

ソーラーハウスの常識

С.Танака Р.Суда

**Жилые дома
с автономным
солнечным
теплохладо-
снабжением**



Москва
Стройиздат

ソーラーハウスの常識

東海大学・工学博士 田中俊六 共著
日本環境技研(株) 須田禮二

オーム社

С.Танана Р.Суда

Жилые дома с автономным солнечным теплохладо- снабжением

Перевод с японского
Е.Н. Успенской

Под редакцией д-ра техн. наук,
проф. М.М. Колтуна
канд. техн. наук Г.А. Гухман

Москва Стройиздат 1989

Суда Р. Жилые дома с автономным теплохладоснабжением/Пер. с яп. Е.Н.Успенской; Под ред. М.М.Колтуна, Г.А.Гухман. – М.: Стройиздат, 1989. – 184 с.:ил. – Перевод изд.: Solar House Primer/S.Tanaka, R.Suda. OHMSHA, Ltd, Tokyo, 1983. – ISBN 5-274-00485-7

Книга авторов Японии посвящена важной проблеме – экономическому использованию солнечной энергии для теплохладоснабжения жилых домов. Приведены технические решения ряда систем теплохладоснабжения, реализованные при строительстве индивидуальных и многоквартирных домов.

Для научных и инженерно-технических работников.

Табл. 12, ил. 151, список лит.: 29 назв.

Рецензент – канд. техн. наук И.Н.Бутовский

Т $\frac{3309000000 - 235}{047(01) - 89}$ 156 – 89

ISBN 5-274-00485-7 (СССР)
ISBN 4-274-09992-X (Япония)

© オーム社, 1983

© Предисловие и послесловие
к русскому изданию.
Перевод на русский язык,
Стройиздат, 1989

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Лежащая перед Вами книга содержит разнообразные сведения об устройстве, принципах действия и характеристиках солнечных установок, предназначенных в основном для отопления и горячего водоснабжения жилых домов. Даже беглый просмотр помещенных в книге рисунков и фотографий солнечных домов может убедить читателя, что ученые и инженеры наших дней не только создали устройства, способные экономить дорогостоящее минеральное топливо благодаря разумному использованию энергии солнечного излучения, но и удачно вписали их в облик современных зданий.

Часто говорят, что новое — хорошо забытое старое. Как ни странно, к солнечной тепловой энергетике эти слова тоже относятся. Раскопки археологов показали, что в стенах бань и некоторых других построек Древнего Рима были проложены каналы, по которым проходил теплый воздух от нагреваемой солнечным излучением части зданий и создавал равномерную комфортную температуру во всех помещениях.

Несомненно, открытия науки XX в. позволяют значительно эффективнее решить ту же самую проблему, однако следует помнить, что необходимые любому человеку и каждой семье на земле жилые помещения (и системы их отопления и кондиционирования) должны быть не только прочными, удобными и красивыми, но и достаточно дешевыми, простыми в эксплуатации, надежными, что накладывает определенные ограничения на выбор строительных материалов и требует простоты инженерного решения всех элементов солнечных домов.

Именно с этой точки зрения предлагаемая читателю книга превосходит известные в научной литературе издания, посвященные солнечным домам.

Авторы приводят краткие сведения о высокоэффективных, но пока дорогостоящих системах, позволяющих увеличить эффективность поглощения и преобразования солнечного излучения в другие формы энергии, однако основное место в книге отведено солнечным устройствам, которые могут быть сделаны сравнительно несложным способом небольшими предприятиями и организациями. Некоторым разделам книги можно даже предпослать подзаголовок: "Сделайте сами!"

Будем надеяться, что разнообразие приведенных в книге конструкций солнечных домов, их экономичность, оригинальный внешний вид вдохновят и советских читателей — как профессиональных инженеров и архитекторов, так и любителей самодеятельного технического творчества — на создание множества солнечных установок для отопления и горячего водоснабжения, на разработку новых конструкций зданий, выполненных с учетом климатических условий различных регионов нашей страны. Для читателей, интересующихся направлениями дальнейших поисков ученых в этой новой области науки и техники, в послесловии к книге приводятся оценки технической и экономической целесообразности некоторых перспективных (но более сложных) конструкций солнечных домов, в частности домов с полупроводниковыми солнечными батареями на крыше, позволяющими получать от Солнца не только тепловую, но и электрическую энергию. В конце книги представлен также список дополнительной литературы, рекомендуемой для более углубленного изучения вопросов, затронутых в настоящей книге.

Д-р техн. наук, проф. М.М.Колтун

ПРЕДИСЛОВИЕ

Представление о солнечном доме, т.е. доме, в котором теплохладоснабжение и горячее водоснабжение осуществляются при помощи солнечной энергии, в настоящее время стало широко известно не только архитекторам и специалистам по теплохладоснабжению, но и многим людям других профессий. Радостно сознавать, что идея использования солнечной энергии воспринимается очень благожелательно и на ее практическое осуществление возлагаются большие надежды. Это вполне согласуется со стремлением людей создать здоровое природное окружение, в котором солнечное излучение будет играть большую роль в решении проблемы экономии топлива и предотвращения загрязнения окружающей среды.

Настоящих солнечных домов, где полностью отработаны системы отопления и охлаждения, еще сравнительно немного, и сделать их экономически оправданными совсем не просто. Однако очевиден тот факт, что природных запасов нефти и угля на земном шаре не хватит на длительный срок и дальнейший технический прогресс неразрывно связан с необходимостью экономии энергии, поэтому в будущем, несомненно, жилые дома в той или иной степени будут приобретать облик солнечных домов. Не случайно сейчас ставится вопрос не только об использовании солнечной энергии в установках будущего, но и о постепенном переходе от ограниченного практического применения гелиосистем к их массовому распространению.

Идея преобразования солнечной энергии в тепловую в Японии возникла до нынешних дней дважды (причем в весьма бурной форме, как это имеет место в настоящее время) — сразу же после окончания второй мировой войны и в 60-е годы. Оба раза эта идея наталкивалась на незрелость инженерных решений, а поскольку в тот период не стоял так остро вопрос об ограничении загрязнения окружающей среды, то появление дешевых видов топлива отодвигало на задний план проблему использования солнечной энергии, и интерес к ней угасал.

В настоящее время в Японии ежегодно продается около 500 000 солнечных водонагревателей и монтируется приблизительно 100 000 установок горячего водоснабжения с принудительной и естественной циркуляцией воды. Можно сказать, что уже закладывается фундамент гелиотехнической промышленности. Создание важнейших узлов коллекторов и холодильных агрегатов для отопления и охлаждения солнечных домов и разработка проектных и технических решений гелиотехники шагнули по сравнению с прошлым на качественно новую ступень. Следует ожидать, что именно сейчас произойдет переход к новому этапу их широкого внедрения.

Говоря о солнечных домах и гелиосистемах, нужно отметить, что системы горячего водоснабжения, отопления и теплохладоснабжения как по своему техническому уровню, так и по показателям экономичности резко различаются между собой, и нет ничего удивительного в том, что одна и та же система горячего водоснабжения или отопления в

зависимости от качества ее отдельных узлов и проектного исполнения может различаться по показателям экономичности в 2—3 раза. Производители гелиосистем зачастую рекламируют только их положительные стороны; потребители и проектировщики, как правило, выбирают гелиосистемы почти наугад. В целом внедрение их в жизнь осуществляется с перспективой на скорейшее их использование.

Мы считаем, что на данном этапе очень важно выяснить, что возможно и что невозможно получить с помощью этих систем, и обобщить всю имеющуюся информацию.

Солнечным домам и гелиосистемам посвящена достаточно обширная техническая литература, в том числе справочная. Однако трудов, в которых для неспециалистов популярно изложены проблемы гелиотехники, а для специалистов отражено истинное положение вещей в этой области, очень мало.

В настоящей книге поставлена цель объяснить в доступной форме гелиотехнические проблемы, связанные с солнечными домами (известные сейчас только специалистам по использованию солнечной энергии для теплоснабжения жилых домов), всем, кто хочет построить солнечные дома. Мы будем способствовать практическому распространению и внедрению в жизнь солнечных домов и гелиосистем.

ГЛАВА I ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СОЛНЕЧНЫХ ДОМАХ

1.1. СОЛНЕЧНЫЕ ДОМА

Принято считать, что понятие "солнечный дом" впервые появилось в Америке в 30-е годы. В то время среди различных течений в дизайне жилищного строительства возникло новое направление по созданию архитектуры жилых домов, планировка которых предусматривала большие застекленные пространства, оказывающие благоприятное влияние на здоровье человека. По всей вероятности, тогда еще не стояла проблема экономии энергии. В Японии термин "солнечный дом" был заимствован дословно "Solar House", и в последнее время он широко используется в газетах, журналах и телепередачах.

Неправильно считать, что термином "солнечный дом" обозначается жилой дом строго определенного типа. Если предположить, что под солнечным домом подразумевается жилое здание в котором эффективно используется солнечное тепло, то, вероятно, традиционный деревянный японский дом вполне подходит под это понятие.

Можно сказать, что мудрость наших предков отразилась в конструктивном решении и планировке дома. Удачно расположенная веранда и "сёдзи"¹ обеспечивают проникание в глубь помещения теплых солнечных лучей в зимнее время, когда солнце стоит низко, а летом, в период высокого солнцестояния выступающий над верандой навес защищает внутреннее пространство дома от тепла солнечного излучения. Не только японские дома, но и жилища американских индейцев, расположенные в пещерах с южной стороны огромных гор, тоже, наверное, можно назвать "солнечными домами".

В последнее время появились жилые дома, в которых для горячего водоснабжения и отопления используются специальные устройства, собирающие солнечное излучение и преобразующие его в тепло. Такие дома получили название солнечных домов с активной системой солнечного теплоснабжения. Одно-временно стали строить и здания, в которых не предусмотрено применение солнечных коллекторов или других специальных устройств, а использование солнечного тепла обеспечивается за счет конструктивных решений. Такие здания называют солнечными домами с пассивной системой солнечного теплоснабжения. В настоящее время они привлекают к себе большое внимание.

Если говорить о пассивной системе солнечного теплоснабжения, то принципиальная ее особенность состоит не столько в

¹ Сёдзи – скользящая подвижная дверь, оклеенная бумагой. (Примеч. ред.)

том, что исключается применение солнечных коллекторов, сколько в отказе от использования в процессе собирания и передачи солнечного тепла таких устройств, как вентиляторы и насосы, которые требуют внешних источников энергии. Кроме того, передача тепла, его аккумулялирование и подача потребителю осуществляются исключительно на основе естественной циркуляции, теплопроводности и излучения¹.

Встречаются и такие проекты домов, в которых соединены принципы обеих систем, т.е. дома с гибридной системой солнечного теплоснабжения, где одновременно с пассивной системой применяют небольшие насосы и другие простые механизмы.

Вспомним историю появления солнечных домов в Японии. Как известно, первый солнечный дом в Японии был построен в 1956 г. архитектором Янагимати. К сожалению, на следующий год после завершения строительства случился пожар, во время которого этот солнечный дом сгорел, так что сейчас нельзя его увидеть. В 1958 г. архитектор Янагимати построил второй солнечный дом, который существует и поныне. В этом доме в качестве кровельного материала были использованы коллекторные панели без остекления, сделанные из алюминиевых плит, полученных прокаткой и окрашенных в черный цвет. Собираемое плитами солнечное тепло с температурой 10–20°C при помощи теплового насоса доводилось до 40–50°C и использовалось для отопления дома. Летом в ночное время коллекторные панели работали как излучающие радиаторы. Эта система вызвала интерес во всем мире.

Затем было построено несколько солнечных домов в одном из жилых районов и начаты работы на экспериментальных установках в промышленной лаборатории г. Нагоя и в Университете Токай. Однако до 1970 г. были известны лишь отдельные попытки сооружения солнечных домов, которые предпринимались отдельными энтузиастами.

В 1972 г. проф. Кимура из Университета Васеда осуществил строительство солнечного дома с солнечными коллекторами, выполненными из медных листов (плит) и медных труб². Так как вскоре разразился первый нефтяной кризис, интерес к использованию солнечного излучения как к возможному источнику тепловой энергии повсеместно возрос.

Именно к этому периоду относится сооружение экспериментального солнечного дома со специально созданными солнечными коллекторами и солнечного дома Кусака, построенного Научно-техническим департаментом.

¹ В соответствии с терминологией, принятой в нашей литературе, система солнечного теплоснабжения, в которой используются коллекторы, называется активной независимо от наличия или отсутствия в ней насосов и вентиляторов. В первом случае говорят об активной системе с принудительной циркуляцией теплоносителя, во втором — об активной системе с естественной (термосифонной) циркуляцией (Примеч. ред.)

² Такие коллекторы обычно называют плоскими солнечными коллекторами типа "лист-труба". (Примеч. ред.)

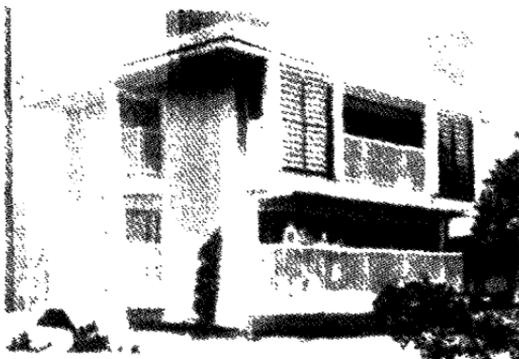


РИС. 1.1. СОЛНЕЧНЫЕ ДОМА

Хираката (активная система солнечного теплохладоснабжения); Балкома (пассивная система солнечного отопления)

Затем в рамках проекта использования солнечной энергии "Солнечный свет", разработанного Министерством торговли и промышленности, началось строительство различными фирмами экспериментальных гелиоустановок. Были сделаны попытки осуществить подобное строительство силами местных муниципалитетов. В настоящее время имеется довольно много примеров практического использования таких установок в жилищном строительстве.

1.2. ЖИЛЫЕ ЗДАНИЯ, ОБОРУДОВАННЫЕ ТОЛЬКО СОЛНЕЧНЫМИ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯМИ

Во второй половине 30-х годов в Японии, преимущественно в сельских районах, получили широкое распространение солнечные водонагреватели, выполненные в виде стационарных установок открытого типа с системой периодической подачи и распределения воды¹. Эти водонагреватели представляли собой небольшие пакеты из виниловой или полиэтиленовой пленки, наполненные водой, которые размещались на горизонтальной плоскости, причем одновременно монтировалось более 1 млн таких пакетов.

Однако зимой в холодную погоду такими установками было невозможно пользоваться, срок их годности не превышал 2-3 лет, поэтому вскоре они практически вышли из употребления, тем более что появилось дешевое нефтяное топливо. Лишь в отдельных районах продолжали применять солнечные водонагреватели такого типа.

В 1974 г. разразился первый нефтяной кризис, изменивший ситуацию с нефтяным топливом, поэтому взоры возможных потребителей вновь обратились к солнечным водонагревателям, и они снова стали применяться во многих домах. Поскольку у ранее распространенных установок типа стационарной "откры-

¹Точнее было бы назвать эти установки системами не открытого, а разомкнутого типа, ибо в них отсутствует контур непрерывной циркуляции воды. (Примеч. ред.)

той” системы с периодической подачей и распределением воды КПД в зимний период был низким (к тому же там легко образовывались водоросли), в последнее время обычно используются закрытые водонагреватели с непрерывным поступлением воды. В этих установках вода находится в закрытой емкости, которая монтируется под определенным углом к горизонту, так что в течение года солнечное излучение поступает на коллекторную поверхность вертикально или почти вертикально, за счет чего повышается коэффициент усвоения солнечного излучения установкой в зимнее время и предотвращается возможность появления водорослей.

Подобные солнечные водонагреватели, установленные, как правило, в определенном месте на крышах жилых домов, можно увидеть не только в сельских районах, но и в центре городов. Трудно сказать, можно ли жилые дома, оборудованные такими водонагревателями, называть солнечными.

Если говорить о солнечных домах в широком смысле слова (см. разд. 1.1), то жилые дома, оборудованные одним лишь солнечным водонагревателем или системой горячего водоснабжения, также, по-видимому, могут быть включены в это понятие.

Однако, когда мы говорим конкретно о солнечном доме, то представляем себе его как жилое здание, в котором с помощью конструктивных решений или специальных устройств обеспечивается максимальное использование солнечного тепла, включая отопление и охлаждение дома. С этой точки зрения дома, оборудованные лишь солнечными водонагревателями, не соответствуют понятию солнечный дом.

С другой стороны, если рассматривать дом, где за счет солнечного излучения, поступающего зимой через окна, и хорошей теплоизоляции на отопление затрачивается значительно меньше энергии, чем в доме, оборудованном системой солнечного водоснабжения, то такой дом, наверное, тоже можно назвать солнечным домом.

Более того, если дом оборудован только солнечным водонагревателем, но он используется постоянно в повседневной жизни, то такой дом, по-видимому, следует отнести к разряду ”солнечных”. Таким образом, понятие солнечного дома должно складываться из психологических категорий обязательного использования получаемого от Солнца тепла в различных видах. Главным, по-видимому, является факт постоянного получения энергии от Солнца и использования ее для улучшения условий жизни.



РИС. 1.2. ВНЕШНИЙ ВИД ЖИЛОГО ДОМА, ОБОРУДОВАННОГО СОЛНЕЧНЫМ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕМ

Распространение солнечных домов органически соответствует современному образу жизни и оказывает положительное влияние на здоровье человека как в физическом, так и психологическом плане. Один из авторов книги (Суда) живет в солнечном доме и стремится изучить возможности максимального использования солнечной энергии без дополнительных энергоисточников.

В природе бывают не только ясные солнечные дни: они перемежаются днями с туманами и дождями, поэтому у Суда сложился своеобразный образ жизни, при котором он в быту старается пользоваться только солнечным теплом. Так, по возможности старается принимать ванну в ясные солнечные дни, по утрам в умывальной комнате употребляет почти холодную воду. Температура в отопительной системе также не поднимается выше предела, при котором чувствуешь себя бодрым.

В итоге пользование только солнечным теплом позволяет экономить энергию и сокращать расходы на содержание дома. Ежегодно благодаря солнечным установкам, применяемым автором, увеличивается количество полезно использованного солнечного излучения.

1.3. ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ЖИЛИЩА

Количество солнечной энергии, доходящее до наших домов в настоящее время, по-видимому, примерно равно тому, какое получали жилища древних людей. Однако образ жизни людей, живущих в современных домах, существенно изменил способы использования солнечной энергии.

Одной из отличительных особенностей современного общества является изменение внешнего облика жилища, что обусловлено преобразованием окружающей среды. Об этом свидетельствует наша повседневная жизнь, неразрывно связанная с разнообразным применением света и электричества, например для систем кондиционирования воздуха в помещениях, а нефтяного топлива и газа прежде всего для отопления и горячего водоснабжения. В этих случаях влияние солнечной энергии менее заметно, однако летом, когда действуют системы охлаждения, солнечное тепло уже воспринимается не как благо, а как отрицательный климатический фактор.

В нашей жизни польза, получаемая от Солнца, больше всего ощущается тогда, когда после длительного периода дождей вновь наступает солнечная погода. Однако внедрение в быт электричества постепенно начало вытеснять из нашего сознания существование Солнца как жизненной необходимости.

До промышленной революции Япония представляла собой экономически независимую сельскохозяйственную страну, и значение Солнца в те времена воспринималось иначе, чем в эпоху промышленно-развитого государства. От Солнца зависел урожай, и это было вопросом жизни и смерти людей.

Создавая дома, люди стремились избежать опасностей, которые исходили от Солнца, и использовать достоинства солнечного излучения. В Японии, природа которой характеризуется обилием жарких дней и в целом влажным климатом, именно пря-

мое солнечное излучение являлось угрозой для безопасности жилых домов. Это нашло отражение в своеобразном конструктивном решении при сооружении крыш домов, где в качестве кровельных материалов применяются солома и черепица, обеспечивающие очень хорошую теплоизоляцию крыши. Особенностью планировки дома является также создание выступающего навеса, чем достигаются одновременно максимальное сохранение тепла в зимнее время и защита от прямого летнего излучения.

Можно сказать, что в современных жилищах и жилищах прежних веков способы использования солнечной энергии существенно различаются. Вместе с тем создается впечатление, что появление солнечных домов в современном обществе с развитой промышленностью означает переход на новую ступень, когда наш образ жизни снова претерпевает непосредственное изменение в зависимости от свойств окружающей естественной среды.

Существование Солнца постоянно ощущается в повседневной жизни не только как источника энергии для горячего водоснабжения и отопления, но и как энергисточника при высушивании вещей, уничтожении бактерий, для светильников внутри и вне помещений. Солнечная энергия используется также в солнечных батареях, применяемых для электропитания радио, часов и фотоаппаратов.

Именно жилые дома в настоящее время расходуют значительную часть потребляемой энергии. В связи с этим появление солнечных домов повлекло за собой изменение представления о жилом доме как о возможном автономном производителе и потребителе энергии, что является одной из отличительных черт "постиндустриального общества"¹. В будущем в наших жилищах, по всей вероятности, солнечная энергия станет важнейшим фактором, приносящим всевозможные блага.

Предметы личного обихода, в которых используется солнечная энергия. Наиболее распространенными предметами личного обихода, в которых используется солнечная энергия, являются "солнечные кухни". В продаже имеются портативные "солнечные кухни", которые можно брать с собой в морские путешествия или в экскурсии в горы ("кухни" изготавливаются во Франции и Швейцарии).

Недавно появились в продаже солнечные электрические панели (фирма "Нихон хэрус мэйка"), солнечные фотоаппараты (фирма "Рико"), солнечные радиоприемники (фирма "Саньё"). Кроме того, продаются портативные солнечные батареи (фирмы "Тосэра", "Саньё"), солнечные светильники (фирма "Тосэра") и др.

В префектуре Кагава, в г. Нио, начала работать солнечная тепловая электростанция, производящая электроэнергию.

Известно, что в 1979 г. легкий одноместный самолет, оснащенный солнечными батареями, который назывался "Солар челенджер" и был изготовлен в США, благополучно пересек морской пролив между Францией и Англией. Кроме того, недавно на электрическом автомобиле с солнечными батареями на крыше был совершен автопробег через весь материк Австралии.

¹"Постиндустриальное общество" — термин, часто используемый в зарубежной литературе и обозначающий промышленно-развитое общество, в котором экологическое загрязнение среды сведено к минимуму. (Примеч. пер.).

1.4. БЫТОВЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ

В этой книге часто встречается выражение "солнечные системы", что указывает на их определенную связь с Солнцем. Однако в данном случае это выражение означает системы теплоснабжения и горячего водоснабжения на основе использования солнечного тепла. Иными словами, термин "солнечная система" подразумевает не астрономическое понятие, а указывает на различные технические или архитектурно-конструктивные решения, применяемые при использовании энергии Солнца в солнечных домах для охлаждения, отопления и горячего водоснабжения.

Проблема использования солнечного излучения рассматривается не только с точки зрения обеспечения энергией бытовых нужд населения, но и получения энергии в производственных сферах. Солнечное излучение и вызываемые им тепловые эффекты находят непосредственное применение в таких областях, как охлаждение и отопление зданий, горячее водоснабжение, освещение, нагрев и охлаждение теплоносителей, производство электроэнергии, сушка, опреснение воды, санитарное дело, уничтожение бактерий и др.

Кроме того, опосредствованное использование солнечной энергии происходит при производстве электроэнергии за счет преобразования энергии ветра, перепадов давления и температуры, энергии приливов и волн в удобные для человека формы энергии, а также при применении метана, получаемого из отходов сельскохозяйственного производства из морской флоры и фауны.

Солнечные системы, обеспечивающие потребности общественного хозяйства, разделяются на две группы: активные и пассивные. Активные гелиосистемы предполагают получение солнечного тепла с помощью технических устройств, в то время как в пассивных гелиосистемах использование солнечной энергии осуществляется исключительно за счет архитектурно-конструктивных решений зданий.

Технические, в том числе механические, устройства в активной гелиосистеме потребляют энергию от внешних источников – электричество, нефтяное топливо, газ и др. Следовательно, в понятие активной гелиосистемы включено применение внешних источников энергии для получения солнечного тепла. Пассивная солнечная система исходит из использования солнечной энергии исключительно на основе природных физических явлений: естественной циркуляции, конвекции, отражения потока излучения и т.п. В этом смысле обычный солнечный водонагреватель является примером использования пассивной солнечной системы.

На рис. 1.3 представлены типы активных систем солнечного теплоснабжения – система горячего водоснабжения, система отопления и горячего водоснабжения, система теплоснабжения и горячего водоснабжения и система теплоснабжения и горячего водоснабжения с тепловым насосом.

На рис. 1.4 показаны пассивные системы солнечного отопления – водонагреватели с принудительной циркуляцией теплоно-

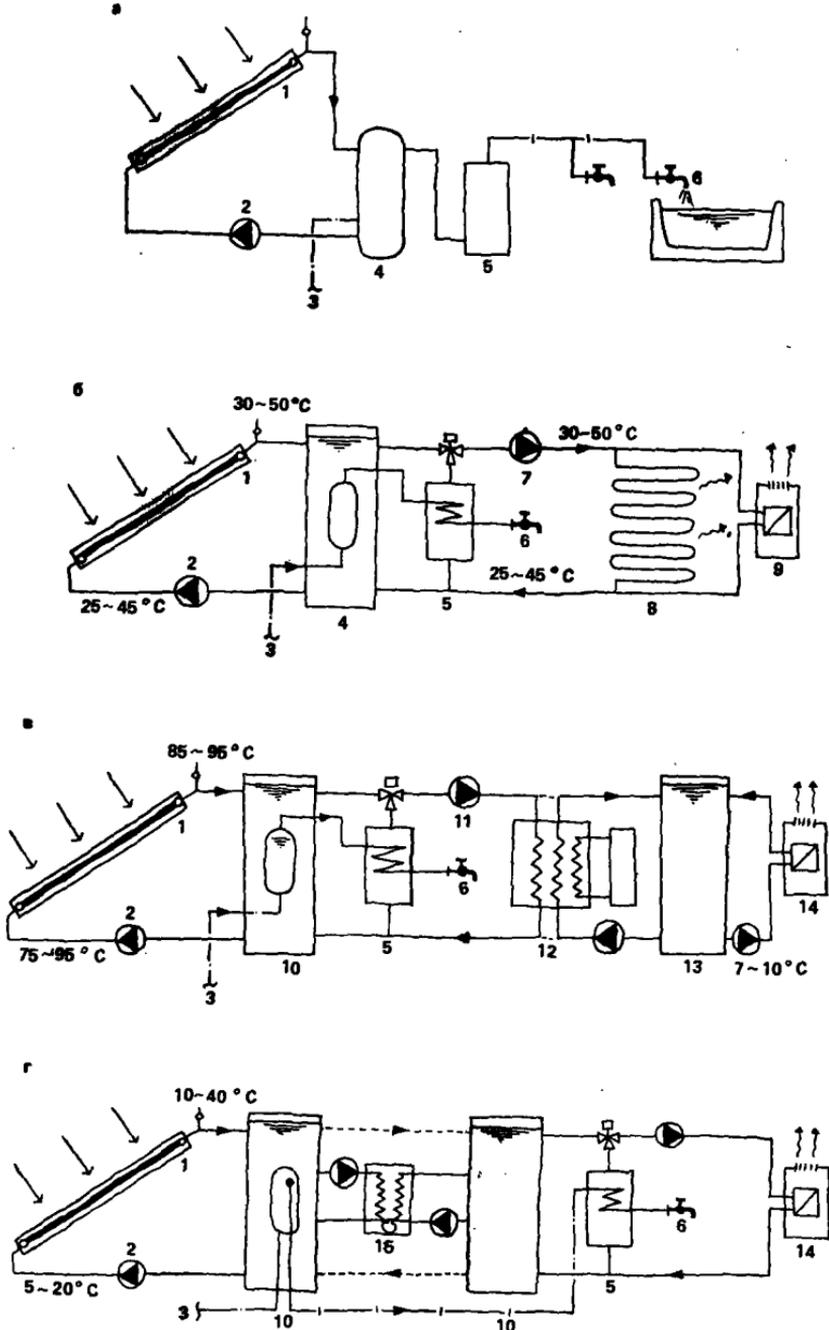


РИС. 1.3. ТИПЫ АКТИВНЫХ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ

а — система солнечного горячего водоснабжения; б — система солнечного отопления и горячего водоснабжения; в — система солнечного теплохладоснабжения и горячего водоснабжения; г — то же, с тепловым насосом; 1 — солнечный коллектор; 2 — насос первого (коллекторного) контура (коллекторный насос); 3 — подача питательной воды; 4 — бак-аккумулятор; 5 — бойлер; 6 — распределение горячей воды; 7 — насос второго контура (горячей воды); 8 — панельный обогреватель; 9 — радиатор; 10 — высокотемпературный бак-аккумулятор; 11 — насос; 12 — абсорбционная холодильная установка; 13 — низкотемпературный бак-аккумулятор; 14 — змеевик вентилятора; 15 — тепловой насос

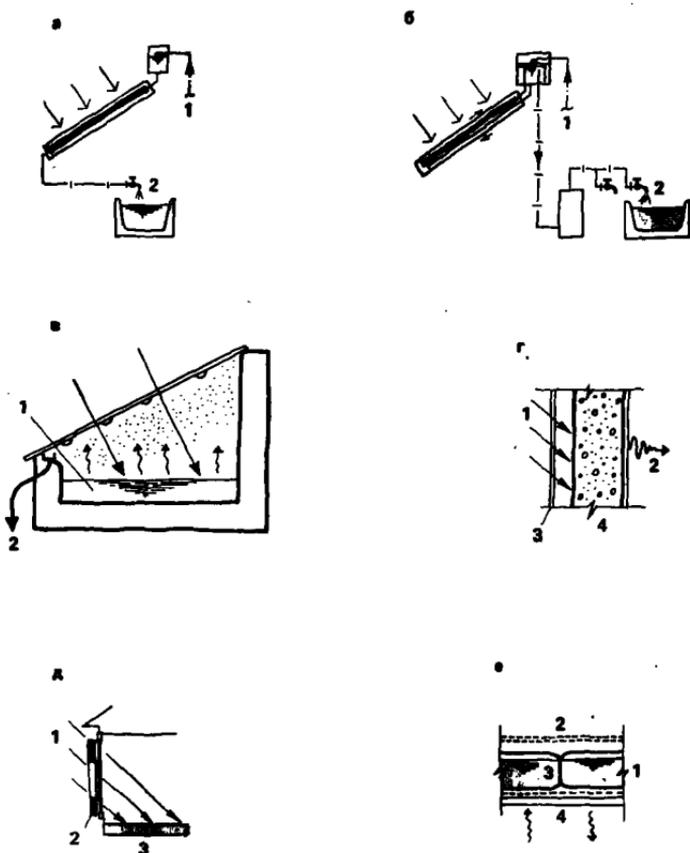


РИС. 1.4. ТИПЫ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ

а – водонагреватель с разомкнутой системой непрерывной подачи и распределения воды: 1 – подача питательной воды; 2 – распределение горячей воды; *б* – водонагреватель с естественной циркуляцией воды: 1 – подача питательной воды; 2 – распределение горячей воды потребителю; *в* – солнечный опреснитель: 1 – исходная (морская) вода; 2 – дистиллированная вода; *г* – теплоаккумулирующий элемент (стена Тромбы); 1 – солнечное излучение; 2 – тепловое излучение; 3 – стекло; 4 – бетон; *д* – система непосредственного накопления тепла: 1 – стеклянное окно; 2 – теплоизоляционная перегородка (в ночное время закрыта); 3 – наполный аккумулятор тепла; *е* – теплоаккумулирующая излучающая система из водяных емкостей: 1 – пластмассовая емкость; 2 – передвижная теплоизоляционная панель; 3 – вода; 4 – потолок

сителя и с естественной циркуляцией воды, система аккумуляции тепла в больших нагреваемых емкостях, система непосредственного накопления и использования солнечного тепла с применением наполных аккумуляторов, система аккумуляюще-излучающая в виде водяных мешков, в которых водяной мешок выполняет функцию теплоаккумулирующего и теплоизлучающего узла.

В будущем, когда солнечные батареи станут дешевле и появится возможность использовать вырабатываемую ими электроэнергию для привода в действие коллекторных насосов и вентиляторов, отпадет необходимость деления солнечных систем на активные и пассивные. Уже сейчас работают экспериментальные образцы таких установок.

1.5. ЭКОНОМИЧНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ ДОМОВ

Люди, серьезно интересующиеся солнечными домами и думающие о возможности применения солнечных установок в своих жилищах, по всей вероятности, размышляют о целесообразности их практического применения. Вполне естественно, что, если вы вкладываете в какое-то дело материальные средства, то ожидаете, что это будет экономически оправдано. Прежде чем делать окончательный вывод по этому вопросу, попробуем рассмотреть проблему с разных точек зрения.

Если говорить о выгоде солнечных домов, необходимо стать на позицию сочетания государственных и личных интересов. За последнее время наблюдается тенденция резкого колебания цен на энергию в соответствии с уровнем потребления: как только обнаруживаются признаки нехватки энергии, цены на нее увеличиваются в 2–3 раза. Когда появляются излишки энергии, цены стабилизируются и иногда начинают снижаться.

Следовательно, если бы с помощью солнечной энергии удалось хотя бы частично заменить нефтяное топливо, то цены на энергию в различных странах и во всем мире можно было бы удержать на одном уровне и получить от этого большую выгоду. Однако если владельцы "бытовых солнечных систем" не получают в короткий срок определенные прибыли, то едва ли можно надеяться, что такие системы найдут широкое применение.

Чтобы стимулировать дальнейшее развитие гелиотехнической промышленности и форсировать снижение цен на продукцию этой отрасли при переходе к массовому производству, правительство осуществляет ряд поощрительных мер, направленных на пропорциональное увеличение капитала кредитных учреждений, ассигнующих средства для жилищного строительства, и на снижение налогов на капитал "Объединения по распространению бытовых солнечных систем".

В настоящее время солнечные водонагреватели, используемые только для горячего водоснабжения, могут окупаться в срок от 3 до 8 лет. Системы горячего водоснабжения получают широкое практическое применение. Однако системы горячего водоснабжения с отоплением за короткий срок еще не окупаются. Такие системы являются более сложными, и с экономической точки зрения они не эффективны.

Именно этим, по-видимому, объясняется, что, хотя в настоящее время идея создания солнечных домов привлекает во всем мире большое внимание, распространяются они не очень быстрыми темпами.

Какие же преимущества можно ожидать от использования солнечных домов помимо экономической выгоды? Очевидно, что в результате применения "чистой энергии" повысится

чистота окружающей среды, возрастет ее благотворное влияние на человека, появится также уверенность в возможности обеспечить энергетические потребности дома за счет энергии, производимой в нем. Это поможет понять, что в отличие от привозных энергоисточников, каковыми являются почти все поступающие из-за морей блага – нефть, газ и, следовательно, электричество, получение энергии в солнечных домах не связано со снабжением энергоресурсами из других стран. Известно, что в настоящее время в отношении таких энергоисточников, как нефть, газ и электричество, Япония почти полностью зависит от других стран. В дальнейшем, пока не будет достигнут всеобщий мир и обеспечена стабильность системы мировой торговли, трудно гарантировать бесперебойное снабжение источниками энергии.

Основные страны – поставщики нефти, из которых Япония импортирует энергосырье, преимущественно расположены на Среднем Востоке, а обстановка в этом районе характеризуется политической и военной напряженностью, что не позволяет надеяться на стабильность ситуации в данном регионе.

К тому же противоречия между странами капитализма и социализма во главе с США и СССР, вопрос о Северной и Южной Корее и проблема взаимоотношений со странами третьего мира – все эти факторы международного масштаба создают напряженность в мире. Поэтому, учитывая современную обстановку, едва ли можно надеяться, что система энергоснабжения Японии будет гарантирована на длительное время. Как известно, в результате 1-го и 2-го нефтяных кризисов современная система энергоснабжения Японии обнаружила тесную зависимость от состояния международной обстановки.

Организация системы использования солнечной энергии поможет создать хотя и небольшую, но независимую отрасль собственного энергоснабжения. На фоне современной системы энергоснабжения Японии такое начинание можно назвать поворотным моментом. Если солнечные дома появятся только в отдельных хозяйствах, то они смогут сэкономить лишь незначительное количество энергии, но если построить сотни, тысячи и миллионы домов, то можно освободить государство от затрат достаточно большего количества энергии для бытовых нужд. Конечно, возникают сомнения, окупятся ли в короткий срок за счет использования солнечного тепла затраты нефти и других видов топлива, израсходованного при создании солнечных систем. Однако эти сомнения не имеют под собой почвы: по подсчетам авторов, система горячего водоснабжения окупается за 1 год, а системы отопления и охлаждения – за 2–3 года. При этом если в системах использовать слой теплоизоляционных материалов толщиной 50–100 мм, то период окупаемости систем сократится на 1–2 мес.

1.6. КОЛИЧЕСТВО ЭНЕРГИИ, РАСХОДУЕМОЙ НА ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЕ

Использование энергии Солнца в солнечном доме обычно ограничивается обеспечением тепловой нагрузки систем охлаждения, отопления и горячего водоснабжения, так что при проектировании солнечных домов прежде всего следует определить

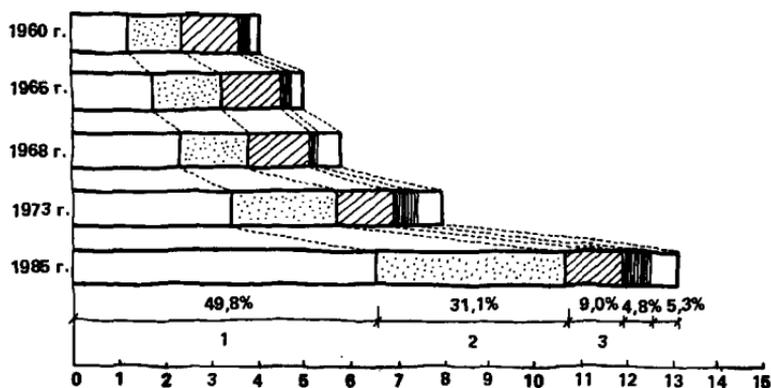


РИС. 1.5. ИЗМЕНЕНИЕ ГОДОВОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ЖИЛЫХ ДОМАХ В 1960–1985 гг. (Гкал/год-семья)
 1 – теплохладоснабжение; 2 – горячее водоснабжение; 3 – приготовление пищи, освещение и другие нужды

эту нагрузку для обычного дома. В процессе планирования бытовой солнечной системы особенно важно точно знать, какое количество энергии расходуют люди, проживающие в этом доме, на охлаждение, отопление и горячее водоснабжение.

На рис. 1.5 показано количество тепловый энергии, потребляемой в жилых домах Японии. За год каждая семья в 1960 г. расходовала приблизительно 4 Гкал, в 1965 г. – 5 Гкал, в 1968 г. – 6 Гкал, а в 1973 г. – 8 Гкал, т.е. наблюдается тенденция ежегодного роста энергопотребления. В 1985 г. расход энергии на каждую семью составлял приблизительно 13 Гкал в год, а в 1980 г. – 11 Гкал. От общей суммы энергетических затрат в жилых домах на долю теплохладоснабжения и горячего водоснабжения в 1973 г. приходилось 72%, при этом расход энергии на теплохладоснабжение составлял 43%, т.е. 3,4 Гкал, а на горячее водоснабжение – около 23%, т.е. 2,3 Гкал.

Эти показатели характерны для 30 млн семей, проживающих по всей территории страны, простирающейся с северного острова Хоккайдо до южного острова Окинава, причем тепловая нагрузка систем охлаждения и отопления в значительной мере зависит от климатического региона.

В районе Токио затраты энергии на отопление дома каждой семьей составляют 2,4 Гкал, а в окрестностях г. Фудэхоро аналогичный показатель достигает 10–20 Гкал/год. Потребности в энергии для горячего водоснабжения существенно не меняются в зависимости от района страны; здесь все определяется скорее укладом и образом жизни людей. Например, в Токио и в окрестностях г. Фудэхоро на горячее водоснабжение идет от 2 до 3 Гкал, а во многих семьях на эту цель расходуются до 4–5 Гкал.

Приведенные данные являются усредненными для всей Японии; по всей вероятности, в стране есть дома, которые не подходят под эти показатели.

Общей тенденцией является рост энергопотребления по мере увеличения численности семьи (средняя японская семья

3,5 чел.), причем расход энергии в индивидуальных домах растет быстрее, чем в общественных учреждениях. Отмечается также другая тенденция: одновременно с увеличением доходов семьи наблюдается возрастание энергетических затрат. Кроме того, расход энергии зависит также от образа жизни каждой семьи (европейский и японский уклады жизни существенно различаются). Следовательно, как указывалось ранее, количество потребляемой в Японии энергии из года в год увеличивается. Разумеется, это непосредственно связано с улучшением экономической жизни всей страны. Таким образом, и в дальнейшем в стране следует ожидать увеличения энергопотребления. В соответствии с прогнозами на будущее намечается тенденция увеличения затрат энергии на горячее водоснабжение и охлаждение при одновременном сокращении расходов энергии на отопление.

Примечание. 1 Гкал является одной из единиц измерения энергии и составляет 10^6 ккал, т.е. 1 млн ккал. В пересчете на жидкое топливо она эквивалентна примерно 123 л, а в пересчете на электроэнергию 1 Гкал составляет 1 163 кВт·ч, поскольку 1 кВт·ч = 860 ккал. Кроме того, эта единица примерно соответствует количеству солнечной энергии, приходящей в течение года на 1 м^2 площади поверхности Земли. При этом, как известно, 1 ккал определяется как количество тепловой энергии, необходимой для нагрева 1 кг воды на 1°C .

1.7. СОЛНЦЕ И СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ

Можно сказать, что источником различных форм жизни на Земле является тепловая и световая энергия, получаемая от Солнца. Прежде чем говорить о солнечной энергии, доходящей до Земли, коснемся химической природы Солнца.

Солнце представляет собой огромное скопление газов с высокой температурой, главной составной частью которых является водород. Считают, что в результате ядерных реакций синтеза из ядер водорода в конечном итоге образуются ядра гелия и одновременно выделяется огромное количество энергии. Внутри Солнца температура, как считают некоторые исследователи, достигает $15\ 700\ \text{K}$ (абсолютная температура). Давление газов предположительно $300\ 000$ млн атм. В таких условиях ядра атомов водорода соединяются с углеродом и азотом и только затем образуют ядра атомов гелия, что сопровождается выделением коротковолнового гамма-излучения, имеющего очень малую длину волны. При распространении от центра Солнца к его поверхности гамма-излучение претерпевает различные видоизменения – поглощается газами и образуется вновь. У этого вновь возникающего излучения длина волны значительно больше, и оно превращается в рентгеновское и ультрафиолетовое излучения. В итоге образуется генерируемое Солнцем в космическое пространство электромагнитное излучение, например видимое и инфракрасное.

Судя по измерениям, сделанным с поверхности Земли, температура поверхности Солнца достигает приблизительно $6000\ \text{K}$, причем диаметр Солнца примерно в 100 раз больше, чем диаметр Земли, и составляет около $1\ 400\ 000$ км. Объем Солнца более чем

РИС. 1.6. ФОРМИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1 — центральная часть; 2 — слой, излучающий тепловую энергию; 3 — внешний слой; 4 — корона; 5 — гамма-кванты; 6 — рентгеновское излучение; 7 — ультрафиолетовое излучение

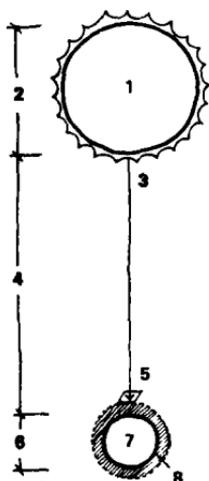
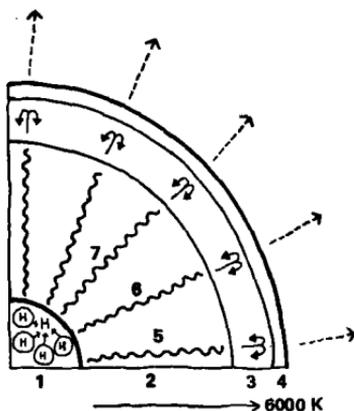


РИС. 1.7. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС СИСТЕМЫ СОЛНЦЕ-ЗЕМЛЯ

1 — Солнце; 2 — 1400000 км; 3 — поверхность Солнца с температурой 6000 К; 4 — приблизительно 150 млн км; 5 — верхняя граница атмосферы Земли, осецаемая потоком солнечного излучения плотностью 1350 Вт/м² (солнечная постоянная); 6 — 13000 км; 7 — Земля; 8 — слой земной атмосферы

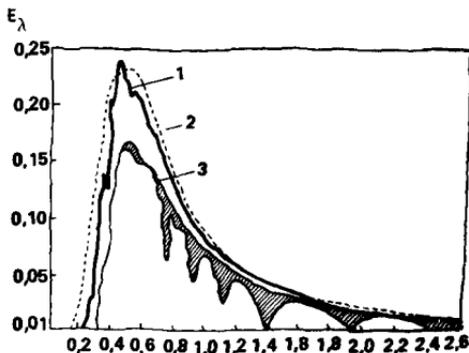
в 1 млн раз превышает объем Земли. Земля удалена от Солнца примерно на расстояние 150 млн км. Лучи, идущие от Солнца, доходят до Земли за 8 мин (скорость света 300 000 км/с).

Суммарный поток солнечного излучения составляет $9,138 \times 10^{25}$ кал/с. Среднее за год значение потока энергии излучения, поступающего на площадку 1 см², находящуюся за пределами земной атмосферы, равно приблизительно 1,95 кал/мин и называется солнечной постоянной.

Однако в земной атмосфере даже в ясную погоду происходят поглощение, рассеяние и отражение солнечного излучения, обусловленные скоплением различных микрочастиц, туманами и облаками, в результате чего до Земли доходит около 70% всей исходящей от Солнца энергии, так что на поверхности Земли

РИС. 1.8. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ

E_λ — плотность потока излучаемой энергии, Вт/(см²·мкм); 1 — солнечное излучение вне земной атмосферы; 2 — излучение "черного тела" с температурой 6000 К; 3 — солнечное излучение на уровне моря; λ — длина волны, мкм



поток солнечного излучения, поступающего на площадку 1 м^2 , перпендикулярную солнечным лучам, уменьшается до 1 кВт или 860 ккал/ч .

На рис. 1.8 показано распределение по длинам волн плотности потока солнечного излучения, достигающего поверхности Земли; значительная доля энергии излучения приходится на область спектра, расположенную в окрестностях длины волны $0,55 \text{ мкм}$. Излучение с длиной волны менее $0,4 \text{ мкм}$ соответствует ультрафиолетовой части спектра. Излучение с длиной волны в пределах от $0,4$ до $0,75 \text{ мкм}$ приходится на видимый диапазон спектра, а излучение с длиной волны более $0,75 \text{ мкм}$ образует инфракрасную область спектра. Поток солнечного излучения представлен после того, как он претерпел изменения вследствие поглощения водяными парами (H_2O) и озоном (O_3).

Интенсивность солнечного излучения, проходящего на поверхность Земли, меняется в зависимости от длины волны, и знание этой спектральной зависимости имеет важное значение для технических средств использования солнечной энергии на Земле. Обычно, когда мы говорим о солнечном излучении, то имеется в виду радиация Солнца, достигшая поверхности Земли.

1.8. ИЗМЕРЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В предыдущем разделе указывалось, что практическое значение имеет солнечная радиация, достигающая поверхности Земли, и именно эту часть потока электромагнитного излучения, идущего от Солнца, называют солнечным излучением. Рассмотрим коротко, как измеряют его основные параметры. Чтобы определить, какое количество тепла можно получить от Солнца при создании гелиоустановок, необходимо произвести точное измерение плотности потока солнечного излучения.

