

Лекция 5.2

СОЛНЕЧНЫЕ УСТАНОВКИ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Солнечная энергия распространяется практически повсюду. Однако она падает на всю поверхность Земли, нигде не достигая большой интенсивности. Потому важнее всего накопить и сохранить эту энергию. Ее необходимо уловить на сравнительно большой площади, сконцентрировать и превратить в такую форму, которую можно использовать для промышленных, бытовых и транспортных нужд. Кроме того, надо уметь запасать солнечную энергию, чтобы поддерживать энергоснабжение и ночью, и в пасмурные дни.

В настоящее время разработано большое разнообразие устройств, использующих энергию солнца, для удовлетворения разных энергетических потребностей человечества: отопления, освещения и вентиляции зданий, опреснения воды, производства электроэнергии и др. Солнечные установки находят свое применение в производстве и сельском хозяйстве. Солнечные устройства используются для сушки материалов и сельскохозяйственных продуктов, в различных технологических процессах.

На практике солнечная радиация может быть преобразована в электроэнергию непосредственно или косвенно. Косвенное преобразование может быть осуществлено путем концентрации радиации с помощью следящих зеркал для превращения воды в пар и последующего использования пара для генерирования электричества обычными способами. Такая система может работать только при прямом освещении солнечными лучами.

Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую может быть осуществлено с использованием фотоэлектрического эффекта. Наиболее эффективными с энергетической точки зрения устройствами для превращения солнечной энергии в электрическую (т. к. это прямой, одноступенчатый переход энергии) являются полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи (ФЭП). Фотоэлектрические преобразователи, собранные в единое конструктивное устройство, представляют собой фотоэлектрические станции (ФЭС).

Преобразование солнечной энергии может осуществляться двумя способами:

- фототермическим (преобразование световой энергии в тепловую, а затем, при необходимости, в электрическую);
- фотоэлектрическим (прямое преобразование световой энергии в электрическую).

СОЛНЕЧНЫЕ УСТАНОВКИ, ПРЕОБРАЗУЮЩИЕ ЭНЕРГИЮ СОЛНЦА В ТЕПЛОВУЮ ЭНЕРГИЮ

5.1.1 Гелиоколлекторы для систем солнечного теплоснабжения

Солнечный коллектор - это устройство (гелиоустановка) для поглощения энергии солнечного излучения и преобразования ее в тепловую энергию. В отличие от солнечных батарей, производящих непосредственно электричество, солнечный коллектор производит нагрев материала-теплоносителя и обычно применяется для нужд горячего водоснабжения и отопления помещений.

5.1.1.1 Жидкостные гелиоколлекторы

Жидкостный коллектор - солнечный коллектор, служащий для нагрева жидкого теплоносителя. В жидкостных солнечных коллекторах теплоносителем выступает жидкость. Солнечная энергия перерабатывается в поглощающей пластине в тепло, и передается жидкости, которая течет по трубам, прикрепленным к пластине. На каждой из труб в обязательном порядке должно быть входное и выходное отверстие.

Простые системы жидкостных солнечных коллекторов предполагают использование обычной воды, которая сразу же, нагреваясь в коллекторе, поступает пользователю. Такие модели называют «разомкнутыми», или «прямыми» системами. Однако применение таких коллекторов неудобно в регионах с низким температурным режимом. Поскольку при снижении температуры ниже точки замерзания необходимо сливать воду. В этот период систему использовать невозможно.

Альтернативой является использование незамерзающих жидкостей вместо воды. Этот вид системы жидкостных солнечных коллекторов использует жидкий теплоноситель, который, поглощая тепло, направляется в теплообменник. Зачастую теплообменником является водяной бак, конструкция которого предполагает передачу тепла воде. Такую систему называют «замкнутой», или «непрямой».

Остекление жидкостных коллекторов позволяет нагревать воду для бытовых нужд и для отопления дома, поскольку их КПД выше, чем у неостекленных аналогов. Неостекленные коллекторы, зачастую используют для нагрева воды в бассейнах. В последних приборах не требуется нагревать воду до высоких температур. Это позволяет использовать менее дорогие материалы, такие как пластмасса и резина. К жидкостным коллекторам относятся: плоский и проточный коллекторы.

5.1.1.1 Плоский гелиоколлектор

Плоский коллектор - это солнечный коллектор с поглощающей панелью плоской конфигурации и плоской прозрачной изоляцией (рисунок 2).



Рисунок 2 - Общий вид плоского солнечного коллектора

Обычно плоский коллектор представляет собой теплоизолированный металлический ящик со стеклянной либо пластмассовой крышкой, в который помещена окрашенная в черный цвет пластина абсорбера (телопоглотителя). Застекление может быть прозрачным либо матовым. В плоских коллекторах обычно используется матовое, пропускающее только свет, стекло с низким содержанием железа (оно пропускает значительную часть поступающего на коллектор солнечного света). Солнечный свет попадает на тепловоспринимающую пластину и благодаря застеклению снижаются потери тепла. Дно и боковые стенки коллектора покрывают теплоизолирующим материалом, что еще больше сокращает тепловые потери (рисунок 3).

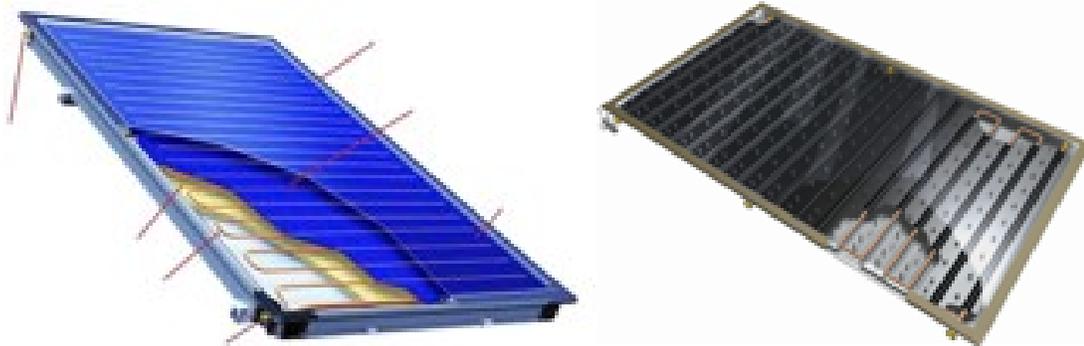


Рисунок 3—Строение плоского солнечного коллектора

Принцип работы плоского солнечного коллектора следующий: солнечные лучи почти полностью проходят через верхнее защитное стекло. От этих лучей нагревается абсорбер (телопоглотитель), к которому припаяны теплообменные трубки.

Тепло излучается, но наружу почти не выходит: прозрачное для солнечных лучей стекло тепло не пропускает. В качестве светопрозрачного покрытия, которое достаточно хорошо пропускает солнечную радиацию, используют специальное стекло с низким содержанием железа (в остеклении зданий - концентрация железа намного больше) или прозрачный пластик.

Таким образом, тепловая энергия не рассеивается, а сохраняется внутри панели. От по ним теплоносителю. В качестве теплоносителя может служить вода, смесь воды с антифризом или специальный раствор соли. Теплоноситель должен удовлетворять следующим требованиям: иметь относительно высокий коэффициент теплоемкости, низкий коэффициент вязкости, быть нетоксичным, не быть коррозионным для трубопроводов системы.

Плоские коллекторы являются самым распространенным типом солнечных коллекторов.

