

Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии

1. ТРАДИЦИОННЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ.

1.1. Термины и определения

Энергетика — область хозяйства, охватывающая энергетические ресурсы: выработку, преобразование и использование различных видов энергии.

Система топливно-энергетического комплекса (ТЭК) — это совокупность процессов добычи и преобразования первичных энергоресурсов, связанных с удовлетворением потребности в некоторых конечных продуктах.

К первичным энергоресурсам принято относить традиционные: нефть, газ, уголь, атомную и гидроэнергию, а также нетрадиционные возобновляемые энергоресурсы (НВЭС): солнечная, ветровая, геотермальная, энергия морских волн, приливов и океана, энергия биомассы, древесины, древесного угля, торфа, сланцев, битуминозных песчаников и гидроэнергия больших и малых водотоков.

Возобновляемые источники энергии — это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии. Возобновляемая энергия не является следствием целенаправленной деятельности человека, и это является ее отличительным признаком.

Невозобновляемые источники энергии — это природные запасы веществ и материалов, которые могут быть использованы человеком для производства энергии. Примером могут служить ядерное топливо, уголь, нефть, газ. Энергия невозобновляемых источников в отличие от возобновляемых находится в природе в связанном состоянии и высвобождается в результате целенаправленных действий человека.

1.2. Запасы и динамика потребления энергоресурсов

Потенциальные возможности нетрадиционных и возобновляемых источников энергии составляют, млрд. т.у.т в год:

- энергии Солнца – 2300;
- энергии ветра – 26,7;
- энергии биомассы – 10;
- тепла Земли – 40000;
- энергии малых рек – 360;
- энергии морей и океанов – 30;
- энергии вторичных низкопотенциальных источников тепла – 530.

Разведанные запасы местных месторождений угля, нефти и газа в России составляют 8,7 млрд. т.у.т., торфа – 10 млрд. т.у.т.

По имеющимся оценкам, технический потенциал ВИЭ в России составляет порядка 4,6 млрд. т.у.т. в год, что превышает современный уровень энергопотребления России, составляющий около 1,2 млрд. т.у.т. в год.

В настоящее время экономический потенциал ВИЭ существенно увеличился в связи с подорожанием традиционного топлива и удешевлением оборудования возобновляемой энергетики за прошедшие годы.

Стратегическими целями использования возобновляемых источников энергии и местных видов топлива являются:

- сокращение потребления невозобновляемых топливно-энергетических ресурсов;
- снижение экологической нагрузки от топливно-энергетического комплекса;
- обеспечение децентрализованных потребителей и регионов с дальним и сезонным завозом топлива;
- снижение расходов на дальнепривозное топливо.

Необходимость развития возобновляемой энергетики определяется ее ролью в решении следующих проблем:

- обеспечение устойчивого тепло- и электроснабжения населения и производства в зонах децентрализованного энергоснабжения, в первую очередь в районах Крайнего Севера и приравненных к ним территориях. Объем завоза топлива в эти районы составляет около 7 млн. т нефтепродуктов и свыше 23 млн. т угля;
- обеспечение гарантированного минимума энергоснабжения населения и производства в зонах централизованного энергоснабжения, испытывающих дефицит энергии, предотвращение ущербов от аварийных и ограничительных отключений;
- снижение вредных выбросов от энергетических установок в городах и населенных пунктах со сложной экологической обстановкой, а также в местах массового отдыха населения.

2. Физические основы процессов преобразования солнечной энергии

2.1. Интенсивность солнечного излучения

Источником энергии солнечного излучения служит термоядерная реакция на Солнце. Основная часть этой энергии испускается в виде электромагнитного излучения в диапазоне 0,2-3 мкм. При прохождении через атмосферу солнечный свет ослабляется, в основном из-за поглощения инфракрасного излучения парами воды, ультрафиолетового излучения – озоном и рассеяния излучения молекулами газов и находящимися в воздухе частицами пыли и аэрозолями. Параметром, отражающим влияние атмосферы на интенсивность и спектральный состав солнечного излучения, доходящего до земной поверхности, является атмосферная (или воздушная) масса (АМ). При нулевой воздушной массе АМ 0 интенсивность излучения равна $C_E = 1360 \text{ Вт/м}^2$. Величина АМ 1 соответствует прохождению солнечного излучения через безоблачную атмосферу до уровня моря при зенитальном расположении Солнца. Воздушная масса для любого уровня земной поверхности в любой момент дня определяется по формуле

$$AM(x) = \frac{x}{x_0} \frac{1}{\sin \theta},$$

где x – атмосферное давление, Па; x_0 – нормальное атмосферное давление ($1,013 \cdot 10^5$ Па); θ – угол высоты Солнца над горизонтом.