Для таких измерений обычно используют пиргелиометры, которые подразделяют на два вида: пиргелиометры прямого излучения и пиргелиометры полного излучения. Как видно из названия, пиргелиометры, измеряющие только прямую составляющую излучения, называют пиргелиометрами прямого излучения, пиргелиометры, которые измеряют как прямое, так и диффузное излучение, называют пиргелиометрами полного излучения.

Под прямой составляющей солнечного излучения подразумевают ту его часть, которая, не поглощаясь, не рассеиваясь и не отражаясь различными присутствующими в атмосфере микро-частицами, имеющимися в пыли, в туманах, облаках и т.п., достигает поверхности Земли в виде прямых параллельных лучей. Диффузная составляющая – эта та часть солнечного излучения, которая достигает Земли после рассеивания в атмосфере. Следовательно, угол прихода прямого излучения зависит от положения Солнца, а диффузное излучение поступает с разных сторон независимо от положения Солнца.

При оценке гелиосистем с плоским солнечным коллектором пользуются пиргелиометрами полного излучения, поскольку

улавливаемое ими тепло зависит от полного излучения. При применении фокусирующих коллекторов используют пиргелиометры прямого излучения, так как эти коллекторы собирают только прямые лучи Солнца. Различают пиргелиометры полного излучения двух типов: биметаллические, например пиргелиометр Робица, и термоэлектрические, например пиргелиометр Этли.

Биметаллические пиргелиометры издавна применялись для метеорологических измерений, но из-за недостаточной точности и трудностей при внесении поправок в показания приборов этого типа с 70-х годов их стали заменять термоэлектрическими, содержащими несколько термопар.

Чувствительный элемент, воспринимающий солнечное излучение в термоэлектрическом пиргелиометре, состоит из двух колец черного и белого цвета; измерение осуществляется путем регистрации термоэлектродвижущей силы, возникающей вследствие разницы температур на поверхности черного и белого колец. В последнее время в качестве эталонных применяются пиргелиометры полного излучения, теплоприемная поверхность которых закрыта стеклянным колпаком, заполненным неонам. Эти приборы отличаются точностью и стабильностью при измерении поступающей радиации.

Если в пиргелиометре полного излучения установить экранирующее кольцо и диск, которые препятствуют попаданию на чувствительный элемент прямых солнечных лучей, то им можно измерить только диффузное излучение. Обычно таким образом используя пиргелиометр полного излучения, можно определить состав полного излучения — его прямую и диффузную составляющие.

Следует отметить, что при измерении солнечной радиации на метеорологических станциях пиргелиометры полного излучения следует устанавливать горизонтально. Если нужно определить эффективность улавливания и преобразования солнечного излучения в другие формы энергии различными гелиосистемами, то пиргелиометры необходимо устанавливать с наклоном

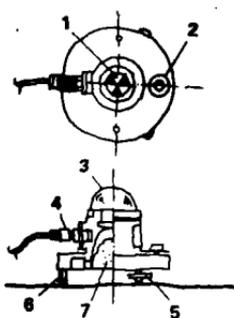


РИС. 1.9. ПИРГЕЛИОМЕТР ПОЛНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СО СТЕКЛЯННЫМ КОЛПАКОМ, ЗАПОЛНЕННЫМ НЕОНОМ

1 — датчик (чувствительный элемент) поступающего излучения; 2 — ватерпас; 3 — стеклянный колпак; 4 — электрические выводы; 5 — подвижные опоры для установки (регулировки); 6 — неподвижные (фиксированные) опоры; 7 — поглотитель влаги

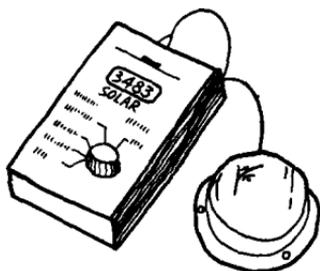


РИС. 1.10. ПОРТАТИВНЫЙ ПИРГЕЛИОМЕТР (ИЗ ЖУРНАЛА "СОЛАР ЭЙДЖ", ФИРМА "ХАЭННИ ИНСТРУМЕНТС")

под таким же углом к горизонту, под каким монтируются солнечные коллекторы. Хотя такой способ эксплуатации приборов, возможно, не является совсем правильным, но с практической точки зрения он вполне допустим. Пиргелиометры полного излучения рекомендуется поверять раз в полгода. Обычно эти приборы связаны с интегрированием по времени, поэтому в них применены счетчики-интеграторы. Среди новинок последнего времени – портативный пиргелиометр на основе солнечных батарей (интегрирующий пиргелиометр, соединенный с обычным пиргелиометром). В него вмонтирован чувствительный элемент с выходным напряжением 1,5 В и использована цифровая система регистрации, допускающая возможность измерения величины с точностью до четвертого знака.

1.9. НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

В жилых и административных зданиях солнечную энергию в основном используют в форме тепла для удовлетворения нужд в горячем водоснабжении, отоплении, охлаждении, вентиляции, сушки и т.п.; солнечное излучение применяют для дневного освещения, санитарных и антисептических целей, для работы солнечных батарей и др.

В настоящее время использование солнечного тепла с экономической точки зрения наиболее выгодно при создании систем горячего водоснабжения и в близких к ним по техническому воплощению установках для подогрева воды в бассейнах, промышленных устройствах и др. Горячее водоснабжение необходимо в каждом жилом доме, и, поскольку потребности в горячей воде относительно мало меняются в течение года, эффективность таких установок высокая и они быстро окупаются. Что касается систем солнечного отопления, то период их использования в течение года короткий: зимой приход солнечного излучения мал, площадь солнечных коллекторов значительно больше, чем в системах горячего водоснабжения, поэтому экономическую выгоду в данном случае получить не так просто. Следовательно, при создании систем солнечного отопления в основном следует применять пассивные системы, предусматривающие повышение теплоизоляции здания и эффективное использование поступающего через оконные проемы солнечного излучения; недостающее тепло рекомендуется восполнять при помощи простых активных солнечных систем. Если за счет этого удастся сэкономить средства, необходимые на приобретение дорогостоящего оборудования для центральной системы отопления, то, по-видимому, можно считать, что в экономическом отношении солнечная система оправдана.

Рассматривая вопрос о применении в жилых домах систем солнечного охлаждения, можно сказать, учитывая короткий период их действия, низкий коэффициент использования, а также высокую стоимость, что сейчас еще далеко то время, когда они станут экономически выгодными. Следовательно, солнечные системы охлаждения жилых домов применимы только в отдельных случаях.

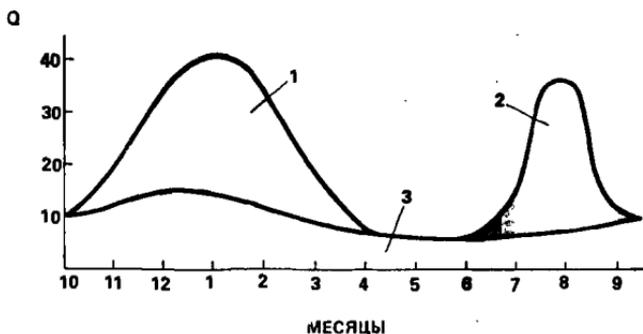


РИС. 1.11. ОСОБЕННОСТИ КОЛЕБАНИЙ ГОДОВОЙ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ
 1 — отопление; 2 — охлаждение; 3 — горячее водоснабжение; Q — средняя дневная нагрузка $\cdot 10^3$ ккал/день

На рис. 1.11 показаны особенности колебаний нагрузки теплохладоснабжения и горячего водоснабжения в жилых домах в течение года. Из рисунка видно, что максимальный пик нагрузки горячего водоснабжения приходится на зимний период, однако летом эта нагрузка остается также довольно высокой. В общем в течение года нагрузка системы горячего водоснабжения меняется незначительно. Отсюда следует, что наиболее целесообразно использовать солнечное тепло для нужд горячего водоснабжения.

Если рассмотреть перепады нагрузки в системах отопления жилых домов в течение года, то станет ясно, что наибольшая нагрузка системы отопления приходится на зимний период: в Японии отопительный сезон длится с ноября до марта. Максимальный пик нагрузки падает на январь, а в ноябре и марте она сравнительно невелика. Таким образом, если руководствоваться этими данными, то солнечные установки, предназначенные для отопления, летом будут полностью простаивать.

Что касается нагрузки систем солнечного охлаждения, то она характеризуется максимальной протяженностью в течение трех летних месяцев, так что тенденция, ведущая к простоям оборудования, прослеживается здесь более отчетливо, чем в случае системы отопления. При работе системы охлаждения только в летнее время коэффициент использования оборудования в течение года будет очень низким. Годовой коэффициент использования оборудования в комбинированных системах теплохладоснабжения получается высоким, и эти системы более выгодны, чем комбинированные системы отопления и горячего водоснабжения. Однако если при этом учесть стоимость необходимых солнечных коллекторов и механизмов системы охлаждения, то окажется, что такие солнечные установки будут очень дорогими и едва ли станут экономически выгодными.

Недавно в экспериментальном варианте построен жилой солнечный дом, в котором все потребности в электроэнергии обеспечиваются солнечными батареями. В настоящее время солнеч-

ные батареи еще стоят сравнительно дорого и в хозяйственной практике почти не используются. Сейчас наряду с усовершенствованием батарей из монокристаллического кремния появляются солнечные батареи из аморфных материалов, которые благодаря своей низкой стоимости и сравнительно высокому качеству привлекают все большее внимание потребителей. Следовательно, недалеко то время, когда в широких масштабах будут возводиться автономные солнечные дома с использованием солнечного тепла для отопления и горячего водоснабжения, оснащенные солнечными батареями, вырабатывающими электроэнергию для освещения и питания электроприборов.

1.10. КЛИМАТИЧЕСКИЕ РАЙОНЫ ЯПОНИИ, НАИБОЛЕЕ ПОДХОДЯЩИЕ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СОЛНЕЧНЫХ ДОМОВ

Япония расположена в средних широтах северного полушария ($30-46^{\circ}$ с.ш.) и характеризуется сравнительно теплым климатом. Однако Японские острова простираются с севера на юг на большое расстояние, что обуславливает значительную разницу в погоде в течение всех сезонов в различных регионах; например, если на о. Хоккайдо зимой отопление домов совершенно необходимо, то на юге о. Кюсю оно почти не нужно.

При этом в одном и том же регионе горы иногда чередуются с равнинами, и в этом случае часто климат не одинаков для всего региона. Поэтому при использовании солнечной энергии очень важно учитывать климатические особенности не только крупных областей, но и небольших районов. Более того, при проектировании солнечных домов необходимо определить, подходит ли такой дом для данной местности или нет.

На рис. 1.12 показано распределение среднегодовых приходов суммарного солнечного излучения на Японских островах. Сол-

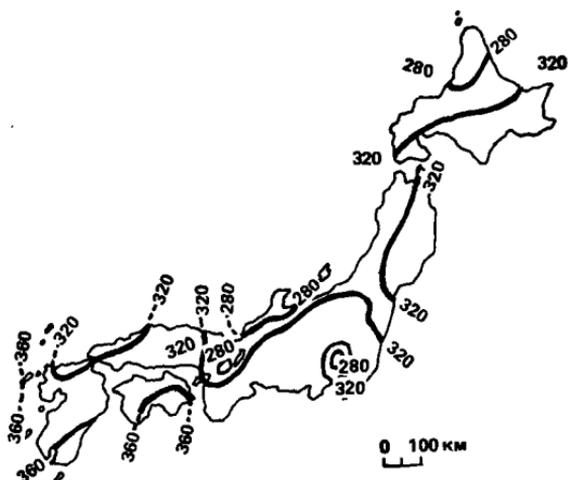
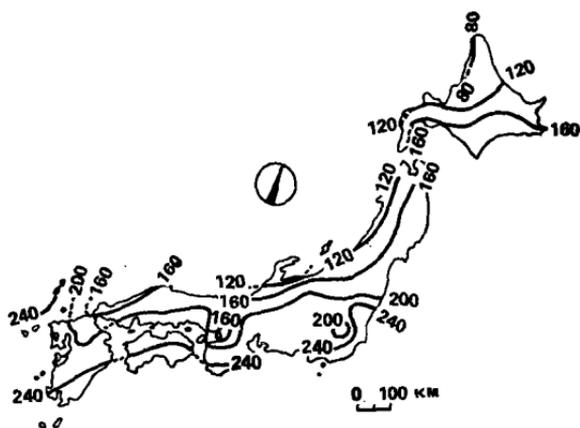


РИС. 1.12. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГОДОВЫХ ПРИХОДОВ СУММАРНОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

РИС. 1.13. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИХОДОВ СУММАРНОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЗИМНИЙ (ДЕКАБРЬ) ПЕРИОД



нечную систему типа горячего водоснабжения с равномерным использованием тепла в течение всего года целесообразно применять в регионах с высокими среднегодовыми приходами солнечного излучения. Именно на этих территориях наиболее широко применяют солнечные водонагреватели. Вследствие загрязнения атмосферы и особенностей рельефа местности в го-

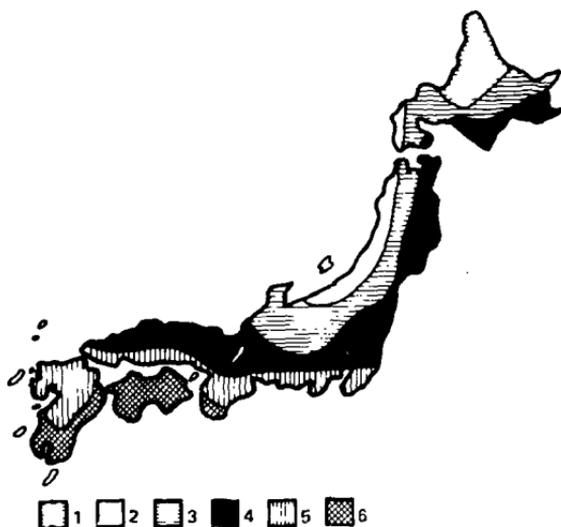


РИС. 1.14. КЛИМАТИЧЕСКАЯ КАРТА ЯПОНИИ С ОБОЗНАЧЕНИЕМ РАЙОНОВ, ГДЕ НАИБОЛЕЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНО ПРИМЕНЯТЬ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ

1 – район с холодным климатом и малым приходом солнечного излучения в зимний период; 2 – район с обычным климатом и малым приходом солнечного излучения в зимний период; 3 – район с холодным климатом и заметным приходом солнечного излучения в зимний период; 4 – район с большим приходом солнечного излучения, где целесообразно использовать системы солнечного отопления; 5 – район с теплым климатом и большим приходом солнечного излучения, где целесообразно устанавливать простые системы теплоснабжения; 6 – район, где нецелесообразно устанавливать солнечные системы отопления

родах Токио и Осака отмечается сравнительно малый приход солнечного излучения. Однако в последнее время появились данные, свидетельствующие об изменении этой ситуации.

При монтаже системы отопления следует учитывать данные, представленные на рис. 1.13, где показано распределение приходов солнечного излучения в зимнее время года.

Поскольку в районах Тохоку и Хоккайдо со стороны Тихого океана даже зимой отмечается значительный приход солнечного излучения и отопительный период здесь длительный, в этом районе целесообразнее использовать солнечную энергию, чем в окрестностях Токио.

На рис. 1.14 представлена своеобразная климатическая карта, на которой обозначены те районы, где исходя из продолжительности отопительного периода и прихода солнечного излучения целесообразно использовать систему солнечного отопления.

Из приведенной карты видно, что такие районы ограничиваются полосой вдоль Тихого океана, простирающейся от Тохоку до Хоккайдо. В районах о. Сикоку и южной части Кюсю наблюдается поступление достаточного количества солнечного излучения. Однако если в этих районах обеспечить хорошую теплоизоляцию жилых домов, то за счет этого можно заметно их утеплить, и отопление здесь станет ненужным. Таким образом, в этих районах нецелесообразно строить системы с активным использованием солнечного тепла.

Авторы надеются, что приведенные здесь данные помогут определить, какие районы Японии подходят для строительства солнечных домов, а какие – нет.

1.11. СХЕМЫ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

На рис. 1.15 представлена схема системы солнечного горячего водоснабжения. Принцип действия традиционного устройства основывался на том, что вода для горячего водоснабжения подавалась непосредственно в нагревательный агрегат – котел, кипятильник и т.п., где доводилась до определенной температуры, а затем направлялась потребителю. В системе солнечного горячего водоснабжения вода сначала поступает в солнечный коллектор, где нагревается с помощью солнечного излучения, а затем направляется в ванну, туалет, кухню. Если температура воды не достигает заданного значения, подключают вспомогательный источник энергии (бойлер), с помощью которого доводят температуру до необходимого уровня.

В районе Токио температура воды, поступающей в систему горячего водоснабжения из водопровода, в течение года меняется от 5 до 26°C, а температура горячей воды – от 45 до 60°C. Поэтому обычно холодную воду, подаваемую в систему горячего водоснабжения, в отопительный период предварительно подогревают. Применяя солнечные коллекторы даже для сравнительно низкотемпературного подогрева, можно достичь высокого коэффициента использования тепла. При подогреве воды всего на 1°C с помощью солнечного излучения можно получить определенную экономию топлива вспомогательного энергоисточника.

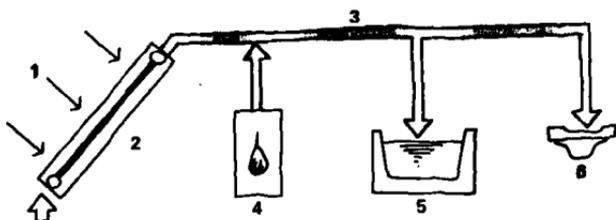


РИС. 1.15. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

1 — солнечное излучение; 2 — коллектор; 3 — горячая вода (45–60°C); 4 — дополнительный водонагреватель; 5 — ванна; 6 — туалет

Например, в системе горячего водоснабжения для подогрева 1 л воды с 10 до 11°C требуется 1 ккал тепла, а для подогрева воды с 59 до 60°C потребуется 1 ккал тепла той же стоимости. В то же время если для предварительного подогрева использовать тепло, сбрасываемое системой отопления при температуре ниже 20°C, то оно будет, в сущности, бесплатным.

В отличие от системы теплохладоснабжения система горячего водоснабжения функционирует в течение всего года, так что период эксплуатации оборудования в этом случае получается продолжительным и коэффициент его использования высоким, поэтому с экономической точки зрения эта система наиболее выгодна.

На рис. 1.16 и 1.17 схемы систем солнечного горячего водоснабжения показаны более детально.

На рис. 1.16 представлены два способа горячего водоснабжения с использованием солнечных водонагревателей. В одном случае (а) горячая вода предназначена только для ванны, а в другом (б) — линия центрального водоснабжения питает горячей водой ванну, кухню, туалет и другие помещения. При этом применяют два вида солнечных водонагревателей с циркуляцией воды при постоянном уровне в напорном баке и с естественной циркуляцией воды.

На рис. 1.17 показана система горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды, в которой коллекторный контур отделен от контура бака-аккумулятора. Изображены две схемы горячего водоснабжения: а — с непосредственным нагревом воды (с открытым отбором воды), б — двухконтурная система (с закрытым отбором воды).

Принцип действия системы непосредственного нагрева (с открытым отбором воды) основан на непосредственной подаче и нагреве воды в коллекторе и последующем ее аккумулировании в открытом резервуаре. Нагретая вода насосами подается в ванны, кухни, туалеты и т.д.

В двухконтурной системе (с закрытым отбором воды) горячая вода, нагретая в коллекторе, проходит через змеевиковый теплообменник, смонтированный в бак-аккумулятор, и нагревает находящуюся в нем воду. Нагретая вода используется для ванн,

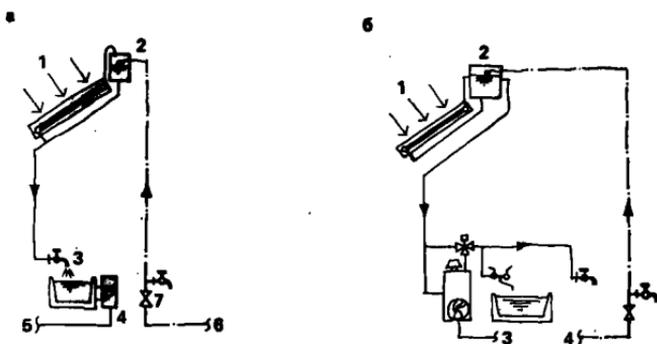


РИС. 1.16. ТИПЫ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

а — система, снабжающая горячей водой только ванны: 1 — водонагреватель с постоянным уровнем воды в напорном баке; 2 — напорный бак; 3 — горячая вода для ванны; 4 — дополнительный нагреватель; 5 — дополнительное топливо (газ); 6 — подача питательной воды; 7 — запорный вентиль; *б* — система горячего водоснабжения с центральной линией водоснабжения: 1 — водонагреватель с естественной циркуляцией воды; 2 — бак-аккумулятор горячей воды; 3 — дополнительный нагреватель; 4 — подача питательной воды

кухонь, туалетов и т.п. Подаваемая в бак-аккумулятор вода обычно находится под низким давлением: $0,65 \text{ кг/см}^2$ (давление воды 6,5 м); причем, когда через распределительный кран вода уходит к потребителю, одновременно в нижнюю часть бака поступает соответствующее количество воды.

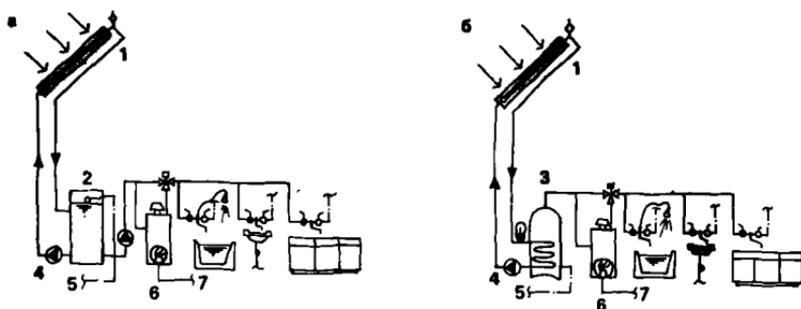


РИС. 1.17. СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВОДЫ

а — система непосредственного нагрева (бак-аккумулятор с открытым отбором воды); *б* — двухконтурная система с теплообменником в бак-аккумуляторе: 1 — коллектор; 2 — бак-аккумулятор с открытым отбором воды; 3 — бак-аккумулятор с закрытым отбором воды; 4 — подача питательной воды; 5 — дополнительный нагреватель; 6 — дополнительное топливо; 7 — дополнительный насос

1.12. СХЕМА СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Из общего объема энергии, потребляемой в жилых домах, на отопление идет более 40%. Максимальная отопительная нагрузка приходится на зимнее время года, причем в зависимости от температурных перепадов при изменении погоды наблюдаются значительные колебания этой нагрузки. Площадь теплоприемных панелей коллекторов в системах отопления должна быть больше, чем в системах горячего водоснабжения. При этом летом, зимой и осенью образуются излишки горячей воды, а коэффициент использования системы отопления в течение года ниже, чем в системах горячего водоснабжения.

Рассмотрим на примере условного ведра воды схему системы отопления, обеспечивающую обогрев помещения.

На рис. 1.18 представлено ведро с некоторым количеством воды, тепло которой идет на отопление помещения; уровень воды соответствует заданной разности температур. В ведре имеются отверстия, через которые вода выливается наружу. Это тепловые потери, т.е. тепло, теряемое отапливаемым помещением. Как бы мы ни оборудовали помещение теплоизоляционными панелями (т.е. только за счет уменьшения отверстий в ведре), мы не сможем свести теплотери к нулю. Однако если помещение вообще не будет иметь теплоизоляционной оболочки, то теплотери будут большими, чем при наличии малых отверстий.

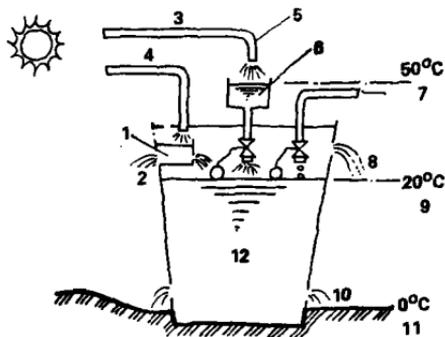
В связи с утечкой тепла из помещения необходимо компенсировать то количество тепла, которое рассеивается радиаторами. В противном случае температура внутри помещения будет постепенно понижаться. Это подтверждается на примере ведра, показанного на рис. 1.18: если ведро не пополнять водой, уровень воды в нем понизится.

В системе солнечного отопления возникающие тепловые потери компенсируют за счет солнечной энергии, а не с помощью дополнительного энергоисточника.

Различают два способа передачи солнечного тепла помещениям: первый способ основан на накоплении собранного коллектором тепла в аккумуляторе, второй предусматривает аккумуляцию конструкциями стен и потолков тепла, непосредственно поступающего в помещение с солнечным излучением.

РИС. 1.18. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛА В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ

1 — количество тепла, аккумулируемое в стенах помещения; 2 — выливающаяся вода; 3 — активная система; 4 — пассивная система; 5 — солнечный коллектор; 6 — теплоаккумулирующий бак; 7 — дополнительный энергоисточник; 8 — линия переполнения воды; 9 — температура внутри помещения; 10 — теплотери; 11 — наружная температура; 12 — отапливаемое помещение



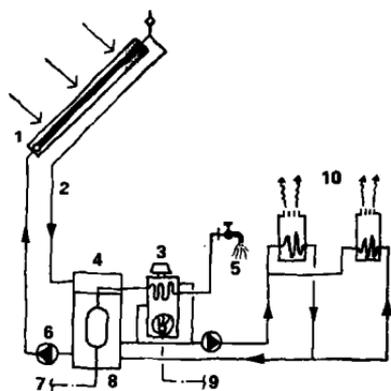


РИС. 1.19. СХЕМА СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ВОДЯНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

1 — солнечный коллектор с водяным теплоносителем; 2 — трубопровод; 3 — дополнительный нагреватель; 4 — бак-аккумулятор горячей воды; 5 — подача горячей воды потребителю; 6 — коллекторный насос; 7 — подача питательной воды; 8 — теплообменник; 9 — дополнительное топливо; 10 — радиатор отапливаемого помещения

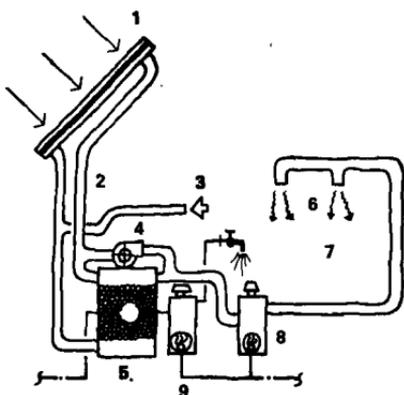


РИС. 1.20. ВОЗДУШНАЯ СИСТЕМА СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

1 — солнечный коллектор с воздушным теплоносителем; 2 — трубопровод; 3 — воздухонагнетательное отверстие; 4 — вентилятор; 5 — галечный слойный аккумулятор; 6 — отверстие для подачи воздуха в помещение; 7 — отапливаемая комната; 8 — дополнительный источник тепла для нагревания воздуха; 9 — дополнительные нагреватели горячей воды

Следовательно, первый способ относится к активной солнечной системе и связан с необходимостью использования специальных средств — солнечных коллекторов, теплоаккумулирующих баков и т.п.; второй основан на пассивном использовании солнечного тепла без применения специальных устройств.

Таким образом, при отоплении домов с помощью солнечного тепла необходимо решать проблему теплоизоляции помещений на основе архитектурно-конструктивных элементов. Другими словами, при создании эффективной системы солнечного отопления следует возводить дома, имеющие хорошие теплоизоляционные свойства. В противном случае будет наблюдаться явление подобное эффекту вытекания воды из больших отверстий в ведре, и как бы активно мы ни собирали солнечное тепло, оно будет постоянно уходить наружу вследствие неправильного его использования.

Обычно при проектировании совмещают систему солнечного отопления и горячего водоснабжения. Различают два типа таких систем: водяная, где носителем тепла является вода, и воздушная — с воздухом в качестве теплоносителя.

На рис. 1.19 показан принцип действия системы солнечного отопления и горячего водоснабжения с водяным теплоносителем. В настоящее время имеется достаточное количество примеров практического использования систем такого типа,

В воздушной системе солнечного отопления и горячего водоснабжения (рис. 1.20) в качестве теплоносителя используется воздух, который нагнетается по трубам при помощи вентиляторов; по сравнению с водяной системой, в которой для перекачивания воды применяются насосы, в рассматриваемой системе требуются гораздо большие усилия для работы вентиляторов. В наши дни такие системы отопления в Японии на практике можно встретить чрезвычайно редко. Однако по сравнению с водяными системами, которые требуют зимой использования теплоносителей на основе антифризов, воздушные системы имеют определенное преимущество, и возможно в будущем они найдут широкое применение в северных районах Японии.

1.13. СХЕМЫ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

В настоящее время расход энергии, используемой для охлаждения домов, составляет лишь 1–2% общего потребления энергии для бытовых нужд. По сравнению с горячим водоснабжением и отоплением это очень малая доля. Потребление энергии в жилых домах на все охлаждающие устройства составляет $1,2\text{--}2 \text{ Rt}$ (1 Rt соответствует $3,024 \text{ ккал/ч}$). Сейчас трудно сделать точную экономическую оценку системы солнечного охлаждения, хотя уже есть много примеров практического применения научных разработок в этом направлении.

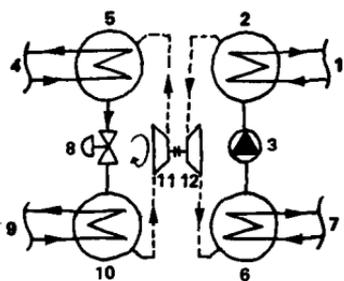
Если удастся создать автономную систему солнечного охлаждения, то это не только позволит достичь окупаемости за несколько лет средств, вложенных в приобретение солнечных коллекторов и другого оборудования, но и будет способствовать сокращению пиковой нагрузки потребления электроэнергии охлаждающими устройствами в летнее время. Такой научный поиск окажет влияние на развитие новых технических разработок и приведет к форсированию экспериментальных работ на пути их сближения с практикой.

Сама идея производства холода с помощью солнечного тепла, возможно, некоторым покажется странной, поэтому следует коротко разъяснить принцип действия таких охлаждающих устройств.

В повседневной жизни все привыкли пользоваться бытовым холодильником. Широко вошедший за последнее время в нашу жизнь наряду с другими бытовыми электроприборами, домашний холодильник точнее следует называть компрессорным рефрижератором, работающим за счет использования электроэнергии. В таком холодильнике для преобразования различных видов энергии используется мотор электродвигателя. В холодильнике осуществляется сжатие хладагента (фреон $R-22$) с последующей его конденсацией и расширением, за которым следует испарение. При повторении этого цикла воздух охлаждается. Теплота, необходимая для испарения хладагента в холодильной камере, отбирается к окружающей среде, и по мере поступления воздуха в испаритель происходит его охлаждение. Одновремен-

РИС. 1.21. ЦИКЛ РАБОТЫ КОМПРЕССОРНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

1 – вода, нагретая солнечным излучением (горячий источник); 2 – бойлер; 3 – насос питательной воды; 4 и 7 – охлаждающая вода; 5 и 6 – конденсатор (превращение пара в воду); 8 – клапан расширителя; 9 – холодная вода (холодный источник); 10 – испаритель; 11 – компрессор; 12 – расширитель



но в конденсаторе осуществляется отбор тепла у хладагента, которое выносится наружу теплым воздухом.

Рефрижератор, где в процессе холодильного цикла непосредственно потребляется сравнительно небольшое количество электроэнергии, называется абсорбционной холодильной установкой. В таком устройстве использовано свойство концентрированного раствора бромида лития легко поглощать водяные пары, вследствие чего его концентрация уменьшается. Слабый раствор бромида лития вновь нагревается и становится концентрированным.

Холодильные установки с использованием солнечного тепла в зависимости от способа охлаждения могут быть компрессорной и абсорбционной типов.

Холодильное устройство компрессорного типа называют "холодильной установкой, работающей по термодинамическому циклу Ренкина" либо "компрессорной холодильной машиной с использованием солнечного тепла". Как говорилось ранее, в компрессорном устройстве обычного холодильника в качестве движущей силы использована механическая энергия движения, создаваемая электромотором, который приводит в действие компрессор. При использовании в качестве энергоисточника солнечного излучения компрессор работает на водяном паре. В этом случае, если воду использовать в качестве хладагента, необходим теплоприемник с фокусирующим коллектором, обеспечивающим высокотемпературный нагрев выше 220°C . Обычно применяют холодильную установку, работающую по циклу Ренкина, с использованием хладагента на основе фреонов, имеющих малую удельную теплоемкость и способных испаряться при

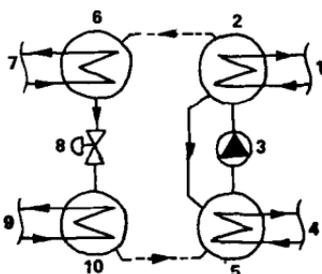
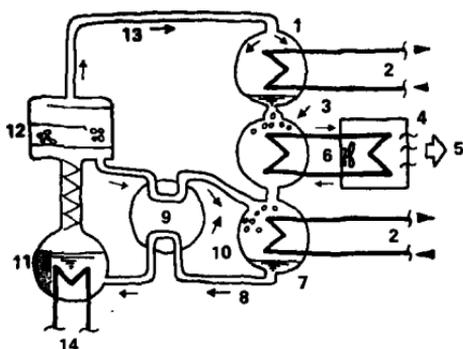


РИС. 1.22. ЦИКЛ РАБОТЫ АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

1 – вода, нагретая солнечным излучением (горячий источник); 2 – генератор; 3 – насос для абсорбирующего раствора; 4 и 7 – охлаждающая вода; 5 – абсорбер; 6 – конденсатор; 8 – дроссельный клапан; 9 – холодная вода (холодный источник); 10 – испаритель

РИС. 1.23. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА АБСОРБИЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БРОМИДА ЛИТИЯ

1 — конденсатор; 2 — охлаждающая вода; 3 — испаритель; 4 — воздушный регулятор; 5 — холодный воздух; 6 — холодная вода; 7 — абсорбер; 8 — слабый раствор; 9 — теплообменник; 10 — крепкий раствор; 11 — генератор; 12 — сепаратор; 13 — водяные пары; 14 — солнечное тепло



низких температурах, создавая вместе с тем достаточно высокое давление (рис. 1.21). В компрессорной холодильной установке источником энергии для компрессора является тепловой двигатель. В итоге в конце рабочего цикла в испарителе получают воду.

В абсорбционной холодильной установке (рис. 1.22) подаваемая в генератор вода нагрета солнечным излучением до 80–90°C. Обычно абсорбционная холодильная установка проектируется на более высокую температуру (120–150°C), но в результате технического усовершенствования, выполненного специально для гелиоустановок, стало возможным использование низкопотенциального тепла. Нагретая солнечным излучением вода, применяемая в качестве источника тепла, подается в генератор. Хотя в описанных установках есть отличия, принцип работы их практически одинаков.

В абсорбционной холодильной установке (рис. 1.23) осуществляется следующий цикл: в вакуумированном пространстве водяные пары поглощаются раствором бромида лития, происходят процессы генерации, конденсации, расширения и испарения. В результате повторения этого цикла получается холодная вода либо холодный воздух.

На рис. 1.23 концентрированный раствор бромистого лития (LiBr), образовавшийся в генераторе, поступает в абсорбер, где поглощает водяные пары и становится слабоконцентрированным. Теплота, образующаяся в процессе разбавления, отводится холодной водой. При помощи генератора восстанавливают концентрацию разбавленного в абсорбере раствора бромида лития — его подогревают от внешнего источника тепла. Здесь используется вода, нагретая солнечным излучением.

Горячие водяные пары, образовавшиеся в генераторе, пройдя сепаратор, попадают в конденсатор и при охлаждении холодной водой превращаются в конденсат (хладагент). Из конденсатора охлаждения вода проходит в испаритель, где происходит испарение. При этом отбирается тепло у воды, которая используется для охлаждения.

При испарении водного раствора всегда происходит отбор тепла из окружающей среды за счет скрытой теплоты испарения. Если капнуть каплю спирта на кожу руки, то мы ощущаем эффект охлаждения. Система охлаждения с использованием солнечного тепла основана, как уже говорилось, на свойстве бромистого лития поглощать водяные пары и способности воды легко испаряться.

2.1. СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ И ИХ УСТРОЙСТВО

В конструкции бытовых солнечных систем коллектор является важнейшим рабочим элементом, поскольку он выполняет функцию улавливания солнечного излучения и превращения его в тепловую энергию. Солнечные коллекторы бывают различных типов. Наиболее распространенными модификациями коллекторов, используемых в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения, являются плоские и вакуумированные трубчатые коллекторы.

Плоский солнечный коллектор по своему устройству и действию представляет собой самостоятельный элемент, независимый от здания, на котором его устанавливают. В настоящее время чаще всего используют плоские коллекторы, у которых продольные и поперечные размеры составляют примерно 2x1 м, а толщина – около 10 см; такие коллекторы производят на заводах.

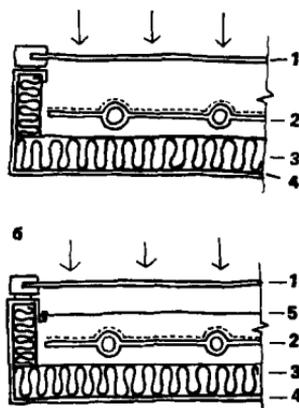
На поверхности плоского солнечного коллектора находится светопрозрачное покрытие, сделанное, как правило, из стекла, под которым имеется полое пространство; ниже расположена теплопоглощающая панель (коллекторная пластина с трубами). Вся эта конструкция помещена в металлический ящик, нижняя часть которого оснащена теплоизоляционным материалом (рис. 2.1).

Стеклопанель обычно выполняют из полужаростойкого стекла толщиной 3,2 мм; оно обладает термостойкостью по отношению к горячему воздуху, а также имеет достаточную прочность и способно противостоять ветровым нагрузкам, выпадающим осадкам и другим внешним воздействиям. Такое стекло имеет хороший коэффициент пропускания солнечных лучей, не зависящий от длительности использования стекла.

Теплоприемные панели делают из различных материалов. Панель состоит из труб, по которым циркулирует теплоноситель, и пластины, которая передает теплоносителю поглощенное солнечное излучение. На изготовление теплоприемных панелей идут такие материалы, как алюминий, медь, нержавеющая сталь и стали различных марок, а также полиэтилен и др. Иногда трубы изготавливают из меди, а – пластины из алюминия; используют также сварные конструкции из двух листов нержавеющей стали со сформированными в них каналами. При этом коллекторная пластина образует с трубами единой целое. Распространены также панели, в которых медные трубы приварены к медным пластинам, поверхность которых подвергнута специальной обработке: окрашена в черный цвет или оснащена селективно-поглощающими пленками. В качестве теплоизоля-

РИС. 2.1. КОНСТРУКЦИЯ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА

а — однослойное остекление; *б* — высококачественный плоский солнечный коллектор с двухслойным остеклением: 1 — прозрачное покрытие (полуармированное стекло либо пластмассовая пленка); 2 — воспринимающая панель (пластина, окрашенная в черный цвет либо оснащенная селективно-поглощающей пленкой); 3 — теплоизоляционный материал (стекловата или асбест); 4 — металлический корпус (медные листы, алюминий или нержавеющая сталь); 5 — прозрачное покрытие (стекло или пластмассовая пленка)



ционных материалов обычно применяют стекловату, фольгированную алюминием; иногда используют асбест.

Корпус коллектора изготавливают из четырех видов материалов: алюминия, меди, пластмасс, армированных стекловолокном, и нержавеющей стали.

Основу конструкции вакуумированного трубчатого коллектора (рис. 2.2) составляет теплоприемник, оснащенный селективно-поглощающей пленкой и вмонтированный в стеклянную вакуумированную трубу. С помощью вакуумной теплоизоляции уменьшаются конвективные потери тепла, а благодаря селективной пленке становятся значительно меньше и потери тепла за счет излучения, поэтому коллектор отличается высокими теплотехническими качествами.

Преимущество вакуумированного коллектора в том, что с его помощью удается достичь нагрева теплоносителя до температур более 100°C . Угол наклона коллекторной тепловоспринимающей поверхности можно произвольно менять, устанавливая коллектор как в вертикальном, так и в горизонтальном положениях. Однако по сравнению с плоским коллектором вакуумированный стоит дорого и его наиболее целесообразно использовать для высокотемпературного нагрева в системах теплоснабжения.

Кроме названных модификаций существует коллектор типа тепловой трубы. В этом коллекторе тепловоспринимающей поверхностью служит гофрированная пластина, прикрепленная к трубе. Если соединить несколько таких пластин с трубами, то получится плоский коллектор из тепловых труб. Если эту конструкцию поместить в вакуумированную стеклянную трубу и подсоединить к гидравлическому коллектору, это устройство в целом и будет представлять собой вакуумированный трубчатый коллектор типа тепловой трубы. Все рассмотренные коллекторы в качестве теплоносителя используют воду, но есть коллекторы, где теплоносителем служит воздух, — воздушные коллекторы (см. разд. 2.5).

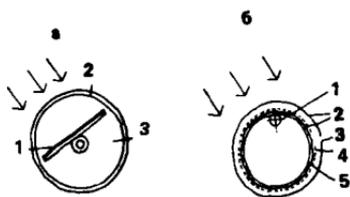


РИС. 2.2. КОНСТРУКЦИЯ ВАКУУМИРОВАННОГО ТРУБЧАТОГО КОЛЛЕКТОРА

а — однослойное остекление (фирмы "Санъе", "Сяпу", "Филипс"); 1 — теплоприемник; 2 — стеклянный цилиндр; 3 — вакуум; б — двухслойное остекление (фирма "Ниттококи", GE01); 1 — коллекторная трубка для подачи воды; 2 — стеклянная труба с двойными стенками; 3 — вакуум; 4 — селективная пленка; 5 — теплоприемная труба

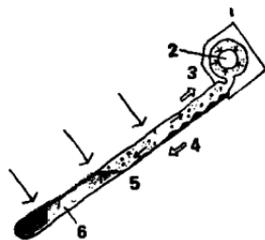


РИС. 2.3. КОНСТРУКЦИЯ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ТИПА ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ

1 — гидравлический коллектор; 2 — циркулирующая вода (теплоноситель); 3 — рабочий пар; 4 — конденсат; 5 — часть тепловой трубы; 6 — рабочая жидкость

2.2. ТИПЫ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ, ПРОДАЮЩИХСЯ В ЯПОНИИ

Среди различных солнечных коллекторов, имеющих в продаже, чаще всего встречаются плоские коллекторы, и число фирм-производителей, изготавливающих такие устройства, за последний период увеличивается. Как известно, в Японии первый солнечный коллектор в виде алюминиевых плит, полученных прокаткой, был применен в так называемом первом солнечном доме, построенном в 1956 г. по проекту архитектора Янагимати. В этом коллекторе и теплопринимающие пластины, и трубы были выполнены из алюминия. Однако в настоящее время те же фирмы-производители выпускают в продажу кол-

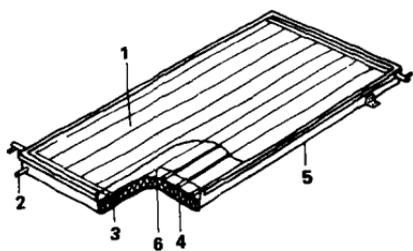


РИС. 2.4. ВНЕШНИЙ ВИД ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА

1 — прозрачное покрытие (полуармированное стекло); 2 — отверстие для продувки воздухом; 3 — теплоизоляция (стекловата); 4 — коллекторные трубы; 5 — корпус; 6 — теплопринимающая панель

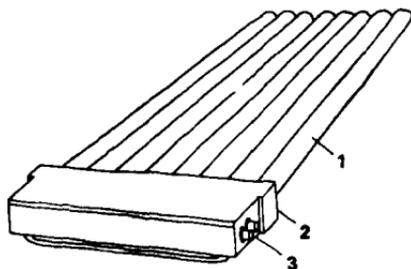


РИС. 2.5. ВНЕШНИЙ ВИД ВАКУУМИРОВАННОГО ТРУБЧАТОГО КОЛЛЕКТОРА

1 — вакуумированная стеклянная труба; 2 — корпус гидравлического коллектора; 3 — гидравлический коллектор

РИС. 2.6. ТЕПЛОВСПРИНИМАЮЩАЯ ПАНЕЛЬ В РАЗРЕЗЕ (ФИРМА "СЕВА АРУМИ", МЕДНЫЕ ТРУБЫ И АЛЮМИНИЕВАЯ ПЛАСТИНА)

1 — селективно-поглощающая пленка, нанесенная электрохимическим методом; 2 — медная труба; 3 — алюминиевые ребра, изготовленные штамповкой; 4 — высококачественная сварка; 5 — алюминиевая пластина; 6 — медная труба

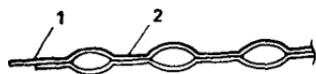
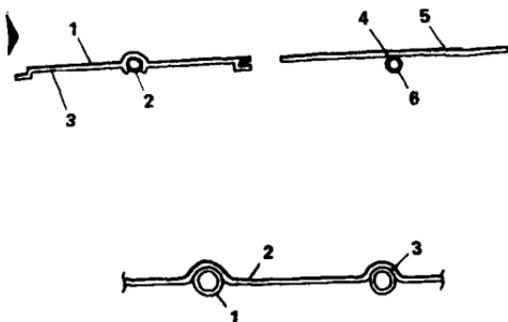
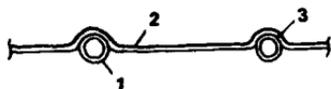


РИС. 2.7. ТЕПЛОВСПРИНИМАЮЩАЯ ПАНЕЛЬ В РАЗРЕЗЕ (ФИРМА "ЯДЗАКИ СОГЭ", ПЛАСТИНЫ ВЫПОЛНЕННЫ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ)

1 — сварной шов; 2 — точечная сварка

РИС. 2.8. ТЕПЛОВСПРИНИМАЮЩАЯ ПАНЕЛЬ В РАЗРЕЗЕ (МЕДНЫЕ ТРУБЫ И МЕДНЫЕ ПЛАСТИНЫ)

1 — медная труба; 2 — селективно-поглощающая пленка из черного хрома (или окиси меди); 3 — сварка



лекторы несколько иного типа: к алюминиевым пластинам присоединяют медные трубы. У этих пластин поверхность не окрашивают в черный цвет, а покрывают специальной пленкой, нанесенной электрохимическим методом, что придает поверхности селективно-поглощающие свойства (рис. 2.6).

В экспериментальном солнечном доме Ядзаки, построенном в 1974 г., использован солнечный коллектор, в котором пластины и трубы выполнены из нержавеющей стали: в этом доме впервые была введена в действие абсорбционная холодильная установка, использовавшая солнечную энергию. Теплоприемная панель солнечного коллектора этой установки состоит из двух листов нержавеющей стали с каналами, по которым циркулирует теплоноситель; листы соединены при помощи шовной и точечной сварки, а селективно-поглощающие свойства панели улучшены за счет специальной обработки поверхности.

