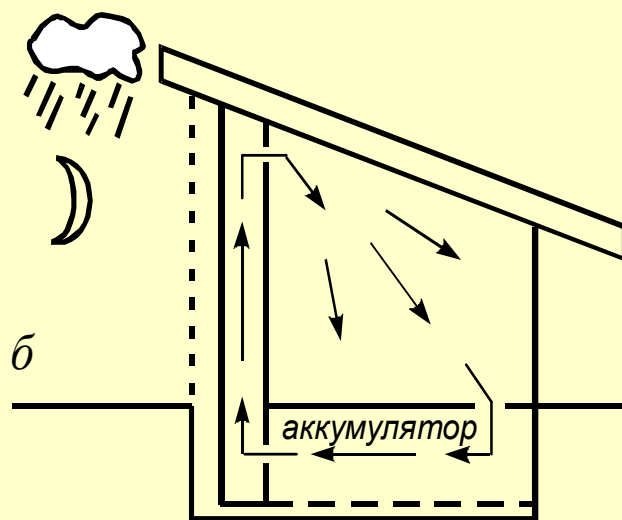
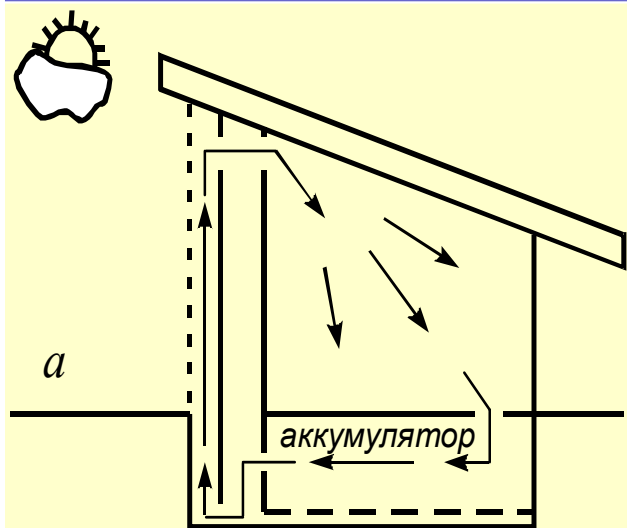
В активных солнечных системах используются внешние нагреватели воздуха или воды (были рассмотрены ранее). Такие системы легче контролировать, чем чисто пассивные, кроме того, их можно устанавливать на существующие здания.

На практике так называемые **пассивные** дома обогреваются намного лучше, если в них имеются вентиляторы, благодаря которым воздух циркулирует между комнатами.

Поэтому термин **«пассивные»** используется в тех случаях, когда солнечная энергия аккумулируется непосредственно в комнате, на стенах или вблизи окон, даже если в здании используется вентиляция.

Термин **«активные»** означает, что тепло накапливается в нагревателях, расположенных вне отапливаемого помещения.

Пример использования солнечной энергии для отопления жилого дома



- отопление и аккумуляция тепловой энергии (а);

- отопление от аккумулятора (б);

- аккумуляция тепловой энергии (в);

- отопление от коллектора (г).

Пример использования солнечной энергии для отопления жилого дома

Плоский коллектор, помимо прямой солнечной радиации, воспринимает рассеянную и отраженную радиацию: в пасмурную погоду, при легкой облачности, словом, в тех условиях, какие мы реально имеем в средней полосе. Плоский коллектор не создает высокопотенциальной теплоты, как концентрирующий коллектор, но для конвекционного отопления этого и не требуется, здесь достаточно иметь низкопотенциальную теплоту. Солнечный коллектор располагается на фасаде, ориентированном на юг (допустимо отклонение до 30° на восток или на запад).

Неравномерность солнечной радиации в течение дня, а также желание обогреть дом ночью и в пасмурный день диктуют необходимость устройства теплового аккумулятора. Днем он накапливает тепловую энергию, а ночью отдает. Для работы с воздушным коллектором наиболее рациональным считается гравийно-галечный аккумулятор. Он дешев, прост в строительстве. Гравийную засыпку можно разместить в теплоизолированной заглубленной цокольной части дома. Теплый воздух нагнетается в аккумулятор с помощью вентилятора.

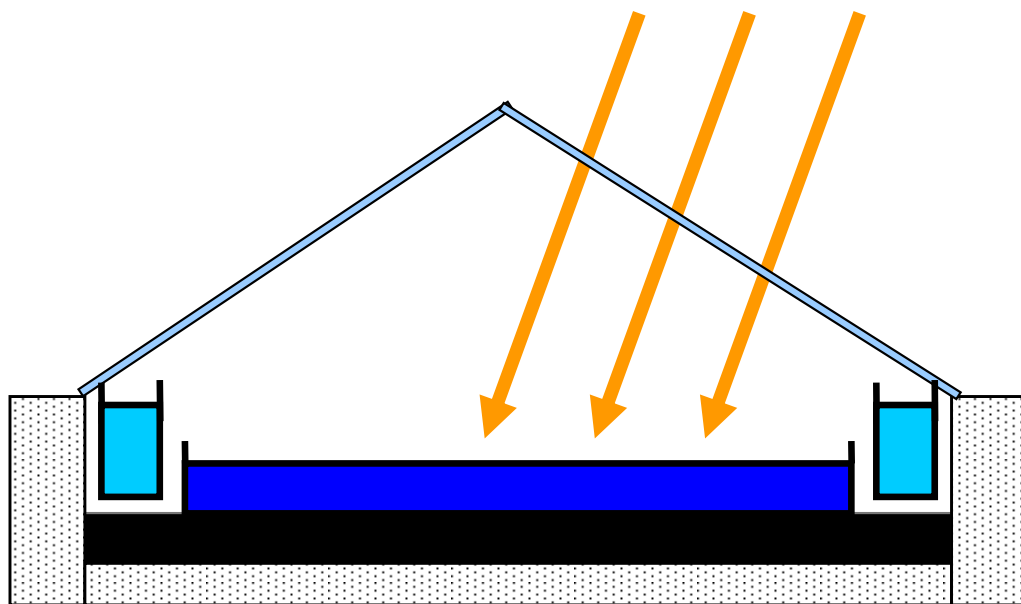
Для дома площадью 60 м^2 объем аккумулятора составляет от 3 до 6 м^3 . Разброс определяется качеством исполнения элементов гелиосистемы, теплоизоляцией, а также режимом солнечной радиации в конкретно местности. Система солнечного теплоснабжения дома работает в четырех режимах

Мировой лидер по производству и применению - Китай. В 2007 году Китае солнечными водонагревателями пользовались около 40 миллионов семей общей численностью в 150 миллионов человек. К 2020 году 300 миллионов м² помещений в Китае будет оборудовано солнечными водонагревателями.