Наиболее характерной в земных условиях является величина АМ 1,5 ($\theta \approx 42^\circ$). Она принята за стандартную при интегральной поверхностной плотности солнечного излучения $E_c = 835 \text{ Вт/м}^2$, что необходимо при обеспечении сравнимости результатов исследований различных солнечных элементов.

Энергия фотонов, эВ, в солнечного излучении с длиной волны λ определяется из соотношения

$$h\nu = h \frac{c}{\lambda} = \frac{1,24}{\lambda},$$

где h – постоянная Планка, $6,626196(50) \cdot 10^{-34}$ Дж·с;

c – скорость света, $2,9979250(10) \cdot 10^8$ м/с;

λ – длина волны, мкм.

Электронвольт (эВ) – работа, которую необходимо совершить, чтобы переместить электрон между двумя точками с разностью потенциалов 1 В. $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Граничная длина волны, начиная с которой фотоны будут поглощаться в материале солнечного элемента с шириной запрещенной зоны E_g :

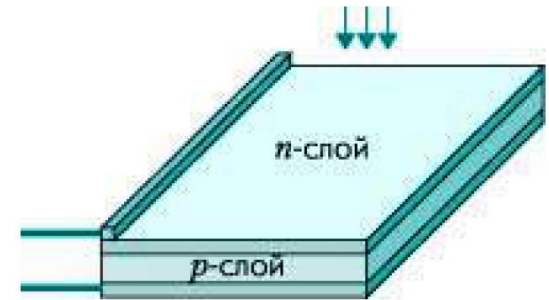
$$\lambda_g = \frac{1,24}{E_g}.$$

Более длинноволновое излучение не поглощается в полупроводнике и, следовательно, бесполезно с точки зрения фотоэлектрического преобразования.

2.2. Фотоэлектрические свойства р–п перехода

Простейшая конструкция солнечного элемента на основе монокристаллического кремния показана на рисунке. На малой глубине от поверхности кремниевой пластины р-типа сформирован р–п-переход с тонким металлическим контактом. На тыльную сторону пластины нанесен сплошной металлический контакт.

Пусть р–п-переход расположен вблизи от освещаемой поверхности полупроводника. При использовании солнечного элемента в качестве источника электроэнергии к его выводам должно быть подсоединено сопротивление нагрузки R_n . Рассмотрим вначале два крайних случая: $R_n=0$ (режим короткого замыкания) и $R_n=\infty$ (режим холостого хода).



Режим короткого замыкания. Через р–п-переход и внешний проводник течет ток, обусловленный фотогенерацией электронно-дырочных пар в р-области. Фотоэлектроны, образовавшиеся в непосредственной близости от области объемного заряда, увлекаются электрическим полем р–п-перехода и попадают в n-область. Остальные электроны диффундируют к р–п-переходу, стараясь восполнить их убыль, и в конечном итоге также попадают в n-область. В n-области возникает направленное движение электронов к тыльному металлическому контакту, перетекание во внешнюю цепь и в контакт к р-области. На границе контакта к р-области происходит рекомбинация подошедших сюда электронов с фотогенерированными дырками.

Режим холостого хода. При разомкнутой внешней цепи р–n-перехода фотоэлектроны, попадая в n-область, накапливаются в ней и заряжают n-область отрицательно. Остающиеся в р-области избыточные дырки заряжают р-область положительно. Возникающая таким образом разность потенциалов является напряжением холостого хода U_{xx} . Полярность U_{xx} соответствует прямому смещению р–n-перехода.