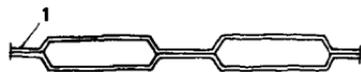


РИС. 2.9. РАЗРЕЗ ТЕПЛОВСПРИНИМАЮЩЕЙ ПАНЕЛИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ ИЗ ЛИСТОВОЙ ОЦИНКОВАННОЙ СТАЛИ (ФИРМА "МАЦУСИТА СЮСЭКИ")

1 — сварной шов

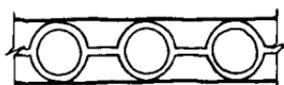


РИС. 2.10. РАЗРЕЗ ТЕПЛОВСПРИНИМАЮЩЕЙ ПАНЕЛИ, ВЫПОЛНЕННОЙ ИЗ СПЕЦИАЛЬНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА (ФИРМА "НИТИРИЦУ КАСЭИ", FAFSCO)

Таблица 2.1. Технические характеристики плоских коллекторов, используемых как самостоятельные устройства

Материалы, применяемые для изготовления	Алюминиевые пластины с медными трубами	Листы из нержавеющей стали специальных марок	Медные пластины с медными трубами	Медные пластины с медными трубами	Медные пластины, покрытие цинком путем специальной обработки
Обработка поверхностей теплопринимающих панелей	Селективно-поглощающие пленки (двухслойные покрытия, нанесенные методом электрохимического осаждения)	Селективно-поглощающие пленки (окрашенная нержавеющая сталь)	Селективно-поглощающие пленки (черный хром)	Селективно-поглощающие пленки (окисленная медь)	Покрытие черной краской
Прозрачное покрытие	Полуармированное стекло 3,2 мм				
Корпус	Рама — алюминий, днище — листы окрашенной меди	Оцинкованные стальные листы	Рама — алюминий, днище — оцинкованные стальные листы	Нержавеющая сталь либо оцинкованные стальные листы	Стальные листы, покрытые поливинилхлоридом
Теплоизоляционные материалы	Стекловата, фольгированная алюминием; днище — 50 мм, боковые стены — 20 мм	Стекловата, фольгированная алюминием; днище — 50 мм, боковые стены — 15 мм	Стекловата, фольгированная алюминием; днище — 50 мм, боковые стены — 10 мм	Стекловата, фольгированная алюминием	Стекловата, фольгированная алюминием 25 мм
Полезная площадь теплопринимающей панели, м ²	1,94	1,91	1,9	2	1,67
Внешние размеры (длина x ширина x высота), мм	2030x1030x95	2002x1002x95	2024x1024x101	2100x100x95	1890x975x62
Масса, кг	43	46,5	38	52	49
Фирмы-производители	"Сева Аруми"	"Ядзакисогё" ("Мауситатсуюэски кики")	"Когавадэнкикогё" ("Камбёсэйсан")	"Сэкусуй кагакукогё", "Нитирицукасэйкогё"	"Маусита сюсеки кики"
Знак фирмы	FAK-S2	SC-X1020-3	FZ-3L	SK-3A	SI-2TB

Встречаются в продаже и такие коллекторы, у которых пластины и трубы изготовлены из меди. У коллекторов такого типа медные трубы проложены в углублениях, сформированных в медных пластинах, либо приварены при помощи высокочастотной сварки. Поверхность пластин покрыта пленкой из черного хрома, нанесенной методом электрохимического осаждения, за счет чего улучшены их селективно-поглощающие свойства. Этот тип коллекторов появился недавно и считается одним из наиболее современных.

К новинкам можно отнести также коллекторы, у которых тепловоспринимающие пластины и трубы выполнены из оцинкованной стали (рис. 2.9), и такие, где использованы тепловоспринимающие пластины из специального высокомолекулярного полиэтилена (рис. 2.10).

До сих пор мы рассматривали плоские коллекторы, представляющие собой самостоятельные устройства. Однако есть и такие типы плоских солнечных коллекторов, которые составляют как бы единое целое с конструкцией дома. Плоские солнечные коллекторы как самостоятельные элементы в настоящее время используются гораздо чаще, поскольку они удобнее в эксплуатации. Солнечные коллекторы, выполненные из подходящих материалов и имеющие соответствующие размеры, так что они вписываются в конструкцию здания и не нарушат его архитектурный облик, по всей вероятности, будут широко применяться и в будущем.

В 1977 г. в солнечном доме Хараката впервые был смонтирован вакуумированный трубчатый коллектор.

На рис. 2.11 изображен рефрижератор, использующий в качестве источника энергии солнечное излучение, разработанный в лаборатории автора (Танака). Внутри корпуса водонагревателя

Таблица 2.2. Технические характеристики вакуумированных трубчатых коллекторов

Внешние размеры, мм	2830x980x150	2830x1000x210	2950x1000x177	1990x640x113,5
Тепловоспринимающая площадь, м ²	1,75	1,75	1,81	1,09
Масса, кг	72,3	72,5	70,4	23,7
Полезная вместимость, л	2,3	2,5	3,4	1,7
Оптимальное давление, кгс/см ²	5	5	5	5
Диаметры входного и выходного отверстия труб, мм	12,7	12,7	25,32	14
Концентратор	Нет	Нет	Нет	Есть
Фирмы-производители	"Саньё дэнки кутё сэцуби"	"Исикавадзима хари-мадзюкогё"	"Тодзидэнки сейдзо"	"Сяпу"
Знак фирмы	STC-CO250	ITC-2900	FES8	KO-401

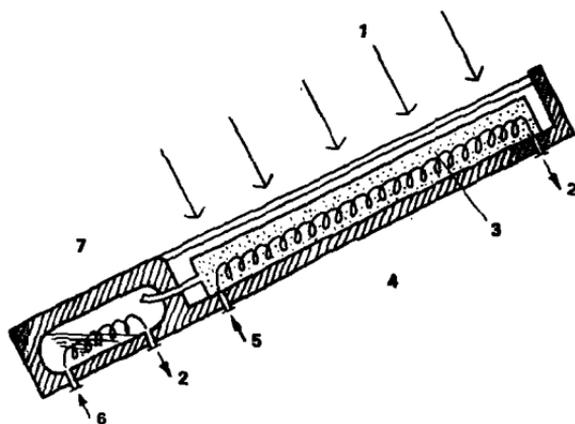


РИС. 2.11. РЕФРИЖЕРАТОР, ИСПОЛЬЗУЮЩИЙ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

1 — солнечное излучение; 2 — выход воды; 3 — силикагель; 4 — поглощение тепла и регенерация (адсорбция); 5 — вход воды (во время охлаждения — холодная вода, во время отопления — нагретая вода); 6 — вход воды (во время охлаждения ночью — холодная вода, днем — охлажденная вода); 7 — испарение (конденсация)



РИС. 2.12. ВНЕШНИЙ ВИД РЕФРИЖЕРАТОРА

вмонтированы трубки, где происходят процессы генерации и адсорбции, а также трубки испарения и конденсации, в которых соответственно находятся адсорбент (силикагель) и хладагент (вода). В течение дня, нагреваясь под действием солнечного тепла, адсорбент регенерируется, и в конденсаторе образуется холодная вода. Температура холодной воды составляет 12–15°C. По методикам, используемым в гелиотехнике, можно определить, что коэффициент эффективности в этом случае достигает

0,3. Этот рефрижератор обладает улучшенными свойствами по сравнению с обычной системой, представляющей собой комбинацию коллектора с абсорбционной холодильной установкой. Конечно, в данном устройстве зимой можно получить тепло. Вопрос о снижении стоимости и повышении надежности этого рефрижератора будет, несомненно, решен в будущем.

В табл. 2.1–2.4 приводятся технические характеристики современных солнечных коллекторов.

2.3. СВОЙСТВА СЕЛЕКТИВНО-ПОГЛОЩАЮЩИХ ПЛЕНОК

В последнее время поверхность тепловоспринимающих панелей большинства коллекторов стали оснащать так называемыми селективно-поглощающими пленками с целью улучшить поглощение солнечных лучей и снизить теплопотери в результате излучения. Благодаря этому достигается значительное повышение коэффициента полезного действия коллектора. Раньше обработка поверхности солнечных панелей состояла в окрашивании их в черный цвет, причем особенно удачным считалось покрытие предварительно полированных металлических плит слоем газовой сажи, вследствие чего коэффициент поглощения солнечного излучения α_s возрастал до значений более 0,96.

Как известно, всякое физическое тело, имеющее собственную абсолютную температуру T , излучает тепло в окружающую среду, причем количество излучаемого тепла пропорционально коэффициенту излучения ϵ поверхности тела. Абсолютно черное тело имеет коэффициент излучения 1, а у черной краски этот коэффициент близок к 1. По мере нагревания солнечной панели увеличивается количество тепла, теряемого панелью за счет теплового излучения с ее поверхности в окружающее пространство, и снижается коэффициент усвоения тепла.

Однако, если отполировать поверхность медной или алюминиевой пластины, то при той же температуре теряется лишь 1/10 часть энергии, испускаемой черным телом, и коэффициент излучения становится равным весьма малой величине – всего 0,1. Следовательно, если создать такую поверхность, которая обладала бы, подобно черному телу, коэффициентом поглощения 1 только в спектральной области солнечного излучения (от 0,3 до 3 мкм), а само излучало бы немного, подобно отполированной металлической поверхности, имеющей малый коэффициент излучения в длинноволновой области спектра с максимумом излучения при длине волны 10 мкм, то мы получили бы идеальную тепловоспринимающую поверхность, которая обладала бы нужными селективно-поглощающими свойствами. Более 30 лет назад проф. Табор в Израиле впервые создал подобную селективно-поглощающую пленку. С тех пор научные разработки в этом направлении значительно продвинулись вперед. О разработке такой селективно-поглощающей пленки и технологии придания ей необходимых свойств будет далее рассказано подробно.

Как показано на рис. 2.13, на металлическую полированную поверхность с низким коэффициентом излучения наносится

Таблица 2.3. Технические характеристики высококачественных плоских коллекторов, используемых как самостоятельные устройства

Материалы, используемые на изготовление пластин	Алюминиевые пластины с медными трубами	Нержавеющая сталь специальных марок	Медные плиты с медными трубами	Медные плиты с медными трубами	Нержавеющая сталь специальных марок
Обработка поверхностей тепловоспринимающих панелей	Селективно-поглощающие (двухслойное покрытие, нанесенное методом электрохимического осаждения)	Селективно-поглощающие пленки (окрашенная нержавеющая сталь)	Селективно-поглощающие пленки (черный хром)	Селективно-поглощающие пленки (черный хром)	Селективно-поглощающие пленки
Прозрачная изоляция	Полуармированное стекло 3,2 мм				
Прозрачные пленки из фторсодержащих смол					
Корпус	Рама — алюминий, днище — цветная сталь	Оцинкованные стальные листы, покрытые акрилом	Рама — алюминий, днище — оцинкованные стальные листы	Стальные листы с покрытием из акрило-эпоксидных смол	Стальные листы, покрытые поливинилхлоридом
Теплоизоляционные материалы	Термостойкий уретан (15 мм), стекловата (40 мм); боковые стороны — стекловата (20 мм)	Стекловата, фольгированная алюминием; днище — 50 мм, боковые стороны — 15 мм		Стекловата; днище — 60 мм; боковые стороны — 25 мм	Стекловата — 25 мм, термостойкий пеноуретан — 30 мм
Полезная площадь тепловоспринимающей панели, м ²	1,94	1,91	1,90	1,88	1,44
Внешние размеры (длина x ширина x высота), мм	2030x1086x110	2002x1002x77	2024x1024x125	2010x1000x114	1830x870x105
Масса, кг	40	46,5	45,5	50,6	37,5
Фирма — производитель	"Сёва Аруми"	"Ядзаки когё"	"Камбэ дэнки когё"	"Нитирицу касэй когё"	"Маусита сюсэки кики"
Знак фирмы	FAH-W2A	SC-V1020	FH-3	SK-10	SI-SIT

Таблица 2.4. Технические характеристики солнечных коллекторов с тепловыми трубами

Типы коллекторов	Плоские с тепловыми трубами	Вакуумированные трубчатые с тепловыми трубами	Плоские с тепловыми трубами
Внешние размеры (длина x ширина x высота), мм	1686x1037x134	2835x600x250	2036x1029x72
Полезная площадь тепловоспринимающей поверхности, м ²	1,4	1,05	1,94
Масса, кг	40	38	39
Тепловоспринимающая панель	Стальные листы со специальной обработкой (окрашены в черный цвет)	Алюминиевая ребристая пластина с пленкой селективного поглотителя	Алюминиевые листы, полученные прокаткой, с нанесенной селективно-поглощающей пленкой
Прозрачное покрытие	Полуармированное стекло 3,2 мм	Стеклянные трубы	Полуармированное стекло 3,2 мм
Теплоизоляционные материалы	Стекловата, пенополистирол	Стекловата	Стекловата
Корпус	Оцинкованные стальные листы		Штампованные алюминиевые ребра и стальные листы, покрытые поливинилхлоридом
Фирма-производитель	"Мицуидэнки куте сэцуби"		"Сяпу"
Знак фирмы	STC-P140L/C/R	STC-G100L/C/R	KO-251

тонкий слой черного оксида меди, черного хрома или оксидов других металлов либо покрытие из полупроводников. Коротковолновое солнечное излучение активно поглощается черной пленкой и на поверхности металлической плиты преобразуется в тепловую энергию, с другой стороны, вследствие наличия под тонкой пленкой поверхности с малым коэффициентом излучения длинноволновое излучение практически не испускается тепловоспринимающей пластиной и лишь незначительная его часть отражается от полированной поверхности. Структура такой пленки в действительности очень сложна, и требуются большое мастерство при ее изготовлении, но принципиальная схема соответствует приведенной.

Говоря о селективных свойствах пленки, следует отметить, что в ее структуре обязательно должна присутствовать металлическая полированная подложка, так как одной лишь пленкой желаемый тепловой эффект не может быть достигнут.

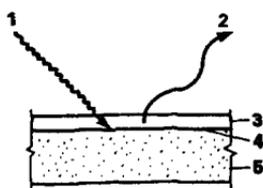


РИС. 2.13. СТРУКТУРА СЕЛЕКТИВНО-ПОГЛОЩАЮЩЕЙ ПЛЕНКИ

1 — солнечное излучение (коротковолновое); 2 — низкотемпературное излучение (длинноволновое); 3 — пленка из черных полупроводников; 4 — полированная отражающая поверхность; 5 — металлическая подложка

Обычно у строительных материалов коэффициент поглощения солнечного излучения α_s и коэффициент собственного теплового излучения поверхности ϵ различны, поэтому среди них найдется немало материалов с селективными свойствами. Например, у готового гипса α_s низкий — 0,2–0,4 (а коэффициент отражения солнечного излучения ρ_s высокий); ϵ составляет более 0,9, т.е. близок к абсолютно черному телу, и этот материал, следовательно, неприемлем для изготовления коллекторов.

На рис. 2.14 представлены плотность потока солнечного излучения в зависимости от длины волны, а также спектральные распределения коэффициентов отражения поверхности, окрашенной в черный цвет, и селективно-поглощающей пленки. Поскольку солнечное излучение характеризуется длинами волн, не превышающими 3 мкм, а коллектор, нагреваемый до 100°C, испускает излучение, в основном лежащее в интервале длин волн 3–30 мкм, то в этом случае можно использовать теоретическую возможность создать поверхность коллектора, оптически селективную по отношению к разным длинам волн.

Итак, если рассматривать оптические свойства поверхности относительно одной определенной длины волны, то справедливо соотношение: $\alpha_\lambda = \epsilon_\lambda, \alpha_\lambda = 1 - \rho_\lambda$.

В настоящее время при изготовлении селективно-поглощающих пленок для медных пластин используют черный хром и оксид меди; покрытия из оксида алюминия получают на алюминии методом электрохимического анодирования. Селективными свойствами обладает окрашенная сталь и др. Многие из этих материалов имеют $\alpha_s = 0,9-0,94$; $\epsilon = 0,1-0,15$. Недавно появились также красители с селективно-поглощающими свойствами; их в

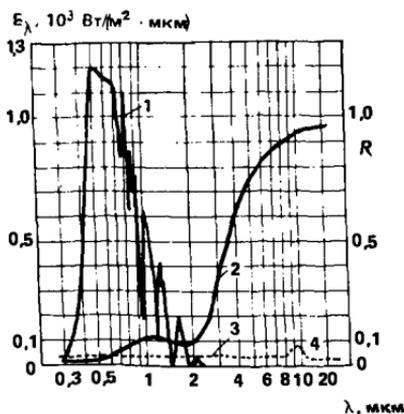


РИС. 2.14. СОЛНЕЧНЫЙ СПЕКТР И ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНОГО ОТРАЖЕНИЯ СЕЛЕКТИВНО-ПОГЛОЩАЮЩЕЙ ПЛЕНКИ И ЧЕРНОГО ПОКРЫТИЯ

E_λ — плотность потока излучения, Вт/(м²·мкм); 1 — воздушная масса 2, наземный солнечный спектр; R — коэффициент отражения; 2 — спектральное отражение при нанесении на коллектор селективно-поглощающей пленки: $\alpha_s = 0,933$; $\epsilon = 0,1$; 3 — спектральное отражение поверхности с черной краской: $\alpha = 0,96$; $\epsilon = 0,96$; 4 — особенности распределения отражения; λ — длина волны, мкм

основном используют для водонагревателей с низкой температурой теплоносителя, в связи с чем при значениях $\epsilon = 0,3-0,4$ теплотери за счет излучения не очень велики.

2.4. ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОЛЛЕКТОРА, ИЛИ КОЭФФИЦИЕНТ ЕГО ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Способность коллектора улавливать и полезно использовать солнечное излучение выражается с помощью понятия эффективности, или коэффициента полезного действия коллектора. Изготовители коллекторов в своих каталогах помещают данные с графическими изображениями таких коэффициентов. Эффективностью, или коэффициентом полезного действия коллектора можно назвать величину, определяемую отношением количества реально получаемого тепла к общему потоку излучения, поступающего на коллектор.

Теплопроизводительность плоских коллекторов Q_c (рис. 2.15) можно рассчитывать, если из всего потока излучения, прошедшего через прозрачную изоляцию (стекло) и поглощенного тепловоспринимающей плитой, вычесть ту его часть, которая рассеялась в окружающее пространство от нагретой пластины:

$$Q_c = (\tau\alpha)_e \dot{I} A_c - U_L A_c (t_p - t_a) = \quad (1)$$

$$= F' A_c \{ (\tau\alpha)_e \dot{I} - U_L (t_w - t_a) \} \text{ ккал/ч,} \quad (2)$$

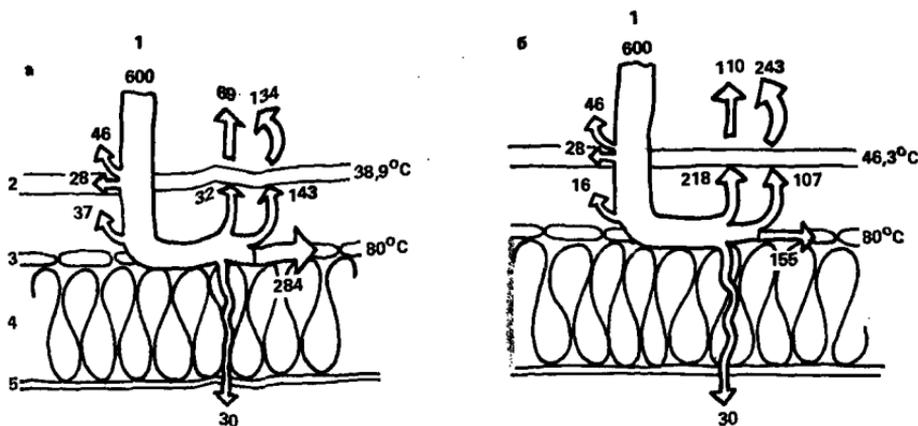


РИС. 2.15. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТЕПЛО ПЛОСКИМ СОЛНЕЧНЫМ КОЛЛЕКТОРОМ [УКАЗАНЫ ПОТЕРИ И ПОЛЕЗНАЯ ВЫРАБОТКА ТЕПЛА В ККАЛ/(М²·Ч)]

а – селективный поглотитель (коэффициент поглощения ν, μ , коэффициент излучения $0,10$) теплопроводностью $284 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}$; коэффициент полезного действия $0,473$; б – поверхность, окрашенная черной краской (коэффициент поглощения = коэффициенту излучения = $0,97$; теплопроводность $155 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}$; коэффициент полезного действия $0,258$); 1 – плотность потока солнечного излучения; 2 – стекло; 3 – тепловоспринимающая плита; 4 – теплоизоляционный материал; 5 – корпус. Температура окружающей среды 30°C , скорость ветра 3 м/с .

где A_c — площадь тепловоспринимающей пластины, обычно берется площадь прозрачного покрытия пластины (стекла); $(\tau\alpha)_e$ — произведение коэффициента поглощения солнечного излучения поверхностью плиты α и коэффициента пропускания солнечного излучения стеклом τ . Эта величина не является простым произведением двух коэффициентов; она включает фактические изменения оптических параметров системы за счет многослойного отражения от поверхностей стекла и пластины, а также зависимость оптических свойств поверхности от угла падения солнечных лучей. U_L называют общим коэффициентом тепловых потерь.

В формуле (1) используется значение средней температуры нагреваемой тепловоспринимающей пластины t_p , а в формулу (2) введено значение средней температуры теплоносителя. В формулу (2) введен также коэффициент F' , выражающий сопротивление передаче тепла от тепловоспринимающей пластины к теплоносителю. Коэффициент F' определяется такими параметрами, как теплопроводность пластины, ее толщина, расстояние между трубами и др., и обычно его значение составляет 0,95.

Итак, эффективность, или коэффициент полезного действия коллектора, можно выразить следующей формулой:

$$\eta_c = \frac{Q_c}{A_c I} = F' \left\{ (\tau\alpha)_e - U_L \frac{(t_w - t_a)}{I} \right\}.$$

В этой формуле $(t_w - t_a)/I$ является переменной величиной, а U_L определяет скорость изменения КПД в зависимости от переменной величины. Как показано на рис. 2.16, обычно коэффициент полезного действия коллектора изображается прямой, идущей вправо вниз.

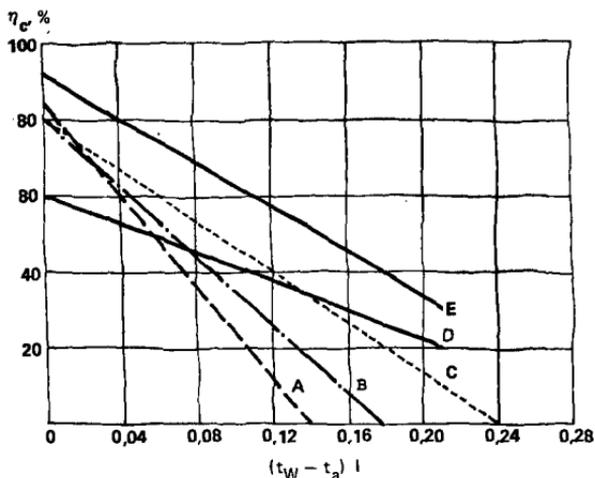


РИС. 2.16. КОЭФФИЦИЕНТ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

η_c — коэффициент эффективности коллектора; А, В, С — плоские солнечные коллекторы: А — пластина окрашена в черный цвет + полуармированное стекло; В — пластина с селективно-поглощающей пленкой + полуармированное стекло; С — пластина с селективно-поглощающей пленкой + фторэтиленпропиленовая пленка + прозрачное стекло; D и E — вакуумированные трубчатые коллекторы: D расчеты сделаны с учетом излучения, поступающего на площадь всего коллектора; E — расчеты сделаны с учетом излучения, поступающего только на тепловоспринимающую поверхность; t_w — средняя температура теплоносителя, $^{\circ}\text{C}$; t_a — температура внешней среды, $^{\circ}\text{C}$; I — плотность потока излучения, $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$

Высококачественный солнечный коллектор имеет высокие значения F'' и $(\tau\alpha)_e$ и низкие значения U_L . Для увеличения $\tau\alpha$ используют стеклянные покрытия с высоким коэффициентом пропускания τ и увеличивают коэффициент поглощения солнечного излучения α тепловоспринимающей панелью. Обычно применяют стеклянные полуармированные покрытия, у которых коэффициент пропускания по отношению к прямым солнечным лучам составляет 0,87, а толщина покрытия – 3,2 мм. Для высококачественных плоских коллекторов применяют прозрачное стекло с малым содержанием железа, коэффициент пропускания которого достигает 0,91. Иногда используют пленочные покрытия на основе фторсодержащих полимеров, у которых коэффициент пропускания тоже очень высокий. Комбинируя эти два вида материалов, создают надежное покрытие с коэффициентом пропускания 0,9.

Чтобы уменьшить U_L , обычно улучшают теплоизоляционные качества всего коллектора: используют покрытия из двух слоев стекла, оснащают поверхность селективно-поглощающей пленкой, увеличивают толщину изоляции дна металлического корпуса и т.д.

Из рис. 2.15 видно, что при использовании селективно-поглощающей пленки потери тепла излучением от тепловоспринимающей плиты гораздо меньше, чем в случае, когда ее поверхность окрашена черной краской, поэтому коэффициент полезного действия становится значительно выше. Однако здесь имеется опасность, что если коэффициент поглощения α селективно-поглощающей пленки будет ниже, чем у черной краски, то КПД селективного коллектора станет меньше, чем черного.

Изображенные на рис. 2.16 прямые показывают значения КПД коллекторов в определенное время суток, вычисленные на основе американских расчетных методик для периода, когда поток солнечного излучения является стабильным и угол его падения близок к прямому. Поскольку U_L является в некоторой степени величиной переменной, зависящей, например, от температуры тепловоспринимающей пластины¹, рассматриваемые зависимости не всегда представляют собой прямые линии, а точка пересечения линии КПД с осью абсцисс соответствует максимальной температуре тепловоспринимающей пластины.

Максимальная температура тепловоспринимающей пластины

$$(t_{pmax}) = \{(\tau\alpha)_e \dot{i} / U_L + t_a\}.$$

Эта величина имеет важное значение при определении необходимых пределов термостойкости теплоизоляционных материалов коллекторов и при расчетах надежности их устройства.

На рис. 2.16 представлены также данные, характеризующие два вакуумированных трубчатых коллектора. Кривой E обозна-

¹ В гораздо большей степени зависит от скорости ветра, чем от температуры пластины. (Примеч. ред.)

чен коэффициент полезного действия, вычисленный по отношению к потоку излучения, поступающего за день на тепловоспринимающую пластину коллектора. Кривой D отмечен коэффициент полезного действия, который был определен с учетом потока излучения, поступающего за день на суммарную (или полную) площадь коллектора, как в случае плоского коллектора.

В каталогах фирм-изготовителей коллекторов в основном указаны характеристики плоских коллекторов. Однако при сравнении качеств коллекторов следует учитывать особенности условий их использования: температуру нагревания, цену отдельных узлов конструкций, стоимость монтажа и занимаемое пространство.

Различают несколько видов КПД: КПД коллектора за полный день, выражающий отношение суммарной дневной выработки тепла к приходу солнечного излучения за день; КПД всей системы, включая теплотери коллекторных труб, и др.

В формулах приняты обозначения:

Q_c – теплопроизводитель (или выработка тепла), ккал/ч; I – средняя за день плотность потока излучения, поступающего на тепловоспринимающую пластину коллектора, ккал/(м².ч); F' – коэффициент эффективности теплоприемной пластины; η_c – мгновенный коэффициент полезного действия; t_p – температура тепловоспринимающей пластины, °С; t_a – внешняя температура, °С; A_c – площадь тепловоспринимающей пластины, м²; U_L – суммарный (или общий) коэффициент теплопотерь коллектора, ккал/(м².ч.°С); $(\tau\alpha)_e$ – произведение коэффициентов пропускания стекла и поглощения поверхности плиты; η_{cd} – КПД за полный день; t_w – средняя температура собираемого тепла (теплоносителя), °С; t_{wmax} – максимальная температура теплоносителя, °С.

2.5. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ВОЗДУШНОГО КОЛЛЕКТОРА

В предыдущих разделах рассматривались солнечные коллекторы, в которых в качестве теплоносителя используется вода, но, как уже говорилось, существуют типы коллекторов, где теплоносителем является воздух. В настоящее время в Японии встречается чрезвычайно мало солнечных домов с коллекторами такого типа, но в США они нашли довольно широкое применение.

Можно сказать, что основное преимущество воздушных солнечных коллекторов состоит в том, что они обладают способностью работать при низких температурах и не требуют использования антифриза. По сравнению с Японией многие города США расположены в более северных районах, и температура в зимний период ниже 20°С там считается обычной. Если в качестве теплоносителя применяется воздух, а не вода, то как бы ни понижалась температура, это не вызовет замерзания теплоносителя. В коллекторе с водяным теплоносителем при понижении температуры ниже 0°С вода замерзает, и при этом, как известно,

расширяется столь значительно, что разрушает коллекторные трубы. Следовательно, по сравнению с водяными коллекторами, которые требуют принятия специальных мер против замерзания теплоносителей, воздушные коллекторы имеют явное преимущество. К тому же при использовании воздуха в трубах не появляются ржавчины, и создается впечатление, что проблемы коррозии в этом случае не существует.

Однако недостаток воздушного коллектора заключается в том, что если кроме отопления требуется обеспечить систему горячего водоснабжения, необходимо включить в схему водовоздушные теплообменники, а при этом требуется более высокая температура коллектора и уменьшается его КПД.

В системе отопления необходимо в качестве аккумулятора тепла иметь под землей емкость, заполненную гравием, а для отвода тепла от коллектора нужно установить трубопроводы и вентиляторы. При этом в трубах возникает сильное сопротивление проходящему воздуху, поэтому требуются вентиляторы большей мощности. Такие вентиляторы аналогичны циркуляционным насосам в контуре с водяным коллектором, но в воздушнонагревательной схеме необходимо обеспечить мощность в 3-5 раз большую, чем в водонагревательной, что требует дополнительных расходов. При подсчете стоимости такой системы эти расходы имеют существенное значение, и вопрос о снижении необходимой мощности вентилятора является важной проблемой.

Можно предположить, что в будущем при конструировании солнечных домов большое внимание будут уделять созданию систем с пассивным использованием солнечного тепла.

В системах с воздушными коллекторами привлекает внимание и низкая стоимость их эксплуатации. Применение воздушнонагревательных систем соответствует также и климатическим условиям Японии, поэтому, если будут продолжены разработки

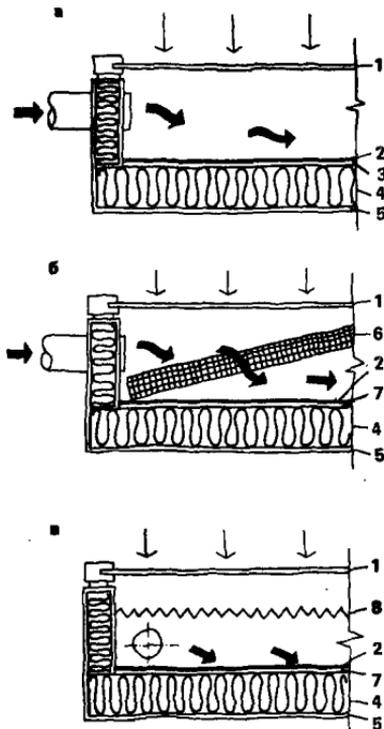


РИС. 2.17. КОНСТРУКЦИИ ВОЗДУШНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

а — коллектор с тепловоспринимающей пластиной; б — тепловоспринимающая поверхность ячеистого типа; в — наиболее распространенный тип коллектора, в котором струя воздуха проходит по тыльной стороне пластины; 1 — стекло; 2 — слой черной краски; 3 — тепловоспринимающая пластина; 4 — теплоизоляционный материал; 5 — корпус; 6 — сетка, окрашенная в черный цвет, либо металлическая вата; 7 — пластина; 8 — тепловоспринимающая гофрированная пластина

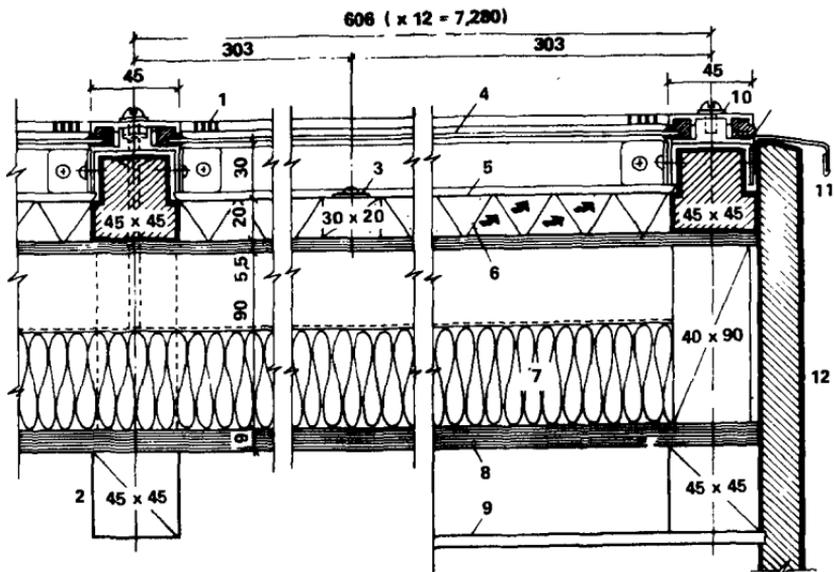


РИС. 2.18. ВОЗДУШНЫЙ КОЛЛЕКТОР, СОСТАВЛЯЮЩИЙ ЕДИНЫЙ ФОРМООБРАЗУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ С КРЫШЕЙ ЗДАНИЯ

1 — желобы, предотвращающие скопление воды; 2 — стропила; 3 — несущая плита; 4 — полужармированное стекло (3 мм); 5 — тепловоспринимающая пластина (алюминий 0,4 мм); 6 — гофрированная пластина для улучшения теплообмена (0,4 мм); 7 — маты из стекловолокна (фольгированные) для жилых домов (50 мм); 8 — фанерная прокладка для панели навеса (9 мм); 9 — нижняя сторона навеса; 10 — алюминиевый переплет для рам; 11 — водосток; 12 — щипец

гелиосистем, направленные на дальнейшую экономию энергии, то такие коллекторы, вероятно, получат широкое применение.

Наиболее простая конструкция воздушного коллектора, в котором воздух циркулирует между тепловоспринимающей пластиной и стеклом, представлена на рис. 2.17, а. Недостаток этого типа коллекторов состоит в том, что при повышении температуры теплоносителя КПД коллектора резко падает.

Коллектор, представленный на рис. 2.17, б, обладает высоким КПД, однако существует опасность загрязнения ячеек сетки, так что на практике его используют редко.

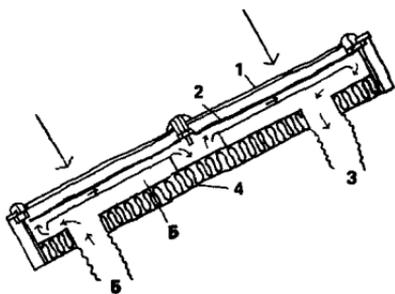


РИС. 2.19. КОНСТРУКЦИЯ ВОЗДУШНОГО КОЛЛЕКТОРА (ФИРМА "СОЛАЛОН")

1 — покрытие из армированного стекла, 2 — тепловоспринимающая пластина с селективной пленкой; 3 — выход нагретого воздуха; 4 — теплоизоляционный материал; 5 — циркуляция воздуха; 6 — вход холодного воздуха

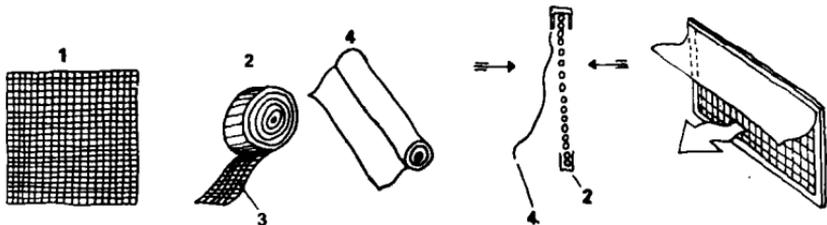


РИС. 2.20. КОНСТРУКЦИЯ УСТРОЙСТВА, ПРЕДОТВРАЩАЮЩЕГО ОБРАТНУЮ ЦИРКУЛЯЦИЮ ВОЗДУХА

1 – металлическая сетка; 2 – алюминиевая клейкая лента; 3 – слой клейкого вещества; 4 – фторэтиленпропиленовая пленка

Воздушный коллектор типа в (рис. 2.17) получил наиболее широкое распространение. Струя воздуха проходит по тыльной стороне тепловоспринимающей пластины; иногда с одной стороны делают гофрированную пластину, за счет чего улучшается теплообмен и повышается КПД коллектора.

В Японии в лаборатории Тосиба и Танака (автора книги) ведутся научно-исследовательские разработки по созданию воздушного коллектора, составляющего единый формообразующий элемент с крышей здания (рис. 2.18).

На рис. 2.19 представлен широко применяемый в США воздушный коллектор, изготавливаемый фирмой "Солалон" (главное отделение фирмы – штат Колорадо). Соединение панели и трубопроводов в коллекторе выполнено чрезвычайно просто.

Простейший способ изготовления устройства, предотвращающего обратную циркуляцию воздуха. При проектировании системы отопления с использованием воздушных коллекторов наибольшее осложнение вызывает отсутствие дешевого устройства для переключения направления циркуляции воздуха и для предотвращения обратной циркуляции.

Для предотвращения обратной циркуляции холодного воздуха в ночное время, а также для переключения коллекторных труб и трубопровода вспомогательного энергоисточника можно вручную смастерить соответствующее приспособление типа заслонки. На рис. 2.20 показано одно из таких приспособлений, представленное в американском журнале "Солар Эйдж", который освещает проблемы использования солнечной энергии.

Для изготовления такого приспособления прежде всего надо подготовить металлическую ячеистую сетку, соответствующую диаметру трубы, алюминиевую клейкую ленту и фторэтиленпропиленовую пленку. Такие изделия продаются как вспомогательное оборудование для высококачественных коллекторов. Затем вокруг металлической сетки, соответствующей размеру трубы, наклеить алюминиевую липкую ленту, а сверху к ней тщательно прикрепить верхний конец фторполимерной пленки и закрепить ее той же лентой. По сравнению с другими видами пленок фторполимерная довольно дорогая, но отличается термостойкостью, надежностью и прочностью. К тому же у нее самая высокая плотность и она больше всего подходит для изготовления подобных приспособлений.

2.6. ПРИМЕНЕНИЕ ФОКУСИРУЮЩИХ КОЛЛЕКТОРОВ

Самый простой способ преобразования солнечной энергии в тепловую состоит в использовании линзы, подобной той, которой каждый из нас пользовался в детстве. Если кусок газетной бумаги помещался в фокусе линзы, то через некоторое время он обязательно загорался. Принцип действия коллекторов с концентраторами солнечной энергии примерно такой же: тепловоспринимающая панель монтируется в фокусе линзы большого размера или зеркального отражателя, а вся установка регулируется так, что на тепловоспринимающую поверхность постоянно поступает солнечное излучение. Чтобы точно сконцентрировать прямой поток параллельных лучей, отражающая поверхность в сечении должна иметь форму правильной параболы. В качестве концентраторов, следящих за перемещением Солнца по небосводу, в основном используются параболоцилиндрические, имеющие форму водосточной трубы, разрезанной пополам, или параболоидные, похожие на круглую чашу. В фокусе параболоида достигается значительная степень концентрации излучения; в солнечных печах получают температуру свыше 2000°C , а на тепловых электростанциях – более 300°C . В случае параболоцилиндра степень концентрации солнечных лучей относительно небольшая, поэтому получаемая температура составляет $100\text{--}200^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 2.21).

Если использовать в качестве концентраторов солнечного излучения большие линзы, выполненные из толстого слоя стекла, то они будут тяжелыми и очень дорогими, поэтому обычно для этой цели применяют линзы Френеля, у которых профиль канавок, как у пластинок, получают теснением (рис. 2.22).

Возникает вопрос – почему же такие высокоэффективные фокусирующие коллекторы не применяют в солнечных домах? Дело в том, что существенным недостатком таких коллекторов является необходимость использования следящего устройства, которое следовало бы за движением Солнца и ориентировало

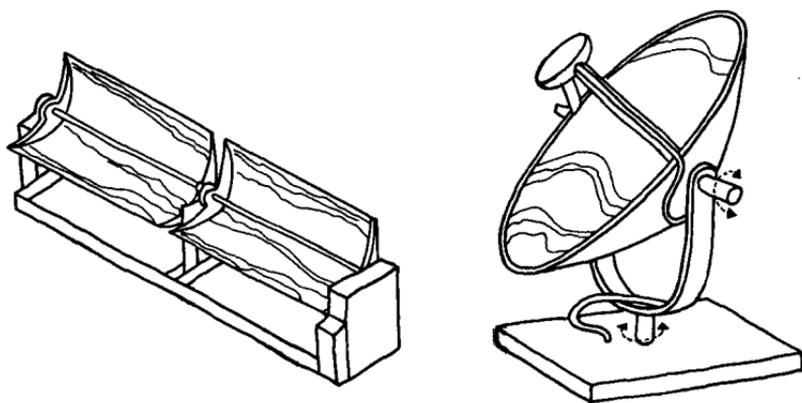


РИС. 2.21. ФОКУСИРУЮЩИЕ СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ

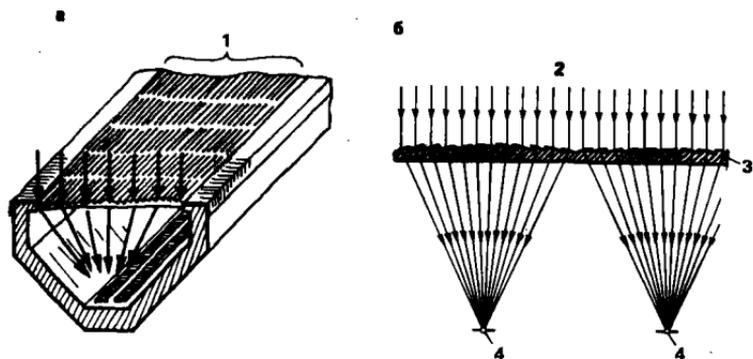


РИС. 2.22. КОЛЛЕКТОР С СОЛНЕЧНЫМ КОНЦЕНТРАТОРОМ В ВИДЕ ЛИНЗЫ ФРЕНЕЛЯ

а — общий вид; б — линза Френеля в увеличении; 1 — линза Френеля; 2 — солнечное излучение (прямой поток); 3 — собственно линза Френеля (акриловая смола); 4 — фокус (тепловоспринимающая панель)

коллектор таким образом, чтобы сконцентрированное солнечное излучение постоянно поступало на солнечную панель. К тому же фокусирующие коллекторы гораздо дороже плоских. Кроме того, для систем теплохладоснабжения, а также горячего водоснабжения жилых домов не нужна такая высокая температура, следовательно, эти преимущества в данном случае не реализуются. Далее, коллекторы с концентраторами собирают только прямое солнечное излучение, поскольку концентрировать таким образом удастся только параллельные лучи; рассеянное излучение эти коллекторы не фокусируют. В такой стране, как Япония, климат которой отличается влажностью, рассеянное излучение составляет 30–50%, поэтому в установках с концентраторами эта доля излучения не используется.

Однако у фокусирующих коллекторов есть и положительные стороны, поэтому некоторые ученые думают о способах их использования без систем слежения за Солнцем.

Первый способ состоит в установке оси параболо-цилиндрического зеркала по оси "восток-запад". Если зафиксировать угол наклона в соответствии с движением Солнца по сезонам, то отпадет необходимость почасового слежения за Солнцем и нужно будет ручным способом менять лишь угол наклона в соответствии с временем года.

Второй способ предполагает сделать внутреннюю часть зеркального отражения более глубокой, чем у параболоида, и увеличить площадь тепловоспринимающей поверхности для того, чтобы солнечные лучи, отклонившиеся от главной оси, все равно попадали на эту поверхность.

Такой способ обычно применяют в коллекторах с составными параболическими концентраторами (СПС)¹. В США он уже час-

¹СПС — (Compound Parabolic Concentrator) — составные параболические концентраторы. В США зеркальные системы типа фоклинов и фоконов с параболическими образующими объединены в класс СПС; они являются частью более широкого класса зеркальных и линзовых концентраторов, не создающих изображения. (Примеч. пер.)

тично используется даже в системах теплохладоснабжения. Чтобы снизить стоимость вакуумированных трубчатых коллекторов, в них нередко применяют зеркальные отражатели.

Уже давно высказываются различные мысли о возможности максимального концентрирования солнечного излучения без помощи параболоида. Однако эта проблема не решена. Только при использовании параболоида можно добиться, чтобы из фокуса излучение обратно шло параллельными лучами и наоборот – параллельные лучи собирает в фокусную линию только параболоид.

2.7. СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ В КОНСТРУКЦИИ КРЫШИ ДОМА

У большинства солнечных домов, построенных до настоящего времени, плоские коллекторы установлены на крышах. С внешней стороны они полностью сливаются с конструкцией крыши и выглядят так, будто сооружены вместо крыши. В действительности для настоящих солнечных домов коллекторы изготавливают на заводах как самостоятельные элементы солнечных установок.

Солнечные коллекторы должны обладать достаточной термостойкостью, чтобы ими можно было пользоваться вне помещения. Такие коллекторы монтируют на опорных подставках после завершения сооружения крыши. Следовательно, крыша здания и солнечный коллектор не являются единым целым, и с точки зрения строительной технологии коллекторы не могут заменить крыши. Необходимо, однако, думать о возможности соединения коллекторов и крыши в единую строительную конструкцию. Для этого следует решить проблему защиты пространства между подставками и коллекторами облицовочным материалом. В смете затрат на приобретение коллектора и на строительство крыши появятся дополнительные статьи, что увеличит общую стоимость дома.

Авторы продумали возможность соединения крыши здания и плоского солнечного коллектора в единый функциональный элемент. Если в технологии строительства совместить функции крыши и коллектора, то за счет этого можно сократить расходы на строительство дома. Кроме того, удастся уменьшить весовую нагрузку на здание и создать гармоничную конструкцию, в которой будут совмещены само здание и коллектор.

Такие солнечные коллекторы, разработанные как единое целое с конструкцией здания, уже изготавливают на заводах из материалов, установленных стандартами; их сборка осуществляется на местах. Эксплуатация таких коллекторов тоже не вызывает трудностей. Материалы, из которых изготавливают коллекторы, должны отвечать требованиям строительной технологии и отличаться надежностью. Наличие солнечного коллектора на крыше не должно нарушать архитектурный стиль здания, а установка коллектора необходимо сделать надежной. Конструкция крыши дома должна предотвращать попадание воды в дом в случае поломки коллектора, а также возможность замены и ремонта коллектора.

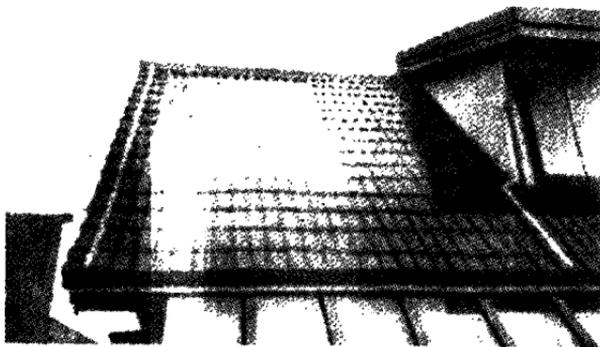


РИС. 2.23. ВНЕШНИЙ ВИД КОЛЛЕКТОРА "СОЛНЕЧНАЯ ЧЕРЕПИЦА"

Существуют типы плоских солнечных коллекторов, которые непосредственно монтируются в верхней части основного корпуса здания; они не только составляют единое целое с крышей здания, но их можно изготовлять в условиях промышленного производства как строительный блок. Необходимо предусмотреть, чтобы эти строительные детали обладали достаточной прочностью.