Также очень широко применяются водонагреватели в Израиле, где **95%** квартир оснащены данным оборудованием. Это обусловлено законом, принятым в 1976 году и обязывающим строить жильё со встроенными солнечными водонагревателями. Исключение составляют высотные дома, где площадь крыши недостаточна для размещения солнечных коллекторов. Такое широкое применение солнечных водонагревателей экономит около 4% всей электроэнергии, производимой в стране.

3. Опреснение воды

3.1. Самым простым устройством является **солнечный дистиллятор-бассейн**.

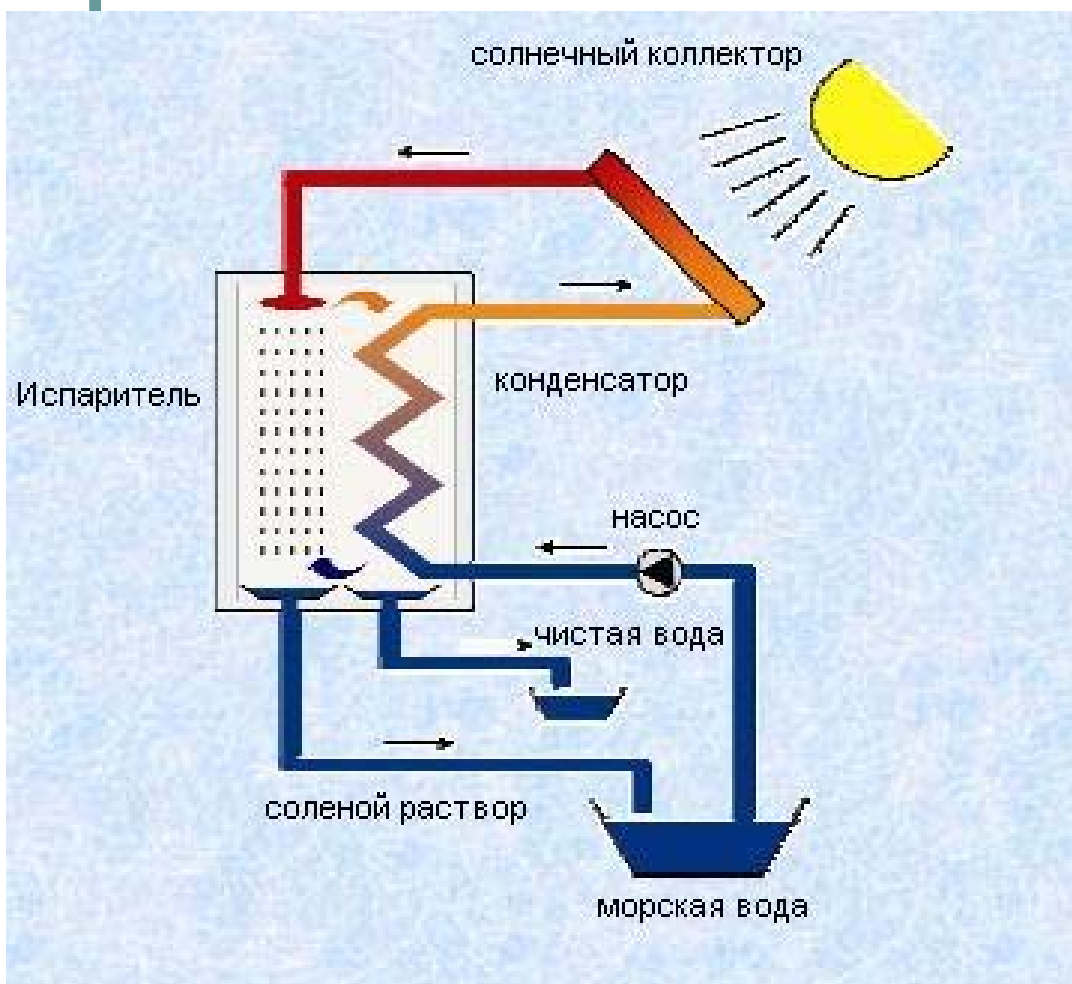


Он состоит из неглубокого бассейна с черными стенками и дном, заполненного водой и накрытого прозрачной паронепроницаемой крышкой, которая полностью закрывает пространство над бассейном. Крышка наклонена по направлению к потоку излучения.

Во время работы дистиллятора поток солнечной энергии, прошедший через крышку, нагревает воду, часть которой при этом испаряется. Водяной пар вследствие тепловой конвекции поднимается вверх с нагретой поверхности и конденсируется на холодной крышке. Затем капли сконденсированной влаги скатываются по крышке в приемные желоба.

3.2. Солнечный Многоэтапный Цикл Конденсации и Испарения

Солнечный Многоэтапный Цикл Конденсации и Испарения (SMCEC) - это технология солнечного опреснения воды, используя естественную конвекцию в вертикальном дымоходе.



Она использует эффект конвекции для прохождения выходящего нагретого водяного пара через решетку теплообменника-конденсатора (через который поступает входящая вода), и таким образом входящая вода предварительно нагревается. Это повышает общую эффективность работы системы.