Поток генерированных светом носителей образует фототок I_ϕ . Величина I_ϕ равна числу фотогенерированных носителей, прошедших через р–n-переход в единицу времени:

$$I_\phi = q \frac{P_u}{h\nu},$$

где q – величина заряда электрона; P_u – мощность поглощенного монохроматического излучения.

Здесь предполагается, что в полупроводнике каждый поглощенный фотон с энергией $h\nu \geq E_g$ создает одну электронно-дырочную пару.

При нулевых внутренних омических потерях в солнечном элементе режим короткого замыкания эквивалентен нулевому напряжению смещения р–n-перехода, поэтому ток короткого замыкания $I_{кз}$ равен фототоку:

$$I_{к.з} = I_\phi.$$

В режиме холостого хода фототок уравнивается «темновым» током I_m – прямым током через р–n-переход, возникающим при напряжении смещения U_{xx} . Абсолютное значение «темнового» тока

$$I_m = I_0 \exp \left[\left(\frac{qU_{x.x}}{AkT} \right) - 1 \right] = I_\phi,$$

откуда при $I_\phi \gg I_0$

$$U_{x.x} = \frac{AkT}{q} \ln \left(\frac{I_\phi}{I_0} + 1 \right) \approx \frac{AkT}{q} \ln \frac{I_\phi}{I_0},$$

где k – постоянная Больцмана, $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К = $0,86 \cdot 10^{-4}$ эВ/К;

T – абсолютная температура, К;

I_0 – ток насыщения;

A – параметр вольт-амперной характеристики р–n-перехода, меняющийся по следующему закону

$$A = 0,434 \frac{q}{kT} \Delta U,$$

Где ΔU – приращение напряжения при приращении плотности тока (или абсолютного значения тока) по касательной на один порядок.

«Темновой» ток сопровождается рекомбинацией неосновных носителей тока (в данном случае – электронов в р-области). При актах рекомбинации потенциальная энергия электронно-дырочных пар выделяется либо посредством излучения фотонов с $h\nu \approx E_g$, либо расходуется на нагревание кристаллической решетки.

2.3. Вольт-амперная характеристика солнечного элемента

Предположим, что к р–n-переходу подключен источник питания с варьируемым напряжением. При положительном напряжении смещения фототок I_ϕ вычитается из «темнового» тока р–n-перехода, а при отрицательном – суммируется с ним. Выражение для вольт-амперной характеристики записывается в виде

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qU}{AkT}\right) - 1 \right] - I_\phi.$$

Рассмотрим подключение к р–n-переходу варьируемого сопротивления нагрузки. Направление тока в нагрузке всегда совпадает с направлением I_ϕ , а сам ток нагрузки I_n равен результирующему току через р–n-переход. Принимая направление тока I_ϕ за положительное, для I_n можно записать

$$I_n = I_\phi - I_0 \left[\exp\left(\frac{qU_n}{AkT}\right) - 1 \right],$$

здесь U_n – напряжение на нагрузке, равное напряжению на р–n-переходе.

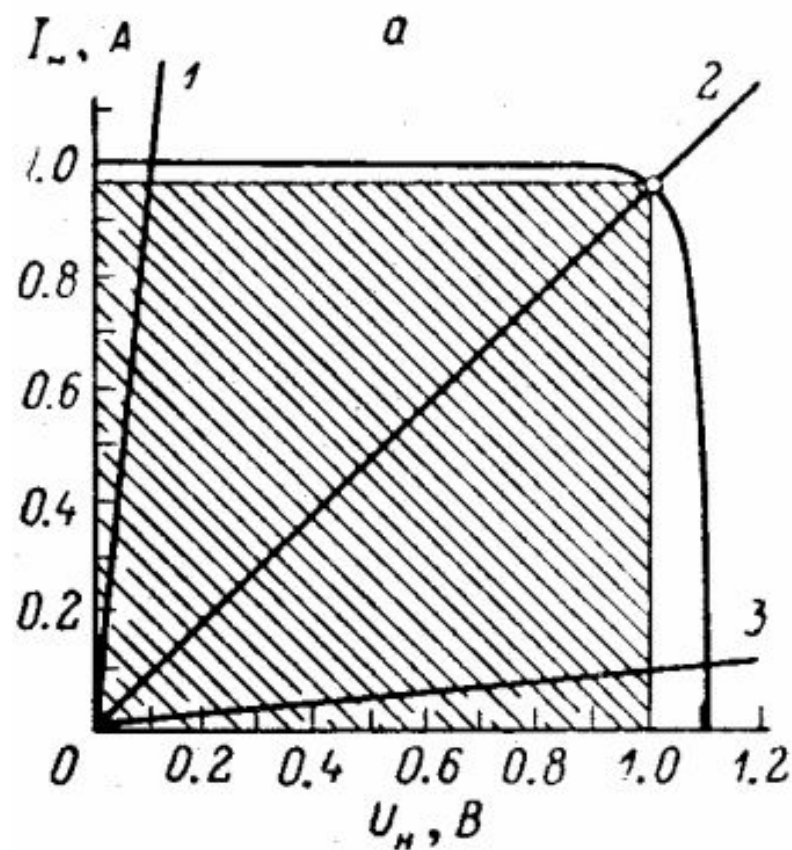
Данное выражение описывает нагрузочную вольт-амперную характеристику освещенного р–n-перехода.