Преимущества плоских гелиоколлекторов:

- универсальность;
- высокая эффективность;
- высокая надежность;
- неприхотливость;
- возможность всесезонного эффективного использования;
- отличное соотношение цена/производительность для южных широт и теплого климата;
- длительный эффективный срок эксплуатации.

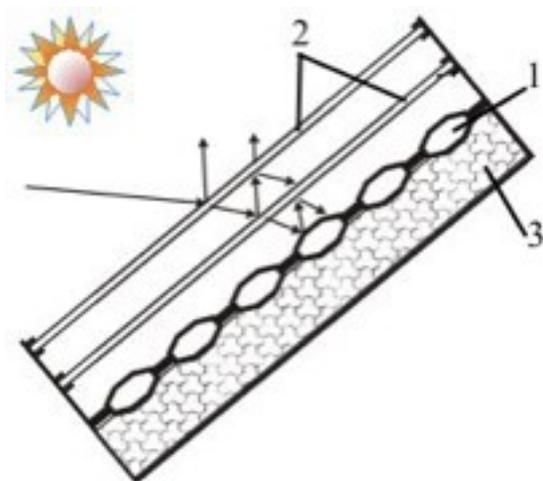
Недостатки плоских гелиоколлекторов:

- снижение КПД (по сравнению с вакуумными коллекторами) с увеличением разницы температур в период - с малым количеством солнечного излучения;
- высокие тепловые потери;
- низкая работоспособность в холодное время года;
- сложность монтажа, связанная с необходимостью доставки на крышу собранного коллектора;

5.1.1.1.2 Проточный гелиоколлектор

Проточный коллектор - солнечный коллектор, в котором нагрев теплоносителя осуществляется при движении его через коллектор (рисунок 4). Проточный солнечный

коллектор представляет собой систему, в которой вода протекает по параллельным трубкам, закрепленным на поглощающей панели.



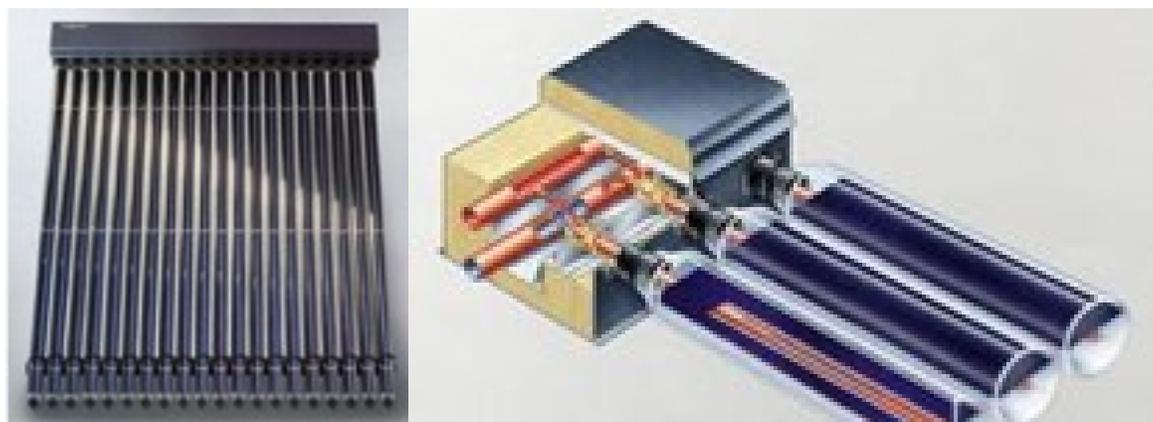
1 - поглощающая панель; 2 - прозрачная теплоизоляция; 3 - непрозрачная теплоизоляция

Рисунок 4 - Строение проточного гелиоколлектора

Основными элементами плоского проточного солнечного коллектора являются: корпус, где расположена поглощающая панель 1 с каналами для теплоносителя; прозрачная теплоизоляция 2, снижающая потери в окружающую среду через верхнюю поверхность коллектора; непрозрачная тепловая изоляция 3, снижающая потери в окружающую среду через днище коллектора и его боковые грани.

5.1.1.2 Вакуумные трубчатые коллекторы

Вакуумированный (вакуумный) трубчатый солнечный коллектор (рисунок 5) - это солнечный коллектор, поглощающая панель которого находится в вакуумированном пространстве, ограниченном трубчатой прозрачной изоляцией.



а - общий вид; б - монтажная схема

Рисунок 5 - Вакуумный коллектор

В основе конструкции вакуумного солнечного коллектора заложена **трубчатая система изоляции медного абсорбера**. Каждая медная трубка вставлена в запаянный по концам стеклянный сосуд цилиндрической формы и имеет свою собственную изоляцию, причём, теплоизолирующим материалом в таком коллекторе служит **вакуум**.

Он совсем не проводит тепло, поэтому полностью исключает потери на конвекцию и теплопроводность и, таким образом, сводит общие тепловые потери коллектора к минимуму. Это позволяет обеспечить высокий и стабильный КПД коллектора даже при слабом рассеянном солнечном излучении в облачный день, а также при отрицательной температуре наружного воздуха.

Поэтому вакуумные солнечные коллекторы производят в среднем на 30-40 % больше тепловой энергии в течение года по сравнению с другими типами коллекторов.

Стеклянные трубки вакуумных коллекторов позволяют солнечным лучам всегда падать на приёмную поверхность медных трубок под прямым углом, сводя отражения к минимуму.

Солнечная энергия улавливается через систему вакуумных трубок коллектора (рисунок 6).



Рисунок 6 – Вакуумная трубка солнечного коллектора

Конструкция их похожа на термос: в трубку из ударопрочного стекла, способного выдержать удары града большого диаметра, вставлена трубка меньшего диаметра. Между ними вакуум, который представляет совершенную термоизоляцию. Внутренняя трубка покрыта специальным селективным слоем, который максимально поглощает солнечную энергию, а вакуум препятствует потерям тепла. В центре этой конструкции находится медная запаянная трубка, которая содержит небольшой объем **легкокипящей жидкости**. Она и служит нагревательным элементом солнечного коллектора.

Трубки выполнены из высокопрочного боросиликатного стекла, они содержат на внутренней поверхности трехслойное покрытие на основе нитрита меди, алюминия и стали, поглощающее солнечное излучение во всем спектре - от ультрафиолетового диапазона при ярком прямом солнце до инфракрасного - при рассеянном излучении в пасмурную и дождливую погоду.

Под воздействием тепла, легкокипящая жидкость испаряется и ее пары поднимаются в верхнюю часть - наконечник, где конденсируются и передают тепло теплоносителю основного контура (незамерзающей жидкости). Данная трубка устойчива к замораживанию и способна работать до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Испарение жидкости начинается при достижении температуры внутри трубки $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. При меньшей температуре трубка «запирается» и дополнительно

сохраняет тепло. Такие трубки функционируют и в пасмурную погоду, и при отрицательной температуре - они преобразуют прямые и рассеянные солнечные лучи в тепло.

Тем не менее, стеклянные трубки имеют тонкие стенки - за счёт минимальной толщины стенок стеклянных трубок вакуумные коллекторы обладают наименьшей тепловой инерцией. Благодаря этому вакуумный коллектор намного быстрее освобождается от оледенения, инея, снега.

Приходя в рабочее состояние практически сразу на рассвете, он начинает производить горячую воду, в то время как плоские коллекторы все ещё простаивают.

Все части коллектора, контактирующие с теплоносной жидкостью, выполнены из высококачественной меди.