Принципиальная схема солнечного опреснителя фирмы Tinox GmbH

Проблемы солнечного опреснения

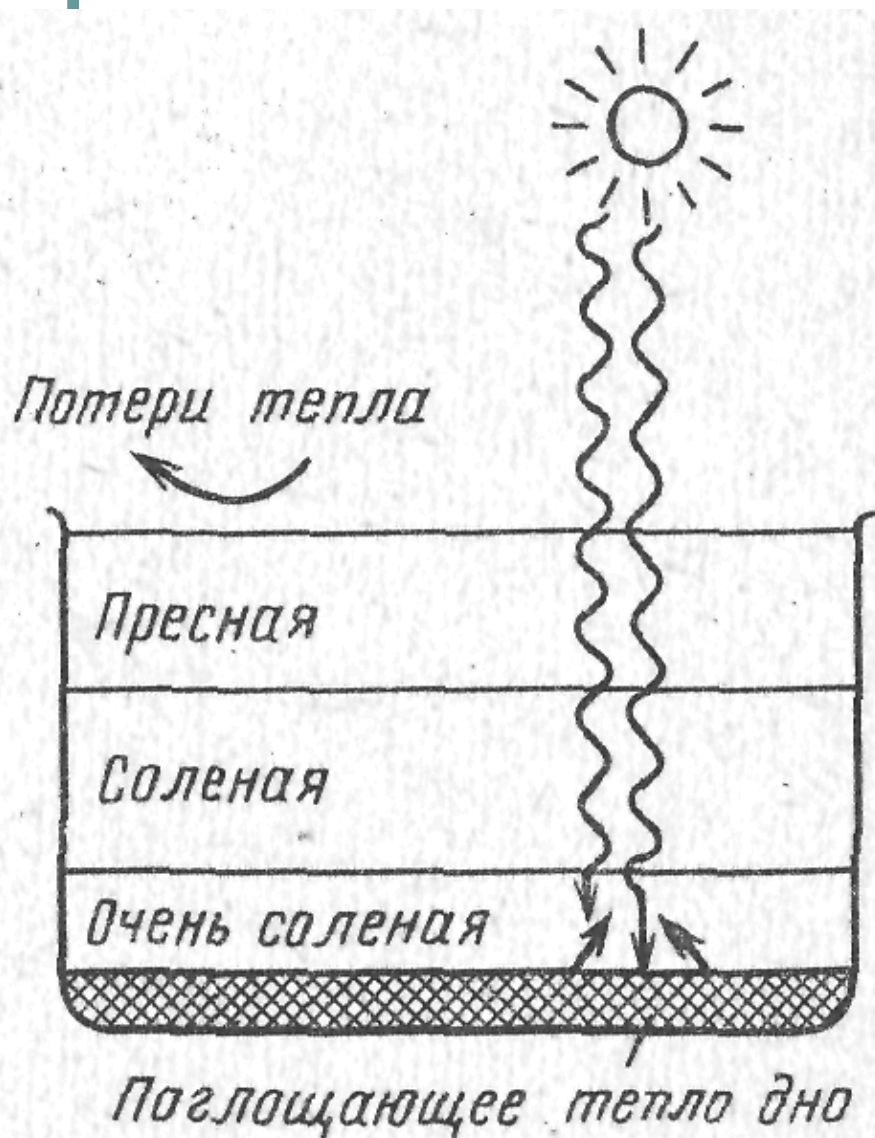
Во-первых, эффективность системы определяется разностью температур между зонами испарения и конденсации. Первая должна быть как можно горячее, вторая - как можно холоднее. При небольших затратах этого добиться трудно.

Во-вторых, тепло, выделяемое водяным паром при конденсации, является, по сути, энергией привнесенной в систему солнцем и может быть использовано с пользой. Но в большинстве существующих солнечных дистилляторов она удаляется, как ненужная.

Необходимо достичь:

1. Максимальной разницы температур между испарителем и конденсатором;
2. Максимального повторного использования энергии конденсации;
3. Минимальных затрат.

4. Солнечные пруды



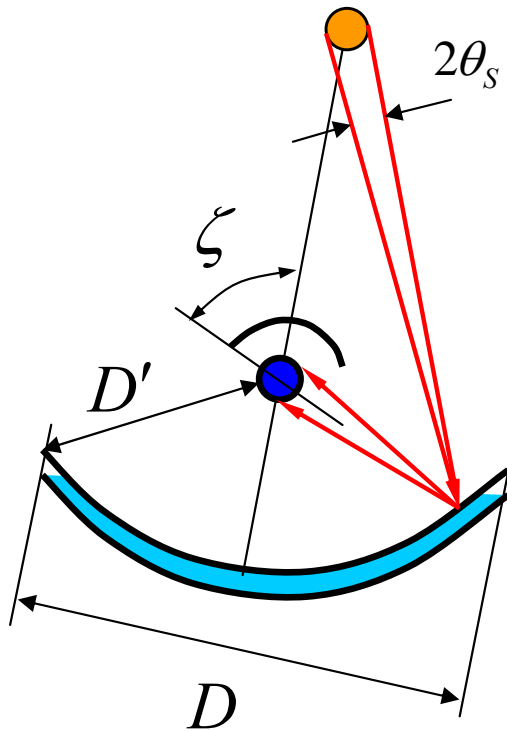
В солнечный пруд заливается несколько слоев воды различной степени солености, причем наиболее соленый слой толщиной около 0,5 м располагается на дне. Солнечное излучение поглощается дном водоема, и придонный слой воды нагревается. В обычных однородных водоемах нагретая вода, более легкая, чем окружающая ее, поднимается вверх и в процессе свободной конвекции передает тепло воздуху над водоемом. В неоднородном водоеме придонный слой воды обычно берется настолько более соленым, чем слой над ним, что плотность его хотя и уменьшается при нагревании, но все-таки остается выше плотности более высокого слоя. Поэтому конвекция подавляется и придонный слой нагревается все сильнее.

5. Концентраторы солнечной энергии

Концентрирующий коллектор включает в себя приемник, поглощающий излучение и преобразующий его в какой-либо другой вид энергии, и концентратор, который представляет собой оптическую систему, направляющую поток излучения на приемник.

Обычно концентратор требуется непрерывно поворачивать, чтобы он во время работы был обращен к Солнцу.