Нагрузочная ВАХ арсенид-галлиевого р–п-перехода для значения фототока $I_{\phi} = 1 \text{ А}$ изображена на рисунке, на этом же рисунке изображены ВАХ омических сопротивлений нагрузки.

$$I_n = \frac{U_n}{R_n},$$

для $R_{n1} = 0,1 \text{ Ом}$, $R_{n2} = 1,026 \text{ Ом}$ и $R_{n3} = 10 \text{ Ом}$. При известных параметрах нагрузочной ВАХ и заданном значении R_n величины I_n и U_n находятся методом последовательных приближений либо графически, как это сделано на рисунке. Если R_n мало, то «темновым» током через р–п-переход можно пренебречь по сравнению с фототоком.

По мере увеличения R_n ток через нагрузку уменьшается, т.к. с увеличением прямого смещения р–п-переход как бы шунтирует нагрузку.

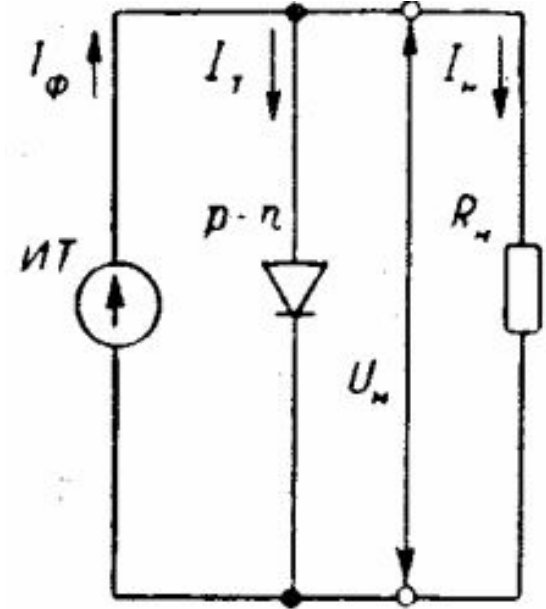


Т.о., освещенный р–n-переход может быть представлен в виде эквивалентной схемы. Здесь источник тока имитирует генерацию постоянного фототока, не зависящего от напряжения р–n-перехода, а диод представляет собой неосвещенный р–n-переход. При варьировании R_n фототок перераспределяется между нагрузкой и р–n-переходом.

Электрическая мощность, выделяемая в нагрузке, определяется по формуле:

$$P = I_n U_n = I_\phi U_n - I_0 U_n \exp\left(\frac{qU_n}{AkT}\right)$$

В режимах короткого замыкания и холостого хода $P=0$, поскольку либо U_n , либо I_n равны нулю.



3. Системы солнечного теплоснабжения.