Коллектор "солнечная черепица" (рис. 2.23) состоит из стеклянных пластин с низким содержанием железа, уложенных таким образом, чтобы они перекрывали друг друга. Этот коллек-

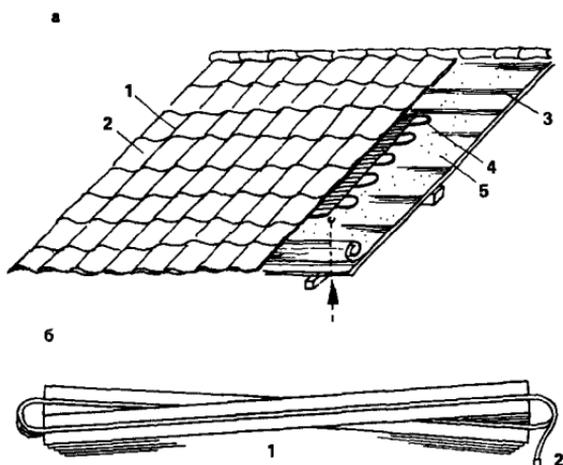


РИС. 2.24. КОНСТРУКЦИЯ КОЛЛЕКТОРА "СОЛНЕЧНАЯ ЧЕРЕПИЦА"

а — панель: 1 — стеклянная черепица; 2 — обычная черепица; 3 — крепление черепицы; 4 — элементы тепловоспринимающей плиты с трубчатым змеевиком; 5 — кровельный ковер из термостойкого асфальта; б — элементы тепловоспринимающей плиты: 1 — вид складной панели во время транспортировки; 2 — соединения трубопроводов

тор разработан фирмой "Токиофудосан" под руководством автора (Танака) в его научно-исследовательской лаборатории.

Такой тип коллектора используют и в Европе; он отличается красивым внешним видом и простотой в эксплуатации.

На рис. 2.24 показана солнечная панель коллектора, которая складывается при транспортировке, а на месте установки собирается. В настоящее время стоимость стеклянных пластин для черепицы сравнительно велика, поэтому коллекторы типа "солнечной черепицы" используются в основном для горячего водоснабжения. Автор занят разработкой коллектора такого типа, где в качестве основного элемента будет применена плоская стеклянная плита в форме квадрата со стороной 45 см.

2.8. ОПТИМАЛЬНЫЙ УГОЛ НАКЛОНА К ГОРИЗОНТУ ПРИ УСТАНОВКЕ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА

Для наиболее эффективного использования солнечного излучения необходимо установить коллектор точно под прямым углом к направлению солнечных лучей. Однако Солнце постепенно движется, и в зависимости от сезона меняется его высота над горизонтом. Поэтому в идеальном случае коллектор следовало бы установить таким образом, чтобы он следовал за Солнцем и постоянно сохранял положение, перпендикулярное по отношению к падающим лучам. Устройство такого коллектора с системой слежения за Солнцем технически возможно, однако оно обошлось бы довольно дорого, поглотив большую часть сметных расходов на строительство дома. Практически такие коллекторы не изготавливают, они существуют только в экспериментальных вариантах.

В настоящее время при использовании коллекторов в солнечных домах их устанавливают неподвижно, в одном положении, выбирая определенный оптимальный угол наклона коллектора к горизонту в зависимости от назначения солнечной установки.

1-й случай: использование солнечного тепла исключительно для нужд горячего водоснабжения. Площадь тепловоспринимающей пластины коллектора малая – от 2 до 6 м², угол наклона к горизонту составляет 30–35°. При таком положении, когда угол наклона будет примерно соответствовать широте местности, коллектор в течение всего года будет получать большое количество тепла. При изменении угла наклона от 20 до 35° не наблюдается значительной разницы в теплопроизводительности в течение года, и если наклон крыши здания лежит в этих пределах, то его вполне можно воспользоваться. Однако если у коллектора, используемого для горячего водоснабжения, площадь тепловоспринимающей пластины будет значительно больше (6–10 м²), то летом получатся излишки тепла. Если учесть, что максимальное потребление горячей воды приходится на зиму, целесообразно установить угол наклона коллектора 45–60°, что выгоднее для зимних условий, в результате чего можно повысить КПД коллектора в течение всего года.

2-й случай: использование солнечного тепла для отопления и горячего водоснабжения. Поскольку в зимний период тепловая нагрузка максимальна, целесообразно угол наклона коллектора

установить в пределах $45-50^{\circ}$. Этот угол соответствует широте местности $+15^{\circ}$. В пределах диапазона $+15^{\circ}$ существенных изменений в выработке тепла не наблюдается, и поэтому, если угол наклона крыши находится в таких границах, можно установить коллектор, не нарушая дизайна здания.

В северных широтах, где выпадает много снега, солнечный коллектор устанавливают под большим углом наклона к горизонту, т.е. более вертикально.

Представляют интерес выдвигаемые сейчас разработки проектов устройств, которые собирали бы отражаемые от снега лучи, что увеличивало бы выработку тепла.

3-й случай: использование солнечного тепла для систем теплохладоснабжения, а также горячего водоснабжения. Поскольку для систем охлаждения требуется наибольшее количество тепла, необходимо, ориентируясь на летний сезон, выбирать угол наклона коллектора к горизонту в пределах $20-25^{\circ}$. Оптимальный угол наклона соответствует "широте-10", а отклонения до $+10^{\circ}$ не приводят к существенной разнице в выработке тепла. Однако если принять во внимание, что при столь малом угле наклона на поверхности стекла коллектора собирается много грязи, что ухудшает условия работы коллектора, а зимой заметное падение теплопроизводительности, полагают, что целесообразнее фиксировать угол наклона коллектора в пределах $25-35^{\circ}$ (рис. 2.25).

В идеальном варианте коллектор ориентируют на юг, но, учитывая рельеф местности, условия застройки (соседние дома) и другие факторы, зависящие от окружающей коллектор среды, это требование не всегда возможно выполнить. Рекомендуются отклонения от южной ориентации в пределах до $\pm 30^{\circ}$, чтобы выработка тепла не слишком отличалась от нормы.

Оптимальные углы наклона коллекторов к горизонту в зависимости от использования вырабатываемого тепла с учетом тепловоспринимающей площади коллектора приведены в табл. 2.5.

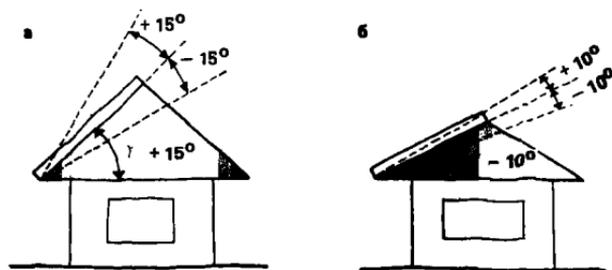


РИС. 2.25. РЕКОМЕНДУЕМЫЙ УГОЛ НАКЛОНА ПРИ УСТАНОВКЕ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА

а — использование тепла, вырабатываемого солнечным коллектором, для отопления и горячего водоснабжения;
 б — использование тепла, вырабатываемого солнечным коллектором, для охлаждения, отопления и горячего водоснабжения; γ — широта местности

Очевидно, что угол наклона коллектора к горизонту меняется в зависимости от назначения солнечной установки или типа системы.

Таблица 2.5. Рекомендуемый угол наклона установки солнечных коллекторов с учетом площади тепловоспринимающих пластин (Токио, жилой дом 100–1200 м²)

Система		Рекомендуемый угол наклона, град	Тепловоспринимающая площадь, м ²
Горячее водоснабжение	стандартный нагреватель	30–35	Около 2
	высокоэффективный водонагреватель	20–45	2,5–4
	система горячего водоснабжения	30–60	4–6
Отопление и горячее водоснабжение	только система отопления	(широта +15)	15–20
	система отопления и горячего водоснабжения	±15	20–30
Теплохладоснабжение и горячее водоснабжение	абсорбционная система	(широта -10) +15	50–70

2.9. МЕСТО РАЗМЕЩЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА

При определении места установки коллектора обычно выбирают участок крыши, на который на протяжении всего года в течение целого дня поступало бы максимальное количество солнечного излучения. Если коллектор установить так, чтобы на него хотя бы частично падала тень от деревьев или элементов здания, то эта затемненная часть коллектора не только утрачивает свои функции, но, наоборот, становится излучателем тепла, в результате чего возрастают теплопотери коллектора. В холодных районах с большим количеством выпадающих осадков могут возникнуть затруднения в работе коллекторов, связанные с их поломкой из-за замерзания воды либо из-за выхода из строя автоматического термостата.

Наиболее распространенные способы размещения коллекторов при установке их на крыше зданий представлены на рис. 2.26. Так, в положении *a* коллектор размещен на склоне крыши, на который падают лучи Солнца, и обращен к югу. Если коллектор предназначен для системы отопления и горячего водоснабжения, то его целесообразно установить под большим углом к горизонту, а обращенное к югу окно на 2-м этаже предпочтительнее заделать. Однако при этом под крышей остается большое пространство, которое можно использовать, оборудовав как помеще-

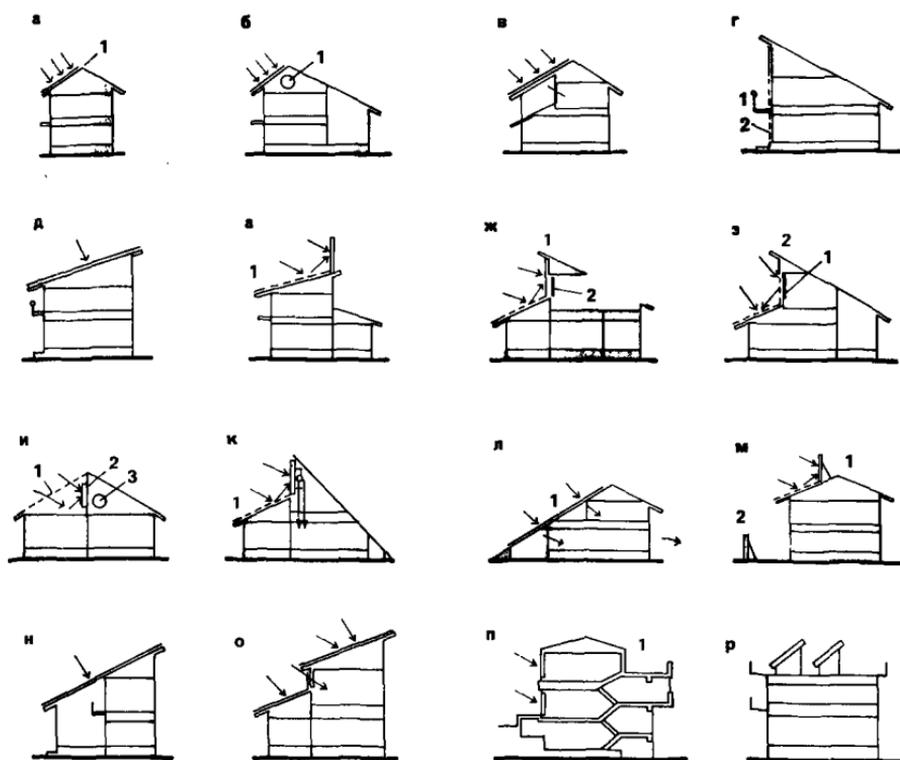


РИС. 2.26. РАЗЛИЧНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ ПРИ УСТАНОВКЕ ИХ НА ДОМЕ

а — обычное положение — отопление, охлаждение и отопление: 1 — коллектор; б — отопление: 1 — аккумулятор тепла; в — теплохладоснабжение; г — отопление: 1 — оконный проем; 2 — коллектор; д — теплохладоснабжение; е — отопление: 1 — отражающая панель; ж — отопление: 1 — частичное отражение; 2 — стеклянное окно; з — теплохладоснабжение: 1 — отражение; 2 — стеклянное окно; и — отопление: 1 — стеклянная крыша; 2 — коллектор; 3 — аккумулятор тепла; к — отопление (система воздушная): 1 — отражающая панель; л — теплохладоснабжение: 1 — коллектор; м — отопление: 1 — коллектор на крыше; 2 — коллектор на ограде; н — солнечный дом Ядзак (№ 1) — теплохладоснабжение; о — солнечный дом Кусака — теплохладоснабжение; п — солнечный дом Кимура — теплохладоснабжение с тепловым насосом: 1 — передвижной коллектор; р — солнечный дом Лефа

ние для кладовой. Если коллектор размещается на крыше дома, то окно можно сохранить. В положении б под крышей, на чердаке, установлен аккумулятор тепла. В этом случае коллектор, смонтированный на крыше дома, находится близко от аккумулятора тепла, и при его монтаже можно обойтись короткими трубами.

В положении в использована только часть открытого пространства на 2-м этаже. В этом случае можно разместить теплопринимающую панель большой площади. В положении г коллектор установлен вертикально по линии оконного проема. В данном случае его теплопроизводительность несколько умень-

шается. Однако преимущество такого расположения коллектора в том, что стеклянное покрытие мало загрязняется, не скапливается дождевая вода, а летом не вырабатываются излишки тепла. Если такой коллектор не нарушает дизайна дома, он больше всего подходит для системы отопления.

Положение *д* – коллектор расположен на односкатной крыше. При этом можно увеличить площадь тепловоспринимающей панели и использовать вырабатываемое тепло для систем охлаждения, отопления и горячего водоснабжения. Однако в этом положении угол наклона коллектора очень малый, и в зимний период его теплопроизводительность заметно уменьшается.

Положения *е, ж, з* – на плоском коллекторе смонтирована отражающая панель, что дает возможность увеличить выработку тепла. Однако остается нерешенным вопрос о том, как в течение всего года обеспечить высокий коэффициент отражения солнечного излучения панелью.

Положение *и* – коллектор установлен в чердачном помещении, под стеклянной крышей. Обращают на себя внимание значительный экономический эффект от применения коллектора и стабильность его характеристик.

На рис. 2.26, *н* представлен также экспериментальный солнечный дом Ядзаки (№ 1) и на рис. 2.26, *о* – солнечный дом Кусака. В обоих случаях солнечное тепло используется для систем теплохладоснабжения и горячего водоснабжения.

В солнечном доме Кимура (рис. 2.26, *п*) переносные коллекторы установлены в обращенных к югу окнах 1-го и 2-го этажей.

2.10. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЗАМЕРЗАНИЯ КОЛЛЕКТОРА И ВСКИПАНИЯ АНТИФРИЗНЫХ РАСТВОРОВ

Необходимо тщательно предусмотреть все детали, касающиеся проектирования, монтажа и систем контроля солнечных коллекторов, чтобы они на протяжении длительного срока (не менее 15 лет) работали бесперебойно и не выходили из строя. Помимо повреждений коллекторов в результате их замерзания, что является наиболее распространенным бедствием, не меньшие трудности создают явления вибрации труб и самого коллектора, их поломки, а также ухудшение качества селективно-поглощающих пленок в результате резкого повышения температуры поглощающих панелей при отсутствии отвода тепла. Большие неприятности приносит загрязнение стеклянных поверхностей коллекторов, образование налетов при дегазации связующих веществ теплоизоляции, а также появление ржавчины на трубах, корпусе и опорных подставках.

При замерзании воды в трубах в результате изменения ее объема независимо от материалов, из которых сделаны трубы, происходит их поломка. В отличие от водонагревателей солнечные коллекторы работают под давлением, и, поскольку та часть трубопровода, по которой циркулирует вода, является сборной, не всегда возможно использовать антифризные растворы.

На рис. 2.27 показаны способы, при помощи которых предотвращают замерзание воды. Способы *1, а и б* основаны на есте-

ственном сливе воды: когда коллекторные насосы перестают работать, вся вода из коллектора и трубопроводов свободно стекает в аккумуляторный бак с открытым (или закрытым) отбором воды. Необходимо выбрать правильный наклон системы труб и проследить, чтобы они не имели неровностей. Следует также постоянно иметь в виду, что вследствие провисания труб (от их растяжения или в результате действия внешних факторов) может быть нарушен сток воды. В самой верхней точке системы нужно установить воздушный клапан, а внутри резервуара сделать отверстие для выпуска воды, обеспечивающее водосбор.

Способ II – принудительная циркуляция воды. При появлении опасности замерзания воды в коллекторе принимают меры по предотвращению этого явления путем включения циркуляционного насоса (при постоянном измерении температуры тепловоспринимающей панели). Однако в этом случае тепловые потери велики. При выключении тока насос перестает работать и принудительная циркуляция останавливается.

Наиболее надежный способ III – использование антифризных растворов. Недостаток его в том, что помимо строгого контроля за использованием таких растворов необходим теплообменник, что снижает общий КПД системы.

Способ IV – принудительная откачка воды. При появлении опасности замерзания воды необходимо отключить систему коллекторных труб аккумуляторного бака и при помощи электромагнитного или низкотемпературного клапана выпустить всю воду.

Поскольку замерзание воды вызывает очень серьезные повреждения коллектора, необходимо одновременно с использованием антифризных растворов принимать и другие меры предосторожности. Для контроля температуры воды необходимо вмонтировать в систему коллектора термостат. Ночью под влиянием охлаждения путем излучения в ночное небо температура воздуха понижается до $5-6^{\circ}\text{C}$, так что возникает опасность замерзания воды.

Летом, в ясные солнечные дни, панели плоских коллекторов с селективно-поглощающей пленкой нагреваются свыше 180°C , а температура вакуумированных трубчатых коллекторов поднимается до 250°C . При таких температурах возможно вскипание теплоносителя, начинается вибрация коллекторов, и иногда жидкость выливается наружу. Если при выключении тока и ремонте коллектора в трубах остаются воздух и вода, то при включении тока возникает эффект "парового молота", в результате чего в коллекторе и трубах происходят разрушения. Кроме того, раскаленная масса воздуха и горячей воды затрудняют как эксплуатацию, так и работу коллекторов: высокая температура этой массы ухудшает качество селективных пленок и оказывает отрицательное влияние на свойства контактной резины и изоляционных материалов.

Когда падает нагрузка потребления, возникают излишки тепла в аккумуляторных баках. При этом появляется ряд новых проблем: выдержат ли материалы аккумуляторного бака новую нагрузку, не откажут ли в работе насосы, не появится ли опас-

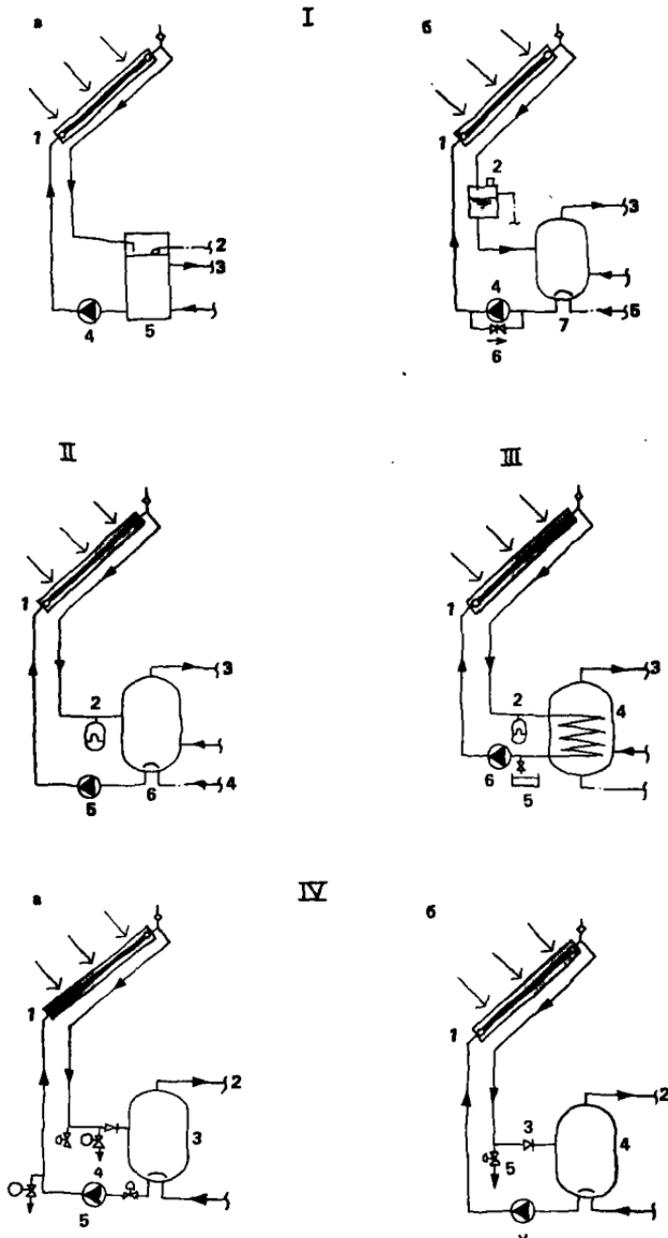


РИС. 2.27. МЕРЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЗАМЕРЗАНИЯ ЖИДКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

I – схема с естественным сливом воды: а – обычный способ: 1 – коллектор; 2 – вход воды; 3 – к потребителю; 4 – коллекторный насос; 5 – аккумуляторный бак (с открытым отбором воды); б – с использованием сливной емкости: 1 – коллектор; 2 – сливной бак; 3 – к потребителю; 4 – коллекторный насос; 5 – вход воды; 6 – обратный трубопровод; 7 – аккумуляторный бак (с закрытым отбором воды); *II* – схема с принудительной циркуляцией воды: 1 – коллектор; 2 – расширительный бак; 3 – к потребителю; 4 – коллекторный насос; 5 – вход воды; 6 – аккумуляторный бак (с закрытым отбором воды); *III* – схема с использованием антифризных растворов: 1 – коллектор; 2 – расширительный резервуар; 3 – к потребителю; 4 – аккумуляторный бак (с закрытым отбором воды); 5 – коллекторный насос; 6 – бак

ность загорания в системе горячего водоснабжения и т.п. Для предотвращения возможных нарушений в системе следует установить механизм отключения коллекторных насосов на случай повышения температуры сверх установленной нормы. Необходимо также принять во внимание возможность перегрева коллектора при отсутствии отвода тепла.

Во избежание появления ржавчины в трубах рекомендуется применять только такие металлы и сплавы, как медь и сталь определенных марок; кроме того, следует использовать антикоррозионные средства. Установлено, что при скорости циркуляции воды менее 1,5 м/с ржавчина в трубах не образуется. Если в системе горячего водоснабжения используется жесткая вода или вода с большим содержанием микроорганизмов и солей, следует для безопасности применять двухконтурную схему нагрева. Можно применять теплообменник, расположенный в аккумуляторном баке.

2.11. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АНТИФРИЗНЫХ РАСТВОРОВ

Одним из важнейших средств по предотвращению поломки коллекторов и труб вследствие замерзания воды является использование антифризных растворов, подходящих для систем горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды. Применение антифризных растворов имеет как преимущества, так и недостатки.

Преимущества

- 1) В коллекторном контуре двухконтурной системы можно использовать насосы с малыми оборотами.
- 2) Обычно антифризные растворы применяют вместе с антикоррозионными добавками; в этом случае в качестве материалов для изготовления коллекторов и трубопроводов можно использовать дешевые марки стали.
- 3) В системах отопления и горячего водоснабжения существуют два отдельных контура, разделяемых в теплообменнике, поэтому, выбрав подходящую по давлению часть контура, можно легко подключиться к водопроводной сети.
- 4) Не существует опасности замерзания, нет особых ограничений в градиенте температур по длине труб (для слива антифризных растворов в нижней части системы следует установить дренажный кран).

Недостатки

- 1) Необходимо установить теплообменник. По сравнению с непосредственным сбросом температура теплоносителя должна быть значительно выше, при этом эффективность, или КПД, коллектора падает и выработка тепла в течение года уменьшается на 10–20%.
- 2) Для системы горячего водоснабжения используются антифризные растворы на основе пропиленгликоля, одобренные Ассоциацией службы водоснабжения Японии и рекомендованные фирмами-изготовителями. Как правило, эти растворы не следует смешивать с изделиями других изготовителей. По мере уменьшения их содержания в трубопроводах антифризные растворы нельзя пополнять водой.
- 3) При использовании антифризных растворов необходимо учитывать возможность их испарения, разжижения, вскипания или просто ухудшения их качества. В этой связи следует принять меры предосторожности и обеспечить надежную систему контроля.

с антифризным раствором; IV – схема с использованием принудительной откачки воды: а – откачка с применением электромагнитного клапана: 1 – коллектор; 2 – к потребителю; 3 – аккумуляторный бак; 4 – электромагнитный клапан; 5 – коллекторный насос; б – предотвращение замерзания жидкости с помощью низкотемпературного клапана: 1 – коллектор; 2 – к потребителю; 3 – обратный клапан; 4 – аккумуляторный бак; 5 – сливной клапан; 6 – коллекторный насос

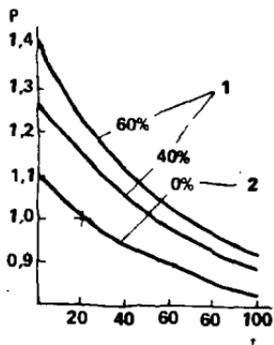


РИС. 2.28. ВЯЗКОСТЬ ВОДНОГО РАСТВОРА ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ

P — вязкость, сантипуазы; t — температура теплоносителя, °C; 1 — весовая концентрация теплоносителя; 2 — вода

4) У антифризных растворов по сравнению с водой теплоемкость и теплопроводность ниже, а вязкость выше, поэтому необходимо при их использовании устанавливать теплообменник значительно большего размера. В утренние часы, когда температура воздуха невысокая и вязкость антифриза относительно велика, требуются большие усилия по перекачке растворов, т.е. увеличивается нагрузка насоса. Днем температура воздуха растет, и насос работает в облегченном режиме.

5) Стоимость антифризных растворов высокая (1 л обходится в 500–1000 иен; а для системы горячего водоснабжения требуется 10–20 л раствора).

6) Если емкость расширительного бака недостаточна, то при отключении тока в коллекторе возможно вскипание раствора и выливание жидкости из расширительного бака.

Существуют антифризные растворы, в состав которых входит водный раствор этиленгликоля, употребляемый для автомобилей, а также антифризы на основе водного раствора пропиленгликоля, используемого в пищевой промышленности.

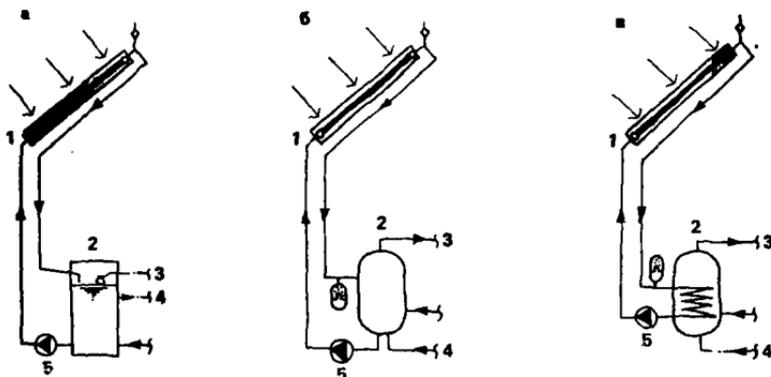


РИС. 2.29. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ МОНТАЖА КОЛЛЕКТОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

а — трубопроводы в системе непосредственного обогрева с открытым отбором воды: 1 — коллектор; 2 — теплоаккумуляторный бак с открытым отбором воды; 3 — вход воды; 4 — к потребителю; 5 — коллекторный насос; б — трубопроводы в системе непосредственного обогрева с закрытым отбором воды: 1 — коллектор; 2 — теплоаккумуляторный бак с закрытым отбором воды; 3 — к потребителю; 4 — вход воды; 5 — коллекторный насос; в — трубопроводы в системе опосредствованного обогрева с закрытым отбором воды: 1 — коллектор; 2 — теплоаккумуляторный бак (с закрытым отбором воды); 3 — к потребителю; 4 — вход воды; 5 — коллекторный насос

В водный раствор этиленгликоля добавляют антикоррозионные токсичные добавки на основе солей азотистой кислоты. Такой антифриз обычно не разрешают использовать в системе горячего водоснабжения, его можно применять только в системах отопления.

Водный раствор пропиленгликоля почти не содержит вредных веществ и его можно использовать даже в системе горячего водоснабжения, подключенной к водопроводной сети. Этот препарат разрешено производить только 5–6 фирмам. Не рекомендуется применять пропиленгликоль в смесях из-за возможных изменений его химического состава.

Если для получения антикоррозионных добавок используют нетоксичные вещества, то их можно применять в системах с обычными теплообменниками. Сейчас подобные препараты очень дороги (1 л стоит 500–1000 иен), однако их применение окупается в течение 3–5 лет.

Пользоваться антифризными растворами следует очень осторожно, поскольку в зависимости от концентрации меняется температура их замерзания. Например, температура замерзания водного раствора пропиленгликоля при 30%-ной концентрации составляет минус 11°C, а при 40%-ной – минус 20°C (табл. 2.6). При сооружении солнечных домов следует помнить, что температура воздуха в местности, где монтируется солнечная установка, будет влиять на выбор необходимой концентрации антифризных растворов.

Таблица 2.6. Свойства антифризных растворов

Свойства Растворы	Весовая концент- рация, %	Температура замерзания, °С	Температура кипе- ния, °С
Вода	0	0	100
Водный раствор этилен- гликоля	20	-8	102
	30	-18	103
	40	-24	105
	50	-37	107
Водный раствор про- пиленгликоля	30	-11	102
	40	-20	103
	50	-34	106
	60	-48	108

2.12. СХЕМА КОЛЛЕКТОРНОГО КОНТУРА

Различают три основных способа монтажа коллекторных трубопроводов, зависящих от назначения солнечных установок – системы горячего водоснабжения и системы теплоснабжения.

Способ монтажа трубопроводов, представленный на рис. 2.29, а, предполагает наличие теплоаккумуляторного бака, открытого для внешней среды. Такая конструкция бака позволяет снизить стоимость установки в целом. В этой системе при выключении насоса вода из коллектора путем естественного стока попадает в теплоаккумуляторный бак, в результате чего автоматически предотвращается ее замерзание и достигается высокая надежность системы, которая наиболее часто используется для горячего водоснабжения, а также для теплоснабжения. Недостатком такого способа монтажа трубопроводов является возрастание потребности в электроэнергии, расходуемой коллекторными насосами. В системе горячего водоснабжения даже при открытом кране подачи горячей воды потребителю вода самопроизвольно в систему поступать не будет. В этом случае целесообразно установить нагнетательный насос, позволяющий регулировать подачу питательной воды. В системе отопления очень трудно осуществлять откачку воздуха из труб, установленных выше теплоаккумуляторного бака; кроме того, существует опасность появления ржавчины.

При способе монтажа трубопроводов в системе непосредственного обогрева с баком закрытого отбора воды (рис. 2.29, б) нагрузка на насос невелика, и, поскольку кислорода в трубы поступает мало, уменьшается возможность появления ржавчины. Нужно тщательно следить за тем, чтобы не произошло замерзания воды и не образовалось скопления горячего воздуха. В целом в системах, построенных по индивидуальным проектам, безопаснее такую систему трубопроводов не устанавливать.

При способе монтажа трубопроводов в двухконтурной системе с теплообменником в баке, закрытого отбора воды (рис. 2.29, в) используется обычная схема, где при использовании антифризных растворов теплоноситель коллекторного корпуса изолирован от теплоаккумулирующего вещества. В этом случае необходим теплообменник, за счет чего несколько снижается эффективность собирания тепла. Преимущество этой системы в том, что в качестве материалов для тепловоспринимающей пластины и труб можно выбирать медь и другие дешевые материалы, поскольку теплоноситель подвергается антикоррозионной обработке.

Для трубопроводов необходимо пользоваться материалами, рекомендованными системой стандартов для изготовителей изделий гелиотехнических установок.

В гелиосистемах трубопроводы часто проходят вне помещений, поэтому они должны быть хорошо теплоизолированы, надежны и рассчитаны на длительные сроки службы. При этом в процессе эксплуатации необходимо соблюдать меры по предотвращению замерзания воды. С целью экономии средств, расходуемых на гелиосистемы, следует выбирать для трубопроводов наиболее дешевые материалы.

Так как в трубопроводах типа, показанного на рис. 2.29, в, применяется раствор антифриза, в качестве материалов можно использовать дешевую медь. Обычно применяют медные трубы с теплоизоляцией, которые стойки к коррозии и просты в эксплуатации.

В качестве теплоизоляции до сих пор чаще всего используются разъемную изоляцию, состоящую из двух половин, с защитной пленкой из поливинилхлорида. Однако, поскольку теплоизоляция работает под открытым небом, вследствие чего возможно проникание влаги и ухудшение ее качества, постоянно возникает вопрос о надежности этого способа защиты трубопроводов. Рекомендуется по возможности использовать трубы (для наружных установок) с цельной теплоизоляцией заводского производства (см. разд. 6.5).

По мере увеличения толщины слоя изоляции повышается ее эффективность. Для систем теплохладоснабжения целесообразно использовать изоляционный слой более 20 мм, для горячего водоснабжения рекомендуется теплоизоляция с маркой BL¹ 0,35 ккал/(м·ч·°С).

Одно из основных направлений в разработке новых материалов для изготовления трубопроводов основано на растущем применении полиэтиленовых, полипропиленовых, полибутиленовых, резиновых и других пластмассовых труб, которые отличаются простотой в эксплуатации, низкой стоимостью и термостойкостью.

2.13. АККУМУЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛА

В схемах солнечных установок обязательно присутствует аккумулятор тепла (в простейшем случае – бак с горячей водой). В основном необходимость накапливания солнечного тепла вызвана прежде всего тем, что период прихода солнечного излучения на коллектор обычно не совпадает с периодом использования тепла в системах горячего водоснабжения и отопления жилых домов.

На рис. 2.30 показан график прихода солнечного излучения в течение дня в зимнее время (ясный день). Поступление солнечного излучения на коллектор в течение дня приходится на период от 7 до 17 часов. Однако, как видно из рис. 2.31, пик тепловой нагрузки в системе горячего водоснабжения падает на 21 час. Из рис. 2.32 ясно, что пик тепловой нагрузки для отопления приходится на 7 часов утра. Следовательно, периоды выработки солнечного тепла и его потребления не совпадают.

Для эффективного использования солнечного тепла с учетом временных особенностей тепловой нагрузки необходимо создать такой механизм, который позволил бы соединить периоды выработки тепла за счет солнечной энергии и его максимального потребления. Именно такой цели служит аккумулятор тепла.

Для систем отопления и горячего водоснабжения необходим теплоноситель с температурой 20...40°С. Зимой теплоноситель должен иметь температуру 30...50°С, а летом 50...70°С (табл. 2.7).

Таким образом, среди причин, обуславливающих необходимость аккумулирования солнечного тепла, важнейшей является стремление использовать его в удобное для потребителя

¹Знак BL (Better Living) утверждается на товары для жилищного хозяйства, обладающие улучшенными качествами. (Примеч. пер.)

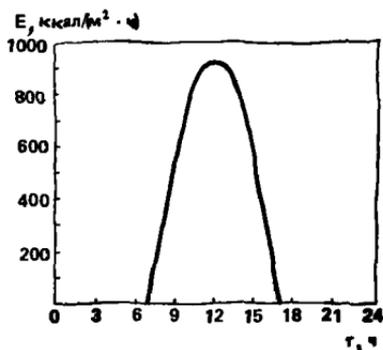


РИС. 2.30. ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТЕЧЕНИЕ СУТОК (ЯСНЫЙ ДЕНЬ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ)

E — плотность потока падающего солнечного излучения, $\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{ч})$; τ — часы суток

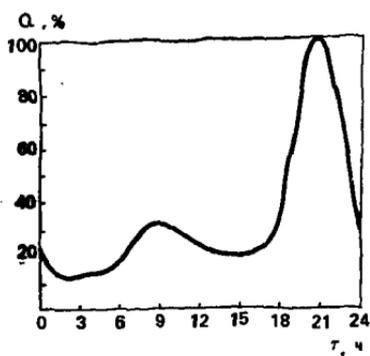


РИС. 2.31. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ В СИСТЕМЕ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ (ЗИМНЯЯ ПИКОВАЯ НАГРУЗКА)

Q — тепловая нагрузка в течение суток
 τ — часы суток

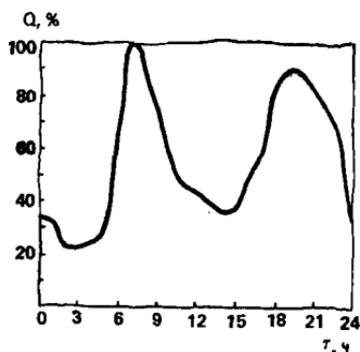


РИС. 2.32. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ (ЗИМНЯЯ ПИКОВАЯ НАГРУЗКА) В ТЕЧЕНИЕ СУТОК

Q — тепловая нагрузка; τ — часы суток

Таблица 2.7. Области использования солнечного тепла и необходимая температура теплоносителя

Область использования	Уровень температур, $^{\circ}\text{C}$	Коллекторы
Предварительный подогрев воды Тепловые насосы Подогрев воды в бассейнах	Низкие температуры теплоносителя $10 \dots 20^{\circ}\text{C}$	Плоский с одним слоем стекла или без остекления Покрытие черной краской Простой пластмассовый коллектор
Отопление Горячее водоснабжение Предварительный подогрев воды Подогрев воды в бассейнах	Средние температуры теплоносителя $20 \dots 40^{\circ}\text{C}$	Плоский коллектор с 1–2 слоями стекла С селективно-поглощающей пленкой

Область использования	Уровень температур, °С	Коллекторы
Теплохладоснабжение и горячее водоснабжение Абсорбционная холодильная установка	Средние, высокие температуры теплоносителя 50...70°С	1–2 слоя стекла Селективно-поглощающая пленка Вакуумированный трубчатый коллектор
Установка, работающая по циклу Ренкина Абсорбционная холодильная установка	Высокие температуры теплоносителя 80°С	Вакуумированный трубчатый коллектор С концентраторами солнечного излучения

время. Существуют различные способы размещения в баках теплоаккумулирующих веществ. О конструкциях теплоаккумуляторных баков и их технических характеристиках см. следующие разделы.

2.14. ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРНЫХ БАКОВ

По своему значению эффективное использование теплоаккумуляторных баков равносильно максимальному поглощению солнечного излучения коллектором. Как бы хорошо ни работал коллектор, улавливая солнечную энергию, если неправильно использовать бак, накапливающий и сохраняющий тепло солнечного излучения, коэффициент его использования будет снижаться.

Целесообразно выбирать в качестве теплоаккумулирующих материалов, с помощью которых в баке накапливается тепловая энергия, вещества, отвечающие следующим требованиям: 1) высокая теплоемкость; 2) низкая стоимость; 3) наличие материала в продаже; 4) низкая коррозионная активность; 5) отсутствие токсичности; 6) простота в эксплуатации.

Аккумуляторы тепловой энергии подразделяются на три вида: обычные теплоаккумуляторы; аккумуляторы, использующие скрытую теплоту фазовых переходов; аккумуляторы, основанные на поглощении теплоты в процессе обратимых химических реакций. Два последних находятся в стадии исследований и на практике применяются редко.

Обычные тепловые аккумуляторы на основе веществ с высокой теплоемкостью распространены довольно широко. При применении таких аккумуляторов используют тепло, которое выделяется или поглощается физическим телом по мере изменения его температуры. Наиболее характерным теплоаккумулирующим веществом является вода, применяющаяся в настоящее время почти во всех гелиосистемах. Если вода используется в качестве аккумулирующей среды, то теплоносителем в коллекторе также является вода.

Способ использования теплоаккумуляторного бака зависит от назначения гелиосистемы. Рассмотрим некоторые из этих способов.

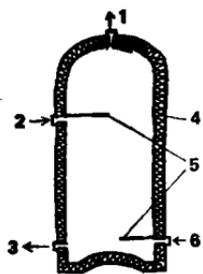


РИС. 2.33. КОНСТРУКЦИЯ БАКА, ПРИМЕНЯЕМОГО В СИСТЕМЕ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ОБОГРЕВОМ

1 — подача горячей воды потребителю; 2 — поступление воды из коллектора; 3 — выход воды, возвращающейся в коллектор; 4 — теплоизоляционный материал (стекловата); 5 — буферные пластины; 6 — подача питательной воды

В схеме, представленной на рис. 2.33, для нагрева в коллекторе и горячего водоснабжения потребителя используется одно и то же вещество — вода. Следовательно, подаваемая питательная вода смешивается с нагретой и температура потребляемой воды снижается. Здесь применяют дополнительный энергисточник, что уменьшает коэффициент использования солнечного тепла. При такой конструкции внешние размеры аккумуляторного бака и примыкающих к нему труб должны проектироваться так, чтобы обеспечить так называемое встречное течение (в продаже есть теплоаккумуляторные баки, имеющие форму продолговатого цилиндра с отношением высоты к внутреннему диаметру ≥ 2).

Как видно из рис. 2.33, отверстие для подачи питательной воды расположено близко от отверстий входа и выхода коллекторных труб, и чтобы предотвратить смешивание воды, рекомендуется монтировать буферные пластины.

В системе горячего водоснабжения с опосредствованным нагревом в нижней части теплоаккумуляторного бака установлен теплообменник, при помощи которого вода в баке нагревается.

Для наиболее эффективного использования вырабатываемого тепла теплоаккумуляторный бак должен иметь форму продолговатого цилиндра, как показано на рис. 2.33. Рекомендуется не делать баки по индивидуальным проектам, а выбирать по каталогам наиболее подходящее изделие.

При установке теплоаккумуляторного бака в системе отопления и горячего водоснабжения следует обращать внимание не столько на его габариты, сколько на место его включения в гелиоконтур. В гелиосистеме с подогревом теплоаккумуляторного бака от вспомогательного энергисточника резко снижается коэффициент использования солнечного тепла.

Важнейшим условием эффективности теплоаккумуляторного бака является снижение его теплотерь. В гелиосистемах период накопления тепла значительно продолжительнее, чем в обычных, и свойства теплоизоляционных материалов оказывают большое влияние на коэффициент использования тепла в течение года. Желательно, чтобы слой изоляционных материалов имел толщину не менее 50 мм; в системе отопления теплоаккумуляторный бак рекомендуется устанавливать в помещениях.

2.15. БАКИ-АККУМУЛЯТОРЫ, ИМЕЮЩИЕСЯ В ПРОДАЖЕ

Большинство теплоаккумуляторных баков, используемых в гелиосистемах, поступают в продажу как один из элементов системы горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды. Их обычно называют просто баки-аккумуляторы. Продаются также комплекты оборудования, в которые входят теплоаккумуляторный бак, коллекторный насос и вмонтированная в бак автоматическая аппаратура, контролирующая разность температур. Эти теплоаккумулирующие баки разделяются по способам нагрева на четыре группы: 1) способ непосредственного нагрева с открытым отбором воды (с отдельным источником дополнительного тепла); 2) способ непосредственного нагрева с закрытым отбором воды (с отдельным источником дополнительного тепла); 3) способ апосредствованного нагрева с закрытым отбором воды (с отдельным источником дополнительного тепла); 4) способ апосредствованного нагрева с закрытым отбором воды (источник дополнительного тепла помещен в бак).

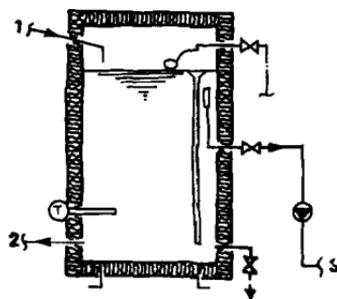
1-й способ (рис. 2.34) состоит в непосредственном нагреве воды, которая накапливается в теплоаккумуляторе, без использования теплообменника: вода непосредственно подается в коллектор и там нагревается. В этом случае вода путем естественного стока поступает в теплоаккумуляторный бак с открытым отбором воды, чем предотвращается ее замерзание. Водопроводная линия не соединяется с этой системой, поэтому здесь использован бак с открытым отбором воды: необходим вспомогательный насос для горячей воды.

2-й способ (рис. 2.35) состоит в том, что вода из аккумуляторного бака непосредственно подается в коллектор, где происходит ее нагрев, т.е. эта часть цикла аналогична предыдущему способу. Однако, поскольку здесь использован накопительный бак с закрытым отбором воды, для предотвращения замерзания необходимо полностью спускать воду из коллекторных труб при помощи электромагнитного клапана. Весь распределительный контур выполнен по типу закрытого отбора воды, поэтому если потери давления в системе невелики, отпадает необходимость во вспомогательном насосе. Системы такого типа можно соединять непосредственно с водопроводной линией.

3-й способ (рис. 2.36) предусматривает в нижней части теплоаккумуляторного бака установку надежного трубчатого теплообменника, по которому циркулирует теплоноситель, нагреваю-

РИС. 2.34. ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРНЫЙ БАК С ОТКРЫТЫМ ОТБОРОМ ВОДЫ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ОБОГРЕВОМ

1 — из коллектора; 2 — в коллектор; 3 — подача горячей воды потребителю



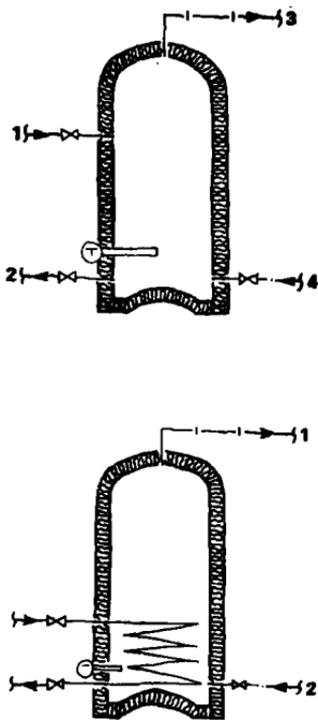


РИС. 2.36. ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРНЫЙ БАК С ЗАКРЫТЫМ ОТБОРОМ ВОДЫ С ОПОСРЕДСТВОВАННЫМ НАГРЕВОМ
1 — горячая вода; 2 — подача питательной воды

РИС. 2.35. ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРНЫЙ БАК С ЗАКРЫТЫМ ОТБОРОМ ВОДЫ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ОБОГРЕВОМ
1 — из коллектора; 2 — в коллектор; 3 — подача горячей воды потребителю; 4 — подача питательной воды

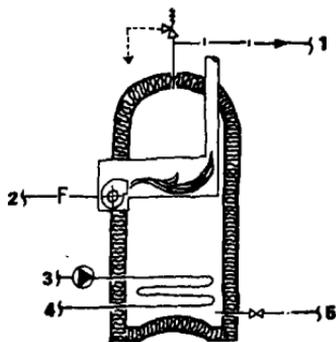


РИС. 2.37. СПОСОБ ОПОСРЕДСТВОВАННОГО НАГРЕВА В СИСТЕМЕ ЗАКРЫТОГО ОТБОРА ВОДЫ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ЭНЕРГОИСТОЧНИК ВКЛЮЧЕН В СИСТЕМУ)
1 — подача горячей воды потребителю; 2 — керосин или газ; 3 — из коллектора; 4 — в коллектор; 5 — подача питательной воды

щий воду в баке. Такую систему часто подключают к водопроводной линии, получив предварительное разрешение Ассоциации службы водоснабжения Японии (АСВЯ). Бывают и такие случаи, когда АСВЯ выдает разрешение на подключение, а у местных властей возникают возражения, поэтому необходимо заблаговременно получить согласие всех заинтересованных организаций на подключение системы к водопроводной линии. В качестве антифриза при этом способе используют водный раствор пропиленгликоля, применяемый как теплоноситель, который является нетоксичным и вполне приемлемым с санитарной точки зрения. Этот способ нагрева считают в высшей степени надежным.