5.1. Параболический вогнутый концентратор

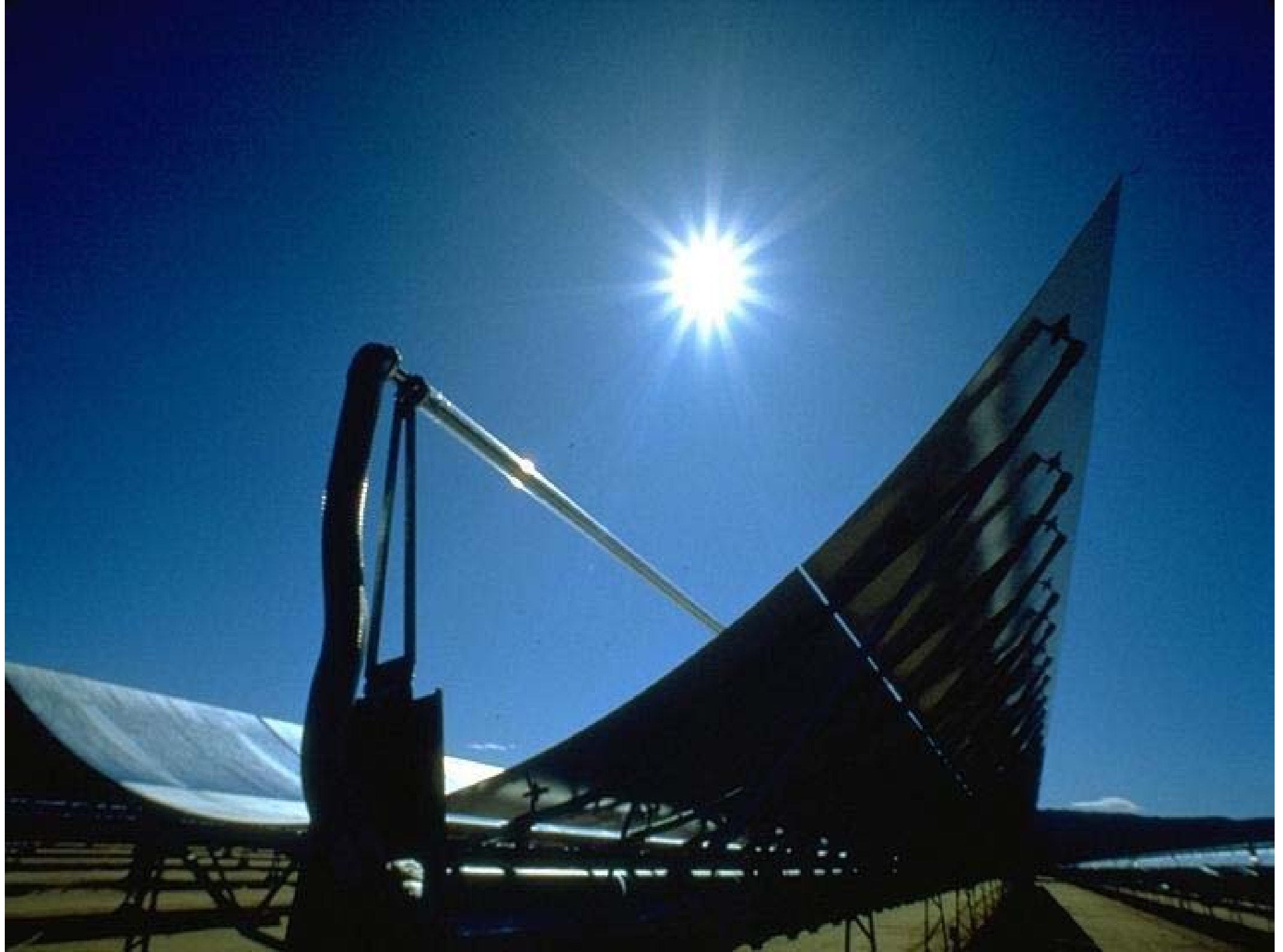


Концентратор представляет собой параболическое зеркало длиной l с приемником, расположенным вдоль его оси.

Это дает концентрацию энергии только в одном направлении, поэтому коэффициент концентрации меньше, чем для параболоида, однако одномерное расположение осуществить проще.

Кроме того, обычно необходимо, чтобы коллектор следил за Солнцем только в одном направлении.

Ось располагают с запада на восток, и зеркало автоматически поворачивается вокруг оси, отслеживая наклон в сторону Солнца.



Энергия, поглощаемая приемной трубкой, равна

$$Q = R_{отр} \cdot A_{погл} \cdot l \cdot D \cdot E$$

$R_{отр}$ - коэффициент отражения концентратора;

$A_{погл}$ - коэффициент поглощения приемника;

$l \cdot D$ - площадь

E - средняя облученность зеркала

Экран уменьшает тепловые потери поглотителя, а также закрывает его от прямого излучения

Приемник теряет энергию только в направлениях, не защищенных экраном. Следовательно, он излучает:

$$Q_{\text{изл}} = \varepsilon \left(\sigma T_{\text{тр}}^4 \right) (2\pi r l) \left(1 - \frac{\zeta}{\pi} \right)$$

$T_{\text{тр}}$, ε , r - соответственно температура, излучательная способность и радиус поглощающей трубки.

Для минимизации потерь необходимо уменьшать радиус r , а для увеличения полной энергии Q необходимо иметь трубку по крайней мере такого же размера, как изображение солнечного диска, поэтому обычно выбирают

$$r = D' \theta_s$$

Теоретически максимальная температура может достигать 1160 К.

Практически достижимые температуры ниже максимальной по двум причинам:

- 1) реальные зеркала не являются строго параболическими
- 2) полезное тепло выводится посредством прокачки жидкости через поглотитель

Тем не менее при благоприятных условиях жидкость можно нагреть примерно до 700 °С.

5.2. Параболический объемный концентратор



Концентрация энергии может осуществляться в двух направлениях, если использовать объемный концентратор.

Это требует проектирования более сложной системы слежения за Солнцем, чем для одномерного случая.

Наилучшая фокусировка обеспечивается, если зеркало имеет форму параболоида вращения. Форма приемника предполагается сферической.

Даже несмотря на точность слежения и возможные отклонения профиля зеркала от параболического при всех трудностях конструирования приемника, на практике возможно достижение температуры до 3000 К.

5.3. Концентраторы, не следящие за Солнцем

В некоторых случаях могут быть полезны также и дешевые коллекторы с низким коэффициентом концентрации, с концентраторами не следящими за положением солнца.

Солнечные системы для получения электроэнергии

Концентрация солнечной энергии позволяет получать температуры (700°C), достаточно высокие для работы теплового двигателя с приемлемым коэффициентом полезного действия.

Изготовление параболических концентраторов с диаметром, превышающим 30 м, довольно сложно, тем не менее мощность одного такого устройства составляет 700 кВт, что позволяет получить до 200 кВт электроэнергии.

Так каким же образом можно построить солнечную электростанцию достаточно большую для того, чтобы получать, скажем, 10 МВт электроэнергии?

Для этого существуют два варианта: ***рассредоточенные коллекторы и системы с центральной солнечной башней.***

Солнечные системы для получения электроэнергии

Распределенные коллекторы.

На рисунке показана система, состоящая из множества небольших концентрирующих коллекторов, каждый из которых независимо следит за Солнцем.