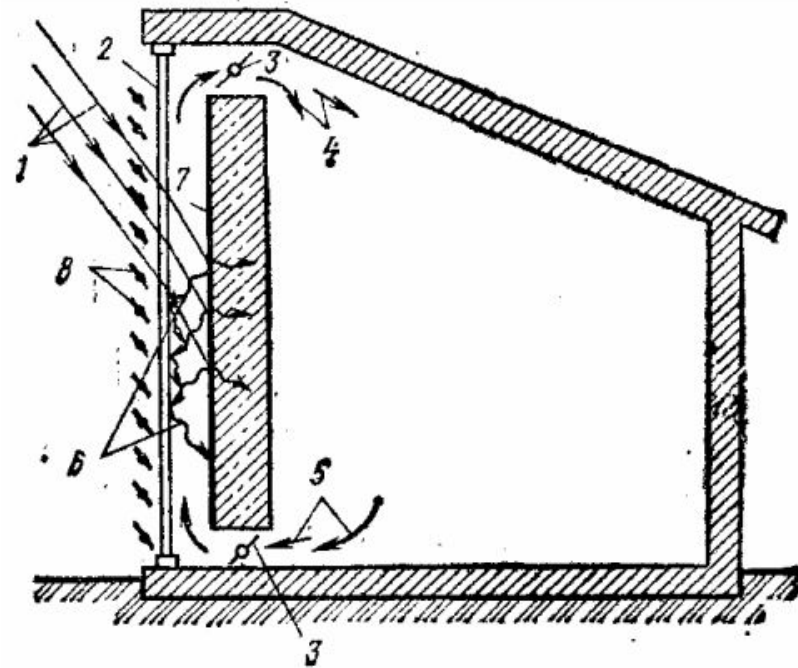
3.1. Классификация и основные элементы гелиосистем

Системами солнечного отопления называются системы, использующие в качестве теплоисточника энергию солнечной радиации. Их характерным отличием от других систем низкотемпературного отопления является применение специального элемента – гелиоприемника, предназначенного для улавливания солнечной радиации и преобразования ее в тепловую энергию.

По способу использования солнечной радиации системы солнечного низкотемпературного отопления подразделяют на пассивные и активные.

Пассивными называются системы солнечного отопления, в которых в качестве элемента, воспринимающего солнечную радиацию и преобразующего ее в теплоту, служат само здание или его отдельные ограждения (здание-коллектор, стена-коллектор, кровля-коллектор и т. п.).

Рисунок. Пассивная низкотемпературная система солнечного отопления «стена-коллектор»: 1 – солнечные лучи; 2 – лучепрозрачный экран; 3 – воздушная заслонка; 4 – нагретый воздух; 5 – охлажденный воздух из помещения; 6 – собственное длинноволновое тепловое излучение массива стены; 7 – черная лучевоспринимающая поверхность стены; 8 – жалюзи.



Активными называются системы солнечного низкотемпературного отопления, в которых гелиоприемник является самостоятельным отдельным устройством, не относящимся к зданию. Активные гелиосистемы могут быть подразделены:

- по назначению (системы горячего водоснабжения, отопления, комбинированные системы для целей теплоснабжения);
- по виду используемого теплоносителя (жидкостные – вода, антифриз и воздушные);
- по продолжительности работы (круглогодичные, сезонные);
- по техническому решению схем (одно-, двух-, многоконтурные).

Воздух является широко распространенным незамерзающим во всем диапазоне рабочих параметров теплоносителем. При применении его в качестве теплоносителя возможно совмещение систем отопления с системой вентиляции. Однако воздух – малотеплоемкий теплоноситель, что ведет к увеличению расхода металла на устройство систем воздушного отопления по сравнению с водяными системами.