4-й способ (рис. 2.37) по своему принципу аналогичен предыдущему. Отличие в том, что внутрь теплоаккумуляторного бака вмонтируется какой-либо дополнительный энергоисточник (электроэнергия ночного тарифа, керосин или жидкий нефтяной газ). В данной системе температура воды, нагреваемой дополни-

тельным энергоисточником, устанавливается на заданном уровне, например на уровне 85°C . Если поступление солнечного излучения на коллектор падает, то необходимо уменьшить расход воды в коллекторном контуре или изменить температуру, заданную дополнительному энергоисточнику.

В табл. 2.8 показаны типы теплоаккумуляторных баков, имеющих в продаже. Вместимость большинства из них составляет 300 л, но есть баки вместимостью 400–500 л. У 12 типов теплоаккумуляторных баков соотношение внутреннего диаметра и высоты приблизительно 1 : 2,5. Они, как правило, стратифицированы, т.е. слои жидкости с различной температурой в них не перемешиваются. Теплоаккумуляторные баки в основном изготавливают из стальных прокатных листов; их внутренняя поверхность покрыта стеклянной облицовкой, а внешняя подвергается антикоррозионной обработке гальваническим методом (при этом используется источник переменного тока напряжением 100 В). В последнее время в качестве материалов для теплоаккумуляторных баков стали использовать нержавеющую сталь (марки SUS 444). Для системы горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией в комплекте с теплоаккумуляторным баком продают вспомогательное оборудование – коллекторные насосы с термодатчиками, контролирующими их температуру. В процессе эксплуатации необходимо внимательно следить за работой насосов.

Для отопительной системы часто используют теплоаккумуляторные баки, выполненные по заказу. В этом случае обычно применяют листовую сталь, пластики, армированные стекловолокном, а также нержавеющую сталь. Если баки выполнены из листовой стали, нужно обязательно применять антикоррозионную обработку.

2.16. ГРАВИЙ В КАЧЕСТВЕ АККУМУЛЯТОРА ТЕПЛА

Обычно в качестве аккумулятора солнечного тепла используют воду. Однако теплоаккумулирующими веществами могут служить галька, гравий, а также кирпич, цемент и другие строительные материалы. Удельная теплоемкость воды (количество теплоты, аккумулируемой в 1 м^3 воды на 10°) составляет $1000 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$, удельная теплоемкость гравия равняется $0,22 \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$, и при плотности $1850 \text{ кг}/\text{м}^3$ удельная теплоемкость составит $400 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$, т.е., чтобы аккумулировать одинаковое количество тепла, для гравия потребуется пространства в 2,5 раза больше, чем для воды. Обычно гравий в качестве аккумулятора тепла используют в отопительных системах с воздушными коллекторами. Такие аккумуляторы из твердого гранулированного материала типа гравия широко применяются в США в системах, в которых комбинируют несколько методов аккумулирования тепла (рис. 2.38).

Недостатком аккумулятора тепла из гравия являются его большие размеры, а положительным является возможность размещения под полом дома, поскольку у японских домов по традиции пол приподнят над фундаментом более чем на 45 см. Если рационально использовать это пространство, то можно

Таблица 2.8. Технические характеристики теплоаккумуляторных баков, имеющихся в продаже

Изготовители	Типы теплоаккумуляторных баков	Вместимость горячей воды, л	Материалы, используемые при изготовлении	Теплоизоляционные материалы — стекловата, мм	Теплообменник	Антикоррозионная защита
"Маусита дэнки"	Способ опосредствованного нагрева в системе с закрытым отбором воды	300	Стальные листы со стеклянной облицовкой	50	Из меди, обработанной никелем	Гальванический способ обработки с помощью внешнего источника переменного тока
"Тосиба"	То же	370	Нержавеющая сталь с высокими антикоррозионными свойствами	50	Нержавеющая сталь	—
"Сяпу"	"	370	Стальные листы со стеклянной облицовкой	50	Медные оребренные трубы	Способ анодной защиты с использованием магниевого электрода
"Корона"	"	300	То же	50	То же	Гальванический способ защиты
"Нитирицу касэй"	Способ непосредственного нагрева в системе с открытым отбором воды	300	Термостойкий полиэтилен	Пеностирол и стекловата — 100	—	—
"Маусита дэнки"	То же	300	Стальные листы со стеклянной облицовкой	50	—	Гальванический способ защиты
"Кога денко"	"	300	То же	50	—	То же

Коллекторный насос – выходная мощность, Вт	Расширительный бак	Устройство контроля за работой насосов	Масса вмещающей воды, кг	Внешние размеры – ширина (диаметр), высота, мм, их отношение	Фирменные обозначения	Примечания
20/30	Специальное изготовление	Вмонтированный термодатчик	394	665x1545 (1:2,32)	SI-300N	
90/95	Полиэтиленовый 10 л	То же	440	670x711 (1:2,55)	TST-371N	
100/135	То же, 8 л	”	480	690x1765 (1:2,56)	HT-370 DU	Электронагреватели ночного тарифа Бывают вместимостью 470 л
30/38	–	”	395	656x1560 (1:2,38)	VSH-300F	–
60/80	–	”	392	740x1493 (1:2,02)	SC-P301	Бывают вместимостью 420 л Имеются типы с вмонтированным насосом для горячей воды
20	Полиэтилен	”	395	665x1790 (1:2,69)	–	–
40/50	Есть	”	445	740x1626 (1:2,42)	FST-300	Имеются разновидности вместимостью 450 л Имеются разновидности с вмонтированным электронагревателем ночного тарифа вместимостью 450 л

Изготовитель	Типы теплоаккумуляторных баков	Вместимость горячей воды, л	Материалы, используемые при изготовлении	Теплоизоляционные материалы — стекловата, мм	Теплообменник	Антикоррозионная защита
"Нитири-цу сюсеки"	Способ непосредственного нагрева в системе с закрытым отбором воды	300	-	50	-	-
"Мацуиданки"	То же	270	-	50	-	-
"Мицуданки"	-	268	-	50	-	-

найти достаточно места для размещения теплоаккумулятора из гравия и обеспечить эффективный обогрев помещения через пол. В этом случае возникает большое сопротивление воздушному потоку, поэтому необходимо в каждом конкретном доме использовать какое-либо устройство, обеспечивающее его равномерную циркуляцию (рис. 2.39).

Обычно сопротивление воздушному потоку в теплоаккумуляторе, наполненном гравием, определяется расчетным путем. Как правило, скорость циркуляции воздуха мала, поэтому не должно вызывать беспокойство давление воздуха в диапазоне 3–5 мм вод.ст., характерное для такой конструкции. Чтобы в солнечном доме, имеющем под полом слой гравия толщиной 30 см, аккумулировать 50000 ккал тепла и удерживать это тепло при температуре 20°C, необходима площадь пола приблизительно 20 м². Этого тепла будет достаточно для отопления помещений 1-го этажа — гостиной, столовой и спальни.

Диаметр используемых частиц гравия обычно 4–8 см. Если бы удалось подобрать частицы гравия одного диаметра, то независимо от их размера получаемый тепловой эффект был бы на 50% больше и не было бы помех при циркуляции воздуха. Нежелательно смешивать мелкий и крупный гравий. Кроме гравия применяют и щебень. Однако если его не готовить специально, то возможно попадание ломких и грязных кусков; при употреблении он может ломаться, а нагреваясь, трескаться.

Аккумуляторы из гравия могут использоваться и летом для накопления холода. Такие аккумуляторы встречаются в домах, построенных в США в г. Томсоне. Однако при этом существует опасность заиндевения гравия в процессе поступления в аккумуля-

Коллекторный насос – выходная мощность, Вт	Расширительный бак	Устройство контроля за работой насосов	Масса вмещаемой воды, кг	Внешние размеры – ширина (диаметр), высота, мм, их отношение	Фирменные обозначения	Примечания
10/15	–	”	375	680x1225 (1:1,8)	S-300K	–
			363	584x1760 (1:3,01)	SHE-S27T2	
–	–	”	408 (S25K) 401 (S25G)	590x1935 (1:3,28)	HBT-S51E1 HBT-S25K HBT-S25G	С дополнительным энергоисточником (электричество ночного тарифа, керосин, газ)

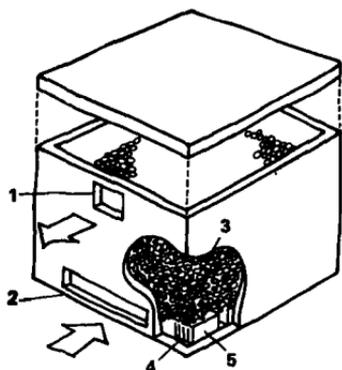
мулятор холода. Некоторые считают, что при употреблении гравия в качестве аккумулятора тепла возможно появление плесени, неприятных запахов и болезнетворных грибков. Если теплоаккумуляторы из гравия установить вне помещения, то тепло можно использовать и для горячего водоснабжения не только зимой. Когда теплоаккумулятор из гравия размещают под полом, им можно пользоваться только для отопления дома в зимний период. Если к расположенному под полом теплоаккумулятору подсоединить систему труб с циркулирующей водой и устроить простейший бак-накопитель нагретой воды, то зимой, когда наблюдается максимальное потребление горячей воды, эта система может служить для предварительного подогрева воды в системе горячего водоснабжения.

Монтаж таких устройств, также работающих от Солнца, позволяет повысить суммарный коэффициент использования солнечного излучения в системах горячего водоснабжения и сократить размеры теплоаккумуляторных баков.

С другой стороны, с целью экономии дорогостоящих антифризных растворов можно добавлять гравий в те теплоаккумулирующие баки, которые сейчас заполняют жидкими теплоносителями. Гравий в свою очередь может служить аккумулятором для воды или антифризных растворов, циркулирующих по трубам.

РИС. 2.38. АККУМУЛЯТОР ТЕПЛА ИЗ ГРАВИЯ (ФИРМА "СОЛАЛОН")

1 — подача теплого воздуха из коллектора в отопительную систему; 2 — подача воздуха в коллектор; 3 — галька (или гравий); 4 — теплоизоляционный материал; 5 — блок



2.17. АККУМУЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКРЫТОЙ ТЕПЛОТЫ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

При использовании теплового эффекта, который возникает в результате нагревания или охлаждения воды или гравия, количество получаемого тепла невелико относительно объема теплового аккумулятора. Недостаток обычного теплового аккумуляирования в том, что оно требует значительного пространства, и по мере отдачи тепла температура аккумулятора понижается. Существуют такие вещества, у которых при фазовых превращениях — плавлении, испарении и кристаллизации — выделяется так называемая скрытая теплота фазового перехода, причем количество выделяющейся теплоты достаточно велико. Как видно из самого названия "скрытая теплота", в процессе фазового превращения вещества его температура не меняется, т.е. весь процесс идет при определенной температуре. Если, например, взять воду, то для получения 1 кг воды из снега при температуре 0°C требуется 80 ккал тепла, для испарения 1 кг воды при 100°C необходимо 540 ккал. В процессе испарения выделяется много тепла, но при этом наблюдаются большие изменения в объеме вещества, так что этот процесс нельзя осуществлять в тепловом аккумуляторе. Можно использовать лишь скрытую теплоту плавления.

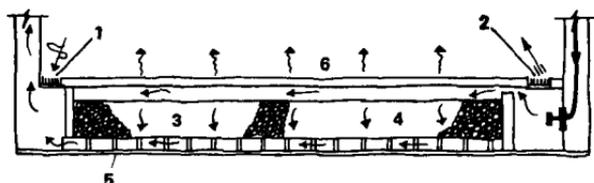


РИС. 2.39. АККУМУЛЯТОР ТЕПЛА ИЗ ГРАВИЯ, РАЗМЕЩЕННЫЙ ПОД ПОЛОМ И ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ ДЛЯ ОБОГРЕВА ДОМА ЧЕРЕЗ ПОЛ

1 — вход воздуха (отверстие 200×400 с автоматической крышкой); 2 — выход воздуха (отверстие 200×400 с ручной крышкой); 3 и 4 — слой гравия; 5 — цементный блок с трубопроводом; 6 — отопление через пол

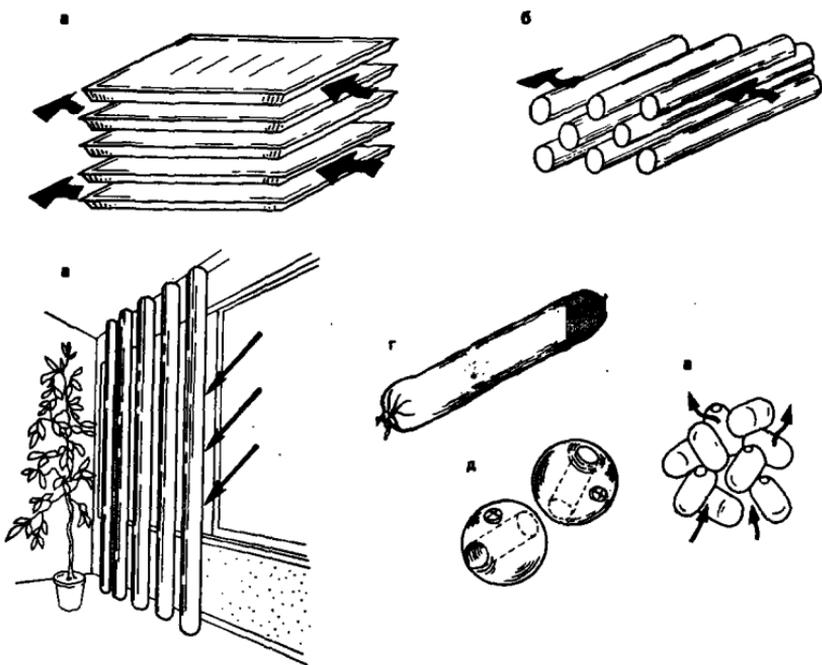


РИС. 2.40. ВИДЫ АККУМУЛЯТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ СКРЫТУЮ ТЕПЛОТУ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

а — форма панелей; б — цилиндры; в — полиэтиленовые трубы, применяемые в пассивных системах использования солнечного тепла; г — шары; д — шары со сквозными каналами для воздуха; е — капсулы

Аккумуляция скрытой теплоты очень удобна для системы солнечного отопления. Температура фазовых переходов выбирается невысокой, подходящей для отопления домов. Подбираются вещества, у которых плавление происходит при температурах от 30 до 50°C. При их плавлении выделяется много тепла и обходится оно дешево. Если добиться стабильности используемых веществ и применять меры по технике безопасности при работе с ними, можно получить надежный аккумулятор на основе скрытой теплоты фазового перехода. Попытки получения дешевого аккумулятора скрытой теплоты делались и раньше. Известно, что 30 лет назад проф. Мария Теллес из Делаварского университета (США) проводила исследования в этом направлении.

В настоящее время на практике используются два вида веществ для аккумуляторов данного тепла: хлорид кальция ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) и сульфат натрия (глауберова соль). Хлорид кальция имеет точку плавления 29°C, тепловой эффект фазового перехода из твердого в жидкое состояние составляет 42 ккал/кг (при плотности 1,622 кг/м³). В лучшем случае в веществе, претерпевающим фазовый переход, аккумулируется такое же количе-

ство тепла, как в воде, занимающей 1/7 объема этого вещества при ее нагреве на 10°C.

Аккумуляторам, использующим скрытую теплоту фазовых переходов (рис. 2.40), как и воде, свойственно явление переохлаждения, и при применении таких аккумуляторов особенно важно его предотвращать. Для аккумуляторов на основе хлорида кальция американской фирмой "Даукэмикал" разработана и внедрена в практику добавка в виде хлористого стронция, который предотвращает переохлаждение расплава и отличается большой надежностью.

Аккумуляторы с использованием скрытой теплоты фазовых переходов, в которых теплоаккумулирующее вещество помещено в полиэтиленовые емкости, можно хранить в помещении и применять в системе солнечного отопления. Такие вещества применяют и в аккумуляторных баках с воздушным и водяным нагревом.

Иногда в аккумуляторах данного типа используют вещества на основе глауберовой соли. Их положительным свойством считается низкая температура плавления, примерно 31°C. Однако при их применении кроме добавки, предохраняющей от переохлаждения, необходимо вводить загустители, предотвращающие разложение смеси.

В настоящее время ведутся разработки новых аккумулирующих веществ с точкой плавления 10–20°C для систем охлаждения. Эти разработки основаны на добавлении в аккумулирующие вещества на основе глауберовой соли и хлорида кальция других гидратов солей. Кроме того, изучают возможности использования гидратированных сульфатов алюминия, квасцов аммония и других соединений с температурой плавления 80–100°C в аккумуляторах тепла для абсорбционных холодильных установок. В то же время проводят исследования некоторых органических теплоаккумулирующих веществ: парафина, полиэтиленгликоля, масел, жиров и др. Однако, принимая во внимание их пожароопасность, это направление вряд ли можно считать перспективным для практики.

В самом деле, разработать такие высокоэффективные аккумуляторы тепла очень заманчиво. Конечно, трудно делать предположения на будущее, но в настоящее время сфера применения аккумуляторов на основе скрытой теплоты фазовых переходов, вероятно, будет ограничена установками пассивных методов преобразования солнечного излучения в тепло. В системе горячего водоснабжения, которая получила наибольшее распространение на настоящем этапе развития гелиотехники, 1 кг воды при нагреве в течение дня с 15 до 55°C аккумулирует 40 ккал. Таким образом, в аккумуляторах, использующих скрытую теплоту фазовых переходов, выделяемую, например, при плавлении, в ближайшем будущем едва ли удастся заменить воду.

2.18. СОХРАНЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛА ДО ЗИМНЕГО ПЕРИОДА

Если установить солнечный коллектор, имеющий площадь, достаточную для того, чтобы обеспечить выработку тепла на отопление дома в зимний период, то в летний период в системе горячего водоснабжения появятся излишки тепла, а летом и осенью системе охлаждения дома будет не хватать энергии. Многие работают над возможностью использовать излишки тепла, получаемого летом, для отопления домов зимой. Вопрос состоит в том, возможно ли решить эту задачу технически и будет ли это выгодно в экономическом отношении.

В настоящее время наиболее распространенные способы длительного сохранения тепла сводятся либо к аккумулярованию его в грунте, либо к установлению в грунте бака-накопителя с водой. Кроме того, предлагаются различные проекты аккумулярования тепла: в частности, использование для этой цели кальцинированной соды, применение гибридов металлов, а также накопление тепла, выделяющегося при химических реакциях. Однако все они, по всей вероятности, вряд ли найдут широкое применение в будущем.

Главным преимуществом аккумулярования тепла в грунте является его дешевизна. Однако теплопроводность грунта слишком мала, поэтому приходится использовать теплопроводные трубы, создание и применение которых обходится весьма дорого. С другой стороны, для длительного хранения тепла необходима хорошая теплоизоляция. С этой точки зрения теплопроводность грунта слишком велика, и, хотя емкость с аккумулярованным теплом со всех сторон окружена теплоизоляцией, эффективность этой изоляции недостаточна.

Первоначальные проекты грунтового аккумулярования тепла в экспериментальных вариантах сводились преимущественно к непосредственному использованию в зимний период накопленного тепла при температуре теплоносителя, достаточной для отопления дома. Однако, как бы тщательно ни сохранялось тепло в грунте, в процессе его передачи потребителю температура воды снижается, поэтому его можно использовать, например, для обеспечения энергией теплового насоса. Применение теплового насоса, в котором аккумулярованное тепло служит горячим источником, во многих районах (за исключением очень холодных) выгодно в экономическом отношении.

В установленном в грунте теплоаккумуляторном баке с водой циркуляция тепла осуществляется по простой схеме; тем не менее расходы на проведение всех работ составляют чрезвычайно большие суммы. Чтобы снизить эти расходы, необходимо создать дешевую технологию подготовительных и строительно-монтажных работ при сооружении больших баков. При долгосрочном аккумуляровании тепла наиболее сложной является проблема максимального снижения тепловых потерь с поверхности бака-аккумулятора. В этом случае целесообразнее использовать баки-аккумуляторы больших размеров. Например, прямоугольный бак-аккумулятор с ребрами 5х50 м, оборудованный теплоизоляцией, имеющей $K = 0,1$ ккал/(м²·ч·°С), в течение года может сохранять температуру 80°С. В зимний период тепло

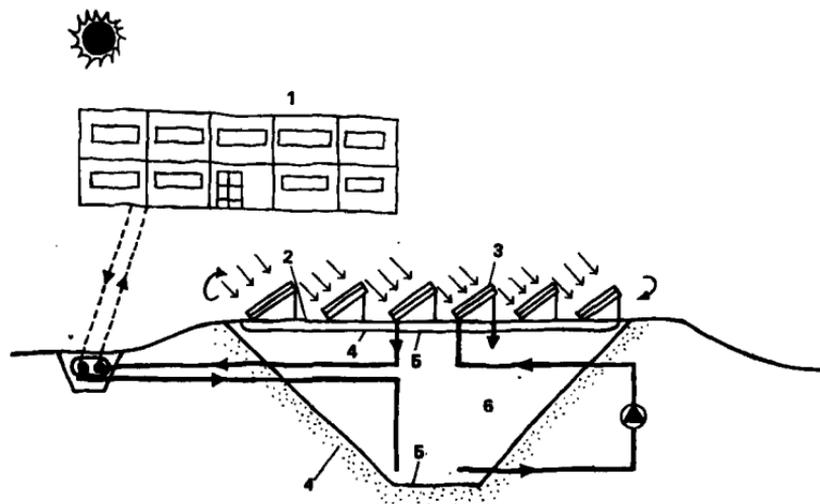


РИС. 2.41. СХЕМА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С ДОЛГОСРОЧНЫМ АККУМУЛИРОВАНИЕМ ТЕПЛА

1 – здание; 2 – вращающиеся опорные подставки; 3 – солнечные коллекторы; 4 – слой теплоизоляции; 5 – облицовка; 6 – часть грунта, аккумулирующая тепло

передается потребителю при температуре теплоносителя 50°C . У баков-аккумуляторов малых размеров, в которых количество запасенного тепла равно $3,75 \cdot 10^6$ ккал, теплотери достигают до 112%, а у крупных баков, аккумулирующих $4,2 \cdot 10^8$ ккал тепла, теплотери составляют всего 11,2%, т.е. преимущество крупных баков-аккумуляторов очевидно.

Для отдельного, индивидуального дома при маломасштабном использовании солнечного излучения долгосрочное аккумулярование тепла затруднительно. Если это возможно, то целесообразнее наладить крупномасштабное использование солнечной энергии для теплоснабжения целого района. В Швеции и других северных странах, расположенных на высоких широтах, зимой приход солнечной радиации чрезвычайно мал, а летом, при большой продолжительности периода солнечного сияния, наоборот – очень велик, поэтому вопрос о длительном аккумуляровании тепла вызывает там значительно больший интерес.

На рис. 2.41 представлена схема экспериментального подземного аккумуляторного бака объемом 725 м^3 , предназначенного для общественного здания; имеются проекты сооружения теплоаккумуляторных баков емкостью 10000 м^3 .

На большей части территории Японии приход солнечной радиации в зимний период значителен, проблема долгосрочного хранения тепла не актуальна, а в промежуточные сезоны и летом наблюдается некоторый излишек тепла. В связи с этим возникает дилемма: оставить этот излишек тепла без внимания или использовать его для каких-либо целей? Возможно, в будущем удастся соорудить дешевые теплоаккумуляторные резер-

вуары, обладающие сейсмической устойчивостью (не подверженные влиянию землетрясений), которые в период дождей можно было бы использовать как плавательные бассейны.

Архитекторы считают, что проблема долгосрочного аккумулярования для солнечных домов с маломасштабными гелиосистемами еще далека от практического решения, хотя и представляет определенный интерес.

2.19. ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРНОГО БАКА

В теплоаккумуляторном баке солнечная энергия хранится в форме теплоты, и возникает возможность передачи этой теплоты окружающим бак материалам. Если температура внутри бака выше, чем снаружи, то тепло обязательно переходит к среде с более низкой температурой, и температура внутри бака понижается, т.е. возникают тепловые потери.

Для сведения до минимума этих потерь создают специальные конструкции теплоаккумуляторных баков, например снаружи их покрывают слоем стекловаты. Однако какой бы толстой ни была теплоизоляция, полностью исключить теплотери не представляется возможным. Методика расчета оптимальной толщины слоя теплоизоляционного материала определяется на основе баланса между затратами на теплоизоляционные материалы и снижением теплотери, достигнутым в результате использования теплоизоляции.

Большинство теплоаккумуляторных баков обычно имеет слой теплоизоляции толщиной 20–50 мм; даже при этом теплотери за год достигают большой величины, и температура внутри бака значительно понижается.

Рассмотрим, как возникают теплотери на примере электрического водонагревателя с использованием электричества ночного тарифа. У такого водонагревателя накопительный бак по внешнему виду и по своим функциям не отличается от теплоаккумуляторного, но в него вмонтирован электронагреватель. Вместимость водонагревателя 300 л. В течение зимнего периода и переходных сезонов температура внутри бака достигает 80°C и только летом она составляет 60°C . При таких условиях теплотери за год равняются приблизительно 1 Гкал. Это соответ-

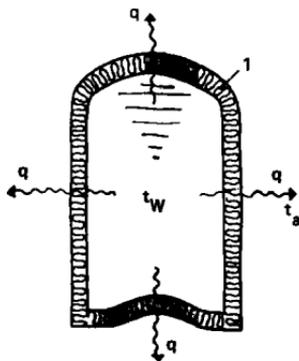


РИС. 2.42. ТЕПЛОПТЕРИ В ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРНОМ БАКЕ

1 — стекловата; q — теплотери бака: когда $t_w > t_a$, тепло из бака уходит в окружающую среду

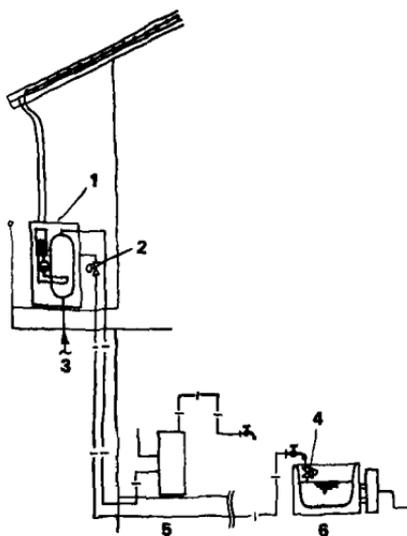


РИС. 2.43. СХЕМА РАБОТЫ ВАННЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙСЯ ГОРЯЧЕЙ ВОДОЙ ИЗ ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРНОГО БАКА

1 — теплоаккумуляторный резервуар с закрытым отбором воды (выполнен из стали марки SUS444 вместимостью 100 л; имеет насос 5 л/минх4 мм вод. ст. и добавочный, расширительный, бак 5 л); 2 — клапан, автоматически регулирующий подачу горячей воды в ванну; 3 — труба подачи питательной воды; 4 — водомерный клапан; 5 — медные трубы 1/4"; 6 — теплоизолированная ванна 180—220 л

вует годовой выработке тепла солнечным водонагревателем с площадью 2 м^2 (слой стекловаты 50 мм).

В разд. 1.6 говорилось о том, что годовая нагрузка системы горячего водоснабжения индивидуальных домов составляет 2–3 Гкал на семью. Другими словами, указанные выше теплопотери соответствуют 35–50% годовой нагрузки системы горячего водоснабжения, обеспечивающего одну семью.

В теплоаккумуляторном баке системы солнечного водонагрева температура в летний период составляет 50–70°C, в зимний — 30–50°C. Теплопотери не так велики, как в электрическом водонагревателе. Однако годовые теплопотери аккумуляторного бака вместимостью 300 л, аналогичного упомянутому выше, составляют по расчетам 0,63 Гкал/год, что соответствует 21–32% годовой нагрузки системы горячего водоснабжения. Следовательно, эти теплопотери нельзя игнорировать, и при конструировании или выборе теплоаккумуляторного бака необходимо обратить внимание на толщину слоя стекловаты или какой-либо другой теплоизоляции. Для рационального использования солнечного тепла в гелиосистемах рекомендуется применять в теплоаккумуляторном баке слой теплоизоляционного материала толщиной 75–100 мм. Выше при расчетах теплопотерь мы исходили из идеальных условий аккумулялирования тепла в баке, в то время как на практике всегда существует возможность нарушения таких условий, например из-за плохой теплоизоляции клапана выпуска горячей воды.

Ванна, обеспечиваемая горячей водой теплоаккумуляторного бака. В настоящее время в системах солнечного горячего водоснабжения емкость аккумуляторных баков обязательно составляет 300–500 л. Такие баки не только дорого стоят, но и занимают обширное пространство. Сэкономить расходы на систему горячего водоснабжения жилого дома можно, если соорудить в нем ванну, которая снабжалась бы теплом от аккумуляторного бака, объемом в 3–5 раз меньше указанного.

На рис. 2.43 представлена схема действия такого устройства: когда температура воды в теплоаккумуляторном баке поднимается выше заданного уровня, вода него автоматически выливается в ванну, которая стоит наполненной до вечера. Если принимать ванну приходится поздно вечером, то ее можно подогревать при помощи топки¹.

За последнее время появились очень хорошие теплоизоляционные материалы для ванн: они более совершенны, чем теплоизоляция для накопительных баков. Трудности в работе описанной системы могут возникнуть в таких домах, где ванной пользуются не каждый день. Однако в домах, оборудованных системой солнечного горячего водоснабжения, где проживает в основном молодежь, ванной пользуются ежедневно.

2.20. ДАТЧИКИ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР

Датчиком разности температур называют прибор, который являясь как бы сердцем гелиосистемы, служит для автоматического включения и выключения коллекторных насосов.

Под воздействием сигналов, получаемых от высокотемпературного датчика, помещенного на коллекторной пластине вблизи выходного отверстия коллектора, и низкотемпературного датчика, находящегося в нижней части теплоаккумуляторного бака, в терморегуляторе фиксируется разность температур. Когда разность температур превышает определенный уровень, автоматический регулятор включает коллекторные насосы. Если разность температур ниже определенного уровня, то автоматический регулятор отключает насосы.

Высокотемпературный датчик помещается на нагреваемой потоком солнечного излучения тепловоспринимающей пластине, где температура достигает наибольшего значения. По мере того как на пластину поступает поток солнечного излучения, ее температура повышается. В момент, когда разница в показаниях высоко- и низкотемпературного датчика, находящегося в нижней части теплоаккумуляторного бака, превысит заданный уровень, приводится в действие коллекторный насос, в результате чего рабочее вещество перекачивается в коллектор, где и нагревается.

На рис. 2.44 представлена схема действия датчиков разности температур, регулирующих работу коллекторных насосов.

Обычно принимается что при включении коллекторного насоса разность температур на измерительной шкале прибора должна составлять $5-7^{\circ}\text{C}$, а при выключении — $0,5-2^{\circ}\text{C}$. Однако у этих приборов, выпускаемых разными производителями, возможны некоторые различия в устройстве. Имеются также, как правило, приспособления, позволяющие проверять и настраивать приборы.

Если высокотемпературный датчик помещается на тепловоспринимающей пластине плоского солнечного коллектора, оборудованного селективно-поглощающей пленкой, то он может подвергаться воздействию температур выше 180°C , поэтому необходимо обращать особое внимание на термостойкость материалов, из которых изготавливаются датчики. Датчики, выполненные из

¹ Традиционные японские ванны в виде бочек имеют снизу своеобразные топки. (Примеч. пер.)

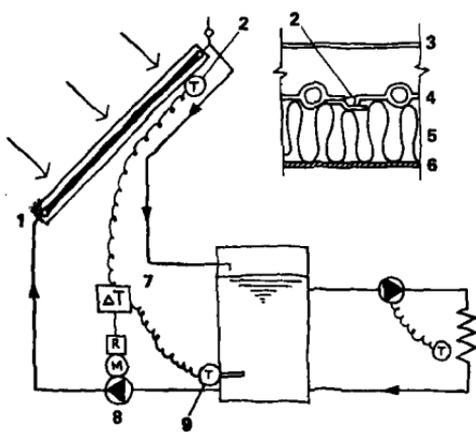


РИС. 2.44. ДАТЧИКИ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР, РЕГУЛИРУЮЩИЕ РАБОТУ КОЛЛЕКТОРНЫХ НАСОСОВ

1 — коллектор; 2 — высокотемпературный датчик; 3 — стекло; 4 — тепловоспринимающая пластина; 5 — теплоизоляционный материал; 6 — корпус; 7 — шкала датчиков разности температур; 8 — коллекторный насос; 9 — низкотемпературный датчик

материалов на основе платины, выдерживают сравнительно высокую температуру и в отношении термостойкости не вызывают беспокойства. Датчики, сделанные на основе меди, ограничены температурой 120°C.

Если датчики разности температур, у которых значение разницы температур точно фиксировано, изготовлены вместе с гелиосистемой, то устройство работает хорошо. Однако если гелиосистема проектировалась отдельно от термостата, рекомендуется выбирать датчики разности температур с саморегулирующей для того, чтобы после установки системы во время пусконаладочных работ можно было определить оптимальное значение разности температур (рис. 2.45).

Методика выбора солнечного коллектора. В последнее время в продаже появилось множество различных типов коллекторов.

При выборе коллектора следует руководствоваться такими основными положениями:

1) Следует учитывать не только тепловую эффективность коллектора, но и его стоимость. Например, при выборе данного устройства для системы горячего водоснабжения необязательно исходя из соотношения стоимости и качества коллектора останавливаться на вакуумированных трубчатых коллекторах.

2) Рекомендуется принимать во внимание прочность коллектора. Каково бы ни было качество тепловоспринимающей пластины, материал его корпуса вскоре ржавеет, и если в нем появятся отверстия, то коллектор не сможет функционировать в заданном режиме. Следует выбирать такой коллектор, который смог бы работать по крайней мере не менее 15 лет.

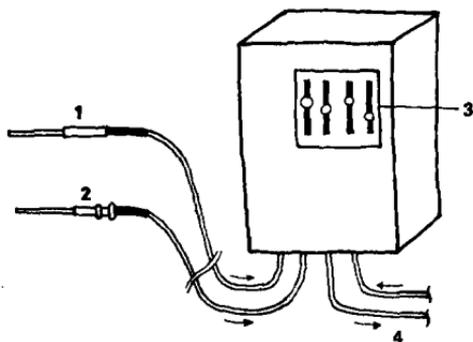


РИС. 2.45. ДАТЧИКИ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР С САМОРЕГУЛИРУЮЩЕЙ (ФИРМА "ОЕДЭНКО КОГе")

1 — высокотемпературный датчик (помещается на тепловоспринимающей пластине); 2 — низкотемпературный датчик (помещается в нижней секции теплоаккумуляторного бака); 3 — регулятор разности температур (включение и выключение насосов); 4 — электропитание коллекторного насоса

3) Следует обращать внимание на надежность коллектора. Где бы ни монтировалась гелиосистема, в случае аварии коллектор может оказаться перед опасностью воздействия высоких температур. У коллекторов, оборудованных селективно-поглощающими пленками, температура поглощающих пластин поднимается до 180°C , поэтому возможны явления вскипания жидкости, вибрации и ухудшения качеств коллекторов. Рекомендуется выбирать коллектор, характеризующийся надежностью в подобных ситуациях.

4) Коллектор должен иметь простую схему монтажа: при установке не только сборка самого коллектора, но и его соединение с трубопроводами должны осуществляться просто.

Нужно выбирать тип коллектора, подходящий для эксплуатации в гелиосистеме. Так, необходимо обращать внимание на то, чтобы в гелиоконтуре можно было осуществить антикоррозионные и антифризные меры, а также установить устройства, предохраняющие систему от чрезмерных перепадов давлений.

5) Оценку коллектору следует давать по его эксплуатационным качествам: следует выбирать такой коллектор, который может работать стабильно по крайней мере в течение 2–3 лет.

ГЛАВА 3 СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

3.1. ТИПЫ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Наиболее широкое распространение использование солнечной энергии получило для нагрева воды в системах горячего водоснабжения (рис. 3.1):

1) солнечный водонагреватель в виде стационарной установки с системой периодического накачивания воды;

2) солнечный водонагреватель с естественной циркуляцией воды;

3) система горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды.

Солнечный водонагреватель в виде стационарной установки с системой периодического накачивания воды полузакрытого типа (рис. 3.1, а) является прототипом первого солнечного водонагревателя. Это устройство обходится очень дешево и его можно сделать самостоятельно, однако коэффициент эффективности у него сравнительно низкий. Его нужно обязательно устанавливать горизонтально. В зимний период его КПД падает, к тому же в нем иногда появляются водоросли, и в последнее время такой тип водонагревателя почти вышел из употребления.

В солнечном водонагревателе типа мешков-контейнеров (рис. 3.1, б) выставленные на солнце пластмассовые мешки-контейнеры заполняются водой, которая непосредственно нагревается солнечным теплом. Эта установка стоит очень недорого, но срок ее годности весьма невелик: она служит от 1 года до 3 лет. Используется в основном как простой водонагреватель для бытовых целей.

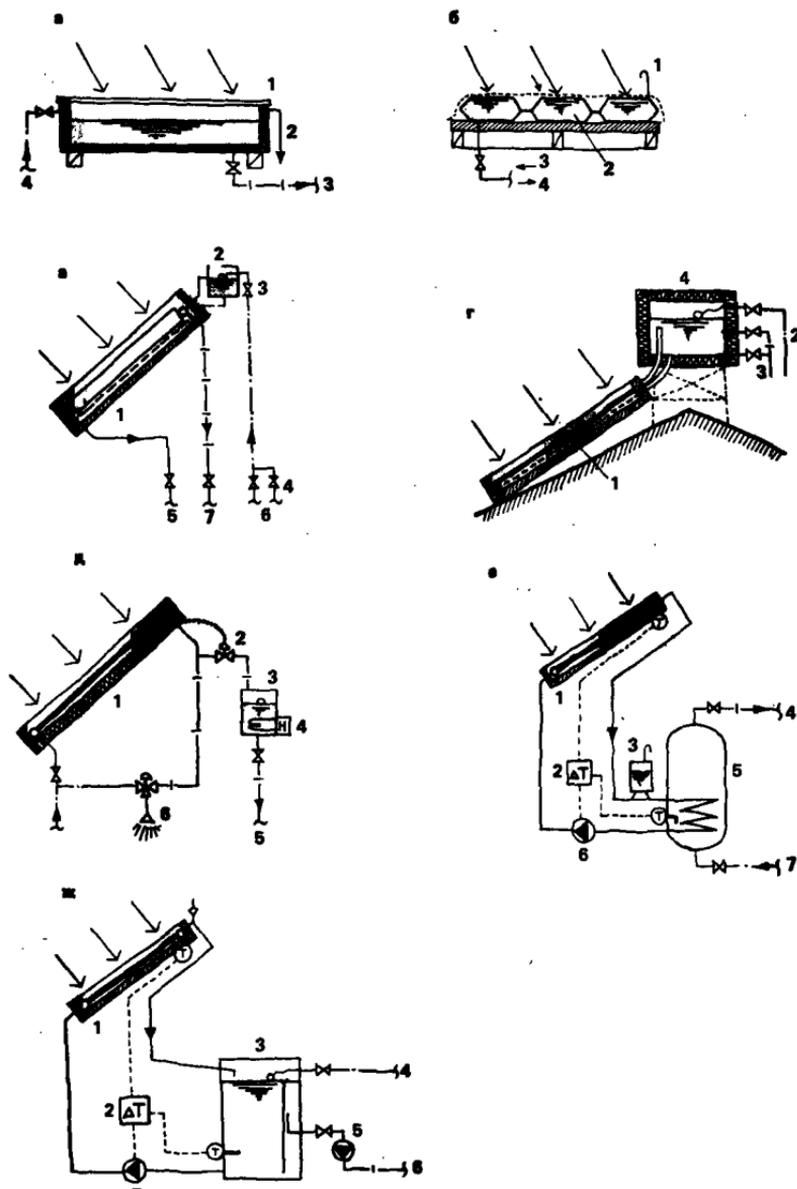


РИС. 3.1. СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

а – солнечный водонагреватель в виде стационарной установки с системой периодического накачивания воды полужакрытого типа: 1 – внешняя прозрачная изоляция (пластик); 2 – сливная труба; 3 – выход горячей воды; 4 – вход воды; б – солнечный нагреватель в виде мешков-контейнеров: 1 – воздушник; 2 – пластмассовые мешки-контейнеры; 3 – подача воды; 4 – выход горячей воды; в – солнечный водонагреватель в виде стационарной установки с периодической системой накачивания воды (коллектор совмещен с аккумулятором, коллектор выполнен как самостоятельный элемент, аккумулятор имеет форму цилиндра): 1 – цилиндр, выполняющий функции коллектора и бака-аккумулятора; 2 – вспомогательный водяной бак; 3 – дренажный клапан (слив воды ночью в зимний период); 4 и 5 – дренажные отверстия; 6 – подача воды; 7 – выход горячей воды; г – солнечный водонагреватель с естественной циркуляцией воды: 1 – коллектор, работающий на антифризных растворах; 2 – подача воды; 3 – выход горячей воды; 4 – бак-аккумулятор с теплоизоляцией; д – солнечная система горячего водоснабже-

Солнечный водонагреватель, выполненный в виде стационарной установки с системой периодического накачивания воды (рис. 3.1, а) (коллектор может быть самостоятельным элементом или совмещенным с аккумулятором; аккумулятор при этом имеет обычно форму цилиндра), широко применялся до сих пор, но в последнее время стал вытесняться водонагревателем с естественной циркуляцией воды.

В настоящее время более 90% имеющихся в продаже солнечных водонагревателей являются водонагревателями с естественной циркуляцией воды (рис. 3.1, б). Их конструкция отличается простотой, высоким КПД и относительно низкой стоимостью. К тому же водонагревателем такого типа легко управлять. Он работает по схеме термосифона, поэтому бак-аккумулятор обязательно должен находиться выше коллектора. Хотя такой водонагреватель имеет относительно большой вес, его приходится, как правило, устанавливать на крыше здания, чтобы вода самотеком поступала к потребителю.

Система горячего водоснабжения проточного типа (рис. 3.1, в) удобна тем, что вместо бака-аккумулятора можно монтировать душевую установку. Однако недостаток ее в том, что неиспользованная вода остывает и ее нельзя вновь нагреть солнечным теплом.

Возможны два вида систем горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды (рис. 3.1, г): двухконтурная схема с непосредственным и опосредствованным обогревами. В последнее время различные фирмы-производители выпускают оборудование для систем, представленных на рис. 3.1, д и е, как для единой системы.

Система горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды с непосредственным обогревом представлена на рис. 3.1, ж

3.2. ВЫБОР СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

При выборе солнечного водонагревателя важно, чтобы изделие соответствовало японскому промышленному стандарту, а также отвечало требованиям высокого качества, при удовлетворении которых изделиям присваивается марка BL¹, и техничес-

¹ В 1974 г. по инициативе министра строительства Японии была учреждена система аттестации предметов жилищного обихода, обладающих улучшенными качествами, с присуждением им марки BL (Better Living). В настоящее время функционирует Центр по разработке таких улучшенных изделий, имеющий полномочия выпускать их с маркой BL. Сейчас, когда на системы солнечного горячего водоснабжения кредитными учреждениями по финансированию жилищного строительства выделено 100 000 иен, необходимо, чтобы изготовители оборудования этих систем добивались оценки всех изделий маркой BL.

ния проточного типа: 1 — коллектор; 2 — вентиль, позволяющий регулировать температуру воды; 3 — бак-накопитель; 4 — дополнительный нагреватель; 5 — выход горячей воды; б — душ; е — система горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды (двухконтурная схема нагрева): 1 — коллектор; 2 — датчики разности температур; 3 — расширительный бак; 4 — выход горячей воды; 5 — аккумуляторный бак с закрытым отбором воды; 6 — коллекторный насос; 7 — подача воды; ж — система горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды (непосредственный нагрев): 1 — коллектор; 2 — датчик разности температур; 3 — аккумуляторный бак с открытым отбором воды; 4 — подача воды; 5 — насос для горячей воды; 6 — выход горячей воды; 7 — коллекторный насос

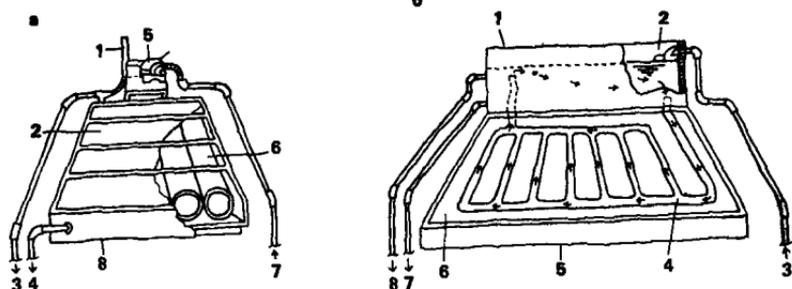


РИС. 3.2. ТИПЫ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

а — солнечный водонагреватель в виде стационарной установки с системой периодического накачивания воды: 1 — воздушник; 2 — светопрозрачное покрытие; выход горячей воды: 3 — из верхней части установки, 4 — из нижней части установки; 5 — поплавковый регулятор подачи воды; 6 — коллекторная часть; 7 — подача воды; 8 — корпус; б — солнечный водонагреватель с естественной циркуляцией воды: 1 — аккумуляторный бак; 2 — поплавковый регулятор; 3 — подача воды; 4 — коллекторная часть; 5 — корпус; 6 — светопрозрачное покрытие; в — выход горячей воды; 7 — из нижней части бака; 8 — из верхней части бака

ким нормам Японской ассоциации по системам оборудования жилых зданий.

На рис. 3.2, а показан солнечный водонагреватель в виде стационарной установки с системой накачивания воды, у которого совмещены аккумулирующий и коллекторные элементы системы. Это является своеобразной особенностью конструкции, применяемой исключительно в Японии. Кроме того, этот тип водонагревателя дешев. В солнечном водонагревателе с естественной циркуляцией воды (рис. 3.1, б) разделены коллекторная и аккумулирующая части системы. Его действие основано на термосифонном эффекте с использованием разности температур.

Водонагреватели изготавливают с отражающей свет панелью и без нее (рис. 3.3): чтобы коллектор улавливал большее количество тепла, выполненные из алюминия или нержавеющей стали отражающие панели, применение которых особенно эффективно в зимний период, устанавливают на боковой стене накопительного бака.

В солнечном водонагревателе в виде стационарной установки с системой накачивания воды после захода солнца температура воды резко падает. Он удобен только в случаях, когда принимают ванну в сравнительно раннее время (например, в крестьянских домах) или если ванну оборудуют хорошей теплоизоляцией, чтобы сохранить воду теплой до вечера. Кроме того, ночью температура воды сильно понижается, поэтому в последнее время этот тип водонагревателя вытесняется высококачественными водонагревателями с естественной циркуляцией воды. Однако благодаря низкой стоимости и хорошим качествам водо

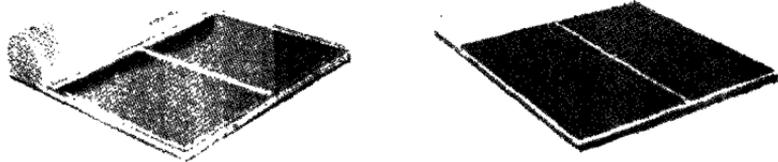


РИС. 3.3. ВНЕШНИЙ ВИД СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВОДЫ (БЕЗ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПАНЕЛИ И С ОТРАЖАЮЩЕЙ ПАНЕЛЬЮ)

нагреватели в виде стационарных установок с системой накачивания воды оказываются экономически выгодными при использовании их только для снабжения горячей водой ванны.