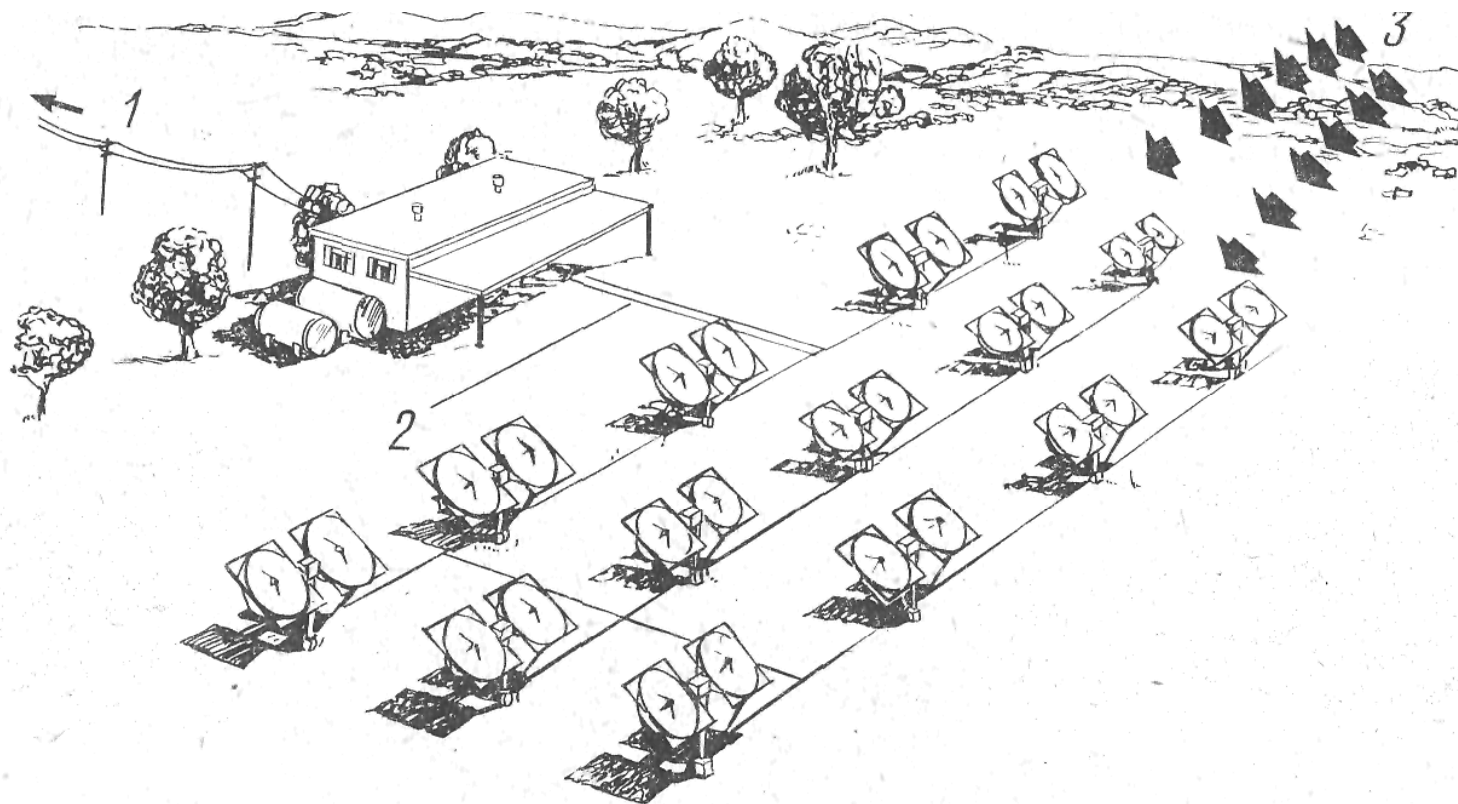


Рис. 6.11. Схема получения электроэнергии от системы распределенных коллекторов:
1 — электроэнергия; 2 — трубы под землей, по которым протекает аммиак или пар;
3 — солнечные лучи

Солнечные системы для получения электроэнергии

Концентраторы не обязательно должны иметь форму параболоидов, но обычно это предпочтительнее.

Каждый коллектор передает солнечную энергию жидкости - теплоносителю, горячая жидкость от всех коллекторов собирается в центральной энергостанции.

Теплонесущая жидкость может быть **водяным паром**, если она будет прямо использована в паровой турбине, или какой-либо **термохимической средой** - такой, как, например, диссоциированный аммиак.

Преимущество:

в случае использования химического реагента отсутствуют потери между коллектором и тепловым двигателем, так что тепло может передаваться на большие расстояния или в течение длительного времени (например, с вечера в течение всей ночи, что позволяет осуществить непрерывную генерацию электроэнергии).