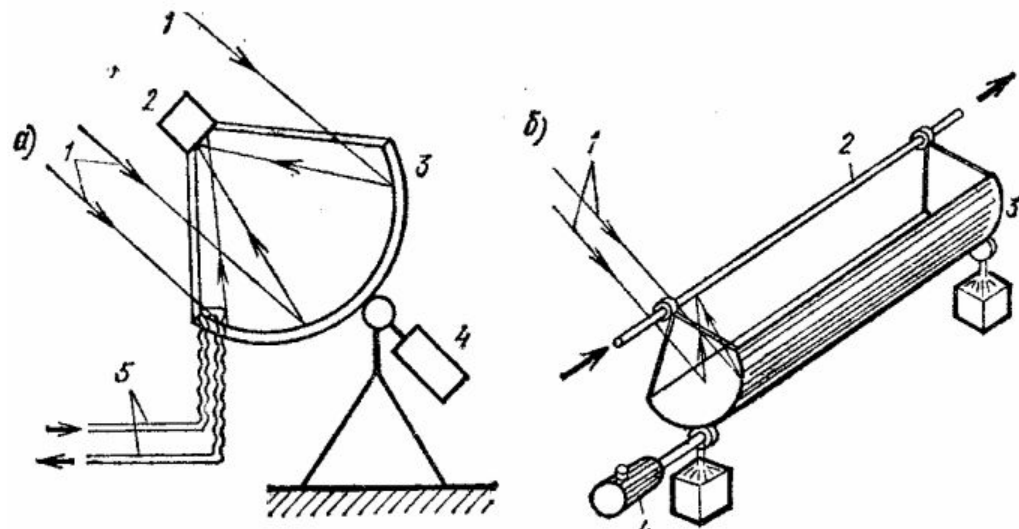
Вода является теплоемким и широкодоступным теплоносителем. Однако при температурах ниже 0°C в нее необходимо добавлять незамерзающие жидкости. Кроме того, нужно учитывать, что вода, насыщенная кислородом, вызывает коррозию трубопроводов и аппаратов. Но расход металла в водяных гелиосистемах значительно ниже, что в большой степени способствует более широкому их применению.

Основными элементами активной солнечной системы является гелиоприемник, аккумулятор теплоты, дополнительный источник или трансформатор теплоты (тепловой насос), ее потребитель (системы отопления и горячего водоснабжения зданий). Выбор и компоновка элементов в каждом конкретном случае определяются климатическими факторами, назначением объекта, режимом теплоснабжения, экономическими показателями.

3.2. Концентрирующие гелиоприемники

Концентрирующие гелиоприемники представляют собой сферические или параболические зеркала, параболоцилиндры, выполненные из полированного металла, в фокус которых помещают тепловоспринимающий элемент (солнечный котел), через который циркулирует теплоноситель. В качестве теплоносителя используют воду или незамерзающие жидкости. При использовании в качестве теплоносителя воды в ночные часы и в холодный период систему обязательно опорожняют для предотвращения ее замерзания.

Рисунок. Концентрирующие гелиоприемники: а – параболический концентратор; б – параболоцилиндрический концентратор; 1 – солнечные лучи; 2 – тепловоспринимающий элемент (солнечный коллектор); 3 – зеркало; 4 – механизм привода системы слежения; 5 – трубопроводы, подводящие и отводящие теплоноситель.



На рисунке представлена принципиальная схема жидкостной комбинированной двухконтурной низкотемпературной системы солнечного отопления с параболоцилиндрическим концентратором и жидкостным теплоаккумулятором. В контуре гелиоприемника в качестве теплоносителя применен антифриз, а в контуре системы отопления – вода.