Трубки абсорбера, по которым перемещается теплопроводящая жидкость, выполняются либо U-образной формы, либо коаксиально, то есть в виде двух трубок разного диаметра, вставленных друг в друга. При этом по внутренней трубке вниз подаётся холодная жидкость, нагревающаяся по мере движения. А потом, уже частично прогретая, она устремляется вверх по наружной трубке, где ещё сильнее нагревается и часть своего тепла отдаёт внутренней трубке, которая уже греет очередную порцию воды.

Очень часто внутренняя сторона стеклянной трубки, обращённая к солнцу, покрывается зеркальным слоем, чтобы лучи, проходящие мимо медной трубки, отразились от изогнутого зеркала и все же попали на неё, только с обратной стороны. Таким образом, в нагреве теплоносной жидкости принимает участие вся поверхность медной трубки, что является выгодным отличием от абсорбера плоского коллектора.

Обладая низкой парусностью, вакуумные коллекторы просто, легко и надёжно крепятся к кровле. Снег, дождь и ветер свободно проходят между трубками.

При механическом повреждении одной или нескольких вакуумных трубок их легко можно заменить без остановки и слива всей системы. Одна трубка стоит значительно дешевле, чем весь коллектор.

Вакуумные коллекторы имеют высокую надёжность и долговечность и могут использоваться как в системах с принудительной циркуляцией теплоносной жидкости, так и в системах с естественной циркуляцией.

Солнечные вакуумированные (вакуумные) трубчатые коллекторы можно классифицировать по двум основным конструктивным особенностям стеклянных трубок и теплового канала, используемых в качестве абсорбера солнечного коллектора:

По типу стеклянной трубки:

- **Коаксиальная** трубка фактически является термосом и представляет собой двойную стеклянную колбу, в которой в пространстве между трубками откачан воздух (создан вакуум). На стенке внутренней трубки нанесено поглощающее покрытие, поэтому передача тепла происходит от самой стеклянной колбы.

- **Перьевая** трубка представляет собой одностенную стеклянную колбу. Вакуум в трубке находится в пространстве теплового канала, причем часть теплового канала и абсорбера интегрирована внутри самой колбы.

По типу теплового канала:

- **Тепловой канал типа «Heat pipe».** Принцип действия канала основан на том, что находящаяся в закрытых трубках легкоиспаряющаяся жидкость нагревается под воздействием солнечных лучей, поднимается в верхнюю часть канала и конденсируется в специальном теплосборнике. При этом жидкость отдает все накопленное тепло. Далее она стекает вниз трубки и процесс возобновляется. Теплоноситель коллектора отбирает выделенную энергию из теплосборника и передает ее далее в систему.

- **Прямоточный тепловой канал.** В вакуумных трубчатых солнечных коллекторах с прямоточным каналом, теплоноситель непосредственно протекает и нагревается в каждой из трубок коллектора.

Следует отметить некоторые основные типы вакуумных солнечных коллекторов:

- вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде;
- вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде и встроенным теплообменником;
- вакуумный коллектор с термотрубками.

5.1.1.2.1 Вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде

В таком коллекторе вакуумные трубки соединены с накопительным баком. Из контура теплообменника вода течёт прямо в трубки, нагревается и возвращается обратно (рисунок 7). Такие системы называют *термосифонными*.



Рисунок 7 - Вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде

К преимуществам этих систем относится непосредственная передача тепла воде без участия других элементов. Термосифонные системы работают на принципе явления естественной конвекции, когда теплая вода стремится вверх. В термосифонных системах бак должен быть расположен выше коллектора. Когда вода в трубках коллектора нагревается, она становится легче и естественно поднимается в верхнюю часть бака. Более прохладная вода в баке течет вниз в трубки, таким образом обеспечивается циркуляция во всей системе.

В этих системах бак объединен с коллектором и не рассчитан на магистральное давление, поэтому термосифонные системы нужно использовать либо с подачей воды из расположенной выше емкости, либо через уменьшающие давление редукторы. Такая система имеет минимальное гидравлическое сопротивление.

5.1.2.2 Вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде и встроенным теплообменником

Такой коллектор имеет все преимущества и особенности предыдущего типа коллекторов (рисунок 8). Отличием является наличие встроенного в бак *эффективного теплообменника*, что позволяет подсоединить коллектор с баком к напорной сети водоснабжения. При этом в трубках по-прежнему практически нет давления.

Одним из преимуществ также является возможность заполнения водонагревательного контура незамерзающей жидкостью, что позволяет использовать его и при небольших минусовых температурах.



Рисунок 8 - Вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде и встроенным теплообменником

Другим преимуществом является то, что в коллекторе не откладываются соли жесткости и другие загрязнения, так как объем теплоносителя один и тот же, а расходуемая вода проходит только по внутреннему медному теплообменнику.

Другим преимуществом является то, что в коллекторе не откладываются соли жесткости и другие загрязнения, так как объем теплоносителя один и тот же, а расходуемая вода проходит только по внутреннему медному теплообменнику.

5.1.1.2.3. Вакуумный коллектор с термотрубками

Главным элементом солнечных коллекторов данной конструкции является термотрубка закрытая медная труба с небольшим содержанием легкокипящей жидкости (рисунок 9).

Работа высокотехнологичных вакуумных трубок основана на простом принципе тепловой трубки, которая представляет собой полый медный стержень, запаянный с обоих концов, с расширением в верхней части. Внутри него находится нетоксичная жидкость (иноргатик). При нагревании жидкости до температуры кипения она закипает и в парообразном состоянии поднимается в верхнюю часть - наконечник (конденсатор), температура на котором может достигать 250-380 °С. И там конденсируется, отдавая тепло. Конденсат стекает по стенкам трубки вниз и процесс повторяется.

Тепловая трубка вставляется в стеклянную трубу и фиксируется между двумя алюминиевыми ребрами. Форма ребер такова, что площадь их контакта с тепловой трубкой и внутренней поверхностью вакуумной трубы максимальна. Такая модель ребер обеспечивает максимальную передачу тепла к медной тепловой трубке, а потом теплоносителю в проточном теплообменнике. Внутренняя полость тепловой трубки - вакуумирована, поэтому эта жидкость испаряется даже при температуре около 30 °С.



Рисунок 9 - Вакуумный коллектор с термотрубками

При меньшей температуре трубка «запирается» и дополнительно сохраняет тепло.

Тепловая трубка имеет низкую теплоемкость, обладает сверхбыстрой проводимостью (в 200 раз быстрее самого лучшего теплопроводника - серебра).

Максимальная рабочая температура системы с тепловыми трубками может быть управляемой благодаря физическим свойствам жидкости в тепловой трубке и специальной конструкции накопителя. Эти уникальные свойства устраняют необходимость в сложных системах контроля и обеспечивают простую и безопасную эксплуатацию. Данная трубка устойчива к замораживанию и перегреву и работоспособна без повреждений от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+280\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 10 представлена схема работы тепловой трубки.



Рисунок 10 - Схема работы тепловой трубки

Благодаря отличной теплоизоляции вакуумные солнечные коллекторы работают очень эффективно при любых температурах окружающей среды. Преимущество вакуумных коллекторов перед плоскими наиболее очевидно при большей разнице температур теплоносителя в коллекторе и окружающей среды.

Кроме того, следует отметить **преимущества** монтажа вакуумных коллекторов:

- Коллектор монтируется по частям.
- Монтаж трубопроводов и проверка системы проводится до установки вакуумных трубок.

- Монтаж или замена отдельного элемента не влияет на работу системы в целом.

2.1.1.3. Фокусирующий коллектор

Фокусирующий коллектор - это солнечный коллектор, использующий концентраторы для сосредоточения солнечной энергии на теплоприемнике (рисунок 11).