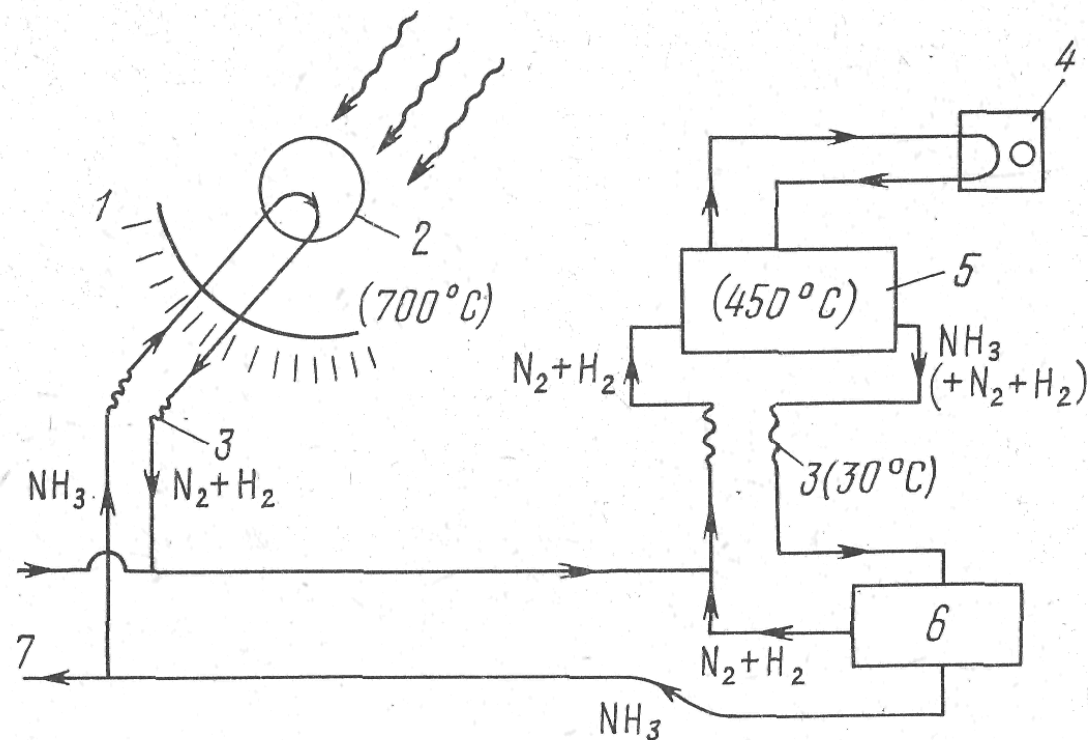


Рис. 6.12. Диссоциация и синтез аммиака как накопителя солнечной энергии: 1 — зеркало; 2 — приемник; 3 — теплообменник; 4 — тепловой двигатель; 5 — камера синтеза; 6 — сепаратор; 7 — к другим зеркалам

В этой системе солнечные лучи фокусируются на приемнике, в котором газообразный аммиак при высоком давлении (около 30 МПа) диссоциирует на водород и азот.

Эта реакция эндотермическая, дефект энергии составляет 46 кДж/моль NH_3 ; солнечное излучение снабжает систему энергией, необходимой для протекания этой реакции.

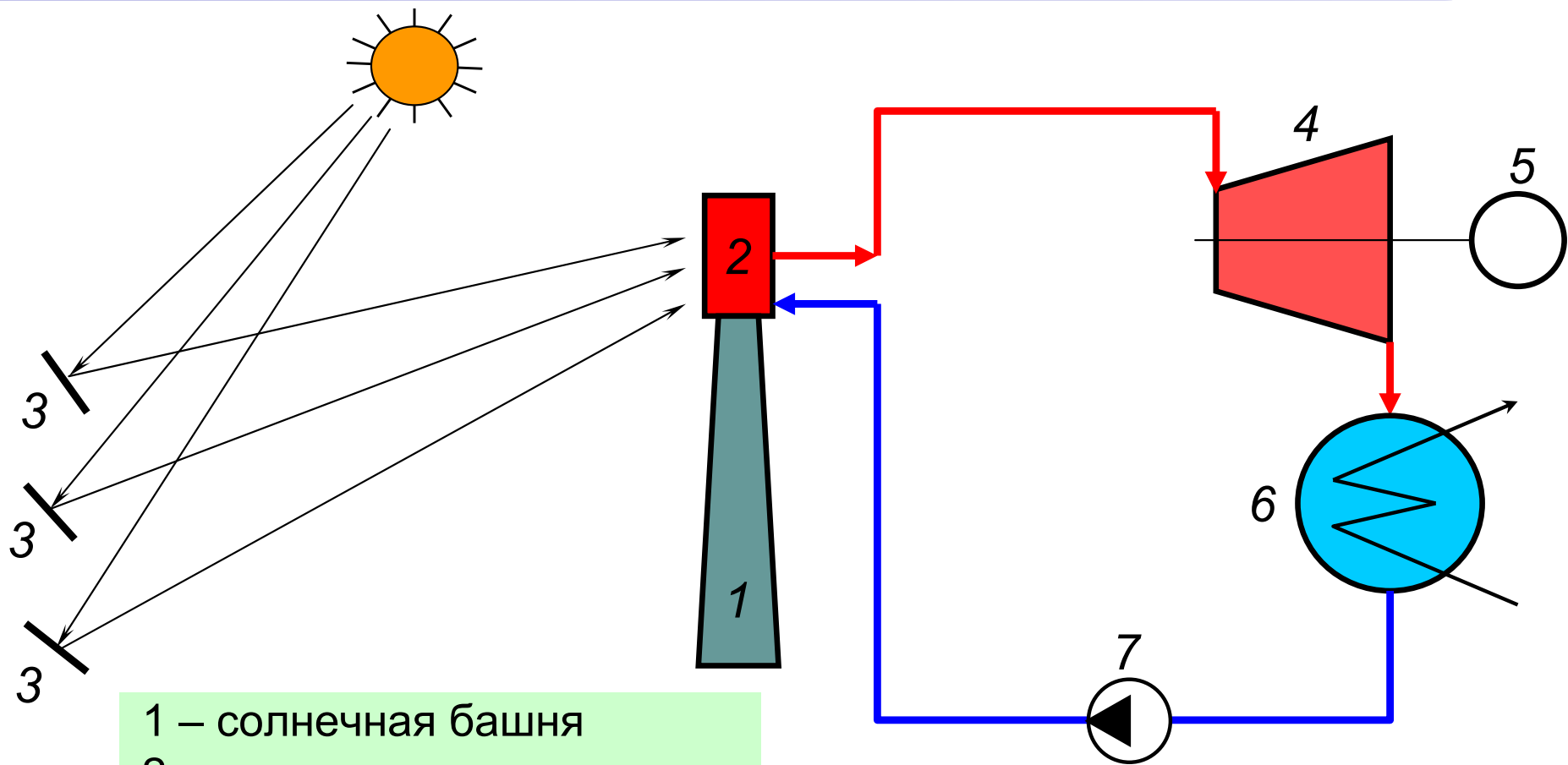
В присутствии катализатора в камере синтеза N_2 и H_2 частично рекомбинируют, выделяемое при этом тепло можно использовать для подключения внешнего теплового двигателя или другого устройства.

Выходящий из камеры синтеза поток охлаждается, что приводит к сжижению аммиака.

Солнечные башни.

Альтернативный вариант состоит в использовании расположенных на большой площади следящих за Солнцем плоских зеркал, отражающих солнечные лучи на центральный приемник, помещенный на вершине башни.