В системе с естественной циркуляцией воды нагретая вода находится в теплоизолированном накопительном баке, поэтому ее температура понижается постепенно и воду для ванны можно использовать на следующий день, причем ее температура сохраняется относительно высокой. Следовательно, в домах, где проживают служащие, которые принимают ванну поздно вечером или даже через день, эта система довольно удобна. Она особенно подходит для подключения к центральному водоснабжению.

Наиболее распространенные типы солнечных водонагревателей представлены в табл. 3.1.

Внешний вид солнечных водонагревателей с естественной циркуляцией воды, а также отдельные элементы этих систем – накопительные баки, светопрозрачные покрытия, корпуса в форме плоских ящиков – не имеют существенных различий, хотя такие водонагреватели изготавливают разные фирмы.

Как правило, водонагреватели отличаются по конструкции коллекторных панелей, являющихся их основным элементом: 1) коллекторная сварная панель изготавливается из специальной нержавеющей стали (SUS 444) толщиной 0,3 мм, поверхность которой либо окрашивают в черный цвет, либо покрывают селективным покрытием. В этом случае водонагреватель заполняют антифризным раствором; 2) коллекторная панель имеет форму надувной емкости из высокомолекулярного полиэтилена, окрашенного в черный цвет. Водонагреватель может быть использован в зимнее время; 3) коллекторная панель типа тепловой трубы (черная краска, селективное покрытие, селективно-поглощающая пленка) обладает морозоустойчивыми свойствами; 4) коллекторная панель для плоских коллекторов выполняется из оребренных медных труб, но не может быть использована с раствором антифриза.

Среди перечисленных видов солнечных водонагревателей конструкция с коллекторной панелью типа 1 наиболее простая, поэтому большинство изготовителей выпускают изделия подобного типа. В свойствах разработанных за последнее время коллекторных панелей не наблюдается существенных различий. В

Таблица 3.1. Солнечные водонагреватели с естественной циркуляцией воды,

Фирма	Фирменное обозначение	Полезная тепловоспринимающая площадь, м ²	Вместимость бака с горячей водой, л	Масса бака с горячей водой, кг	Тепловоспринимающие панели
"Ювата", "Ядзакисогё"	SW-T202	1,91	200	283,5	Специальная коррозионностойкая сталь, покрытая черной краской с последующей термообработкой
	SW-T430A	3,82	275	420	
"Хай хита", "Нитирицу касэй когё"	HES-202	2,93	200	303	Высокомолекулярный полиэтилен черного цвета
"Тана сора", "Мацусита дэнки"	ST-20P	2,42	190	280	Специальная нержавеющая сталь с селективно-поглощающей пленкой
	SI-25H2	3	195	289	Типа тепловой оребренной трубы с селективно-поглощающей пленкой
"Насирару тайо хита", "Мацусита дэнки"	XCE-750	2,9	190	303	Высокомолекулярный полиэтилен
"Сансора", "Мицуи дэнки"	TCS-760	2,2	200	298	Стальные пластины + тепловые трубы, покрытые черной краской
"Арусора", "Сёва аруми"	AS-H-230	2,88	200	290	Алюминиевые листы, полученные прокаткой, с нанесением селективно-поглощающей пленки + тепловые трубы

имеющиеся в продаже

Прозрач-ное по-крытие	Теплоизо-ляцион-ные мате-риалы	Корпус	Накopi-тельный бак	Внешние размеры (длина × × ширина × × высота), мм	Примечание
Полуар-мирован-ное стек-ло 3,2 мм	Пенополи-стирол + стекловата	Оцинкован-ные листы, покрытые ак-риловой эмалью с по-следующей термообработ-кой	Высоко-молеку-лярный поли-этилен	2000x1000x x540, 2000x2000x x610	Выпускаются об-разцы с алюми-ниевой отражаю-щей поверх-ностью
То же	Пенополи-стирол	Пластик, ар-мированный стекловолок-ном	То же	2073x1537x x530	Выпускаются об-разцы: 1) с отражающей панелью 2) площадью 4,4 м ²
"	"	Стальные листы, покры-тые поливи-нилхлоридом	"	1941x1998x x548	Выпускаются образцы: 1) с отражающей панелью 2) площадью 1,5; 2,4; 1,2 м ²
"	"	То же	"	2271x2176x x428	3) снабженные теплообменни-ками из оребрен-ных труб
"	Пенополи-этилен	Пластик, ар-мированный стекловолок-ном	"	2000x1680x x670	Выпускаются образцы пло-щадью 3,4 м ²
"	Стеклова-та + поли-уретан	Оцинкован-ная листовая сталь, покры-тая акрило-вой эмалью с последующей термообра-боткой	"	2200x1100x x500	Типа тепловой трубы. Выпуска-ются образцы площадью 3,3 м ²
"	Стеклова-та	Алюмини-евые профили, полученные выдавлива-нием, + оцин-кованное окрашенное железо	Высоко-молеку-лярный полиэти-лен, тер-мостой-кие смо-лы + сталь марки SUS444	2146x2058x x408	—

Фирма	Фирменное обозначение	Полезная тепловоспринимающая площадь, м ²	Вместимость бака с горячей водой, л	Масса бака с горячей водой, кг	Тепловоспринимающие панели
"Майсора", "Сяну"	КС-300	2,02	200	300	Специальная нержавеющая сталь, окрашенная черной краской с кремний-органическим связующим

зависимости от особенностей конструкции и способов их сварки несколько варьируются сроки службы водонагревателей, а также обнаруживается их различная морозоустойчивость. Как правило, срок их службы рассчитан более чем на 2–3 года.

В районах, где в воде содержится много солей, целесообразно устанавливать водонагреватель с коллекторными панелями из полиэтилена. По сравнению с металлическими коллекторными панелями у полиэтиленовых изделий с той же теплоприемной (или тепловоспринимающей) площадью КПД преобразования солнечного излучения в тепло несколько хуже, тем не менее они выигрывают за счет низкой стоимости и антикоррозионных качеств. Недавно появились модификации таких коллекторов, которые имеют форму трапеции в поперечном сечении и отличаются термостойкостью, что важно для сохранности панели при отсутствии отбора тепла. Они также морозостойки. Коллекторные панели в виде тепловых труб наиболее безопасны с точки зрения воздействия резких перепадов температуры, и поскольку вода не циркулирует по коллекторной части установки, они почти не загрязняются. Такие водонагреватели легко контролировать и чистить. Однако по сравнению с другими типами высококачественных водонагревателей они гораздо дороже и используемые в них тепловые трубы не всегда сохраняют с течением времени свои характеристики на исходном уровне.

В водонагревателях с панелями, предназначенными для работы без антифризных растворов, приходится принимать меры для сохранения их работоспособности при низких температурах. Для этого необходимо оборудовать их двойными или тройными низкотемпературными клапанами. При открытии такого клапана возможны потери воды из системы; кроме того, клапаны часто выходят из строя, в связи с чем такая система особенно не рекомендуется для применения.

В обычном жилом доме наиболее экономично устроить водонагреватель с коллекторной поверхностью 2–3 м² и вместимостью бака-аккумулятора 200–250 л. Многие разработчики считают целесообразным использовать крупные баки. Обычно площадь коллекторов и объем накопительных баков выбирают

Прозрачное покрытие	Теплоизоляционные материалы	Корпус	Накопительный бак	Внешние размеры (длина × ширина × высота), мм	Примечание
Полиармированное стекло 3 мм	Стекловата + пенополистирол	Пластик, армированный стекловолокном, стальные листы, покрытые поливинилхлоридом	Высокомолекулярный полиэтилен	2045×1615×655	Выпускаются образцы с отражающей панелью

так, чтобы их отношение составляло 70–100 л/м². Если принять отношение меньшим, то это повлечет повышение температуры теплоносителя, но выработка тепла уменьшается. Для большой семьи можно установить два солнечных водонагревателя. Следует иметь в виду, что в районах, где выпадает много снега, необходимо специальное устройство, которое предохраняло бы водонагреватель от повреждений в результате снежных заносов.

3.3. УСТАНОВКА СОЛНЕЧНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ В ДОМЕ

При оборудовании солнечным водонагревателем построенного дома необходимо тщательно следить за соблюдением правил техники безопасности, касающихся работы гелиомеханизмов, и установить систему с таким расчетом, чтобы эффективность использования водонагревателя была максимальной.

Проектирование гелиосистемы. Оптимальной считается установка солнечного водонагревателя на склоне крыши под углом 30° при том, что конек ее по оси восток–запад обращен прямо у югу. Если у крыши малый наклон, то необходимо соорудить опорные подставки для водонагревателя. За последнее время появилось много водонагревателей с естественной циркуляцией воды, у которых часть накопительного бака в зимнее время служит отражающей панелью. В этом случае при монтаже опорные подставки делать нецелесообразно, к тому же это связано с дополнительными расходами; поэтому если крыша имеет наклон более 22°, водонагреватель можно расположить непосредственно на поверхности такой крыши (рис. 3.4).

Обычно кухня и ванна, которые необходимо снабжать горячей водой, расположены с северной стороны здания. В связи с этим возникает опасность замерзания воды, поэтому, чтобы подаваемая вода полностью выходила из труб, необходимо узел подачи и клапан присоединения горячего трубопровода монтировать несколько выше линии конька крыши. Если этот узел установить в середине крыши или в нижней части системы, то трубопровод придется вести через фронтоны крыши, а это ухудшит внешний облик дома. Если склон крыши имеет угол накло-

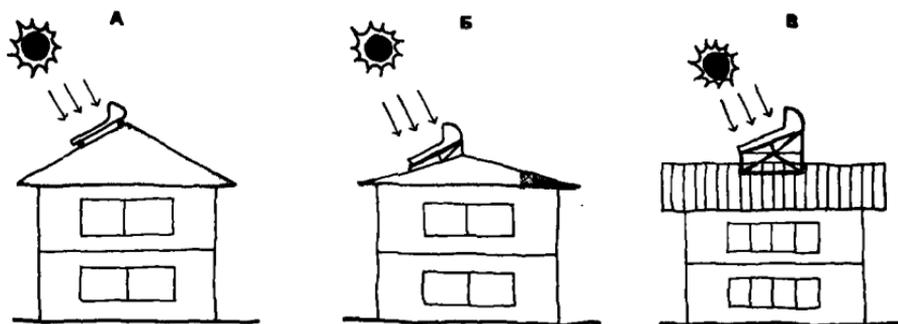


РИС. 3.4. УСТАНОВКА СОЛНЕЧНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ В ПОСТРОЕННОМ ДОМЕ

А — водонагреватель устанавливают непосредственно на крыше (если склон крыши обращен к югу с наклоном в пределах 30°); Б — водонагреватель устанавливают на опорных подставках с ориентацией на юг (если склон крыши обращен к югу, но угол наклона крыши слишком мал); В — водонагреватель устанавливают на коньке крыши на опорных подставках

на в пределах 45° и обращен в южную сторону водонагреватель также можно устанавливать на крыше. В других случаях (рис. 3.4, в) необходимо устанавливать водонагреватель либо на коньке крыши, либо на опорных подставках. Если позволяет конструкция здания, то к водонагревателю можно подсоединить бойлер с горячей водой и другие механизмы. Однако в том случае, когда необходимо обеспечить водой только ванну и к традиционной ванне смонтирована топка, можно ограничиться системой с непосредственной подачей горячей воды. Это значительно сокращает общие расходы и способствует экономии энергии.

Конструирование водонагревателя. Стандартный водонагреватель, наполненный водой, имеет массу около 300 кг. В последнее время появились крупные водонагреватели массой более 500 кг. Если такую массу распределить по всей крыше, то это не причинит ей никакого вреда. Однако при оценке следует иметь в виду, что масса сосредоточена на крыше локально, поэтому

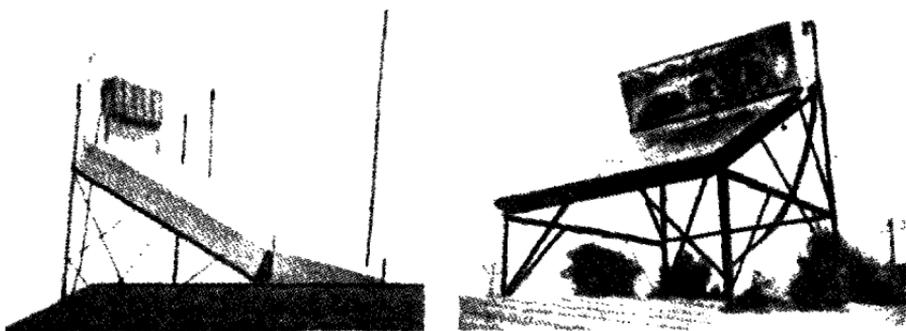


РИС. 3.5. ПРИМЕРЫ УСТАНОВКИ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

часто оказывается, что стропила и несущие балки крыши не выдерживают возникающего напряжения. Если такую массу установить на крыше крестьянского дома или дома, построенного по специальному проекту, где использованы крепкие стропила и центральные несущие балки, то такая крыша, безусловно, выдержит нагрузку. В старых или купленных готовыми домами при концентрации нагрузки создается слабый участок (2x4), где в результате большого напряжения может произойти повреждение кровли и появится опасность протекания воды. Думается, что в таких случаях целесообразно устанавливать опорные подставки, при помощи которых нагрузка распределяется, либо следует располагать рядом два небольших легких водонагревателя. Следует также иметь в виду, что во время землетрясений или тайфунов солнечные водонагреватели могут быть сброшены или снесены с крыши. Во избежание этого их необходимо крепить проволокой к балкам крыши. В городских условиях в целях предупреждения загорания стропила крыши и несущие балки покрывают строительным раствором, что в определенной мере затрудняет монтажные работы.

3.4. ОРГАНИЗАЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ

В последнее время в жилых домах Японии распространяется центральное водоснабжение, включающее централизацию всего горячего водоснабжения. Система характеризуется тем, что в различных помещениях жилого дома, где необходима горячая вода, — в ванне, кухне, туалетах — не монтируют отдельные топки или кипятильники, а в определенном месте устанавливают общее для всего дома нагревательное устройство системы горячего водоснабжения и при помощи кранов автоматически регулируют подачу горячей воды.

Среди устройств, применяемых для нагревания воды в системах горячего водоснабжения, существуют агрегаты накопительного типа, быстродействующие и др. Проблема заключается в том, можно ли солнечные водонагреватели использовать в комбинации с этими устройствами?

С давних пор солнечные водонагреватели конструируют с таким расчетом, чтобы вода непосредственно подавалась потребителю в ванну и кухню, при этом совершенно не учитывается возможность их переоборудования для центральной системы горячего водоснабжения. Изготовители водонагревателей также не предусматривают пока такой возможности. Однако по мере распространения центральной системы горячего водоснабжения в жилых домах необходимо исследовать возможность использования такой системы на основе дешевой солнечной энергии.

При желании применить солнечный водонагреватель в системе центрального горячего водоснабжения (в масштабах дома) необходимо составить проект такой системы с учетом различных способов монтажа трубопроводов. Главное внимание следует

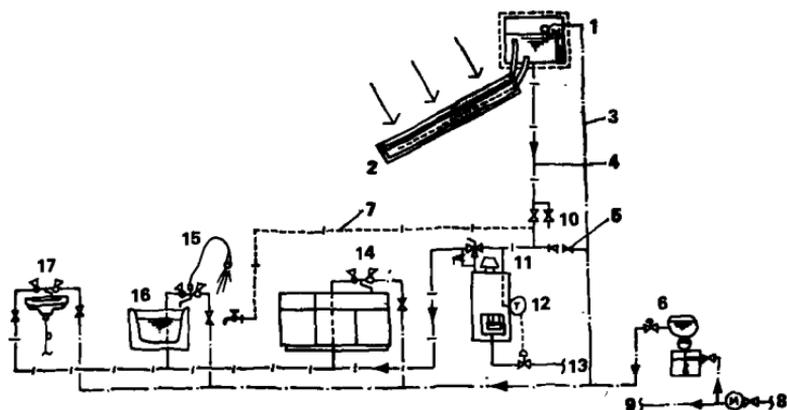


РИС. 3.6. ПРИМЕР ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ В МАСШТАБЕ ДОМА СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ (АВТОР ПРОЕКТА ТАНАКА)

1 — бак-аккумулятор с горячей водой; 2 — водонагреватель с естественной циркуляцией воды; 3 — трубопровод подачи воды (определенной температуры); 4 — трубопровод, снабжающий потребителей горячей водой определенной температуры (небольшая часть трубопровода проходит вне помещения); 5 — часть системы, которую нельзя непосредственно подключать к трубопроводу; 6 — устройство для подачи горячей воды вверх (в случае недостаточно высокого давления); 7 — трубопровод, снабжающий потребителей водой в обход дополнительного нагревателя; 8 — городской водопровод; 9 — непосредственное подключение; 10 — подключение в случае аварии; 11 — дополнительный нагреватель аккумуляторного типа; 12 — регулятор температур; 13 — газ; 14 — кухня; 15 — душ; 16 — ванна; 17 — туалет

уделить мерам по увеличению морозостойкости системы, а также борьбе с потерями тепла, в частности из-за перемешивания воды в бойлере и недостаточно точного регулирования температуры воды при работе душа и т.п.

При проектировании централизованной в масштабах дома системы горячего водоснабжения с солнечным нагревателем (рис. 3.6) нужно иметь в виду следующее:

1) следует выбирать водонагреватель, в котором возможна подача горячей воды сверху;

2) следует выбирать водонагреватель, который можно заполнить антифризом (если водонагреватель не обладает морозостойкостью, то через низкотемпературный кран, предназначенный для выпуска воды в случае опасности замерзания в зимние ночи, уходит большое количество воды);

3) рекомендуется обеспечить достаточную теплоизоляцию труб для подачи холодной и горячей воды, а также оснастить их клапанами, предназначенными для эксплуатации в условиях низких температур (если здание новое, то желательно трубопровод вывести с тыльной стороны дома);

4) в здании бойлер, соединенный с распределительным трубопроводом, может быть либо накопительного типа, либо вмонтированный (для быстрого нагрева) в систему пропорционального регулирования количества воды при потерях из-за низкого давления в трубопроводах. Часто используют бойлеры накопи-

тельного типа, бойлеры, применяемые в системах отопления и горячего водоснабжения, и электрические водонагреватели, которые имеются в продаже;

5) при необходимости создать дополнительное давление (для душа) следует установить дополнительный насос подачи горячей воды (особенно, если ванна находится на 2-м этаже). Если оборудование не соответствует стандартам, существует большая опасность нарушения режима контроля. Следует иметь в виду: если давление воды в душе в целом удовлетворительно, водонагреватель по возможности устанавливается в самом высоком месте. Это позволяет получить экономию, так как система будет работать без насосов. Однако иногда Японская ассоциация службы водоснабжения запрещает устанавливать трубопровод выше 2-го этажа. В этом случае необходимо приобрести достаточно большую напорную емкость для воды. При этом возникнут дополнительные расходы не только на ее монтаж, но и на транспортировку;

6) трубопроводы подачи питьевой воды и трубы снабжения горячей водой во избежание замерзания должны быть сделаны из первосортного морозоустойчивого полиэтилена, используемого для изготовления водопроводных труб.

Если в системе трубопроводов, идущих от водонагревателя, установить трубу, снабжающую потребителей водой в обход дополнительного бойлера, или кран-переключатель, можно увеличить коэффициент использования солнечной энергии в течение года. Однако такая система неприемлема для холодных районов, расположенных севернее северного Канто.

Пример использования системы солнечного горячего водоснабжения, функционирующей и в зимний период и включающей постоянный электрический подогреватель, имеется в префектуре Нагано. Однако стоимость энергии электрического подогревателя больше, чем экономия за счет солнечного тепла, поэтому такую систему нельзя рекомендовать для широкого применения.

3.5. ВЫБОР СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВОДЫ

Система горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды характеризуется тем, что в ее схеме солнечный коллектор и аккумуляторный бак разьединены, и для нагревания воды в баке требуется принудительная прогонка теплоносителя при помощи циркуляционного насоса с использованием автоматических датчиков разности температур или каких-либо других контрольных приборов. Аккумуляторный бак и насосы можно расположить на земле, что облегчает контроль за оборудованием, к тому же отпадает необходимость в установке на кровле дома тяжелого резервуара.

По сравнению с солнечным водонагревателем эта система имеет некоторые преимущества. Вместе с тем к ее недостаткам следует отнести: необходимость монтажа коллекторного насоса и датчиков разности температур, а также обеспечения теплоизоляцией трубопровода. В результате ее стоимость выше по сравнению с обычной системой с естественной циркуляцией воды.

Если учитывать технические качества рассматриваемых систем, то при одинаковых площади коллекторов и объеме бака обычно выбирают солнечный водонагреватель с естественной циркуляцией воды. По сравнению с солнечным водонагревателем обычного типа простой конструкции система горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды связана с необходимостью обеспечения работы насосов и замены многих деталей в механизмах регулирования и контроля, и хотя она считается более высококачественной, в обычных домах ею не пользуются.

Таким образом, систему горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды можно рекомендовать для следующих случаев,

при необходимости большого количества горячей воды (наличие многочисленной семьи);

2) в холодных районах страны, если обеспечена морозостойкость системы (использование растворов антифриза);

3) для обеспечения хорошего внешнего облика здания;

4) в случаях, когда при пользовании водонагревателем наблюдается недостаточное давление воды и предпочтительнее осуществлять ее опосредствованный нагрев;

5) в холодных районах страны, когда при соединении водонагревателя с бойлером возникает опасность замерзания;

6) в случаях, когда из-за конструктивных особенностей кровли здания на ней невозможно установить тяжелый водонагреватель;

7) в случаях, когда систему легко подключить к уже готовому бойлеру.

В комплекты оборудования систем горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды, имеющиеся в продаже, часто входят коллекторы 2х2 м (по 3 шт.) и накопительный бак горячей воды вместимостью 300 л. Для экономии энергии очень надежны и выгодны крупные водонагреватели, а также водонагреватели на двух опорах, устанавливаемые либо параллельно, рядом друг с другом, либо соединяющиеся последовательно.

Систему горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды по конструкции аккумуляторных баков и способам нагрева разделяют на три вида: а) непосредственный нагрев с использованием накопительного бака с открытым отбором воды; б) непосредственный нагрев с использованием аккумуляторного бака с закрытым отбором воды; в) опосредствованный нагрев с использованием аккумуляторного бака с закрытым отбором воды.

Принцип "а" осуществляется по следующей схеме: вода, подаваемая в открытый аккумуляторный бак, непосредственно нагнетается вверх, где проходит через коллектор и нагревается солнечным излучением.

Представленная на рис. 3.7 система отличается высокой эффективностью, однако в ней обязательно нужны мощные коллекторные насосы и насос высокого давления для подачи горячей воды. Предотвращение замерзания системы при низких температурах обеспечивается за счет слива воды, поэтому в трубопроводе не должно быть обратных наклонов.

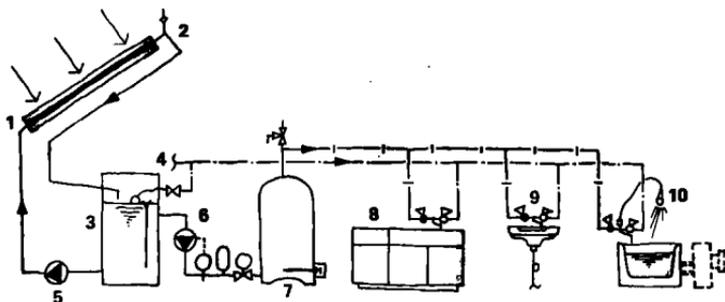


РИС. 3.7. СХЕМА СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ НАГРЕВОМ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АККУМУЛЯТОРНОГО БАКА С ОТКРЫТЫМ ОТБОРОМ ВОДЫ 1 — коллектор; 2 — вакуумный затвор; 3 — аккумуляторный бак с открытым отбором воды; 4 — подача питательной воды; 5 — коллекторный насос; 6 — дополнительный насос для горячей воды; 7 — электрический водоподогреватель; 8 — кухня; 9 — туалет; 10 — ванна

В связи с необходимостью слива воды в самой верхней точке нужно установить воздушный клапан, чтобы воздух проникал в коллекторную часть, поэтому место установки аккумуляторного бака строго ограничивается.

В качестве аккумуляторов с открытым отбором воды для систем горячего водоснабжения используют имеющиеся в продаже баки из пластмасс, армированные стекловолокном, и полиэтиленовые баки. Для этих баков необходимы насосы высокого давления для подачи горячей воды. Выпуск воды осуществляется автоматически. При пользовании насосами с автоматическим включением и выключением возникает опасность нарушения равномерности тока горячей воды, поэтому нужно выбирать систему с регулятором давления. Бойлеры также желательно выбирать либо типа накопительных резервуаров, либо снабженные системой регулируемого отбора и поступления воды.

Если в такой системе устанавливают кран-смеситель горячей воды, необходимо пользоваться оборудованием, рекомендованным для этой цели Японской ассоциацией служб водоснабжения. Однако бывают случаи, когда местные ведомства этой службы не дают разрешения на установку таких кранов.

В системе непосредственного нагрева с использованием аккумуляторного бака с закрытым отбором воды (принцип "б") бак не сообщается с внешней средой (рис. 3.8).

Эта схема характеризуется высокой эффективностью коллекторов и необходимостью коллекторных насосов сравнительно малой мощности. Однако несколько осложнено использование антифриза, поэтому при возникновении опасности замерзания воды рекомендуется с помощью электромагнитного клапана перекрыть воду в трубах, идущих от аккумуляторного бака, и через электромагнитный и низкотемпературный клапаны полностью спустить воду из коллекторной части. Для обеспечения

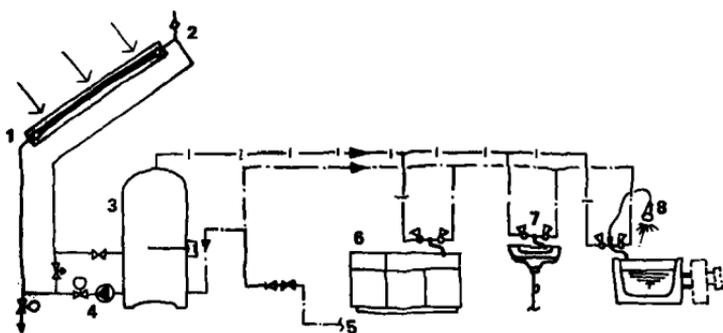


РИС. 3.8. СПОСОБ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО НАГРЕВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АККУМУЛЯТОРНОГО БАКА С ЗАКРЫТЫМ ОТБОРОМ ВОДЫ (СОВМЕЩЕН С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЭНЕРГОИСТОЧНИКОМ)

1 – коллектор; 2 – вакуумный затвор; 3 – электрический водонагреватель, совмещенный с баком-аккумулятором; 4 – коллекторный насос; 5 – подача питательной воды; 6 – кухня; 7 – туалет; 8 – ванна

большей безопасности оба клапана целесообразно совместить и осуществлять повседневный контроль за состоянием клапанов. Перед включением насоса очень важно повернуть электромагнитный клапан для дренажа воды в положение "открыто".

На представленной схеме (см. рис. 3.8) система подключена к водопроводной линии. В случае когда оборудование не соответствует требованиям, предъявляемым Японской ассоциацией службы водоснабжения, необходимо установить напорный бак. Не рекомендуется начинать монтажные работы в готовом доме без уведомления соответствующих ведомств.

Система опосредствованного нагрева с закрытым отбором воды (принцип "в") работает по следующей схеме. В нижней части накопительного бака устанавливают теплообменник и теплоноситель, циркулирующий в его трубах, нагревает воду в баке (рис. 3.9).

При пользовании этой системой снижается эффективность преобразования солнечного излучения в тепло за счет повышенных теплопотерь теплообменника. Благодаря использованию в качестве теплоносителя раствора антифриза обеспечивается предотвращение замерзания; мощность насоса здесь невелика. В будущем эта система получит широкое распространение. В имеющемся в продаже оборудовании обычно применяют безопасные растворы антифриза, однако трубопроводы, по которым они циркулируют, могут протекать. Поэтому при подсоединении к водопроводной линии следует получить разрешение Японской ассоциации службы водоснабжения, а также санкцию местного отделения этой службы.

В показанной на рис. 3.9 системе дополнительным источником тепла является отдельный бойлер, но в продаже встречаются также системы, в которых аккумуляторный бак системы

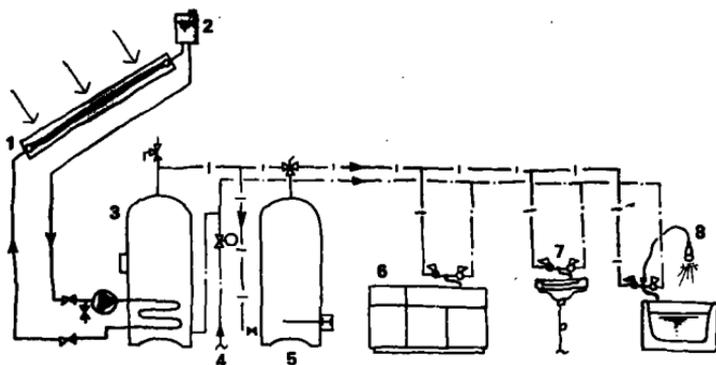


РИС. 3.9. СПОСОБ ОПОСРЕДСТВОВАННОГО НАГРЕВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АККУМУЛЯТОРНОГО БАКА С ЗАКРЫТЫМ ОТБОРОМ ВОДЫ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ЭНЕРГОИСТОЧНИК ОТДЕЛЕН)

1 — коллектор; 2 — расширительный бак для антифриза (пропиленгликоль); 3 — аккумуляторный бак с закрытым отбором воды; 4 — подача воды вверх; 5 — электрический водонагреватель; 6 — кухня; 7 — туалет; 8 — ванна

солнечного горячего водоснабжения и дополнительный бойлер совмещены.

Принято считать, что растворы антифриза можно не менять в течение 3–5 лет, однако данные по их испарению и эффективности антикоррозионной защиты стенок трубопроводов пока не уточнены полностью, поэтому рекомендуется обязательно проводить регулярный контроль системы раз в год.

Таким образом, как говорилось ранее, существует много различных схем систем горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды. У каждой из них есть свои достоинства и недостатки. При выборе системы следует прежде всего руководствоваться данными об экономии энергии, надежности конструктивных узлов, эффективности осуществляемых мер против замерзания и долговечности коллекторных труб. Вопросы условий эксплуатации систем и выбора места их установки следует решать в зависимости от особенностей климата и рельефа местности.

При одинаковых площадях коллекторов и емкости аккумуляторных баков в системе непосредственного нагрева выработка тепла будет на 10–20% больше, чем при опосредствованном нагреве. Кроме того, в системе опосредствованного нагрева затраты энергии на работу насосов и других дополнительных механизмов составляют 50–100 кВт·ч/год.

3.6. ВЫБОР СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

При установке системы солнечного водоснабжения в общественных зданиях необходимо наряду с оценкой технических характеристик систем учитывать и особенности домовладения. Например, при подсчете требуемого количества воды и тепла необходимо выяснить, построено ли данное здание для сдачи в аренду либо оно предназначено для поквартирной продажи. Кроме того, следует определить основные принципы эксплуатационного режима с учетом различных технических норм, связанных с контролем за выработкой энергии и экономичностью системы горячего водоснабжения в целом.

Разработаны схемы центрального горячего водоснабжения общественных зданий (рис. 3.10).

В системе централизованного горячего водоснабжения с обеспечением потребителя водой постоянной температуры (рис. 3.10, а) централизованы коллектор, аккумуляторный бак и бойлер. Эта система является наиболее простой и имеет большие преимущества с точки зрения пожарной безопасности и возможности использования для водоснабжения отдельных потребителей.

С другой стороны, содержание штата работников для проведения контроля за эксплуатацией системы и выделение необходимых для этого средств можно частично осуществлять за счет крупных газовых фирм, получивших название "Источники тепла". К недостаткам такой централизованной системы горячего водоснабжения следует отнести большие потери в трубах из-за необходимости повторной циркуляции воды. С точки зрения использования солнечного тепла, следует отметить, что для удовлетворения запросов потребителей водой требуемой температуры, максимально приближенной к договорным обязательствам, в этой системе необходимо поддерживать довольно высокую температуру – около 60°C. Количество воды, проходящей через аккумуляторный бак, в данном случае несколько меньше, чем в других схемах, поэтому температура теплоносителя увеличивается, а коэффициент полезного действия солнечного коллектора уменьшается.

Следовательно, такую схему целесообразно применять тогда, когда нет необходимости производить точный подсчет количества воды и возможен централизованный контроль за работой системы, а также когда дом электрифицирован и централизована только система горячего водоснабжения (одновременно применяют газ и другие виды топлива).

В схеме системы централизованного горячего водоснабжения с обеспечением водой переменной температуры (рис. 3.10, б) коллектор и аккумуляторный бак общие для всей системы, но линия горячего водоснабжения устроена в соответствии с требованиями потребителей, и у каждого потребителя имеется дополнительный бойлер. В этой системе бойлеры работают только в необходимое для потребителя время, за счет чего увеличивается коэффициент полезного использования солнечного излуче-

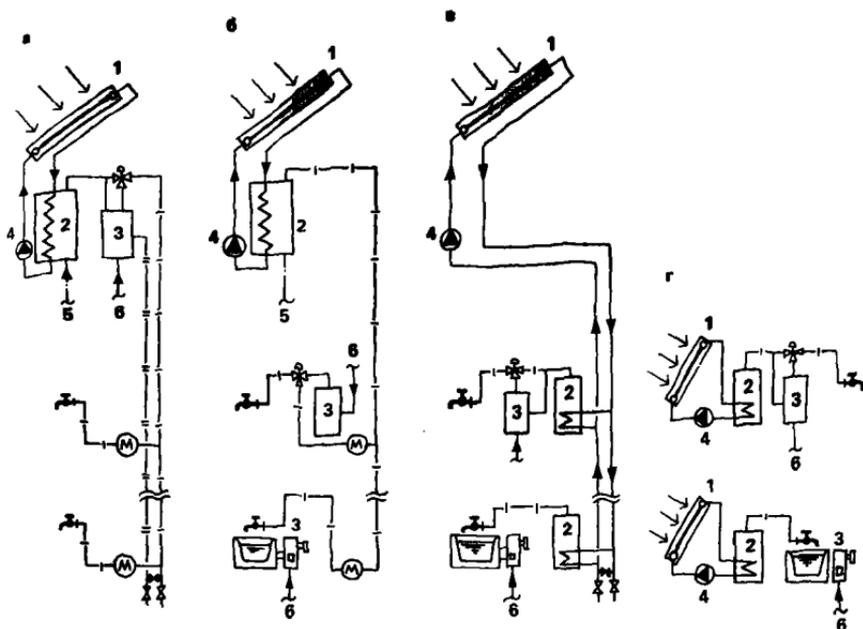


РИС. 3.10. СХЕМЫ СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Системы централизованного горячего водоснабжения: а — обеспечение водой постоянной температуры; б — обеспечение водой переменной температуры; в — способ опосредованного нагрева; г — система индивидуального горячего водоснабжения (установка коллектора в лоджии); 1 — солнечный коллектор; 2 — бак-накопитель; 3 — дополнительный бойлер; 4 — коллекторный насос; 5 — подача воды; 6 — дополнительный энергисточник (газ, топливо)

ния. Однако и в этой системе есть определенные недостатки: необходимость монтажа бойлера для каждого потребителя и точного подсчета количества используемой воды. Неудобство системы состоит также в том, что чем раньше по времени в течение суток потребитель использует систему, тем выше температура получаемой воды.

В схеме системы централизованного горячего водоснабжения с опосредованным нагревом воды (рис. 3.10, в) коллектор общий для всей системы, но у каждого потребителя имеется накопительный бак, нагреваемый опосредованно. Эта система имеет элемент централизации, и при использовании накопительных баков, покупаемых в готовом комплекте, отпадает необходимость подсчитывать количество воды, расходуемой каждым потребителем. Благодаря наличию центрального коллектора и трубопроводов, а также возможности раздельной оплаты счетов за горячую воду эта система вполне подходит для домов, предназначенных для сдачи в аренду. Что же касается управления коллектором, то эта система представляется более удобной, чем система с индивидуальным горячим водоснабжением, осуществляемым коллекторами, смонтированными в лоджии каждого потребителя.

РИС. 3.11. ОБЩЕСТВЕННОЕ ЗДАНИЕ В АВИньОНЕ (ФРАНЦИЯ), ОБОРУДОВАННОЕ СИСТЕМОЙ СОЛНЕЧНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ (ЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ СИСТЕМА С РАЗМЕЩЕНИЕМ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В ЛОДЖИЯХ)



В такой системе возможны различные решения установки оборудования для горячего водоснабжения. Допустимо, например, комбинирование с системой отопления. Более того, можно так спроектировать главный трубопровод, чтобы установить накопительные баки только у тех хозяев квартир, которые заявили о своем желании пользоваться системой солнечного горячего водоснабжения.

В схеме системы индивидуального горячего водоснабжения (рис. 3.10, д) весь дом разделен и коллекторы устанавливаются в лоджиях. Схема наиболее подходит для сдачи помещений в аренду. При этом можно легко закупить необходимое оборудование в больших количествах с определенной скидкой в стоимости. Однако возникают такие проблемы, как невозможность обеспечить достаточное освещение всего здания Солнцем вплоть до нижнего этажа, максимальный приход солнечного излучения на коллекторы, расположенные с южной стороны здания, возникновение ветровых нагрузок, сохранение архитектурного облика здания, возможность затенения коллекторов и др.

До сих пор при установке системы горячего водоснабжения для индивидуальных домов обычно приобретали готовую систему. В последнее время в продаже появились хорошие комплекты систем (фирма "Ядзакс согё"), состоящие из коллекторов, монтируемых в лоджиях, и аккумуляторных баков. Находится в стадии разработки специальная система с естественной циркуляцией воды, достаточно дешевая.

В 4-5-этажных общественных зданиях индивидуальные коллекторы можно было бы устанавливать на кровле. В этом случае трубопроводы по протяженности не слишком бы отличались от трубопроводов индивидуального дома. В этом случае первоначально было бы необходимо монтировать только вертикальный трубопровод, а в каждой квартире устанавливать отдельную гелиосистему.

3.7. ПРИНЦИП ВЫБОРА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ БОЙЛЕРОВ ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В системе горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды обычно в качестве дублирующего теплоисточника используют бойлер для подогрева воды. Он необходим в тех случаях, когда солнечного тепла недостаточно или оно вообще отсутствует. Следует иметь в виду, что при неудачном выборе объема бака-аккумулятора и неправильном использовании дополнительного бойлера коэффициент полезного использования солнечного излучения понижается.

На рис. 3.12, 3.13 и 3.14 показаны схемы включения бака-аккумулятора в системы солнечного теплоснабжения с дополнительными бойлерами.

В схеме, представленной на рис. 3.12, дублирующий источник отделен от системы солнечного теплоснабжения, ванна имеет обычную топку, а небольшой подогреватель не соединен с системой. Вся эта система выглядит не очень компактной, но ее эффективность с точки зрения экономии энергии сравнительно высока и коэффициент полезного использования солнечного излучения также находится на оптимальном уровне. Не следует соединять трубопровод гелиосистемы непосредственно с топкой, к которой подсоединена душевая установка, поскольку при этом часто выплескивается горячая вода, что может быть причиной аварии.

В схеме стандартной системы (рис. 3.13) для нагрева воды в бойлере применяют разные виды топлива – газ и нефть; можно также использовать электрический водонагреватель. В целях экономии энергии желательно выбирать бойлер объемом немного больше аккумуляторного бака. При использовании подогревателя с быстрым непосредственным нагревом воды регулирование с помощью датчиков режима своевременной подачи топлива должно осуществляться в широком диапазоне температур. Бойлеры, применяемые в этой гелиосистеме, различаются также в зависимости от способов регулирования температуры теплоносителя в них. Не все типы бойлеров одинаково удобны в эксплуатации, поэтому полезно предварительно проконсультироваться с их изготовителями.

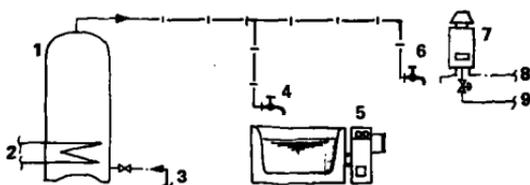


РИС. 3.12. СИСТЕМА, К КОТОРОЙ ДУБЛИРУЮЩИЙ ИСТОЧНИК ТЕПЛА НЕ ПРИСОЕДИНЕН

1 – бак-аккумулятор; 2 – солнечное тепло; 3 – подача питательной воды; 4 – ванна; 5 – топка ванны; 6 – кухня; 7 – подогреватель малой мощности; 8 – подача воды; 9 – дополнительное топливо

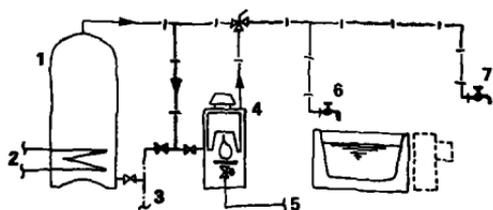


РИС. 3.13. СИСТЕМА С ОТДЕЛЬНЫМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ БОЙЛЕРОМ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ

1 — накопительный бак; 2 — солнечное тепло; 3 — подача воды; 4 — бойлер с горячей водой; 5 — дублирующее топливо; 6 — ванна; 7 — кухня и другие помещения

При использовании электрического водонагревателя применяют термодатчики и регуляторы температуры с двумя фиксированными значениями температуры теплоносителя (85 и 60°C) или используют дифференциальные термодатчики. При этом очень важно ограничить тепловые потери. Бойлер оборудуют вентилями ручного или автоматического переключения и смесителями. Рекомендуются также включать в схему устройство, по возможности ограничивающее использование дублирующего источника, с целью повышения коэффициента использования солнечного тепла.

В системе солнечного горячего водоснабжения (рис. 3.14), теплоаккумуляторный бак совмещен с дополнительным бойлером. В качестве вспомогательного топлива используют электричество, ночное тарифа, газ и нефть. Дополнительное оборудование — коллекторные насосы и датчики разности температур — лучше приобретать в комплекте с аккумуляторным баком, что дешевле и удобнее для монтажа системы. При этом только при применении дифференциального регулятора температуры в дополнительном бойлере достигается высокий коэффициент использования солнечного тепла.

Если трубопровод присоединен не к середине аккумуляторного бака, то заметно падает коэффициент использования солнечного тепла. Такой способ совмещения дополнительного бойлера и основного бака-аккумулятора позволяет сэкономить пространство, однако при повреждении бойлера может выйти из строя и аккумуляторный бак. В последнее время бойлеры, работающие на нефтяном топливе, несколько усовершенствованы, но для окупаемости такой системы необходимо, чтобы срок ее эксплуатации превышал 10 лет.

Выбирая дополнительный бойлер, необходимо предусмотреть возможность замены отдельных деталей. Наличие дополнительного бойлера в гелиосистеме предполагает недостаток солнечного тепла, а бойлер с большими теплотерями крайне нежелателен. Следует иметь в виду, что прерывисто работающие горел-

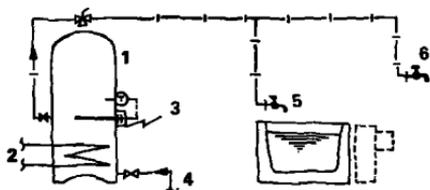


РИС. 3.14. СИСТЕМА, В КОТОРОЙ НАКОПИТЕЛЬНЫЙ БАК СОВМЕЩЕН С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛА

1 — накопительный бак; 2 — солнечное тепло; 3 — электричество (газ или нефтяное топливо); 4 — подача воды; 5 — ванна; 6 — кухня и другие помещения

ки быстрого воспламенения предпочтительнее газовых источников непрерывного горения.

Теплопотери дополнительного бойлера, составляющие 200 ккал/ч, считаются небольшими. Годовые теплопотери составляют при этом 1,75 Гкал, т.е. равны выработке тепла коллектором площадью 3–4 м². Следовательно, в целях экономии энергии выгоднее обеспечить стабильную температуру теплоносителя в бойлере. В настоящее время появилось большое число бойлеров, различающихся по способам зажигания, теплоизоляции и особенностям конструкции. При выборе вспомогательного бойлера прежде всего следует руководствоваться тем, чтобы он характеризовался минимальными потерями тепла.

3.8. ПОКАЗАТЕЛЬ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Еще не выполнены целенаправленные исследования, принимаемые для получения данных об экономии энергии в системе солнечного горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды. Имеются лишь выводы, сделанные на основе анализа и расчета этих систем, полученные в ходе обработки отдельных разрозненных экспериментальных результатов.

Такие расчеты можно делать с помощью коэффициента замещения тепловой нагрузки, который отражает экономию энергии при применении различных систем солнечного теплоснабжения.

Для системы горячего водоснабжения коэффициент замещения нагрузки может быть выражен в следующей формуле: коэффициент замещения нагрузки $\sigma = \left[\frac{\text{годовая теплопроизводительность системы солнечного горячего водоснабжения, ккал/год}}{\text{годовая нагрузка системы горячего водоснабжения, ккал/год}} \right] \times 100\%$.

Другими словами, эта формула дает отношение количества тепла, полученного за год благодаря использованию солнечного излучения, к годовой нагрузке системы горячего водоснабжения в целом (затраты тепла на горячее водоснабжение). Следовательно, коэффициент тем выше, чем эффективнее использует солнечное тепло.

Однако с учетом результатов оценки экономичности системы можно сделать вывод, что не всегда повышение коэффициента замещения будет выгодно.

В разд. 1.6 говорилось о том, какова годовая нагрузка системы горячего водоснабжения на один дом: в среднем она составляет 2–5 Гкал/г на семью, или 2–5 млн. ккал/г на семью. Нагрузка системы горячего водоснабжения несколько меняется в зависимости от уклада жизни людей и численности семей, следовательно, она не одинакова для различных домов.

Расчет системы горячего водоснабжения производят следующим образом: составляют модель потребления в системе горячего водоснабжения одного дома, подсчитывают годовую теплопроизводительность солнечных коллекторов и величину теплопотерь, а затем определяют коэффициент замещения нагрузки с

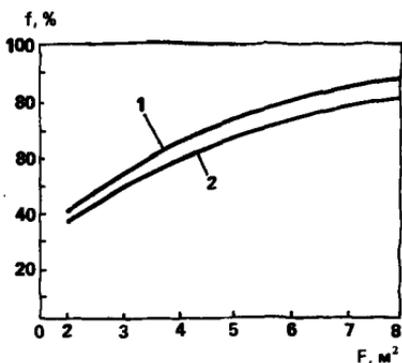


РИС. 3.15. ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАМЕЩЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ОТ ПЛОЩАДИ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА

f — коэффициент замещения тепловой нагрузки; F — полезная площадь коллектора, м²; 1 — селективно-поглощающая пленка; 2 — покрытие черной краской (1 слой стекла; аккумуляторный бак 200–400 л; угол наклона 30–45°; постоянная температура подаваемой потребителю горячей воды 50°C; нагрузка горячего водоснабжения 3,103 Гкал/год; метеорологические условия — как в типичные для Токио годы)

помощью солнечной энергии. Конечно, в этом случае необходимо проводить подсчеты, задаваясь условиями, приближенными к режиму эксплуатации системы водоснабжения.

Зависимость коэффициента замещения тепловой нагрузки от площади коллектора, полученная на основе инженерных расчетов конкретной системы горячего водоснабжения, показана на рис. 3.15.

В качестве исходных данных для расчета использовали модель системы горячего водоснабжения, имеющей нагрузку 3,103 Гкал/год и метеоданные типичных лет для района Токио. В данной модели приняты аккумуляторный бак вместимостью 200–400 л и коллектор южной ориентации с углом наклона к горизонту 30–45°. Установлено, что если вместимость аккумуляторного бака и угол наклона коллектора варьировать в этих пределах, то величина коэффициента замещения нагрузки существенно не изменится.