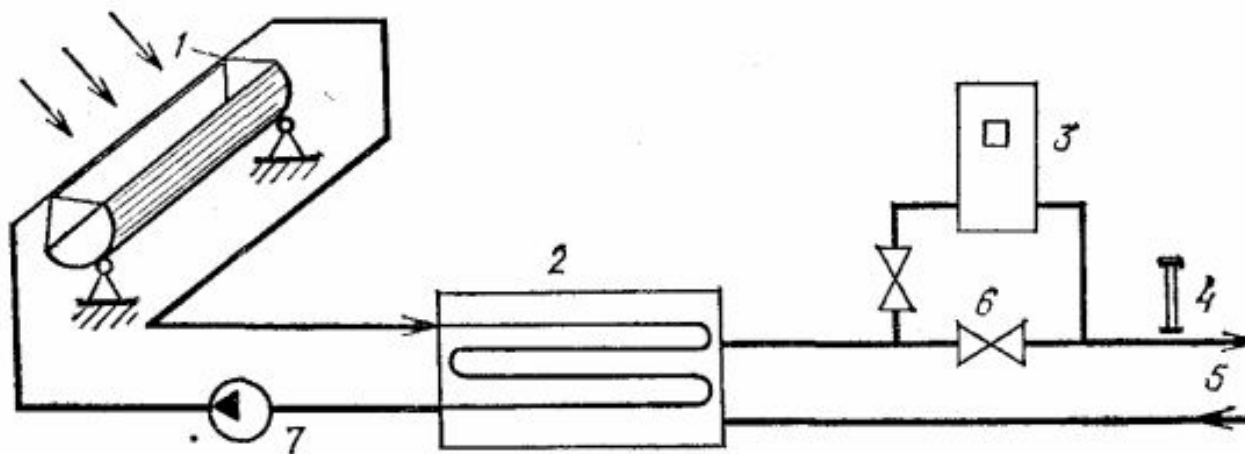


Рисунок. Жидкостная комбинированная двухконтурная низкотемпературная система солнечного отопления с параболоцилиндрическим концентратором и жидкостным теплоаккумулятором: 1 – параболоцилиндрический концентратор; 2 – жидкостный теплоаккумулятор; 3 – дополнительный теплоисточник; 4 – термометр; 5 – контур системы отопления; 6 – регулирующий клапан; 7 – циркуляционный насос.

Преимуществом систем с концентрирующими гелиоприемниками является способность выработки теплоты с относительно высокой температурой (до 100 °С) и даже пара. К недостаткам следует отнести высокую стоимость конструкции; необходимость постоянной очистки отражающих поверхностей от пыли; работу только в светлое время суток, а следовательно, потребность в аккумуляторах большого объема; большие энергозатраты на привод системы слежения за ходом Солнца, соизмеримые с вырабатываемой энергией. Эти недостатки сдерживают широкое применение активных низкотемпературных систем солнечного отопления с концентрирующими гелиоприемниками. В последнее время наиболее часто для солнечных низкотемпературных систем отопления применяют плоские гелиоприемники.

3.3. Солнечные коллекторы

Плоские солнечные коллекторы состоят из стеклянного или пластикового покрытия (одинарного, двойного, тройного), тепловоспринимающей панели, окрашенной со стороны, обращенной к солнцу, в черный цвет, изоляции на обратной стороне и корпуса (металлического, пластикового, стеклянного, деревянного).