- 1 – солнечная башня
- 2 – приемник
- 3 – гелиостаты
- 4 – паровая турбина
- 5 – электрогенератор
- 6 – конденсатор
- 7 – насос

Энергия, поглощаемая приемником на башне:

$$Q = R_{отр} \cdot A_{погл} \cdot n \cdot F_2 \cdot E$$

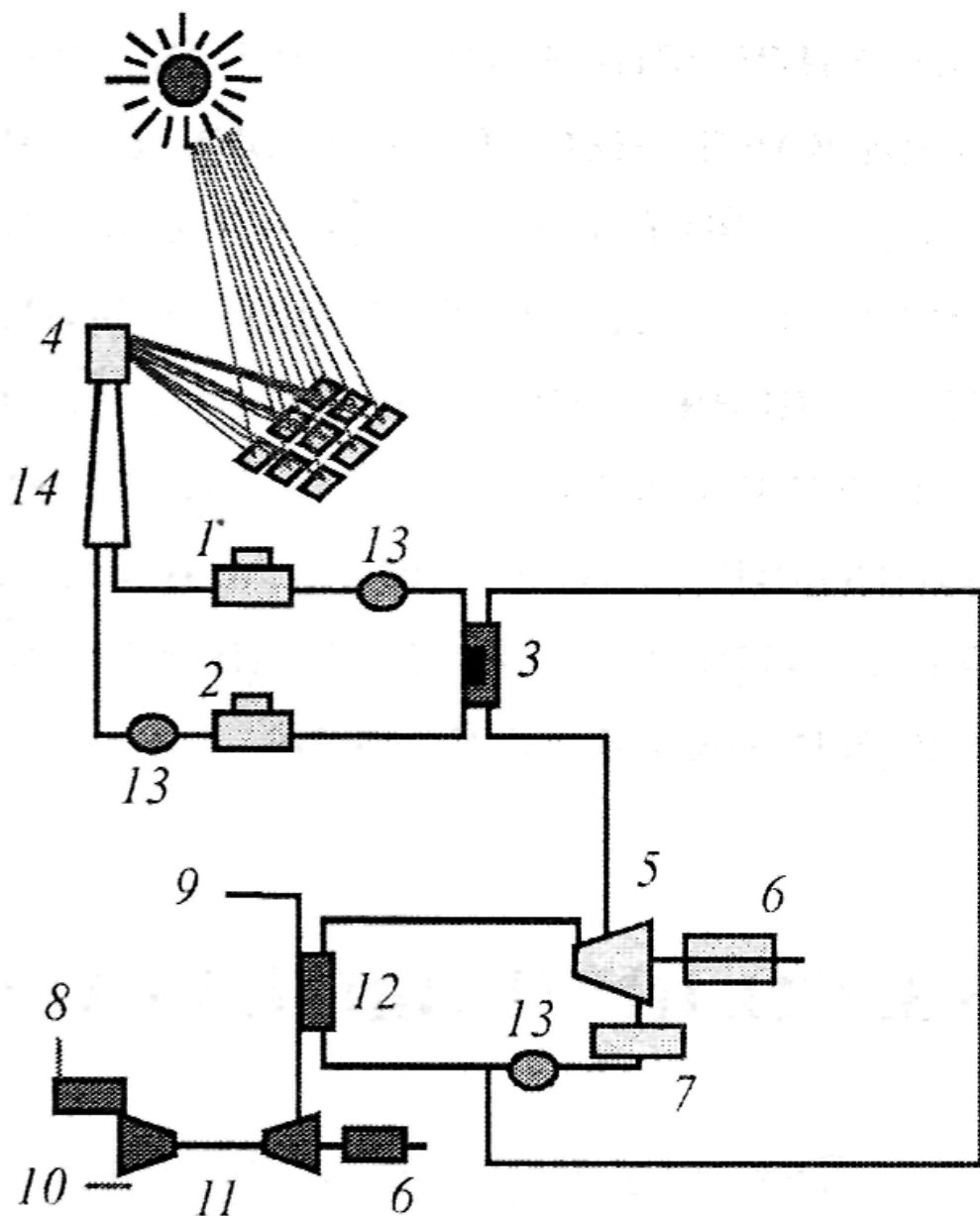
$R_{отр}$ - коэффициент отражения гелиостата;

$A_{погл}$ - коэффициент поглощения приемника;

$n \cdot F_2$ - площадь

E - средняя облученность зеркала гелиостата

Функциональная блок-схема гибридной СЭС



- 1 и 2 - резервуары для хранения «горячей» и «холодной» расплавленной соли соответственно;
- 3 - парогенератор;
- 4 - приемник солнечного излучения;
- 5 - паровая турбина;
- 6 - генератор;
- 7 - конденсатор;
- 8 - топливо (газ);
- 9 - выхлоп отработанного газа в атмосферу;
- 10 - подача воздуха;
- 11 - газотурбинная установка;
- 12 - теплообменник;
- 13 - насосы;
- 14 - башня

Такая паровая турбина производит энергии на 25-50 % больше той, которую она может произвести на электростанции, работающей только на невозобновляемом топливе.

При соединении солнечной электростанции с электростанцией, работающей на ископаемом топливе, солнечная энергия вносит приблизительно 25 % выдаваемой мощности в пиковые периоды и между 10 и 25 % в год.



АТТЕСТАЦИЯ. Максимум 240 баллов

1	Аслямова Р.Р.	130
2	Демин И.А.	55
3	Дутов Л.М.	80
4	Дьяченко О.С.	75
5	Захаров Е.В.	45
6	Кенина И.В.	55
7	Килин А.А.	0
8	Колесников П.В.	6
9	Манчын А.А.	130
10	Перцева М.И.	85
11	Пушкин П.С.	130
12	Сыродой С.В.	125
13	Цик А.Г.	10
14	Бардокин Д.А.	20

1	Арефьев А.В.	121
2	Беляев Д.О.	121
3	Григорьев М.В.	107
4	Дель М.В.	178
5	Есипенко П.А.	115
6	Климова Е.А.	85
7	Кобелева А.Г.	73
8	Кульчицкая Г.В.	133
9	Мартынов С.А.	106
10	Матусевич А.А.	152
11	Параскун А.В.	109
12	Пиховкина Н.В.	133
13	Рахматулин С.В.	18
14	Садовников Е.Р.	150
15	Фролов Д.М.	10
16	Чащина Ю.А.	155
17	Чистяков Д.А.	109
18	Шакирова Д.Р.	111
19	Шелпаков И.А.	127
20	Шихова Т.М.	96

1	Альфонсов В.В.	140
2	Бараулин П.И.	0
3	Беспалова Е.А.	195
4	Глухова А.Ю.	230
5	Гончаров М.Н.	25
6	Дьяченко М.С.	10
7	Лоншаков А.А.	45
8	Марусина О.А.	120
9	Пескова И.П.	190
10	Попов Д.С.	0
11	Садыков А.Н.	165
12	Сладков С.О.	105
13	Смольянинова М.	145
14	Сошина Е.А.	121
15	Сошина О.А.	135
16	Старченков П.А.	10
17	Суходолов А.В.	70
18	Хамматов Р.В.	190
19	Чурикова А.В.	0
20	Шилов Н.А.	200

1	Гарин И.В.	60
2	Змеев А.В.	50
3	Кошкарлов А.В.	35
4	Крель А.А.	35
5	Переходько Д.В.	65
6	Пищальникова К.С.	55
7	Показаньев Н.В.	55
8	Протасевич Е.В.	10
9	Смышляев О.Н.	35
10	Степанов И.А.	100
11	Сунин А.А.	20
13	Шаклеин Н.В.	31

Контрольная работа № 1

ВАРИАНТ 1

1. Дайте определение «Возобновляемым источникам энергии».
2. Почему на истощаемых источниках энергии выгодно использовать принцип регулирования с обратной связью?
3. Запишите формулу для действительного КПД термоэлектрического преобразователя. Поясните величины.