Рисунок 11 - Фокусирующий коллектор с парабоцилиндрическим концентратором

Концентратор солнечной энергии - это оптическое устройство для повышения плотности потока солнечного излучения, основанное на явлениях отражения и преломления лучей. Отражатели должны всегда следить за движением солнца, так как концентрируют только прямую солнечную радиацию. Благодаря увеличению плотности солнечной радиации можно получить более высокую температуру нагрева поглощающей поверхности.

В зависимости от модели солнечное излучение концентрируется в фокусной точке либо вдоль тонкой фокальной линии, где расположен приемник. Жидкость-теплоноситель проходит через приемник и поглощает тепло.

Концентрация солнечной энергии возможна лишь в тех регионах, где преобладает прямая радиация. В местности, где прямая радиация составляет лишь 50 % от глобальной радиации, использование концентрирующих коллекторов следует ограничить.

Различают следующие виды концентраторов.

Парабоцилиндрический концентратор - зеркальный концентратор солнечного излучения, форма которого образована параболой, перемещающейся параллельно самой себе.

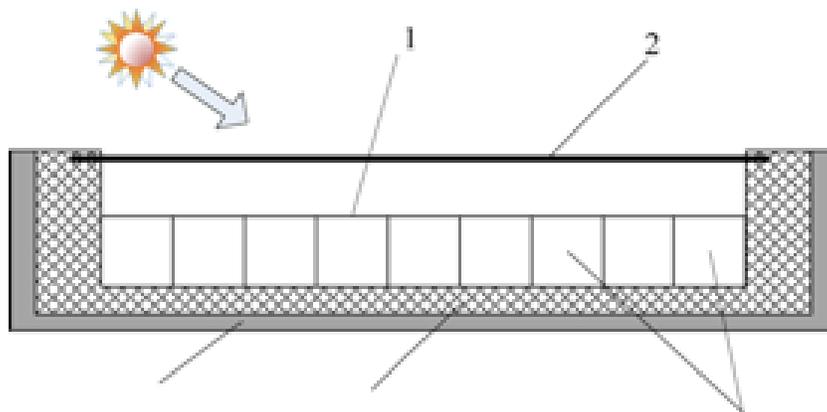
Параболоидный концентратор - зеркальный концентратор солнечного излучения, форма которого образуется при вращении параболы относительно своей оси.

Зеркальный фацетный концентратор - зеркальный концентратор солнечного излучения, состоящий из отдельных зеркал плоской или криволинейной формы, образующих общую отражающую поверхность.

5.1.1.4 Воздушный коллектор

Воздушный коллектор - это солнечный коллектор, служащий для нагрева воздуха (коллектор для отопления, поддержания производственных технологических процессов, реализации солнечных сушилок).

Главное отличие воздушных коллекторов от жидкостных заключается в теплоносителе, роль которого играет обычный атмосферный воздух (рисунок 12). По сути, такой коллектор представляет собой плоскую ребристую панель (нередко - перфорированную) или систему труб из теплопроводящего металла (иногда используется пластик). В таком коллекторе воздух нагревается за счет непосредственного контакта с металлом, а ребристость необходима для увеличения теплоотдачи.



1 - абсорбер с воздушными каналами; 2 - светопрозрачное покрытие; 3 - корпус; 4 - теплоизоляция; 5 - теплоноситель

Рисунок 12 - Конструкция воздушного коллектора

Вся система должна быть надежно теплоизолирована. Размещают воздушный коллектор на южной стене дома, а циркуляция воздуха может быть как естественной, конвективной, так и принудительной (с помощью вентиляторов). Однако, поскольку теплопроводность воздуха довольно невелика, используется подобный коллектор весьма ограниченно.

Воздушный коллектор применяется главным образом в осушительных установках (в сельском хозяйстве), в системах воздушного отопления и в комплексах рекуперации воздуха в помещениях. Таким образом, такие системы нельзя рассматривать как полноценную альтернативу жидкостным коллекторам, но они вполне могут уменьшить общие коммунальные расходы.

Для повышения эффективности таких систем их часто интегрируют в стены зданий еще на этапе проектирования.

5.1.1.5 Солнечный коллектор открытого типа

Открытые солнечные коллекторы представляют собой одну лишь поглощающую панель (без корпуса), которая обычно изготавливается из пластика или резины, стойких к ультрафиолетовому излучению. Эти коллекторы используются в одноконтурных системах для нагрева воды в бассейнах (рисунок 13). Применяются, в основном, в странах с теплым климатом и большим количеством ясных солнечных дней. В солнечном коллекторе открытого типа его поверхность не покрывается стеклом.

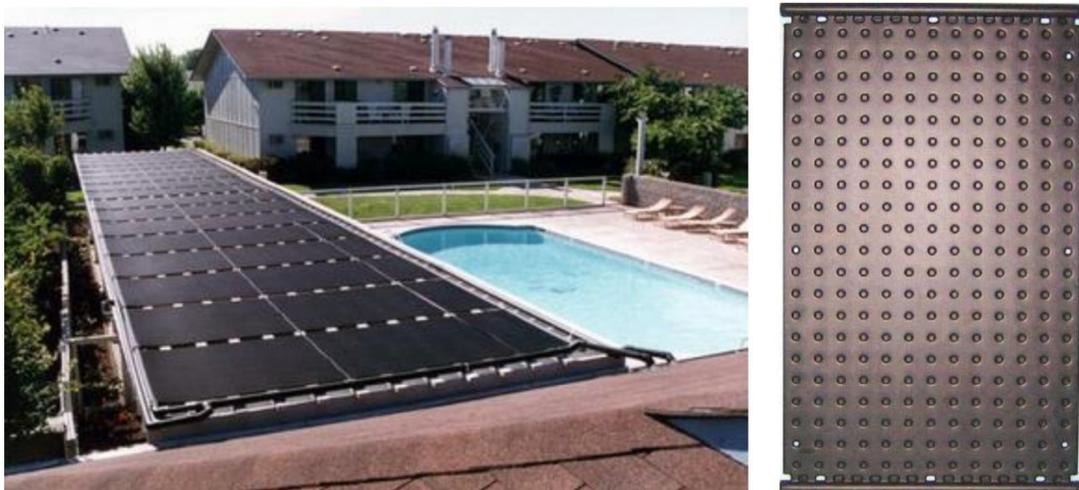


Рисунок 13 – Солнечный коллектор открытого типа

Преимущества открытого коллектора:

- самый высокий потенциально возможный КПД системы;
- простота;
- надежность;
- легкий монтаж;
- малый вес;
- относительно низкая стоимость.

Недостатки:

- значительное снижение КПД с увеличением разницы температур;
- большая зависимость от погодных факторов (облачности, ветра и т. д.);
- ограниченное применение (используется только для бассейнов);
- большая чувствительность к минусовым температурам;
- применяется только для нагрева воды бассейнов и летних душевых;
- малый эффективный срок эксплуатации.

ГЕЛИОСИСТЕМЫ

В связи с интенсивным развитием технологий солнечной энергетики, появилось множество конструктивных решений и вариантов гелиосистем, которые можно классифицировать по различным критериям.

Классификация, получивших наибольшее распространение, гелиосистем по назначению представлена на рисунке 14.

В гелиосистемах с *естественной* циркуляцией теплоносителя движение нагреваемой жидкости между солнечным коллектором и баком-аккумулятором осуществляется не при помощи насоса, а за счет разности плотности жидкости. Такие системы еще называют *термосифонными*. Процесс переноса жидкости происходит естественным образом, для этого необходимо выполнить условие - бак-аккумулятор должен находиться выше солнечного коллектора.