При этом по мере увеличения коллекторной площади темпы роста данного коэффициента начинают падать. Это свидетельствует о том, что в такой системе горячего водоснабжения увеличение площади коллектора не всегда является положительным фактором и оптимальным критерием оценки системы служит соотношение между вложенными в эту систему средствами и получаемой в качестве эквивалента экономии энергии.

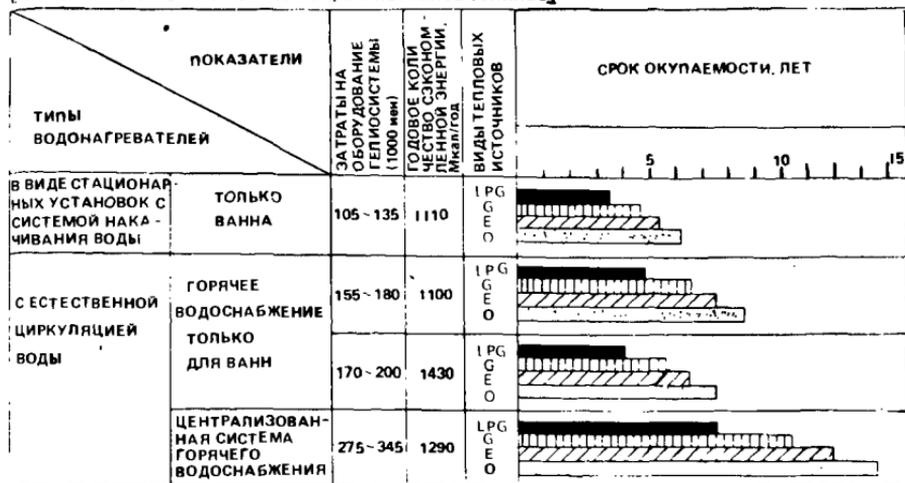
На графике отражены два способа обработки поверхности коллекторной пластины: создание селективно-поглощающей пленки и окрашивание в черный цвет; для этих двух случаев коэффициент замещения тепловой нагрузки отличается несущественно. Уровень температуры горячей воды в данном случае не превышает 50°C, поэтому повышение эффективности системы за счет применения качественных селективно-поглощающих пленок проявляется не слишком заметно.

3.9. ЭКОНОМИЧНОСТЬ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Сравнение солнечных водонагревателей по их экономичности приводится на рис. 3.16.

Результаты расчетов позволяют сделать вывод, что при использовании водонагревателей со стационарной установкой на-

Рис. 3.16 СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКОНОМИЧНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ (РАЙОНЫ С ТИПИЧНЫМ ПРИХОДОМ ИЗЛУЧЕНИЯ): П - ЖИДКИЙ ГАЗ ИЗ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ; Г - ГАЗ; Э - ЭЛЕКТРИЧЕСТВО НОЧНОГО ТАРИФА; О - НЕФТЯНОЕ ТОПЛИВО



ПРИМЕЧАНИЕ. КОЛЛЕКТОРНАЯ ПЛОЩАДЬ 2 м²; ВМЕСТИМОСТЬ НАКОПИТЕЛЬНОГО БАКА 200 л.

качивания воды срок их окупаемости при применении попутного газа из нефтяных месторождений составляет 3-4 года, газа из газовых месторождений - 5-6 лет и электричества ночного тарифа и нефтяного топлива - 6-8 лет.

Для солнечного водонагревателя с естественной циркуляцией воды срок окупаемости по сравнению с предыдущими водонагревателями увеличивается на 1-2 года. В центральной системе горячего водоснабжения прокладка труб обходится дороже; кроме того, возникают существенные теплопотери в трубах и срок окупаемости заметно увеличивается. При использовании нефтяного топлива срок окупаемости централизованной системы составляет 15 лет.

Чтобы получить данные для расчетов и оценки экономичности гелиосистем, как правило, выбирают район со средним уровнем солнечного излучения [годовой приход полной радиации на горизонтальную поверхность 1000000 ккал/(м²·г)]. Водонагреватели ориентируют на юг и устанавливают с наклоном 30° к горизонту, измеряют ежедневную суммарную выработку тепла каждым водонагревателем. При подсчете экономии энергии необходимо иметь в виду, что максимальное поступление солнечного излучения приходится на дневные часы, а фактическое потребление тепла попадает на ночной период времени. Этот и другие факторы приводят к тому, что точность экономических оценок для водонагревателя в виде стационарной установки с периодической системой накачивания воды не превышает 15%, а для нагревателя с естественной циркуляцией воды - 5%.

Сравнение экономичности систем горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды приводится на рис. 3.17. При сроках окупаемости за исходные данные взяты ссудный процент 5,5% и рост стоимости энергии 15%. Тепловая нагрузка горячего водоснабжения 3,1 Гкал/(год·дом); при опосредствованном

Рис 3.17 СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКОНОМИЧНОСТИ СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВОДЫ (LPG - ЖИДКИЙ ГАЗ ИЗ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ; G - ГАЗ; E - ЭЛЕКТРИЧЕСТВО НОЧНОГО ТАРИФА; O - НЕФТЯНОЕ ТОПЛИВО)

ВИДЫ СИСТЕМ		ПОКАЗАТЕЛИ	СТОИМОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ ГЕЛИОУСТАНО ВОК (1000 иен)	ГОДОВАЯ ЭКОНО МИЯ ЭНЕРГИИ, Mkcal/год	ВИДЫ ТЕПЛО - ИСТОЧНИКОВ	СРОК ОКУПАЕМОСТИ (ССУДНЫЙ ПРОЦЕНТ 5,5%, ПОКАЗАТЕЛЬ РОСТА СТОИМОСТИ ЭНЕРГИИ 15%), ПЕТ	
						10	20
СПОСОБ ОПОСРЕДОВАН НОГО НАГРЕВА	ПЛАСТМАССЫ		450 - 550	1330	LPG G E O		
	МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛАСТИНЫ, ОКРАШЕН НЫЕ В ЧЕРНЫЙ ЦВЕТ		500 - 600	1480	LPG G E O		
	МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛАСТИНЫ С СЕЛЕК ТИВНОЙ ПЛЕНКОЙ		550 - 650	1580	LPG G E O		
СПОСОБ НЕПОСРЕДСТВЕН НОГО НАГРЕВА	ПЛАСТМАССЫ		500 - 600	1570	LPG G E O		
	МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛАСТИНЫ, ОКРАШЕН НЫЕ В ЧЕРНЫЙ ЦВЕТ		600 - 700	1740	LPG G E O		
	МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛАСТИНЫ С СЕЛЕК ТИВНОЙ ПЛЕНКОЙ		650 - 750	1860	LPG G E O		

ПРИМЕЧАНИЕ. КОЛЛЕКТОРНАЯ ПЛОЩАДЬ 35 м². ВМЕСТИМОСТЬ НАКОПИТЕЛЬНОГО БАКА 300 л

нагреве стоимость дополнительного энергоисточника 2720 иен/год, при непосредственном – 6120 иен/год; стоимость контрольного оборудования 5000–6000 иен/год.

Насколько можно судить из данных, приведенных на рис. 3.17, для широкого и массового распространения систем горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды необходимо, чтобы изготовители значительно снизили стоимость оборудования и повысили срок службы гелиосистем. Кроме того, по всей вероятности, следует подумать о дальнейшей разработке устройств, направленных на обеспечение экономии энергии.

ГЛАВА 4 СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

4.1. ЗНАЧЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Как в активных, так и в пассивных солнечных системах большое значение приобретает проблема теплоизоляции различных элементов здания. В частности, теплоизоляция является одним из важнейших элементов конструкции в пассивных системах и в значительной степени определяет их эффективность.

Обычно выгоду, полученную за счет теплоизоляции, оценивают исходя из баланса, определяемого суммой вложенных средств и годовой экономии топлива. Однако рекомендацией по выбору оптимального теплоизоляционного слоя пока не существует. Установлено, что для региона Токио в стоимости систем при изменении толщины изоляционного слоя стекловаты в пределах 50–150 мм существенных различий не наблюдается. Можно утеплять внутреннее пространство дома, увеличивая толщину слоя теплоизоляции, но это приводит к возрастанию расходов на строительные материалы, поэтому следует предварительно определить оптимальную толщину такого слоя.

В активных системах сравнение экономии энергии, получаемой за счет использования в коллекторе теплоизоляционных материалов или двухслойного остекления, трудно выполнить. Но поскольку в настоящее время коллекторы стоят дорого, приходится применять и то и другое. Для пассивных систем на основании одного из расчетов установлено, что слой теплоизоляции 100–125 мм в общем соответствует двойному остеклению открытых элементов здания. Конечно, этот вывод справедлив в основном для районов с малым приходом солнечного излучения типа Хоккайдо.

Меры по теплоизоляции зданий прежде всего сводятся к использованию теплоизоляционных материалов для ограждающих конструкций (включая пол и потолок). Помимо увеличения теплоизоляционных свойств световых проемов здания – окон и дверей, большое значение приобретает устранение сквозняков через окна, пол, отверстия в потолке, а также снижение нагрузки принудительной вентиляции (при полной электрификации) в кухне и туалетах.

Усиление теплоизоляции прежде всего проявляется в сокращении расходов энергии как следствия уменьшения нагрузки на систему теплоснабжения. Кроме того, важное значение имеют и побочные результаты улучшения теплоизоляции, например, при увеличении температуры поверхности стен возникает физическое ощущение тепла. При этом устранение возможных утечек теплого воздуха через потолок и пол не влечет за собой заметного изменения температуры в помещении, но способствует появлению хорошего настроения у жильцов дома. Ра-

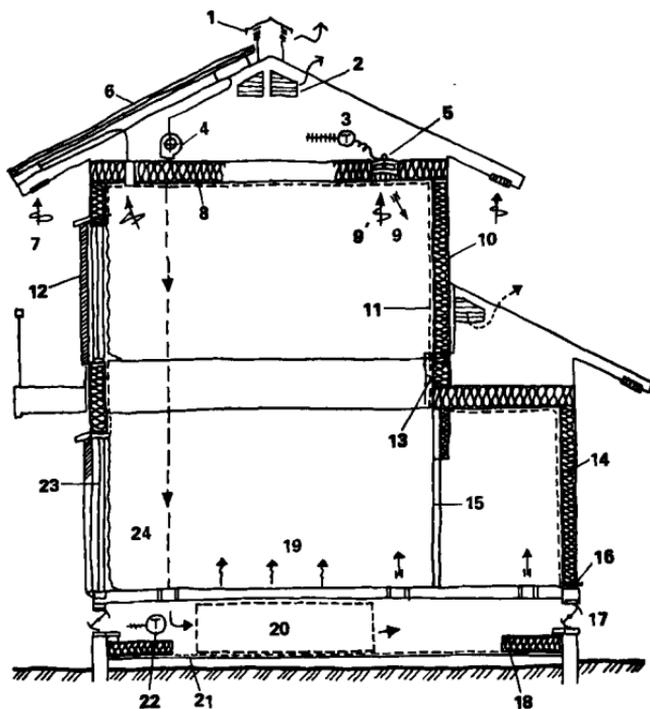


РИС. 4.1. ПРИМЕР УСИЛЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ЗДАНИЯ ЗА СЧЕТ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

1 – вентиляционное отверстие на участке конька крыши; 2 – вентиляционное отверстие в чердачном помещении; 3 – термодатчик; 4 – воздуходувка; 5 – лопасти чердачного вентилятора; 6 – коллектор (воздушный); 7 – отверстие для подачи воздуха; 8 – потолочная изоляция 200 мм; 9 – день; 9' – ночь (лето); 10 – теплоизоляция наружной стены 100–150 мм; 11 – водонепроницаемый слой или устройство, задерживающее влагу; 12 – раздвижные теплоизоляционные ставни; 13 – перекрытие воздушных отдушин; 14 – теплоизоляция наружной стены 100–150 мм; 15 – вестибюль с двумя дверями; 16 – перекрытие воздушных отдушин; 17 – вентиляционное отверстие под полом, площадь которого можно регулировать; 18 – теплоизоляционный материал; 19 – система напольного отопления; 20 – тепловая емкость под полом; 21 – водонепроницаемый слой из полиэтилена; 22 – термодатчики, измеряющие среднюю температуру; 23 – теплоизоляционные рамы (двойное остекление); 24 – теплоизоляционная штора

зумеется, при использовании железобетонных конструкций даже в жилых домах с малой теплоемкостью – типа деревянных домов – уменьшаются теплотери и сокращается диапазон перепадов температур в помещении, что может быть учтено введением коэффициента изменения температуры помещения. Днем, в период поступления солнечного излучения, температура внутри помещения особенно не поднимается, а по утрам нет ощущения сильной прохлады. В условиях солнечного дома все это позволяет уменьшить тепловоспринимающую поверхность коллекторов, в результате можно снизить расходы на оборудование гелиосистемы, а также удобнее расположить коллекторы.

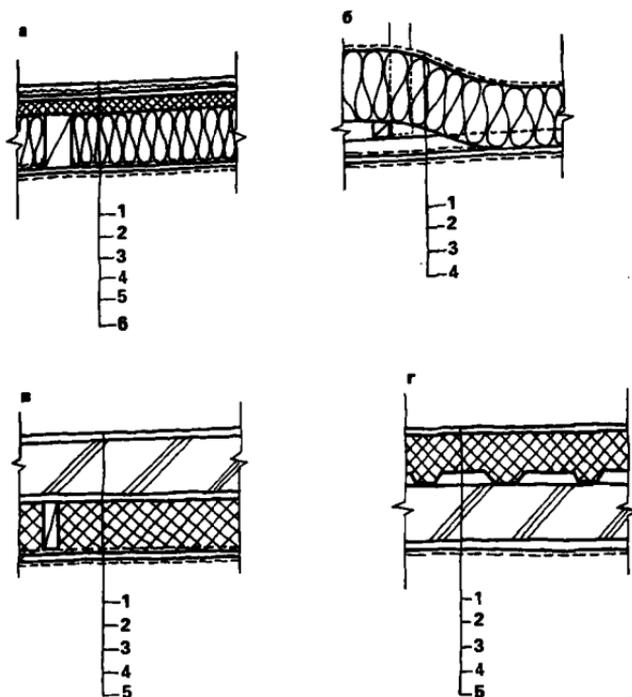


РИС. 4.2. ПРИМЕРЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЯ ЗА СЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

а – наружная деревянная стена (большая): 1 – штукатурный строительный раствор; 2 – обшивка досками; 3 – пенополистирол 25 мм (или стекловата); 4 – прослойка стекловаты 100 мм (защищена водонепроницаемым слоем); 5 – фанера; 6 – водонепроницаемый материал (виниловое покрытие); б – деревянный потолок: 1 – отражающая фольга (с отверстиями); 2 – прослойка из стекловаты 200 мм (материалы на основе впитывающей влагу стекловаты или материалы на основе впитывающего влагу фиброволокна); 3 – герметизирующая полиэтиленовая пленка; 4 – поточные панели (из материала, обладающего влагонепроницаемыми свойствами); **в** – наружная стена из бетона (внутренняя теплоизоляция): 1 – строительный раствор; 2 – бетон; 3 – пенополистирол 75 мм (стекловата 100 мм); 4 – полиэтиленовая пленка с влагонепроницаемыми свойствами; 5 – фанера (отделочный материал с влагонепроницаемыми свойствами); **г** – наружная стена из бетона (наружная теплоизоляция): 1 – стеклоткань "VP"; 2 – пенополистирол 75 мм (в виде формованного вспененного материала); 3 – бетон; 4 – строительный раствор (гипс); 5 – отделочный материал, обладающий влагонепроницаемыми свойствами (виниловое покрытие)

На рис. 4.1 показана схема солнечного дома в районе южного Канто, в которой использованы различные приемы теплоизоляции; на рис. 4.2. представлены примеры усиления теплоизоляции за счет различных конструктивных решений при возведении наружных стен, а на рис. 4.3 изображены виды теплоизоляции открытых проемов здания. Рассмотренные методы теплоизоляции являются обычными для жилых домов.

В солнечных домах одним из оптимальных решений считается аккумулялирование под полом тепла, выработанного солнечными

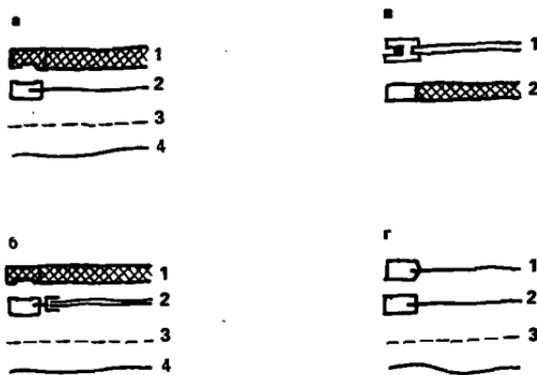


РИС. 4.3. УСИЛЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ С ПОМОЩЬЮ РАЗДВИЖНЫХ СТАВЕН ИЛИ ШТОР

а — для районов с теплым климатом: 1 — теплоизоляционные раздвижные ставни (алюминиевые); 2 — алюминиевая одинарная рама; 3 — складывающиеся ажурные шторы (черного цвета); 4 — плотные шторы; *б* — для районов с обычным холодным климатом: 1 — теплоизоляционные раздвижные ставни; 2 — алюминиевая одинарная рама или две простые стеклянные рамы; 3 — ажурные шторы (черного цвета); 4 — плотная штора; *в* — для районов с холодным климатом: 1 — алюминиевая теплоизоляционная рама (двойное остекление); 2 — теплоизоляционная внутренняя дверь или штора; *г* — для районов с обычным климатом: 1 — алюминиевая (деревянная) рама; 2 — пластмассовая рама; 3 — алюминиевая (деревянная) рама или седзи

ми коллекторами (воздушными, жидкостными). Однако считается, что таким способом можно отапливать только гостиные или другие отдельные комнаты, тогда как в солнечных домах желательно проектировать общую систему отопления с оснащением теплоизоляционными материалами всего здания. Конечно, вентиляционные отверстия играют определенную роль, но с точки зрения эффективности отопления они нежелательны. Хороший эффект достигается при перегораживании вестибюля двумя дверями.

Если при проектировании теплоизоляции не принимаются во внимание правильные методы ее использования и установки, то даже применение самых совершенных изоляционных материалов не дает желаемого эффекта, и, наоборот, возможно замерзание влаги внутри стен и проявление коррозии конструктивных материалов.

Теплоизоляционные материалы должны по возможности входить во все зазоры. Исправление недоделок в отдельных элементах здания — в потолке и т.п. — также входит в задачу тех, кто занимается оборудованием дома теплоизоляцией. После завершения работы необходимо провести контрольный осмотр (особенно в чердачном помещении под крышей).

В последнее время, несмотря на более широкое использование теплоизоляционных материалов, участились случаи замерзания влаги внутри стен. Герметизация стен, использование материалов, обладающих влагонепроницаемыми свойствами,

способствуют замерзанию внутри стен сконденсировавшейся влаги. Основная причина таких явлений кроется в неправильной укладке гидроизоляционного слоя. Гидроизоляционный слой (асфальтовый ковер) нужно класть на теплоизоляционный материал внутри помещения. Если не нарушается внешний облик стены, то большой эффект достигается при наложении винилового покрытия. В целях предупреждения пожара следует принять меры по предотвращению замыкания электрических приводов из-за появления большого количества водяных паров (кухни, как правило, электрифицированы, снабжены небольшими вентиляторами).

4.2. МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

При проектировании солнечных домов в отличие от обычных рекомендуется руководствоваться следующим: 1) при проектировании необходимо учитывать экономию энергии всем зданием (в частности, за счет теплоизоляции); 2) следует произвести расчет будущей экономии энергии, за счет которой должны окупиться затраты на оборудование системы; сделать оценку ее экономичности (рис. 4.4); 3) гарантировать экономичность системы, применять высококвалифицированное проектирование с инженерными решениями, обеспечивающими по возможности эффективную работу систем, при их минимальной стоимости.

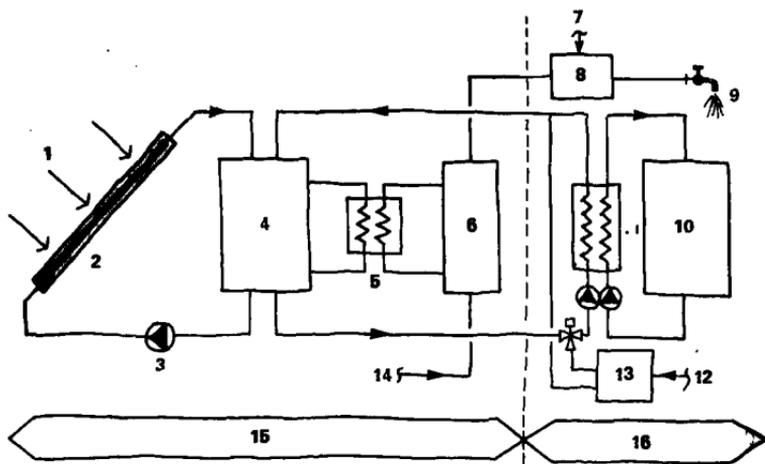


РИС. 4.4. СХЕМА СПЕЦИАЛЬНОГО И ТРАДИЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СИСТЕМАХ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

1 — солнечное излучение; 2 — коллектор; 3 — коллекторный насос; 4 — аккумулятор тепла; 5 — теплообменник; 6 — накопительный бак; 7 и 12 — дублирующие энергоисточники; 8 и 13 — дополнительные бойлеры; 9 — подача горячей воды потребителю; 10 — отопляемая комната; 11 — теплообменник; 14 — подача питьевой воды; 15 — оборудование, необходимое для гелиосистемы (не включенное в стоимость традиционной системы); 16 — оборудование для традиционной системы отопления и горячего водоснабжения

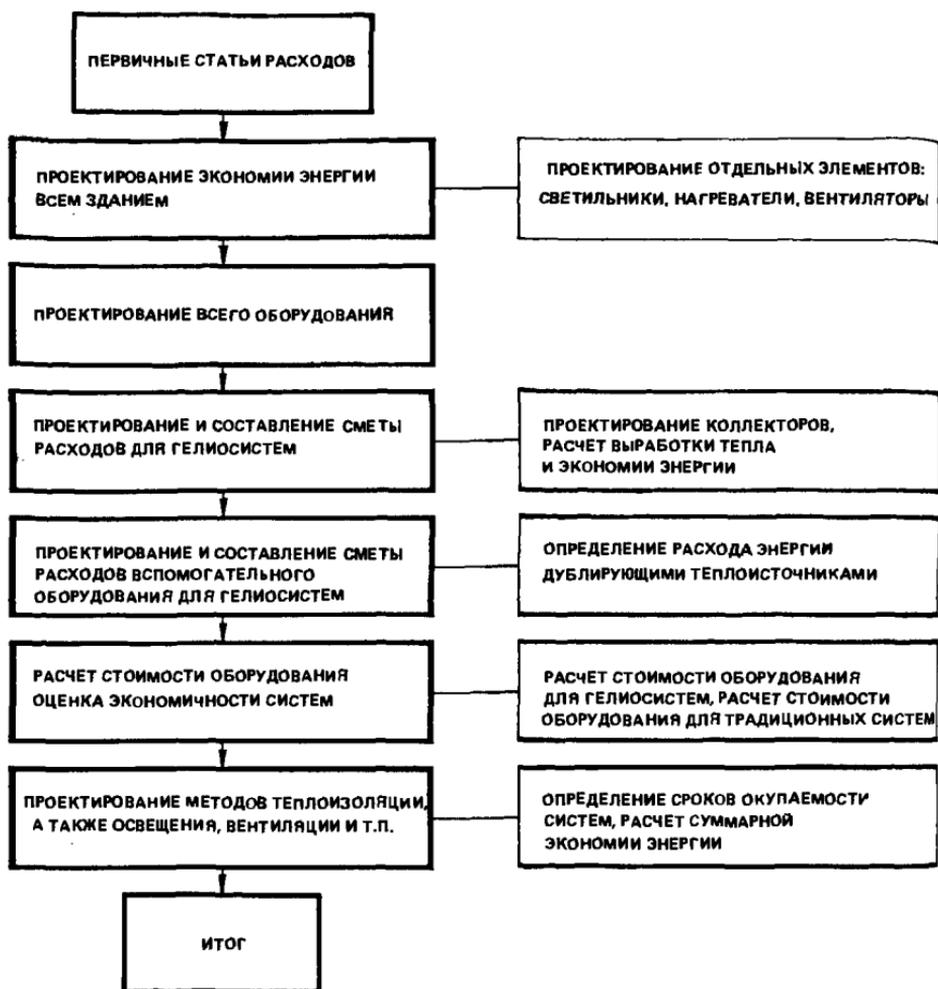


РИС. 4.5. ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Обычно при проектировании оборудования для распределения тепла потребителям в проекты включают практически такое же оборудование, как в традиционных системах, – отопительные радиаторы и краны для горячей воды. Однако, поскольку в гелиосистемах температура теплоносителя постепенно понижается, используют особые методы передачи тепла, а для снижения стоимости оборудования применяют отдельные узлы от дублирующих установок; иногда идут на упрощение гелиосистем.

Таким образом, в процессе проектирования систем солнечного отопления и горячего водоснабжения пользуются показателями экономичности, отражающими срок окупаемости затрат на гелиосистему за счет ежегодной экономии энергии.

Проектирование системы солнечного отопления и горячего водоснабжения включает несколько этапов (рис. 4.5).

При проектировании и составлении сметы расходов на создание гелиосистем появляются дополнительные по сравнению с традиционными системами теплоснабжения статьи расходов. В стоимость оборудования включают расходы на специализированное оборудование для гелиосистем. Затем на основе данных об экономии энергии за определенный период необходимо произвести расчет экономичности, определить сроки окупаемости и экономические показатели данной системы.

Следует отметить, что такой метод проектирования гелиосистем достаточно сложен. Поэтому, как будет показано далее, на практике пользуются более простыми способами расчета и упрощенными методами проектирования. Важно иметь в виду главное – гелиосистемы должны быть достаточно просты по конструкции и дешевы.

4.3. СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ

Комбинированная система солнечного отопления и горячего водоснабжения по сравнению с системой только горячего водоснабжения имеет более сложную схему. Контуры отопления и горячего водоснабжения проектируются отдельно. Существуют различные схемы систем, зависящие, например, от устройства аккумуляторных резервуаров с открытым или закрытым отбором воды, от типа аккумуляторного бака – совмещен ли он с теплообменником или использован скоростной нагреватель в виде змеевика, от места расположения в гелиосистеме аккумуляторного бака и дублирующих теплоисточников, а также от многих других факторов.

Наиболее простая и удобная схема системы отопления и горячего водоснабжения с солнечным водонагревателем представлена на рис. 4.6. Эта система предназначена для условного жилого дома площадью 120 м², расположенного в районе со сравнительно теплым климатом, таким, как в Токио.

Система снабжена аккумуляторным баком непосредственного нагрева с открытым отбором воды и аккумуляторным баком опосредствованного нагрева. Дублирующий источник тепла состоит из двух самостоятельных элементов – бойлера для горячего водоснабжения и бойлера для отопления. Последний устроен так, что включается только тогда, когда не хватает солнечного тепла. Для предотвращения замерзания теплоносителя в коллекторе использован естественный слив воды.

Применяются и другие схемы системы отопления и горячего водоснабжения (рис. 4.7 и 4.8).

В схеме, представленной на рис. 4.8, легко обеспечить устранение воздуха из радиаторов системы отопления. В аккумуляторный бак закрытого типа помещен скоростной змеевиковый теплообменник системы горячего водоснабжения.

Место включения в схему дополнительного теплоисточника необходимо определять очень точно, так как это влияет на коэффициент полезного использования солнечного излучения.

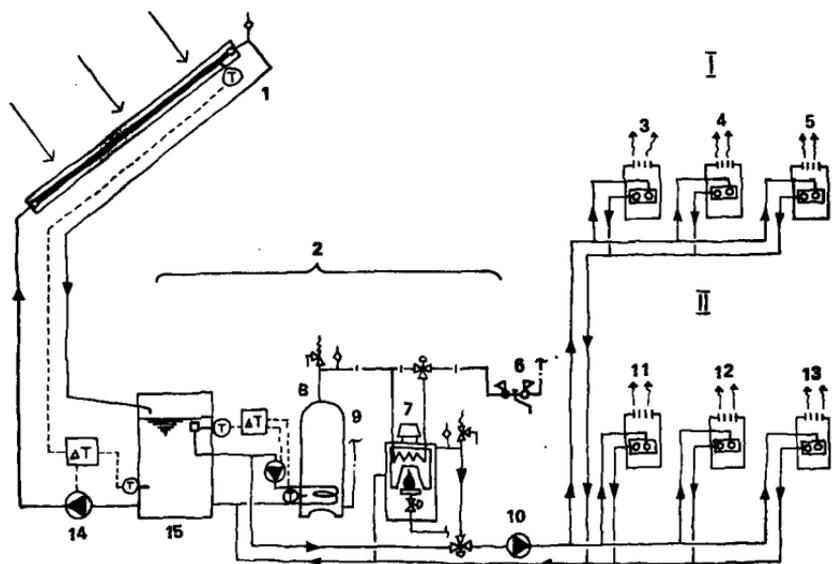


РИС. 4.6. СХЕМА СТАНДАРТНОЙ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ

I — радиаторы на 2-м этаже; *II* — радиаторы на 1-м этаже; 1 — плоский солнечный коллектор (16–24 м²); 2 — часть оборудования, которую можно использовать непосредственно для горячего водоснабжения; 3 и 4 — детские комнаты; 5 — общая комната; 6 — подача горячей воды; 7 — бойлер для системы отопления и горячего водоснабжения; 8 — накопительный бак; 9 — подача воды наверх; 10 — насос для системы отопления; 11 — гостиная; 12 — столовая; 13 — общая комната; 14 — коллекторный насос; 15 — аккумуляторный бак (1–1,5 м²)

Оптимальное положение H_1 дополнительного энергоисточника показано на рис. 4.9. Как видно из рисунка, при таком положении дополнительного теплоисточника в системе разделены узлы отопления и горячего водоснабжения, что дает хорошие результаты, позволяя увеличить коэффициент полезного использования солнечного излучения. В солнечном доме автора (Суда) именно по такой схеме устроена система отопления. В положениях H_3 , H_3' и H_4 можно разместить дополнительные теплоисточники малых объемов, но при этом из-за недостаточного контроля может понизиться коэффициент полезного использования солнечного излучения.

4.4. ОЦЕНКА ЭКОНОМИИ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Для оценки экономии энергии в системах отопления и горячего водоснабжения с использованием солнечной энергии построена модель типового жилого дома (рис. 4.10).

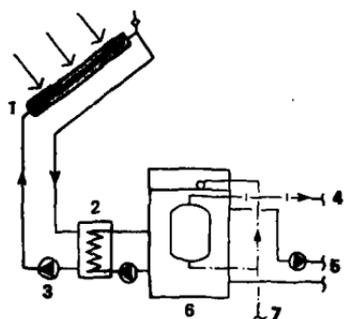


РИС. 4.7. СХЕМА СИСТЕМЫ ОПОСРЕДСТВОВАННОГО НАГРЕВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНТИФРИЗНЫХ РАСТВОРОВ

1 — коллектор; 2 — теплообменник; 3 — коллекторный насос; 4 — подача горячей воды; 5 — система отопления; 6 — водяной аккумуляторный бак (с встроенным накопительным баком); 7 — подача питьевой воды

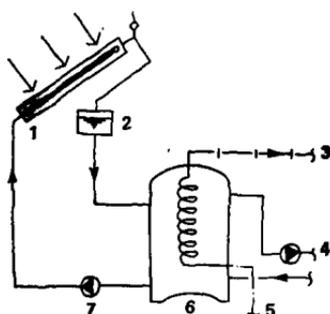


РИС. 4.8. СХЕМА СИСТЕМЫ НЕОСРЕДСТВЕННОГО НАГРЕВА С ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРНЫМ БАКОМ ЗАКРЫТОГО ТИПА И СО СВОБОДНЫМ СЛИВОМ ЦИРКУЛИРУЮЩЕЙ ВОДЫ

1 — коллектор; 2 — сток воды при отключении насоса в накопительный бак; 3 — подача горячей воды; 4 — система отопления; 5 — подача питьевой воды; 6 — теплоаккумулирующий резервуар (внутри помещен змеевик); 7 — коллекторный насос

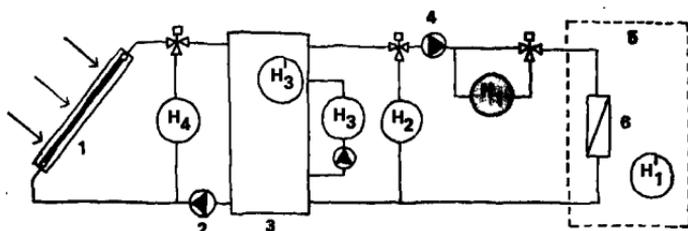


РИС. 4.9. РАСПОЛОЖЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ТЕПЛОИСТОЧНИКА

1 — коллектор; 2 — коллекторный насос; 3 — теплоаккумуляторный бак; 4 — насос для системы отопления; 5 — отапливаемое помещение; 6 — радиатор

Данная модель представляет собой типовой двухэтажный жилой дом площадью около 123 м², подобный жилым домам районе Токио. Нормы теплоизоляции (слой стекловаты): наружные стены толщиной 75 мм, внутренние стены — 50 мм, потолок — 100 мм. При подсчете пиковой нагрузки на отопление только гос-

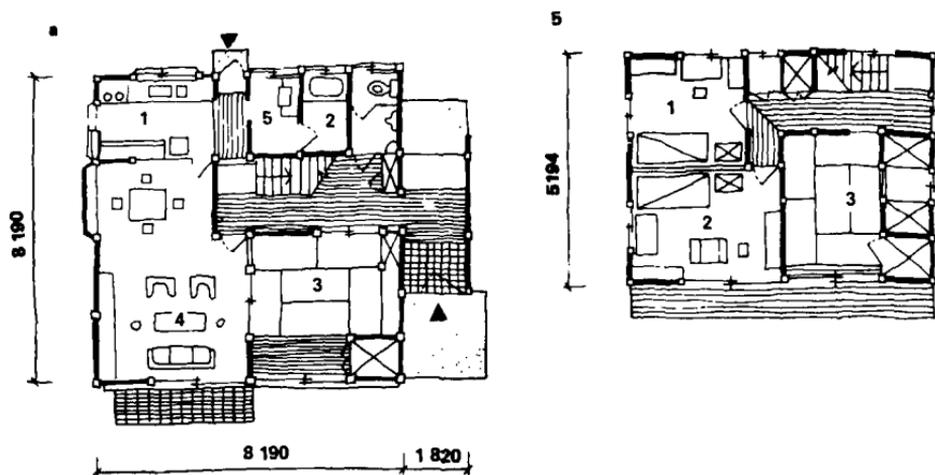


РИС. 4.10. ПЛАНOMETРИЧЕСКАЯ КАРТА МОДЕЛИ ЖИЛОГО ДОМА

а – план 1-го этажа (22,75 цубо = 75,07 м²: 1 – кухня; 2 – ванна; 3 – общая комната; 4 – гостиная; 5 – туалет; *б* – план 2-го этажа (14,625 цубо = 53,26 м²): 1 и 2 – детские комнаты; 3 – общая комната

тиной с учетом теплопередачи через остекленные оконные проемы получаем (рис. 4.10) 3452 ккал/ч, или на 1 м² площади 28 ккал/ч. Пиковая нагрузка горячего водоснабжения предположительно составляет 24000 ккал/ч. Теперь на базе модели жилого дома, оборудованного такой системой, необходимо выяснить годовую экономию энергии за счет использования солнечного излучения системой отопления и горячего водоснабжения с применением 3–4 водонагревателей (табл. 1).

Одним из методов определения экономии энергии за счет использования солнечного излучения является (+) метод. В табл. 4.2 представлены результаты расчета коэффициента замещения тепловой нагрузки в течение года в зависимости от

Таблица 4.1. Пиковая нагрузка отопления типового дома (район Токио)

Этаж	Комнаты	Площадь пола, м ²	Тепловые потери, ккал/ч
1-й	Кухня		341
	Столовая		195
	Гостиная		605
	Общая комната		672
2-й	Детская комната		347
	То же		599
	Общая комната		693
Итого ...		123,34	3,452

коллекторной площади и годовой экономии энергии, полученные на основе данной модели.

В табл. 4.2 значения $_{18}D_{18}$ обозначают параметры капитальных затрат, приходящихся на период постоянного отопления, а значения $_{14}D_{14}$ – на период прерывистого отопления. При значениях $_{18}D_{18}$ и коллекторной площади 16 м^2 по сравнению с системой, работающей с использованием городского газа, достигается годовая экономия 7500 иен/м^2 , а при значениях $_{14}D_{14} \sim 6400 \text{ иен/м}^2$. Если затраты на оборудование гелиосистемы составляют 100000 иен/м^2 , а общая стоимость оборудования системы отопления достигает 1600000 иен/м^2 , то срок полной окупаемости системы составляет соответственно 13 и 15,6 лет при одинаковом ссудном проценте и проценте роста цен на топливо.

Таблица 4.2. Количество сэкономленной энергии и расчет общей экономии

Коллекторная площадь	16 м ² /дом		24 м ² /дом		
	$_{18}D_{18}$	$_{14}D_{14}$	$_{18}D_{18}$	$_{14}D_{14}$	
Капитальные затраты					
Годовая нагрузка отопления и горячего водоснабжения, Гкал/год	11,2	7,9	11,2	7,9	
Коэффициент замещения нагрузки, %	48	59	61	71	
Годовая экономия энергии, Гкал/год	5,4	4,6	6,8	5,6	
Суммарная годовая экономия	городской газ, 1000 иен/год	120 (7,5)	103 (6,4)	152 (6,3)	125 (5,2)
	нефтяное топливо, 1000 иен/год	79 (4,9)	68 (4,3)	100 (4,2)	82 (3,4)

Примечание. В скобках указаны значения, отнесенные к 1 м^2 коллекторной поверхности.

4.5. ПРИМЕР ПРОСТОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Обычно у комбинированной системы отопления и горячего водоснабжения стоимость оборудования значительно выше, чем у системы, обеспечивающей только горячее водоснабжение, а годовой коэффициент использования оборудования ниже. Чтобы добиться экономичности данной системы, необходимо решить вопрос о крупномасштабном снижении ее стоимости по сравнению с существующим уровнем.

Для снижения стоимости нужно упростить схему системы и произвести оптимизацию оборудования. Например, в настоящее время, когда в обычных жилых домах центральное теплоснабжение не получило еще широкого распространения, преждевременно сразу внедрять централизованные системы солнечного теплоснабжения. Более целесообразно пока отделить дополнительный бойлер от гелиосистемы, устроив отдельный обогреватель, и

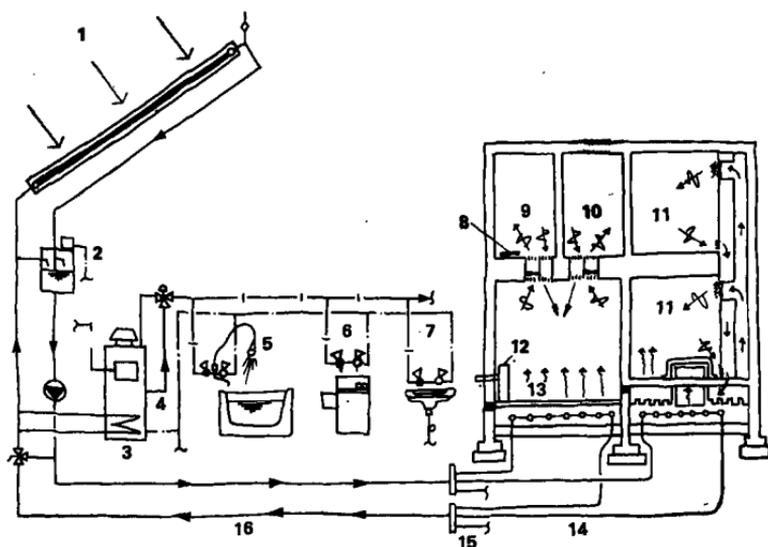


РИС. 4.11. СХЕМА СОВМЕЩЕННОЙ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ (С ПРИМЕНЕНИЕМ НАПОЛЬНОГО АККУМУЛИРУЮЩЕ-ИЗЛУЧАЮЩЕГО УЗЛА БЕЗ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО КОНТУРА ОТОПЛЕНИЯ; АВТОР ТАНАКА)

1 — коллектор 10–16 м²; 2 — сливной бак; 3 — совмещенный накопительный бак и бойлер с горячей водой; 4 — подача воды вверх; 5 — ванна; 6 — помещение для стирки; 7 — туалет; 8 — дополнительное отопление; 9 и 10 — детские комнаты; 11 — общая комната; 12 — дополнительное отопление; 13 — панельные обогреватели (напольные аккумуляюще-излучающие панели); 14 — труба из сшитого полиэтилена \varnothing 20; 15 — начало трубы; 16 — медная труба \varnothing 25 мм

можно усовершенствовать оборудование. Это приведет к увеличению коэффициента полезного использования солнечного излучения.

Существует много вариантов простых комбинированных систем отопления и горячего водоснабжения, и решения их схем еще находятся в стадии разработок. Так, в представленной на рис. 4.11 системе контур аккумуляюще-теплоизлучающего узла для отопления представляет собой бетонный пол с замоноличенными в нем трубами из сшитого полиэтилена. Вода, нагретая солнечным излучением, после использования в отопительном контуре вновь нагревается. Аккумулированное в течение дня в бетонном полу солнечное тепло начинает выделяться ночью. Если между 1-м и 2-м этажом установить вентиляционное устройство, то в зависимости от потребностей тепло можно подавать на 2-й этаж. Для регулирования режима работы коллекторных насосов в качестве низкотемпературного датчика используют ранее разработанную систему с датчиками разности температур, причем одну из клемм системы присоединяют к нижней части аккумуляторного бака, а другую — к напольному узлу. При

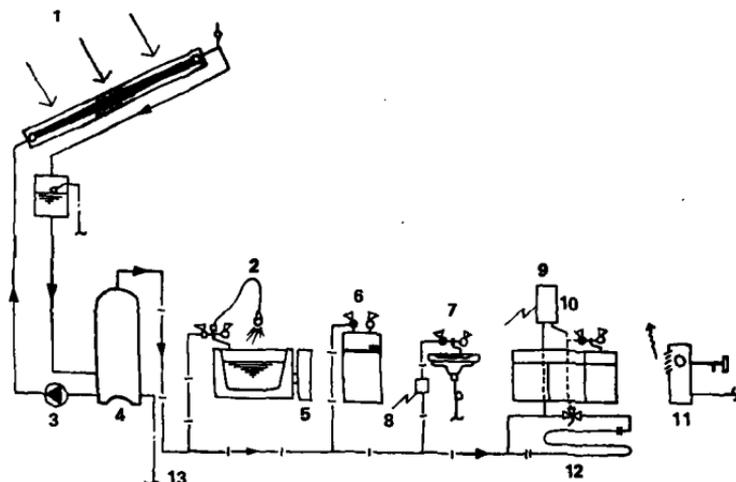


РИС. 4.12. СХЕМА КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ПРОСТЫМ УСТРОЙСТВОМ НАПОЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ (АВТОР ТАНАКА)

1 — коллектор 8–12 м²; 2 — ванна; 3 — коллекторный насос; 4 — накопительный бак 470 л; 5 — дополнительный подогреватель на 180 л; 6 — помещение для стирки; 7 — туалет; 8 — нагреватель; 9 — кухня; 10 — электрический подогреватель воды 60 л; 11 — дополнительный обогреватель для отопления; 12 — напольный панельный обогреватель и аккумуляюще-излучающая панель; 13 — подача воды

этом контролируется лишь температура змеевика теплообменника, расположенного в нижней части аккумуляторного бака.

В показанной на рис. 4.12 системе трубопровод горячего водоснабжения проходит через кухню и гостиную. Когда горячая вода не потребляется, она обогревает пол помещения, затем ее можно использовать для горячего водоснабжения. Для сохранения теплового баланса в ванне устроена топка, а дополнительный радиатор отопления выполнен отдельно.

Если угол наклона коллектора к горизонту 45–60°, то в зимний период дом будет получать большое количество солнечного тепла, а в летний период не возникает опасность выработки его излишков.

4.6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ВОЗДУШНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

В Японии еще незначительно практическое использование солнечных систем отопления с воздушными коллекторами, но в США, где отопительными системами с воздушными теплоносителями в жилых домах пользуются давно, такие системы применяются столь же часто, как и системы с жидкостными теплоносителями. Это объясняется тем, что использование воздушного

теплоносителя имеет определенные преимущества: не требуется специальных мер против замерзания, даже при некотором увлажнении воздуха его теплопроводность несколько понижается, что не оказывает непосредственного влияния на основные параметры обогрева, поэтому такие системы целесообразно применять в районах с холодным климатом. К недостаткам этих систем следует отнести необходимость значительных затрат энергии на вентиляцию, а также выделения большого пространства для прокладки трубопроводов, что в свою очередь требует больших расходов. При этом очень трудно обеспечить обогрев какого-то определенного помещения.

В продаже появились комплекты воздухонагревательных коллекторов, стоят они недешево, и еще не получили широкого распространения. Конечно, если коллекторные пластины и другие элементы коллекторов будут стандартизированы, станет возможным производить вручную их сборку и наладочные работы, что повлечет за собой снижение стоимости коллекторов.