ВАРИАНТ 2

1. Почему на возобновляемых источниках энергии неэффективно использовать принцип регулирования с обратной связью?
2. Дайте определение «Невозобновляемым источникам энергии».
3. Запишите формулу для теоретического КПД термоэлектрического преобразователя. Поясните величины.

ВАРИАНТ 3

1. Дайте определение «Качеству энергии».
2. Зачем в схемах согласования нужны накопители энергии?
3. Запишите уравнение, описывающее эффект Зеебека. Поясните величины

Контрольная работа № 2

ВАРИАНТ 1

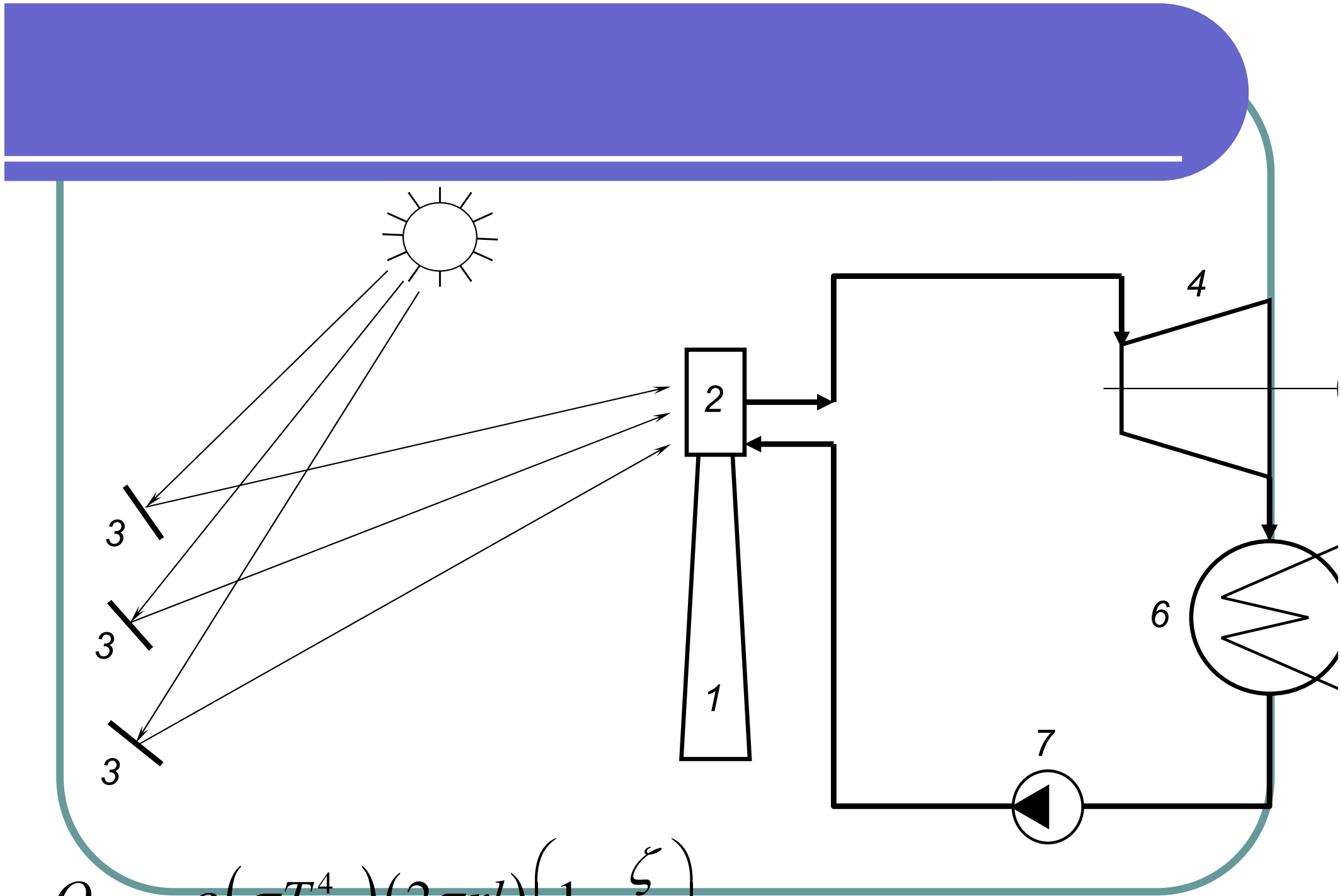
1. Дайте определение «Активной системе солнечного теплоснабжения».
2. «Световые» потери в солнечных элементах. Перечислить и пояснить.
3. Запишите формулу для определения количества энергии, воспринимаемой проточным пластинчатым приемником солнечной энергии. Поясните величины.

ВАРИАНТ 2

1. Дайте определение «Пассивной системе солнечного теплоснабжения».
2. Способы повышения эффективности солнечных элементов.
3. Запишите формулу для определения количества энергии, воспринимаемой накопительным пластинчатым приемником солнечной энергии. Поясните величины.

ВАРИАНТ 3

1. Перечислите проблемы, возникающие при использовании селективных поверхностей нагрева у приемников солнечной энергии.
2. «Энергетические» потери в солнечных элементах. Перечислить и пояснить.
3. Запишите формулу для определения количества энергии, воспринимаемой проточным трубчатым приемником солнечной энергии. Поясните величины.



$$Q_{изл} = \varepsilon (\sigma T_{mp}^4) (2\pi r l) \left(1 - \frac{\zeta}{\pi} \right)$$