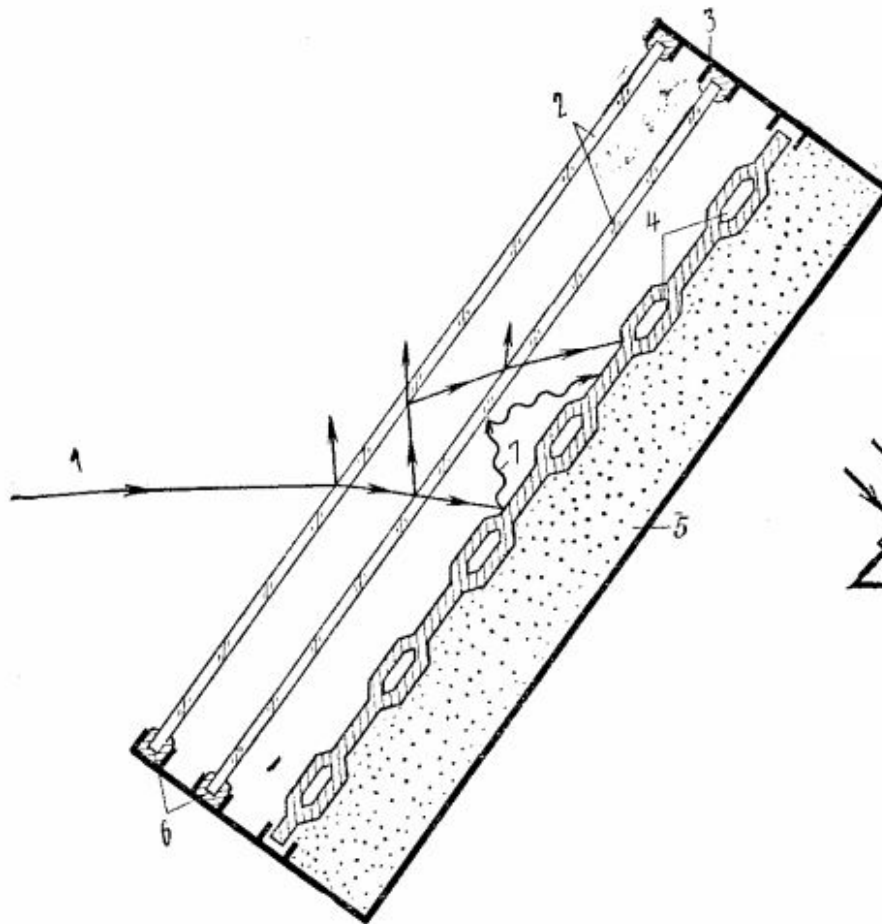


Рис. Плоский солнечный коллектор: 1 – солнечные лучи; 2 – остекление; 3 – корпус; 4 – тепловоспринимающая поверхность; 5 – теплоизоляция; 6 – собственное длинноволновое излучение тепловоспринимающей пластины.

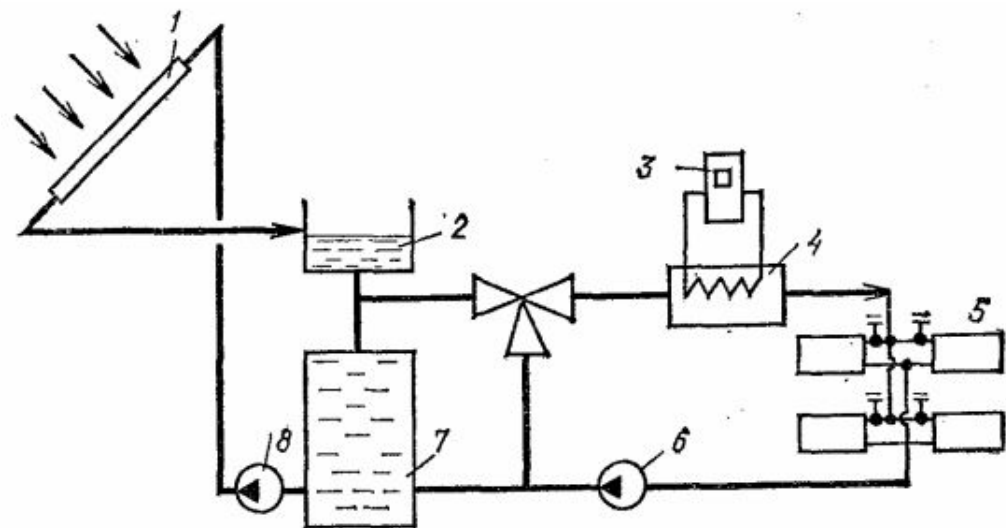


Схема водяной низкотемпературной системы солнечного отопления с плоскими коллекторами и их автоматическим дренажем при прекращении циркуляции: 1 – солнечные плоские коллекторы; 2 – расширительный бак; 3 – дополнительный теплоисточник; 4 – теплообменник; 5 –

Опыт эксплуатации солнечных установок на основе солнечных коллекторов выявил ряд существенных недостатков подобных систем. Прежде всего это высокая стоимость коллекторов. Увеличение эффективности их работы за счет селективных покрытий, повышение прозрачности остекления, вакуумирования, а также устройства системы охлаждения оказываются экономически нерентабельными. Существенным недостатком является необходимость частой очистки стекол от пыли, что практически исключает применение коллектора в промышленных районах. При длительной эксплуатации солнечных коллекторов, особенно в зимних условиях, наблюдается частый выход их из строя из-за неравномерности расширения освещенных и затемненных участков стекла за счет нарушения целостности остекления. Отмечается также большой процент выхода из строя коллекторов при транспортировке и монтаже. Значительным недостатком работы систем с коллекторами является также неравномерность загрузки в течение года и суток. Опыт эксплуатации коллекторов в условиях Европы и европейской части России при высокой доле диффузной радиации (до 50%) показал невозможность создания круглогодичной автономной системы горячего водоснабжения и отопления. Все гелиосистемы с солнечными коллекторами в средних широтах требуют устройства больших по объему баков-аккумуляторов и включения в систему дополнительного источника энергии, что снижает экономический эффект от их применения.