Принцип работы такой системы заключается в следующем: теплоноситель разогревается в солнечном коллекторе под действием солнечной энергии. В момент поступления в радиатор горячего теплоносителя происходит процесс отдачи тепла. То есть,

постепенно нагреваются материалы радиатора, передавая тепло непосредственно в помещение. Далее - остывший теплоноситель вновь замещается горячим. Этот процесс непрерывен. Жидкость циркулирует до тех пор, пока идет ее нагрев - то есть, пока работает котел.



Рисунок 14 - Классификация гелиосистем по назначению

Теплая жидкость обладает меньшей плотностью (меньшим весом), поэтому она всегда устремляется вверх, и тем самым вытесняет более холодную жидкость, находящуюся в баке аккумуляторе выше. При этом происходит накопление тепловой энергии в аккумулярующей емкости. Циркуляция происходит до тех пор, пока разность температуры (соответственно и разность плотностей) жидкости в баке и в коллекторе будет настолько мала, что движущая сила не сможет преодолеть гидравлическое сопротивление в контуре системы.

Преимущества гелиосистем с естественной циркуляцией:

- доступность, экономичность, простота монтажа и эксплуатации. Создание системы отопления с естественной циркуляцией не требует использования насосов или дополнительного оборудования, источников питания, поскольку гидростатический напор возникает самопроизвольно во время движения теплоносителя;
- непрерывность циркуляции теплоносителя. Это обусловлено тем, что постоянно происходит изменение температуры и плотности теплоносителя. При этом благодаря такой цикличности происходит равномерное распределение тепла всеми отопительными элементами, входящими в отопление дома с естественной циркуляцией;
- простота конструкции системы.

Недостатки гелиосистем с естественной циркуляцией:

- низкая эффективность работы системы (особенно в облачные дни, вплоть до полного отсутствия полезной работы), т. к. для того чтобы началось полезное движение теплоносителя, должна быть достаточно большая разница температур;
- высокие тепловые потери из-за низкой скорости движения теплоносителя (воды);
- нестабильная работа коллекторов (существует риск, что при определенных условиях прекратится движение теплоносителя, либо несколько коллекторов не будут участвовать полезной работе);
- возможность частого возникновения опасного перегрева бака, вследствие того, что данная система не управляется;

- необходимость размещения массивного бака-аккумулятора выше верхней точки гелиоколлекторов (например, на крыше);
- в ночное время может возникнуть обратная циркуляция. Для ее предотвращения необходимо предусмотреть обратный клапан;
- при установке бака-аккумулятора на открытом воздухе могут возникнуть большие потери тепла, бак подвергается усиленной коррозии, а также существует риск замерзания бака и патрубков в зимний период.

Главной отличительной особенностью гелиосистем с *принудительной* циркуляцией является насос, который встроен в контур теплоносителя. Он обеспечивает циркуляцию теплоносителя через солнечный коллектор. Это позволяет увеличить производительность гелиосистемы в среднем на 30 % по сравнению с системами с естественной циркуляцией (с учетом потребления энергии насосом).

Для того чтобы система отопления с принудительной циркуляцией работала эффективно, при ее планировании необходимо учитывать следующие параметры:

- мощность котла и радиаторов;
- диаметр и продолжительность трубопровода;
- скорость перемещения теплоносителя.

При выборе насоса следует учитывать, что он должен соответствовать трем основным параметрам:

- надежность;
- невысокий уровень производимого шума (вибрации);
- поддержка требуемой для качественного обогрева скорости теплоносителя.

При замкнутом контуре насос перекачивает одно и то же количество воды. При этом давление и на входе в насос, и на выходе жидкости из него различается несущественно. Использование циркуляционного насоса позволяет поддерживать постоянный уровень теплоносителя в расширительном баке.

Правильная работа насоса предусматривает одно важное требование - во время его работы в трубопроводе, подающем горячий теплоноситель, непременно должно быть гидростатическое давление. Его наличие означает отсутствие возможности подсоса воздуха.

Для контроля работы насоса в систему всегда устанавливается контроллер. Солнечный тепловой контроллер является обязательным элементом гелиосистем с принудительной циркуляцией теплоносителя. Он предназначен для управления процессом нагрева от солнца, регулирования расхода теплоносителя и контроля состояния гелиосистемы. Контроллер получает информацию от датчиков температуры (один из которых устанавливается на выходе из солнечного коллектора) и регулирует работу циркуляционного насоса таким образом, чтобы предотвратить обратное рассеивание теплоты через коллектор в пасмурную погоду и ночное время. Контроллер также подает сигнал для включения насоса при минимально возможной разнице температур между окружающим воздухом и баком-аккумулятором, а также отключает его при отсутствии необходимости нагрева бака.

Современный микрокомпьютерный контроллер для солнечных водонагревателей с цветным дисплеем показывает не только уровень и температуру воды, режимы работы электронагревателя, но и ряд других показателей. Он осуществляет интеллектуальный контроль и автоматическую работу системы и включает:

- таймер загрузки воды;
- таймер подогрева воды;
- ручное и автоматическое управление;
- в автоматическом режиме выдачу команды на заполнение бака водой, регулировку уровня воды в баке (открывает и закрывает электромагнитный клапан подачи воды из водопровода, обеспечивает постоянное пополнение бака водой из водопровода по мере ее

потребления, поддерживает установленный уровень воды в баке, сигнализирует о низком уровне воды в баке, предохраняет от утечки);

- в автоматическом режиме поддержку заданной температуры воды, обеспечивая постоянный подогрев, а также возможный подогрев отводящего трубопровода при низких температурах окружающей среды;

- контроль давления напора воды и автоматическое включение в работу насоса на входе в систему при низком давлении воды;

- предоставление потребителю простого контроля над параметрами системы, обеспечивая безопасность и практичность.

Расширительный бак в отопительной системе - достаточно важный элемент, который используется для сохранности целостности системы при чрезмерном нагреве воды.

В современных отопительных системах используется расширительный бак закрытого типа, оснащенный специальным клапаном, при помощи которого можно снизить уровень давления в воздушной камере путем спуска излишков воздуха в атмосферу.

Преимущества гелиосистем с принудительной циркуляцией:

- в результате принудительной циркуляции теплоносителя, система работает на 30 % эффективнее системы с естественной циркуляцией;

- бак-аккумулятор можно устанавливать в любом удобном месте;

- возможность эффективной работы круглогодично;

- система быстро настраивается на оптимальный режим работы;

- легко и удобно контролируется работа системы;

- система является более безопасной, так как контроллер отображает и блокирует опасные режимы работы.

Недостатки гелиосистем с принудительной циркуляцией:

- необходимость установки дополнительного оборудования (насосного модуля и контроллера);

- дополнительное, но незначительное потребление электроэнергии циркуляционным насосом.

Общая эффективность и безопасность гелиосистемы в значительной мере зависят от контроллера, правильности заложенных алгоритмов работы гелиосистемы, надежности элементов.

Одноконтурные гелиосистемы

Одноконтурные гелиосистемы предназначены для нагрева воды в период, когда температура наружного воздуха выше нуля (весна, лето, осень). В одноконтурных системах в солнечные коллекторы поступает и нагревается вода, которая расходуется из бака-аккумулятора на бытовые нужды при отоплении дома.

К ***достоинствам*** одноконтурных систем относятся:

- простота конструкции, обслуживания и эксплуатации;

- возможность получения самого высокого (на сегодняшний день) КПД системы в целом.

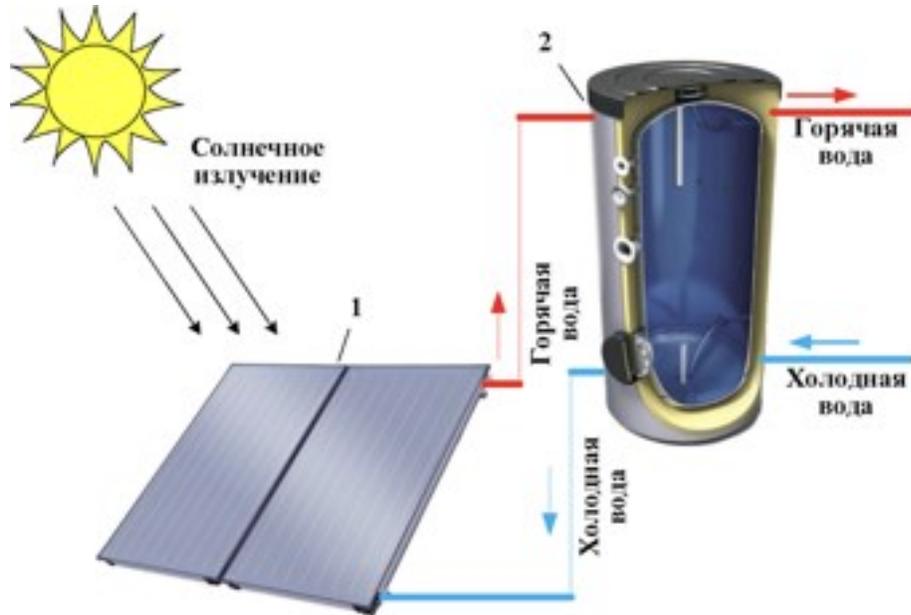
Недостатки одноконтурных систем:

- высокие требования к качеству воды (желательны низкая жесткость и высокая степень ее очистки), так как на стенках каналов солнечного коллектора оседают соли, каналы могут засориться намываемой грязью, это приводит к значительному ухудшению эффективности или даже к полному выходу коллектора из строя (если вовремя не прочистить каналы, что в ряде случаев бывает очень затруднительно);

- повышенная коррозия из-за наличия растворенного в воде воздуха;

- сезонность работы (невозможность нормальной работы системы при отрицательных температурах вследствие опасности разрыва труб замерзшей водой);
- непродолжительный эффективный срок эксплуатации (практически не более 3-5 лет).

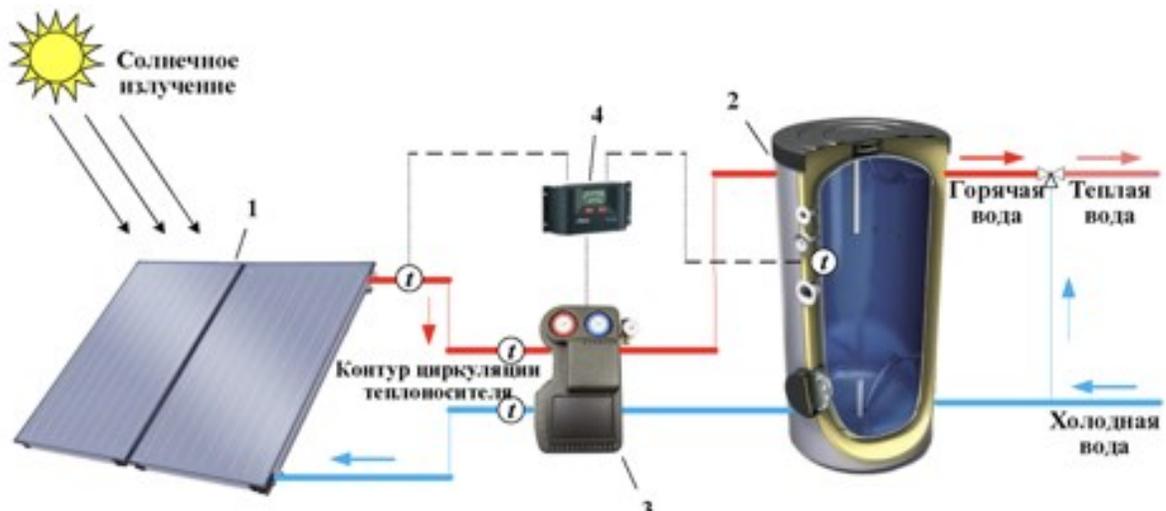
В одноконтурных системах с естественной циркуляцией (рисунок 15) коллектор (1) напрямую подключен к баку-аккумулятору (2).



1 - коллектор; 2 - бак аккумулятора

Рисунок 15 - Схема одноконтурной гелиосистемы с естественной циркуляцией теплоносителя

В схеме одноконтурной гелиосистемы с принудительной циркуляцией (рисунок 16), кроме солнечного коллектора (1) и бака-аккумулятора (2), присутствуют насосная станция (3) и контроллер (4).



1 - солнечный коллектор; 2 - бак аккумулятора; 3 - насосная станция; 4 - контроллер

Рисунок 16 - Схема одноконтурной гелиосистемы с принудительной циркуляцией теплоносителя

Двухконтурная гелиосистема

Двухконтурные гелиосистемы предполагают наличие двух контуров.

В двухконтурных гелиосистемах в контуре солнечных коллекторов находится специальный теплоноситель (обычно незамерзающая нетоксичная жидкость с антикоррозионными и антивспенивающими присадками), при этом тепловая энергия от теплоносителя передается воде с помощью теплообменника (спиральная труба в баке - «змеевик», внешний теплообменный аппарат или «бак в баке»). Такие системы имеют несколько меньший КПД, но могут эксплуатироваться при отрицательных температурах наружного воздуха. Кроме того, специальный теплоноситель не вызывает коррозии коллектора и не происходит отложение солей жесткости, как в случае использования в качестве теплоносителя воды из скважины.

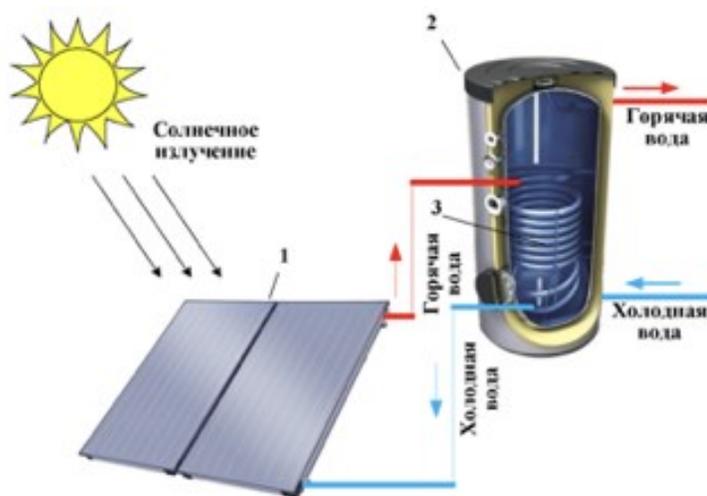
Достоинства двухконтурных систем:

- повышенная надежность работы (солнечные коллекторы всегда в хорошем состоянии, так как в них исключены причины осаждения солей и грязевых отложений);
- безопасность работы при отрицательных температурах;
- не требуют дополнительного обслуживания;
- более длительный (чем у одноконтурных систем) гарантированный эффективный срок эксплуатации (от 10 до 50 лет).

Недостатки двухконтурных систем:

- незначительное снижение эффективности работы, по сравнению с одноконтурными системами вследствие наличия дополнительных тепловых потерь в коллекторах и трубопроводе, а также из-за необходимости применения теплообменника (около 2-5 %);
- если применяется незамерзающий теплоноситель, то также незначительно ухудшается эффективность системы из-за более низкой его теплопроводности (по сравнению с водой);
- необходимость периодической замены теплоносителя (проверка состояния выполняется каждые 6-7 лет с возможной заменой).

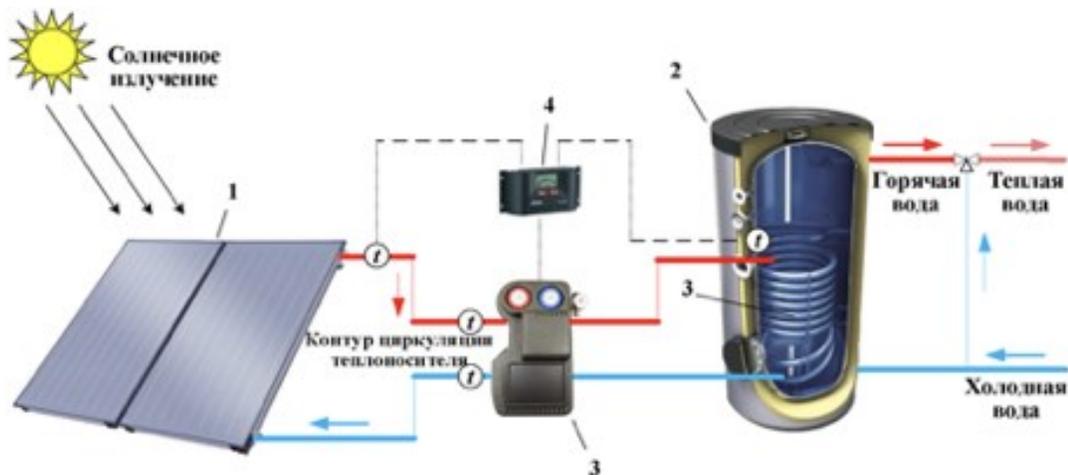
В двухконтурных системах с естественной циркуляцией (рисунок 17) к коллектору 1 в баке-аккумуляторе 2 встраивают теплообменник 3. Вместо теплообменника может использоваться бак с двойным корпусом, где пространство внутреннего бака помещено в «рубашку» наружного. В таком случае в качестве теплоносителя используется антифриз на основе пропиленгликоля.



1 - коллектор; 2 - бак аккумулятора; 3 – теплообменник

Рисунок 17 - Схема двухконтурной гелиосистемы с естественной циркуляцией теплоносителя

В двухконтурной гелиосистеме с принудительной циркуляцией (рисунок 18), помимо солнечного коллектора 1, бака-аккумулятора 2 и теплообменника 5, присутствует насосная станция 3 и контроллер 4.



1 - солнечный коллектор; 2 - бак аккумулятор; 3 - насосная станция; 4 - контроллер; 5 - теплообменник

Рисунок 18 - Схема двухконтурной гелиосистемы с принудительной циркуляцией теплоносителя

Особенности применения вакуумных трубчатых и плоских коллекторов в гелиосистемах

Необходимо отметить следующие особенности применения вакуумных трубчатых и плоских коллекторов в гелиосистемах:

1. Солнечные коллекторы работают весь световой день, при пасмурной или облачной погоде.

2. Трубчатый коллектор работает при рассеянном излучении, в том числе в зимний период и в пасмурную погоду, так как он способен абсорбировать диффузионную радиацию благодаря высокоселективной абсорбционной поверхности.

3. При равенстве площади воспринимающей поверхности, вакуумный коллектор имеет мощность почти в 2 раза больше, чем плоский, так как он адсорбирует полное излучение даже с задней поверхности вакуумной трубки. Этот эффект можно усилить, если располагать за коллектором отражающую поверхность. Отражение от снега также увеличивает выработку тепла вакуумным коллектором.

4. Высокая мощность коллектора позволяет достичь 70 % экономии электроэнергии, необходимой для обогрева технологической воды.

5. Вакуумные трубки обладают высокой стойкостью относительно механического повреждения, так как они изготовлены из упрочненного боросиликатного стекла с толщиной стенки 2,5 мм.

6. Вакуумные трубки обладают высокой стойкостью относительно внешнего загрязнения благодаря их цилиндрической форме и расстоянию между ними - это позволяет снегу, листьям, веткам, пыли и т. п. проходить между трубками под коллектор и таким образом давать коллектору возможность работать максимально эффективно без необходимости технического ухода.

7. Вакуумный коллектор обладает меньшей парусностью (препятствие ветру), так как вакуумные трубки находятся на расстоянии друг относительно друга и дают возможность

продува ветра между ними. Плоский коллектор, наоборот, должен противостоять ветру всей своей поверхностью - этим самым прочность конструкции плоского коллектора должна быть существенно выше, чем вакуумного.

8. Вакуумный коллектор с тепловыми трубками очень просто устанавливается. Подсоединение трубок происходит сухим путем, т. е. без прямого контакта с рабочей жидкостью солнечного контура - в результате этого возникает надежное подсоединение трубок, которое позволяет также производить замену отдельных трубок в ходе эксплуатации коллектора подавлением.

9. Трубчатый коллектор имеет незначительные тепловые потери, так как внутри вакуумных трубок находится вакуум $5 \cdot 10^{-3}$ Па. Поэтому температура окружающей среды оказывает на мощность вакуумного коллектора влияние лишь в очень незначительной степени. По этой причине вакуумная трубка не нагревается даже несмотря на то, что теплоноситель в контуре солнечного коллектора нагревается, например, до 150°C .

10. В случае плоских коллекторов внутри коллектора находится не вакуум, а теплоизоляция и воздух, которые не обладают такими теплоизоляционными характеристиками, как вакуум. Поэтому при низких температурах плоский коллектор должен сначала подогреть «самого себя» и лишь затем он способен передавать тепло теплоносительной жидкости в системе солнечного нагрева.

5.1.2 Солнечный пруд

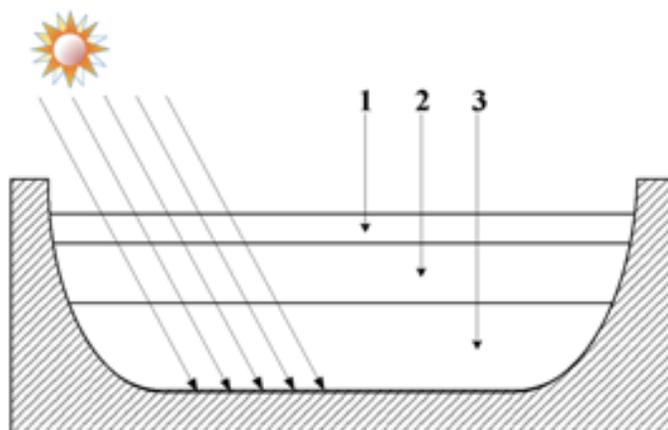
Солнечный соляной пруд - это неглубокий (2-4 м) бассейн с крутым рассолом в нижней его части, у которого в нижнем придонном слое температура под действием солнечной радиации достигает 100°C и даже выше. На 1 м площади пруда требуется 500-1000 кг поваренной соли, её можно заменить хлоридом магния.

Физической основой возможности получения таких высоких температур вблизи дна пруда является подавление гравитационной конвекции - всплытия нагретой солнцем вблизи дна жидкости вверх под действием архимедовой силы, если плотность жидкости падает с ростом температуры. Чистая и слабосоленая (в том числе морская) вода подчиняется этому закону: по мере нагрева из-за термического расширения плотность уменьшается и нагретая вода всплывает вверх, отдавая тепло воздуху, а её место замещает холодная. Устанавливается непрерывный процесс конвекции с переносом теплоты от нагретого солнцем дна вверх и отдачи её воздуху. Именно поэтому вода в море не нагревается выше $25-30^\circ\text{C}$.

В солнечном пруду такой конвекции нет, потому что у крутосоленого рассола большой плотности, находящегося у дна, по мере нагрева плотность повышается из-за роста растворимости соли в воде и этот эффект пересиливает действие расширения жидкости. Соль в горячей воде растворяется быстрее, чем в холодной, в основном благодаря диффузии. Следовательно, при нагреве придонного слоя кристаллы соли быстрее переходят в рассол, увеличивая его плотность, в результате чего нижние слои воды могут значительно нагреваться.

Верхний слой 1 (рисунок 19) пруда состоит из пресной воды, с толщиной обычно 0,10,3 м, где подавить перемешивание жидкости не удастся. Сказывается действие ветра, неравномерного загрязнения поверхности и других причин. Этот слой называется *верхней конвективной зоной*, а его толщина должна быть как можно меньше и чище. Поверхность солнечного соляного пруда должна быть без ряби, чтобы снизить потери излучения, входящего в воду. Солнечное излучение, которое поглотилось в верхней конвективной зоне,

представляет собой потери энергии, так как она легко уносится с поверхности ветром и за счет испарения воды.



1 - пресная вода; 2 - изолирующий слой с увеличивающейся к низу концентрацией рассола; 3 - слой горячего рассола

Рисунок 19 - Схема солнечного соляного пруда

Ниже находится *градиентный слой 2* (рисунок 19) - изолирующий слой с увеличивающейся к низу концентрацией рассола. Именно здесь создается «термоклин» и «галоклин» резко неравномерное распределение и температуры, и солености при полном отсутствии перемешивания, если пруд работает устойчиво. От толщины градиентного слоя - неконвективной зоны - сильно зависят все характеристики пруда. Термическое сопротивление градиентного слоя в 1000 раз выше сопротивления пресной воды при наличии свободной конвекции.

В *придонном слое 3* (рисунок 19) находится зона накопления энергии, состоящая из слоя горячего рассола, или конвективная зона, где допустимо перемешивание. Её толщина также влияет на показатели пруда - в основном на его тепловую инерцию. Полезной энергией пруда является теплота, аккумулированная в этом слое.

Преимущества солнечных соляных прудов перед другими солнечными установками: относительная дешевизна, утилизация большого количества солнечной энергии благодаря высокой теплоемкости, простота в изготовлении.

В летний период солнечный соляной пруд может быть использован для горячего водоснабжения. В зимний период придонные слои могут прогреваться до 10-15 °С, что позволяет его использовать для отопления зданий с применением тепловых насосов парокомпрессионного типа.

5.1.3 Солнечные опреснители

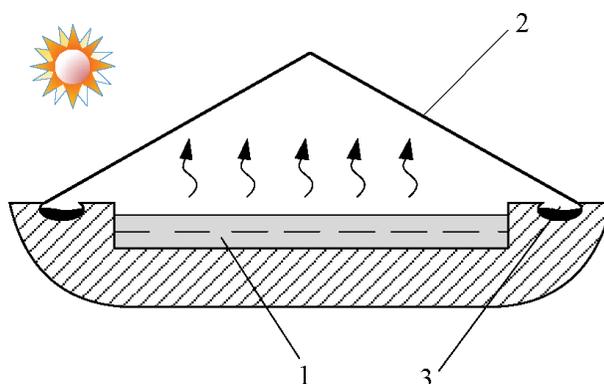
Солнечные опреснители - это устройства для опреснения воды (методом термодистилляции) с использованием энергии солнечного излучения. Применяется в местностях, где дефицит пресной воды сочетается с достаточными запасами соленой.

Существующие типы солнечных установок для опреснения морской воды и обессоливания минерализованной воды можно разделить на три группы:

1. Опреснители бассейнового типа, в которых солнечная энергия используется непосредственно для испарения воды в процессе дистилляции. В качестве дополнительного источника энергии может использоваться, например, нагретая охлаждающая вода (рисунок 20).

2. Установки с процессами увлажнения воздуха и конденсации паров и многократным использованием солнечной энергии в многоступенчатых или параллельно включенных расширителях-испарителях, при этом перенос водяных паров осуществляется вследствие конвекции воздуха.

3. Установки, в которых источником энергии служит солнечная радиация, но принцип работы их подобен обычным топливным опреснительным установкам, причем движение рабочей жидкости и водяных паров осуществляется с помощью насоса и вакуум-насоса.



1- бассейн с морской водой; 2 - прозрачная крышка бассейна; 3 - желоб для сбора конденсата

Рисунок 20 - Устройство солнечного опреснителя бассейнового типа

5.1.4 Солнечные печи для приготовления пищи

Солнечные печи для приготовления пищи - это устройства для использования солнечного света в процессе приготовления пищи без использования топлива или электроэнергии.

В зависимости от типа конструкции, можно выделить два основных вида солнечных печей:

1. Коробочная солнечная печь.
2. Солнечная печь с зеркалом-концентратором.

Коробочная печь применяется для небыстрого приготовления пищи в большом количестве.

Коробочная печь состоит из хорошо изолированной коробки, окрашенной внутри в черный цвет, в которую помещают кастрюли с пищей.

Коробка накрывается двухслойным «окном», которое пропускает солнечное излучение в ящик и удерживает тепло внутри. Вдобавок к нему крепится крышка с зеркалом на внутренней стороне, которая, будучи откинутой, усиливает падающее излучение, а в закрытом виде улучшает теплоизоляцию печи (рисунок 21)



Рисунок 21 – Коробочная солнечная печь

Так как тепло, поглощенное внутренней поверхностью коробки, должно передаваться кастрюлям, лучший материал для коробки - алюминий, обладающий высокой теплопроводностью. К тому же, алюминий не подвержен коррозии.

Внешняя коробка солнечной печи может быть изготовлена из дерева, стеклопластика или металла. Алюминиевые листы в сочетании с деревянными креплениями образуют наиболее качественную поверхность, устойчивую к механическим воздействиям, перепадам температуры и влажности.

Печь с параболическим концентратором изготавливают в виде вогнутого зеркала, посуда для приготовления пищи при этом помещается в фокусе солнечных лучей (рисунок 22).



Рисунок 22 - Солнечная печь с параболическим концентратором

В основном такая печь служит для приготовления малого объема еды в течение короткого времени.

Главный недостаток такой печи состоит в регулярном поворачивании зеркальной поверхности к солнцу, что может явиться причиной ожогов слизистых глаз и рук.

5.1.5 Промышленные солнечные печи

Промышленные солнечные печи - это солнечные печи, используемые в промышленности для обеспечения технологических процессов (плавка металлов, высокотемпературного пластика и др.) (рисунок 23).

Большая солнечная печь представляет собой сложный оптико-механический комплекс с автоматической системой управления, состоящей из гелиостатного поля и параболоидного концентратора, формирующих в фокальной зоне концентратора (технологическая башня) лучистый стационарный поток высокой плотности. Концентратор фокусирует отраженные гелиостатным полем солнечные лучи на фокальную зону, где создается высокоэнергетическая область. Фокальная область расположена в технологической башне, где устанавливаются специальные приборы и оборудование.



Рисунок 23 - Солнечная печь в Узбекистане