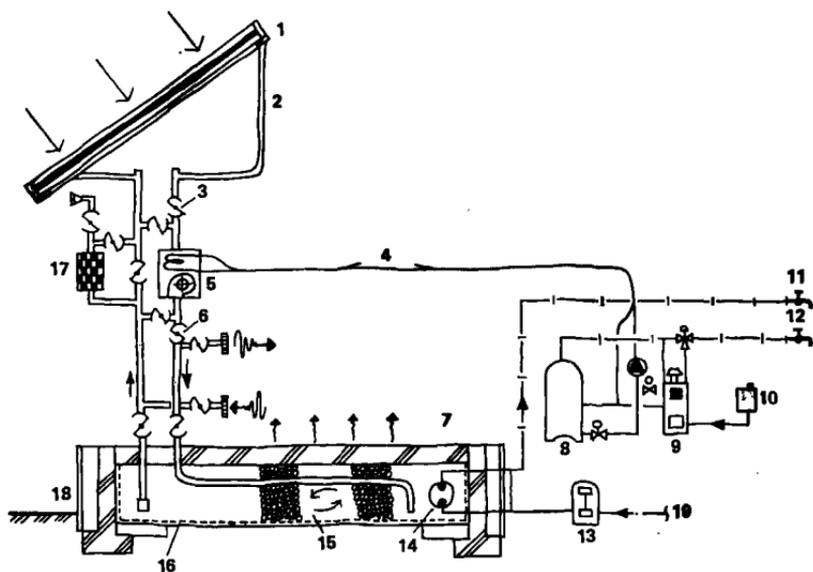


РИС. 4.13. СХЕМА СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ВОЗДУШНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ (АВТОР ТАНАКА)

1 – воздушный коллектор 16–24 м²; 2 – гибкий трубопровод \varnothing 250 мм; 3 – тумблер переключения режимов нагрева (в зимний период отопления); 4 – змеевик для совмещенной системы дополнительного отопления (нагрева воды для горячего водоснабжения); 5 – воздуходувка для отопления (9–13 см² x 30 мм вод. ст. = 6 x x200 Вт); 6 – тумблер переключения режимов в отопительный (неотопительный) сезон; 7 – напольный обогреватель на основе аккумуляюще-излучающей панели; 8 – накопительный бак 300 л; 9 – бойлер с горячей водой (для отопления); 10 – резервуар с топливом; 11 – предварительно нагретая вода (туалет, кухня); 12 – традиционное горячее водоснабжение; 13 – напорный резервуар; 14 – бак предварительно нагретой воды 100 л; 15 – теплоаккумулятор из гравия 6–8 м³; 16 – влагонепроницаемый слой; 17 – осушитель воздуха адсорбционного типа; 18 – внешняя теплоизоляция вокруг всего фундамента; 19 – подача воды

РИС. 4.14. СХЕМА ПРОСТЕЙШЕЙ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ВОЗДУШНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ (АВТОР ТАКАНА). СИСТЕМА ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ ЖИЛОГО ДОМА МАЛОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ – ДЕРЕВЯННОГО ИЛИ С ЖЕЛЕЗНЫМ КАРКАСОМ

1 – воздушный коллектор 16–24 м²; 2 – воздушный поток; 3 – накопительный бак 450 л; 4 – подача горячей воды потребителю; 5 – дополнительный бойлер; 6 – газ; 7 – подача воды вверх; 8 – вентилятор теплого воздуха 200 Вт; 9 – вентилятор, обеспечивающий принудительный вдув воздуха; 10 – аккумулятирующе-излучающая напольная панель; 11 – гравий 6–8 м³; 12 – 1-й этаж; 13 – 2-й этаж

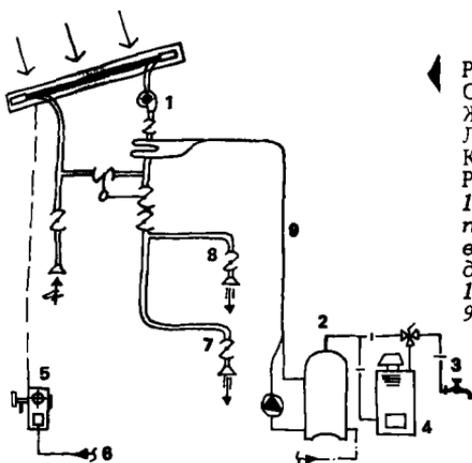
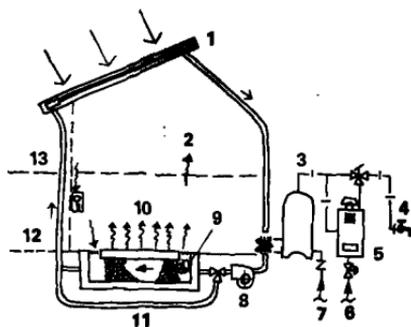


РИС. 4.15. СХЕМА ПРОСТОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННАЯ ДЛЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ С БОЛЬШОЙ ТЕПЛОЕМОСТЬЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ

1 – вентилятор воздуха 200 Вт; 2 – накопительный бак 450 л; 3 – выход горячей воды; 4 – дополнительный бойлер; 5 – дополнительный радиатор; 6 – газ; 7 – 1-й этаж; 8 – 2-й этаж; 9 – медные трубы 9,5 x 2 мм

В схеме системы солнечного отопления и горячего водоснабжения с воздушным теплоносителем, которая спроектирована на базе модели жилого дома (рис. 4.13), использован воздушный коллектор, совмещенный с конструкцией крыши. С помощью теплового аккумулятора, установленного под полом 1-го этажа, осуществляется напольное отопление.

Вода для системы горячего водоснабжения в этом случае предварительно нагревается в баке, расположенном под домом; часть тепла горячего воздуха аккумулируется в теплоаккумуляторе из гравия, находящегося в подвале дома. Затем вода подается вверх, в накопительный бак, где нагревается с помощью змеевиков. В случае недостаточности напольного обогрева можно обеспечить принудительную подачу тепла при помощи тепловой воздуходувки. Кроме того, если наблюдается нехватка тепла в напольном аккумуляторе, то, переключив змеевик системы горячего водоснабжения от накопительного бака, можно использовать его для дополнительного отопления.

В качестве теплоаккумулирующего вещества в системах с воздушным теплоносителем используют гравий объемом 6–8 м³ (средний диаметр частицы 50 мм). Аккумулятор, заполненный гравием, располагают под гостиной и общей комнатой; сверху эту конструкцию накрывают бетонной плитой.осушитель воздуха адсорбционного типа также полезен в доме. Летом в дневные часы используют излишки тепла для сушки силикагеля. В ночные часы осушитель воздуха способствует уменьшению влажности воздуха, проходящего по трубам под полом.

Схема простейшей системы отопления и горячего водоснабжения для деревянного жилого дома малой теплоемкости представлена на рис. 4.14. В этой схеме система солнечного дополнительного отопления полностью автономна. Накопительный бак нагревается водой, подаваемой путем естественной циркуляции.

Для жилых домов с большой теплоемкостью, имеющих железобетонные конструкции, предназначена схема системы, представленная на рис. 4.15. Система не имеет аккумуляторов тепла.

4.7. РАЗЛИЧНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ НАПОЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Напольная система отопления устроена следующим образом: внутри пола прокладываются трубы, по которым циркулирует теплая вода, нагревающая поверхность пола. При помощи тепла, передаваемого конвекцией и тепловым излучением, равномерно обогревается все помещение комнаты. При пользовании такой системой почти не наблюдается резких перепадов температуры в помещении, и температура отапливаемого помещения составляет 18⁰С, т.е. почти соответствует температуре радиаторов, равной 22⁰С.

В целом эффективный коэффициент теплоотдачи от поверхности пола составляет 8–10 ккал/(м².ч.°С). Если нагрузка отопления равна 40–50 ккал/(м².ч), то для поддержания внутри помещения 18⁰С достаточно обеспечить температуру поверхности пола 23–24⁰С. Следовательно, температура циркулирующей воды в 30⁰С вполне приемлема для напольной системы отопления. В этом случае использование для обогрева помещений солнечной энергии является оптимальным.

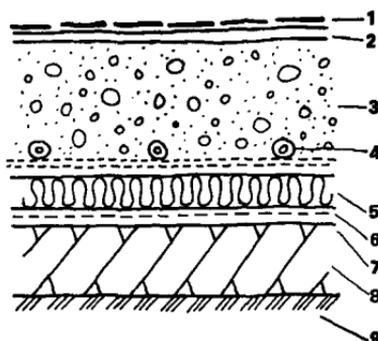
Существует много конструктивных решений системы напольного отопления, но если иметь в виду использование солнечного излучения, то самой подходящей можно считать напольную систему отопления с водяным теплоносителем (рис. 4.16).

В такой системе используется большая теплоемкость бетона. В течение дня улавливаемое солнечное тепло аккумулируется в бетонном полу и мелком щебне, а ночью оно передается (переизлучается) в помещение. Вместо дорогостоящих медных труб можно применять полибутиadiеновые трубы или трубы из сшитого полиэтилена. Пенопласт, находящийся под слоем бетона, служит теплоизоляционным материалом. Такой способ отопления гораздо дешевле, чем система с радиаторами.

В системе солнечного отопления используется также схема, представленная на рис. 4.17. В пространстве под бетонным по-

РИС. 4.16. СХЕМА СИСТЕМЫ НАПОЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ С ВОДЯНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ И АККУМУЛЯТОРОМ ТЕПЛА

1 — отделка пола; 2 — слой строительного раствора; 3 — неармированный бетон; 4 — змеевик для передачи тепла $\varnothing 20$ мм (сшитый полиэтилен, фирмы "Когава дэнко" и "Мицубиси юка"); 5 — пенопласт; 6 — водонепроницаемое покрытие из полиэтилена; 7 — песок или бракованный бетон; 18 — щебеночный слой; 9 — грунт



лом устроен теплоаккумулятор из гравия; в течение дня солнечное тепло в виде нагретого воздуха аккумулируется гравием, а в ночные часы при помощи воздуходувки принудительно подается в помещение. Одновременно воздух помещения нагревается за счет теплового излучения пола.

Панель напольного обогрева с водяным теплоносителем (рис. 4.18) можно установить в гостиной деревянного дома. Трубы, по которым циркулирует нагретая вода, выполнены из меди, а теплоизлучение осуществляется алюминиевой плитой (рис. 4.19). В качестве теплоизоляционного материала использован пенополистирол. Однако в связи с высокой стоимостью и малой теплоемкостью это устройство для солнечных установок не применяют.

4.8. ТЕПЛОМЫСЛИТЕЛЬ В ГЕЛИОСИСТЕМАХ

Кондиционер воздуха с тепловым насосом, включенный в схему отопления, выполняет функции устройства, которое, используя электроэнергию, отбирает тепло от наружного воздуха с низкой температурой и нагнетает в помещение тепло более высокой температуры. При этом расход энергии на 1/2 или 1/3 меньше, чем в отопительной системе с электрическим нагрева-

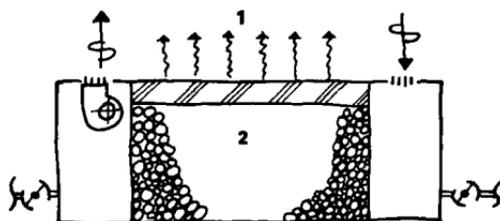


РИС. 4.17. СХЕМА СИСТЕМЫ НАПОЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ С ВОЗДУШНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ И АККУМУЛЯТОРОМ ТЕПЛА

1 — напольное панельное отопление; 2 — аккумулятор тепла из гравия

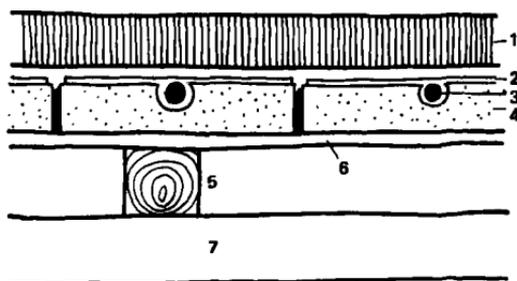


РИС. 4.18. НАПОЛЬНАЯ ОБОГРЕВАЮЩАЯ ПАНЕЛЬ С ВОДЯНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ
 1 - цинковка; 2 - алюминиевая пластина 0,5 мм;
 3 - медная труба; 4 - пенополистирол; 5 - балка; 6 - настил; 7 - фундамент

телем такой же мощности. В таком кондиционере тепловой коэффициент, или коэффициент трансформации тепла (КТТ), достигает 2-4. В циркуляционном насосе в зависимости от мощности, требующейся для перекачивания воды, изменяются затраты электроэнергии, что приводит к изменению коэффициента трансформации. В тепловом насосе КТТ зависит от значения разности температур низко- и высокотемпературного источников тепла. При этом чем разность меньше, тем эффективнее работает насос. Следовательно, чем выше температура низкотемпературного источника тепла, тем больше значение КТТ. В зимний период, когда температура воздуха ниже 0°C , целесообразно в тепловом насосе использовать подземные воды, имеющие температуру более 15°C , что обеспечивает высокий КТТ. Таким образом, при использовании подземных вод расход энергии составляет $1/4-1/6$ затрат энергии на работу системы отопления. Однако подходящие для такой цели подземные воды можно обнаружить не везде, поэтому в качестве низкотемпературного источника тепла можно использовать солнечное излучение (рис. 4.20).

Солнечное тепло в системах с тепловыми насосами используют, когда необходимо отопление, а источник электроэнергии

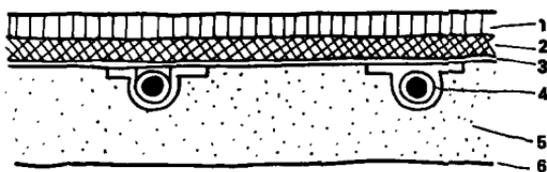


РИС. 4.19. УСТРОЙСТВО НАПОЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ С ВОДЯНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ
 1 - ковровое покрытие; 2 - войлочная прокладка; 3 - алюминиевая фольга; 4 - медная труба; 5 - жесткий полиуретан; 6 - поверхность пола

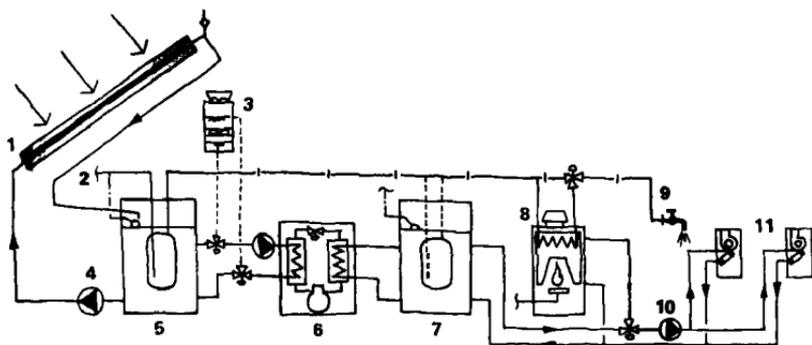


РИС. 4.20. СХЕМА СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ (ОХЛАЖДЕНИЯ) И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

1 – коллектор; 2 – подача воды; 3 – охладительная башня (используется летом, когда необходимо охлаждение); 4 – коллекторный насос; 5 – в зимний период бак-аккумулятор с водой низкой температуры; в летний период накопительный бак-аккумулятор с водой высокой температуры; 6 – тепловой насос вода–вода; 7 – зимой – высокотемпературный аккумуляторный бак, летом – бак с охлаждающей водой; 8 – дополнительный бойлер (двухконтурный); 9 – подача горячей воды; 10 – насос для системы отопления (охлаждения); 11 – змеевики вентиляторов

включают в период работы систем охлаждения. В системе солнечного отопления на основе теплового насоса, как правило, используют воздух, нагретый Солнцем до температуры $10\text{--}20^{\circ}\text{C}$, что обеспечивает высокий коэффициент полезного использования солнечного излучения. Это способствует тому, что строится много солнечных домов с гелиосистемами на основе тепловых насосов. Однако для этих систем, хотя и в небольших количествах, но все же необходима электроэнергия, что не позволяет их считать экономичными.

За последнее время в результате широкого применения для жилых домов кондиционеров воздуха на основе тепловых насосов и контроля за работой используемых установок появились подробные данные об их эффективности. Выяснилось, что, за исключением особенно холодных районов к северу от Тохоку, почти нет ограничений для использования систем отопления (охлаждения) на основе тепловых насосов. Более того, недавно появились в продаже установки для горячего водоснабжения на основе тепловых насосов, которые используют тепло даже холодного воздуха. Сейчас такие системы конкурируют с гелиосистемами горячего водоснабжения (рис. 4.21).

Гелиоустановка горячего водоснабжения с тепловым насосом наиболее эффективна с точки зрения экономии энергии в летний период. Систему горячего водоснабжения с использованием теплового насоса с отбором тепла лучше использовать, когда необходимо не отопление, а охлаждение дома. В такие периоды она обходится практически бесплатно. Пока оборудование таких гелиосистем еще дорого. Однако по мере того, как гелиосистемы горячего водоснабжения постепенно исчерпывают свои возможности, они будут заменяться новыми видами систем. В

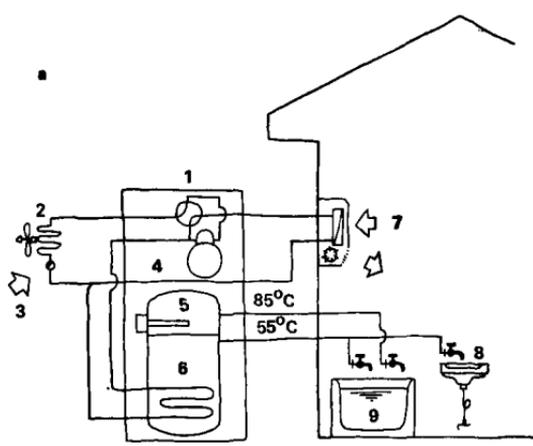
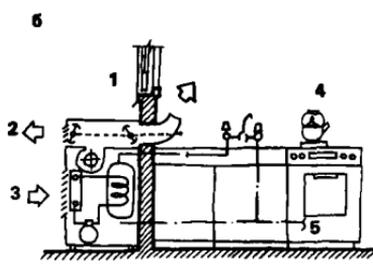
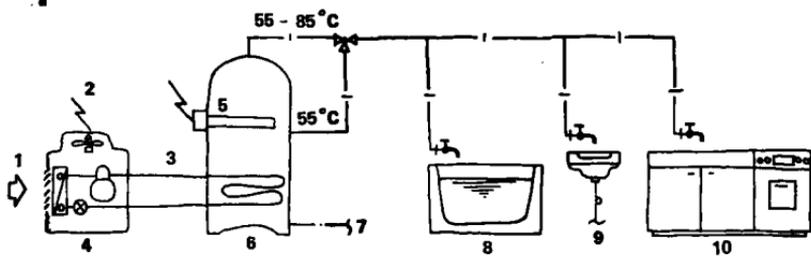


РИС. 4.21. ТИПЫ СИСТЕМ С ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ

а – система горячего водоснабжения с тепловым насосом; 1 – наружный воздух; 2 – электричество (ночного тарифа); 3 – хладагент; 4 – часть системы, находящаяся вне помещения; 5 – нагреватель; 6 – накопительный бак; 7 – подача воды потребителю; 8 – ванна; 9 – туалет; 10 – кухня; б – простая установка горячего водоснабжения для кухни с тепловым насосом: 1 – часть системы вне помещения; 2 – наружный воздух (зимний период); 3 – холодный воздух (летний период); 4 – кухня; 5 – подача воды; в – система теплохладоснабжения и горячего водоснабжения на основе теплового насоса с отбором тепла от холодного наружного воздуха: 1 – клапан четырехстороннего переключения; 2 – наружный теплообменник; 3 – наружный воздух; 4 – компрессор; 5 – нагреватель; 6 – накопительный бак 55°C; 7 – теплообменник внутренний; 8 – туалет; 9 – ванна

результате тепловые насосы начнут все шире применяться в гелиосистемах (за исключением специальных областей использования).

4.9. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛОДЕЗНЫХ ВОД ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

В предыдущем разделе говорилось о том, что системы с тепловыми насосами требуют малого количества энергии и очень удобны для отопления и охлаждения. Однако зимой им необходим теплоисточник, а летом – хладоисточник. Температура колодезных вод в целом близка к средней температуре воздуха. Например, в районе Токио она составляет 16–18°C, а в районе Фудэхоро – около 10°C. Такая вода вполне подходит в качестве теплоисточника для теплового насоса. Если бы повсюду имелось достаточно колодезных вод, то применение теплового насоса в системах теплохладоснабжения всегда обеспечивало бы их максимальную эффективность, и фактически эти системы были бы вне конкуренции. Можно, конечно, это рассматривать по-иному: подземные воды имеют определенную температуру, средняя ежегодная температура воздуха также держится на определенном уровне – все это связано с солнечным теплом. Следовательно, и в этом случае неизменно используется один и тот же источник энергии – солнечное излучение.

Когда впервые возникла идея использования колодезной воды в тепловых насосах, применяемых в гелиосистемах для жилых домов, были проанализированы преимущества и недостатки этого технического решения. К сожалению, везде, где роют колодцы, выливается без ограничения большое количество воды. В сельских районах существует определенный контроль за расходом колодезной воды, а в городских условиях при прокладке водопровода тратят большие средства на осушение подземных вод.

В тепловых насосах поэтому рекомендуется применять только воду из восстанавливаемых колодцев.

На схеме (рис. 4.22) представлена простая система с использованием колодезной воды для отопления. В процессе обогрева температура воды понижается до 5°C, после чего ее уже нельзя употреблять. В этой системе в качестве теплоисточника можно дополнительно использовать солнечную энергию. На схеме показан наклонно расположенный дешевый коллектор, применяемый для низкотемпературного нагрева, хотя чаще такие коллекторы устанавливают горизонтально. Летом тепловой насос обеспечивает охлаждение; контур отопления переключают на горячее водоснабжение; в этом случае тепловой насос можно использовать для непосредственного отбора тепла.

В летний период система горячего водоснабжения может быть полностью обеспечена за счет солнечного излучения и не требуется нагружать тепловой насос. Сейчас существуют проекты использования теплового насоса в этот период для аккумулирования тепла. Предлагается в местах, где вода не выходит на поверхность, выкопать воздушные колодцы и, оборудовав водонепроницаемым покрытием их поверхность, создавать аккумуля-

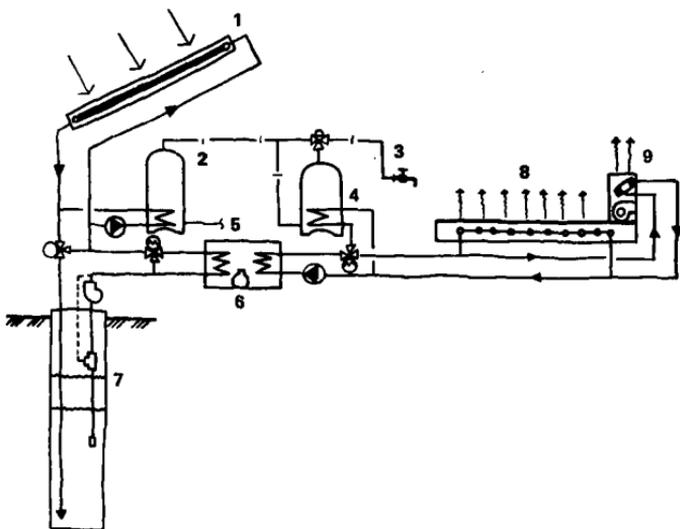


РИС. 4.22. СХЕМА СИСТЕМЫ С ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИМ КОЛОДЕЗНУЮ ВОДУ (АВТОР ТА-НАКА)

1 — коллектор; 2 — бак предварительного нагрева для горячего водоснабжения; 3 — подача горячей воды потребителю; 4 — накопительный бак; 5 — подача питательной воды; 6 — тепловой насос вода-вода; 7 — колодец; 8 — наполная аккумулялирующе-излучающая система; 9 — змеевик вентилятора

ляторы грунтовых вод. Для общественных и административных зданий можно применить также систему аккумуляирования тепла с помощью теплового насоса, грунтовых теплообменников и подземных змеевиков с применением двух колодцев.

Принцип работы теплового насоса. Тепловой насос представляет собой устройство, способное передавать тепло от низкотемпературного источника к высокотемпературному. В обычном водяном насосе вода перекачивается с низкого уровня на высокий. Для работы теплового насоса, как и водяного, требуется электрическая энергия. Отношение мощности, необходимой для перекачивания определенного количества тепла тепловым насосом, к мощности, используемой для получения такого же количества тепла с помощью электроэнергии, называют тепловым коэффициентом, или коэффициентом трансформации тепла (КТТ).

Схема устройства теплового насоса (рис. 4.23) включает компрессор, конденсатор, испаритель, расширительный бак и др. Кроме того, в схему входят трубопровод и преобразователь энергии (мотор). По трубам циркулирует рабочее тело — хладагент.

В испарителе из окружающей среды отбирается низкотемпературное тепло Q_E и хладагенту в компрессоре передается тепло AL , соответствующее количеству подводимой энергии. В конденсаторе происходит выделение высокотемпературной тепловой энергии $Q_C = Q_E + AL$.

КТТ выражается отношением выходной мощности, необходимой для перекачивания определенного количества тепла, к мощности, используемой для получения такого же количества тепла с помощью электроэнергии. Обычно эта величина обязательно больше 1.

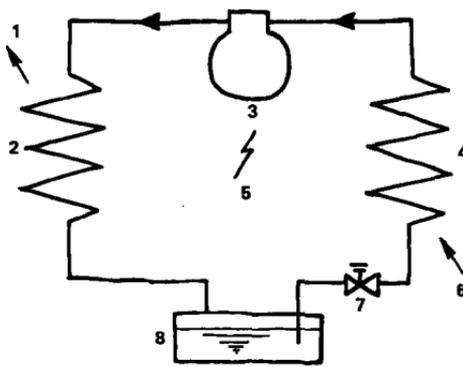


РИС. 4.23. ЦИКЛ РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

1 — тепловое излучение Q_c ; 2 — конденсатор; 3 — компрессор; 4 — испаритель; 5 — энергия AL ; 6 — абсорбированное тепло Q_E ; 7 — дросселирующий клапан; 8 — раствор рабочего вещества

4.10. ПАССИВНАЯ СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ

В пассивных системах не предусматривается применение насосов, вентиляторов и других механических агрегатов при использовании солнечной энергии. Они эффективны для отопления зданий благодаря поглощению солнечного излучения, поступающего из оконных проемов, и солнечного излучения, падающего на конструкции стен. Эти системы правильнее называть пассивными солнечными системами, а дома, в которых их применяют, называют солнечными домами с пассивными гелиосистемами.

Существуют различные виды солнечных пассивных систем. Главный принцип их устройства не только в отказе от применения механических устройств в процессе передачи тепла, но и в активном использовании тепловой энергии, поступающей от Солнца, при помощи естественных явлений — излучения, теплопроводности и конвекции. При этом важное значение приобретает соответствующая теплоизоляция, обеспечивающая сохранение большего количества тепла внутри дома (рис. 4.24).

Система, представленная на рис. 4.24, 1, основана на улавливании солнечной радиации через оконный проем южного фасада и передаче ее в глубину помещения. Этот принцип отопления типичен для традиционных планировочных решений японских домов. Отличительной особенностью системы является использование бетонной конструкции пола (без обычных напольных циновок), обладающей большой тепловой емкостью и обеспечивающей хороший эффект аккумулятирования тепла.

На рис. 4.24, 3, 4 и 9 показаны системы аккумулятирования тепла, поступающего на установленные в оконных проемах южного фасада аккумулятирующе-излучающие элементы. Однако эти способы отопления не привычны для Японии и поэтому мало распространены.

Способ устройства теплиц со стороны южного фасада здания (рис. 4.24, 4) особенно широко используется в США. В Японии лето отличается высокой температурой воздуха и большой влажностью, поэтому такой способ практически не применяется. Системы отопления, показанные на рис. 4.24, 5 и 7, основаны на циркуляции нагретого воздуха в верхней части здания.

Особенностью системы отопления, показанной на рис. 4.24, 7, является наличие потолочной теплоаккумуляторной и излучающей плиты. С помощью отражающей панели, встроенной в расположенный на южном фасаде здания оконный проем, солнечное излучение направляется в сторону потолка.

На рис. 4.24, 9 показана наиболее известная из пассивных геосистем, основным элементом которой является стена Тромба (стена, поглощающая и аккумулирующая солнечное тепло). Однако в Японии вряд ли найдется много желающих выполнить южный фасад в виде такой стены.

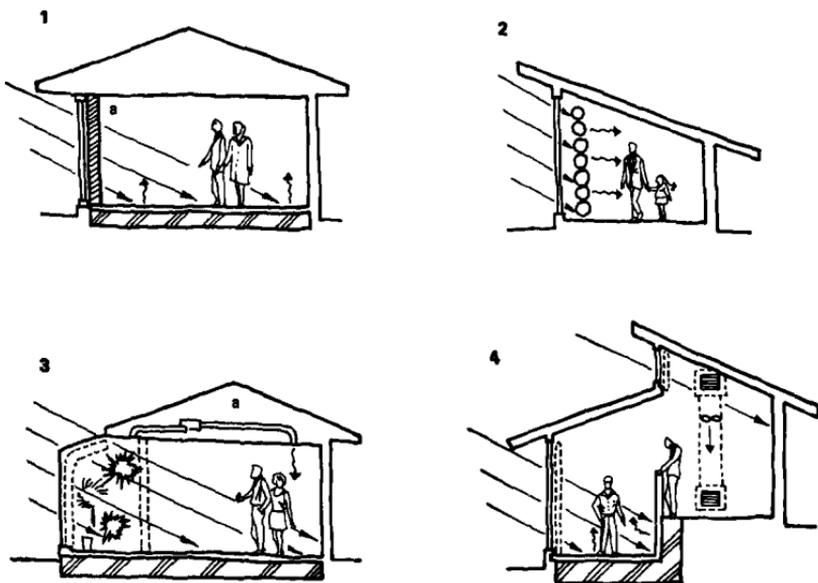
4.11. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ УСТРОЙСТВА КОМНАТНЫХ ТЕПЛИЦ

Устройство комнатных теплиц со стороны южного фасада здания в общем преследует цель совмещения приятного занятия садоводством с одновременным аккумулированием солнечного тепла. Такие теплицы иногда закладывают в строящихся зданиях, но в последнее время большое распространение получило строительство, которое можно назвать способом "сооружения пристройки своими силами". Подобные теплицы дают возможность эффективно использовать комнатное пространство и позволяют без особых усилий аккумулировать улавливаемое тепло при температуре, близкой к комнатной (рис. 4.27).

Конечно, устройство теплиц сопряжено с самыми различными проблемами, которые необходимо учитывать. Комнатные теплицы обладают малой теплоемкостью, поэтому в районах со сравнительно теплым климатом, как в Токио, помещение в ясные солнечные дни перегревается, а в пасмурные резко охлаждается. Уход за растениями оказывается более сложным, чем иногда предполагают. Для некоторых видов растений в ночные часы необходимо подогревать помещение, что связано с дополнительными расходами энергии. Летом же нужно принимать меры против перегрева.

Комнатные теплицы целесообразно устраивать со стороны южного фасада: если их сделать с восточной стороны или с западной, то в утренние и дневные часы появятся большие излишки тепла. Теплицы следует располагать по возможности на большой продуваемой площади с открытыми проемами. Для улавливания солнечного излучения в зимний период совсем не обязательно заменять стеклом часть крыши, но, как правило, это все-таки делают. В летний период необходимо устраивать какой-либо экран для предотвращения попадания внутрь теплицы солнечного излучения.

Комнатные теплицы широко применяют в США как один из эффективных методов пассивного отопления. Их особенно широко используют в обширных жилых домах большой теплоемкости, расположенных в холодных районах, например в пустынных местностях, где зимой много солнца, причем в таких жилых домах используют, как правило, однослойное, а при необходимости и двухслойное остекление. В таких районах даже в летний период температура помещения снижается, когда в теплицах



поливают растения, и наоборот, становится жарко, когда происходит испарение.

Излишки тепла в комнатных теплицах можно передать в глубь помещения, что достигается путем открывания окон, устроенных в теплицах, и аккумулировать их. Более эффективно использовать вентилятор с автоматическим регулированием, который принудительно перекачивает тепло внутрь помещения или в пространство, где расположен аккумулятор из гравия.

Способ изготовления термостата для теплиц. Чтобы теплый воздух из комнатной теплицы перекачивать в другое помещение, необходим термостат, обеспечивающий автоматическое включение вентилятора в теплице и комнатного лопастного вентилятора, находящегося внутри помещения (в продаже имеются комнатные термостаты стоимостью более 10000 иен). Можно использовать термостаты, применяемые для аквариумов с тропическими рыбами (стоимостью 1500–2000 иен), однако в них при высокой температуре отключается подогреватель, поэтому они нуждаются в реконструкции.

Устройство термостата с биметаллическим стержнем и съемным контактным штекером показано на рис. 4.28. Если штекер прикрепить к биметаллическому стержню и поставить в соответствующее положение, то при нагреве воздуха термостат включается. В случае необходимости (например, выходе из строя) штекер можно снять и легко заменить.

Термостат для аквариумов помещают в стеклянную трубку, и пользоваться им совершенно безопасно. Как правило, в системе применяют счетчик электроэнергии. Мощность, потребляемая термостатом в целом, составляет 300 Вт, этого вполне достаточно для работы вентилятора. Рекомендуется, однако, заранее проверить такую систему. Биметаллический стержень окрашивают черной краской. Если его поместить на теплоприемной поверхности на участке, где температура близка к максимальной, то можно его использовать как простейшее термостатное устройство для коллектора.

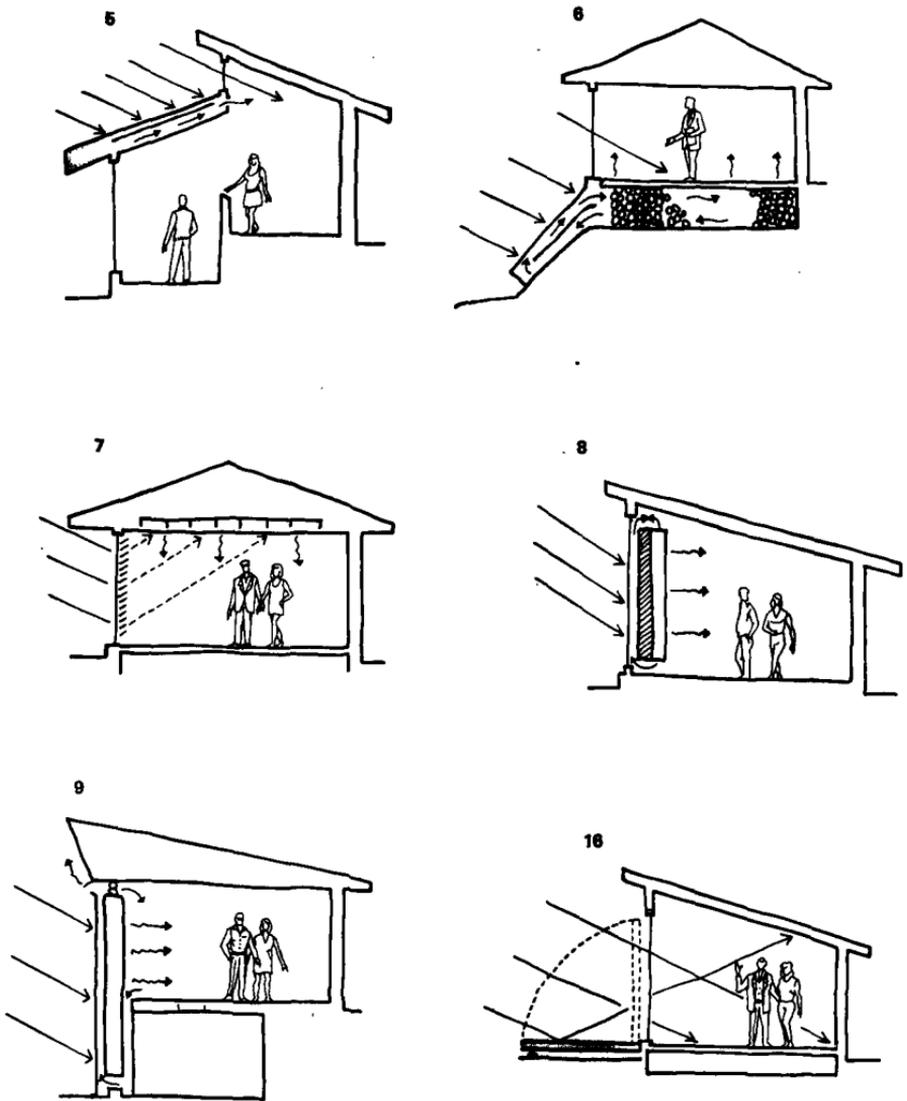


РИС. 4.24. ПРИМЕРЫ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ

1 – бетонная конструкция с окнами, расположенными в южной части здания; а – теплоизолированная дверь; 2 – теплоаккумулятор с водяными емкостями; 3 – система с бетонным напольным аккумулятором тепла, совмещающая обогрев комнаты и теплицы: а – воздуховод; 4 – система с бетонным напольным аккумулятором тепла с окнами в потолке со стороны южного фасада здания; 5 – термосифон в структуре крыши; 6 – грунтовой термосифон (аккумулирующая среда – гравий); 7 – панельный потолочный аккумулятор тепла с отражающей плитой; 8 – стена с излучающими перегородками и элементами, внутри которых циркулируют воздушные тепловые потоки; 9 – аккумулятор тепла в стене (стена Тромбы); 10 – поглощение солнечного излучения через оконный проем южного фасада с подвижной или стационарной отражающей панелью

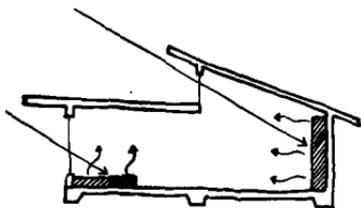


РИС. 4.25. УВЕЛИЧЕНИЕ ПОСТУПЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДОМ С ПОМОЩЬЮ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОКОННОГО ПРОЕМА

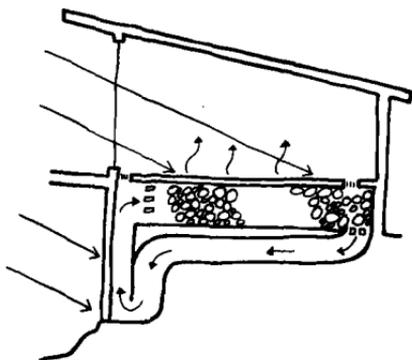


РИС. 4.26. КАМЕННЫЙ ФУНДАМЕНТ В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ, УСТРОЕННЫЙ ПО ПРИНЦИПУ ТЕРМОСИФОНА

4.12. СТЕНА ТРОМБА

Солнечная стена Тромба представляет собой массивную бетонную конструкцию со стороны южного фасада здания, закрытую снаружи стеклом и выкрашенную в черный цвет или покрытую селективно-поглощающей фольгой. Собранное в течение дня наружной поверхностью стены солнечное тепло с некоторым запаздыванием передается в ночные часы в помещение. Эта конструкция была разработана французским профессором Тромбом и названа его именем (см. рис. 4.24, 9).

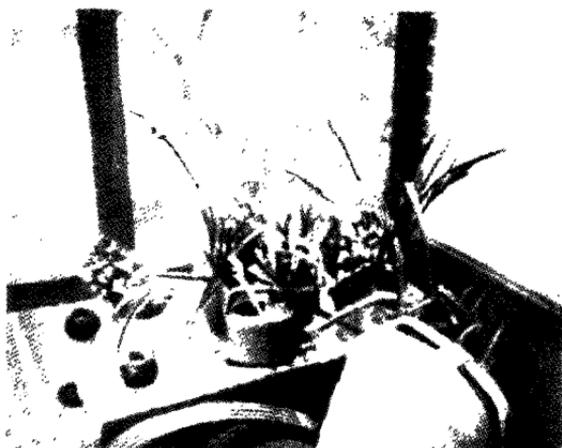


РИС. 4.27. ТЕПЛИЦЫ, РАСПОЛОЖЕННЫЕ ВО ВНУТРЕННИХ ПОМЕЩЕНИЯХ ДОМА (АВТОР ТАНАКА)

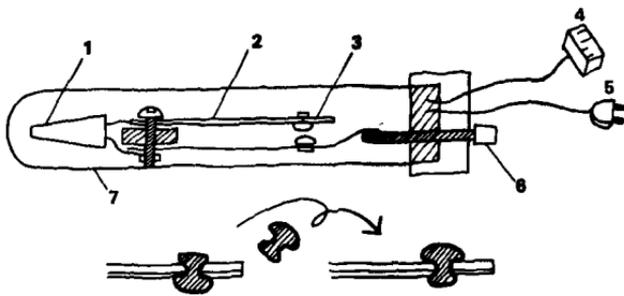


РИС. 4.28. ТЕРМОСТАТ ДЛЯ ТЕПЛИЦ

1 — счетчик электроэнергии; 2 — биметаллический стержень; 3 — контактный штекер; 4 — контактное гнездо вентилятора; 5 — источник электроэнергии; 6 — ручка для регулирования температуры; 7 — стеклянная трубка

Если увеличить теплоемкость здания при помощи комнатных теплиц и обеспечить поступление солнечного излучения в здание через дополнительные проемы, то можно добиться, чтобы колебания комнатной температуры были незначительными (рис. 4.29). Даже в период максимального поступления солнечного излучения и значительного нагрева наружного воздуха, когда в помещении также наблюдается пиковая температура, ее перепады остаются незначительными. Это объясняется временной задержкой в передаче тепла, обусловленной малой теплопроводностью стены Тромба, и может даже привести к тому, что пик температуры помещения сместится на поздние вечерние часы. Бетонная стена толщиной 20 см обеспечивает задержку передачи тепла на 5 ч; при толщине стены 40 см наблюдается запаздывание более чем на 10 ч, т.е. пиковой температуры как таковой может и не быть.

Обычно теплопроводность стены Тромба не обеспечивает нужной теплопередачи, и чтобы передать внутрь помещения тепло нагретого воздуха, его прогоняют через специальные отверстия в нижней и верхней частях стены, используя для этого как естественную конвекцию, так и принудительную циркуляцию воздуха с помощью вентиляторов.

В Америке и Европе архитектурно-планировочные решения зданий не предусматривают проектирование большого количества открытых пространств, и оконные проемы на южных фасадах в общем не особенно привлекают жильцов из-за возможности выцветания мебели и различных тканевых покрытий в комнате, поэтому в этих странах стена Тромба, почти целиком закрывающая южный фасад, охотно используется населением. Однако в Японии владельцы домов совсем не так воспринимают эту конструкцию. Да и с точки зрения собирания тепла она менее эффективна, чем комнатные теплицы или дополнительные оконные проемы для увеличения поступления солнечного излучения. Более того, использование южного фасада здания в японских домах, имеющих весьма небольшие площади, лишено смысла и из-за возрастания затрат.

РИС. 4.29. ГРАФИКИ КОЛЕБАНИЙ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТЕНЫ ТРОМБА

W — температура поверхности южно-восточной стены Тромба; *A* — температура помещения при применении напольного теплоаккумулятора; *B* — температура воздуха в помещении при использовании стены Тромба; *T* — наружная температура; *R* — плотность потока излучения; *t* — температура, °C; *h* — время, ч

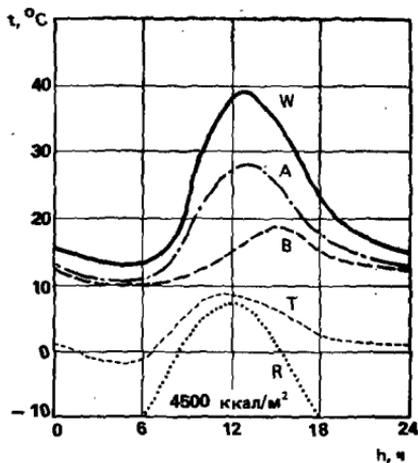


РИС. 4.30. ДОМ СО СТЕНОЙ В КОТОРУЮ ПОМЕЩЕНЫ ЕМКОСТИ, ЗАПОЛНЕННЫЕ ВОДОЙ

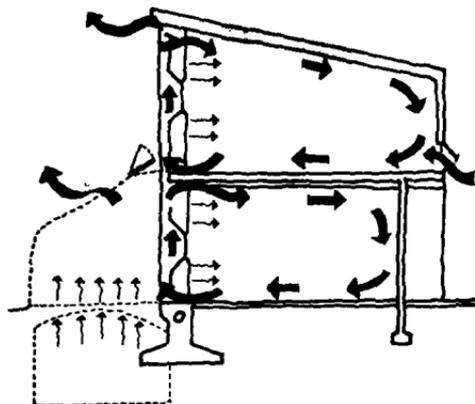
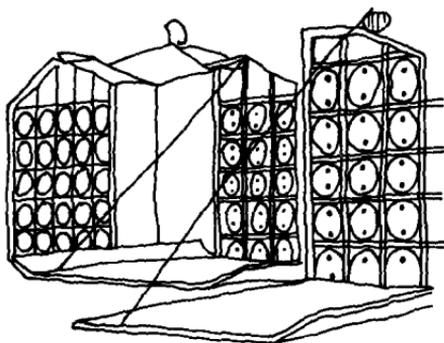


РИС. 4.31. ДОМ СО СТЕНОЙ ТРОМБА

4.13. КОНСТРУКЦИЯ СТЕНЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ТЕПЛОВЫЙ ПОТОК ТОЛЬКО В ОДНОМ НАПРАВЛЕНИИ (ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛОГ ДИОДА)

В электрической цепи элемент схемы, который обеспечивает протекание тока в одном направлении, называется диодом; он является неотъемлемым элементом в устройствах компьютеров и электронных приборов.

По всей вероятности, в конструкции стены можно использовать этот принцип и назвать такое устройство термическим диодом. В самом деле, если бы удалось найти инженерное решение конструкции стены, которая только поглощала бы поступающее излучение и сама не излучала тепло, то это решение стало бы равносильно технической революции.

Для стены обычной конструкции количество передаваемого через нее тепла выражается произведением трех величин: эффективного (или приведенного) коэффициента теплопередачи K , разности внутренней и наружной температур Δt и площади поверхности A .

Коэффициенты передачи тепла через стену K в зимний период, когда тепло от внутренней поверхности переходит к наружной, и в летний, когда тепло передается от наружной поверхности к внутренней, практически одинаковы. Если бы была одинаковой разность температур, то летом и зимой через стену передавалось бы одинаковое количество тепла. В данном случае, как и при протекании электрического тока, можно было бы добиться эффекта "выпрямления", или передачи тепла только в одном направлении. Однако для того, чтобы получить эффект преимущественного направления потока через стену в одну сторону, необходимо применять специальные устройства. На рис. 4.32 показаны наиболее известные способы решения этой задачи – использование термосифона и тепловой трубы. Кроме того, в конструкциях помимо этих способов, изображенных на рисунке, добавляется действие так называемого парникового эффекта, поскольку остекление помещения или коллектора выборочно сортирует солнечные и тепловые лучи: коротковолновое излучение пропускает, длинноволновое – задерживает. Ту же цель преследует усиление тепловой изоляции в темное время суток (ставни, жалюзи). Все эти способы направлены на создание эффекта преимущественного направления потоков тепла.

Системы использования солнечной энергии с применением термосифона аналогичны по принципу действия водонагревателям с естественной циркуляцией воды. Однако, поскольку в термосифонной системе коллекторная и аккумуляторная части находятся на одной высоте, необходимо предотвратить возможность опрокидывания циркуляции в ночные часы. Для этой цели необходим обратный клапан. Таким образом, в дневные часы требуется обеспечить циркуляцию воды, а в ночные – только нужное направление воздуха, поэтому возникают трудности в отлаживании системы, иначе невозможно гарантировать ее безопасность.

Системы с использованием тепловой трубы работают по следующей схеме: между двумя тепловоспринимающими алюминиевыми панелями с высокой теплопроводностью помещена

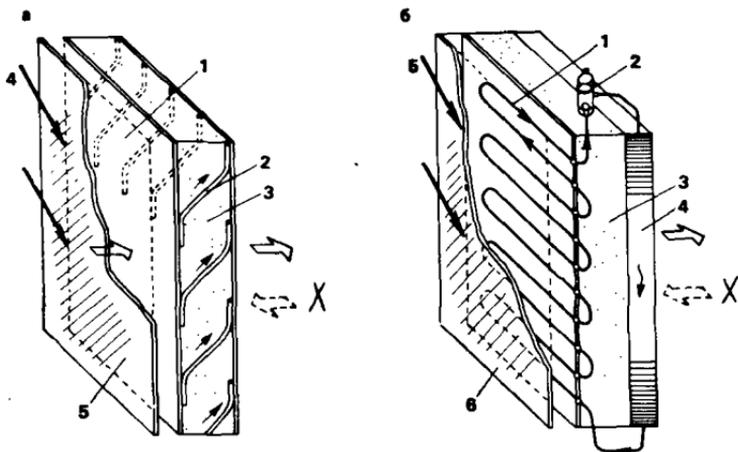


РИС. 4.32. КОНСТРУКЦИИ СТЕН С ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫМ НАПРАВЛЕНИЕМ ПОТОКА ТЕПЛА

а – с использованием тепловой трубы: 1 – тепловоспринимающая панель (алюминий, селективно-поглощающая пленка); 2 – тепловая труба; 3 – теплоизоляционный материал (пенополиуретан); 4 – поток излучения; 5 – стекло; **б** – с использованием термосифона: 1 – тепловоспринимающая панель; 2 – устройство, предотвращающее опрокидывание циркуляции; 3 – теплоизоляционный материал; 4 – теплоаккумулирующая среда (вода); 5 – поток излучения; 6 – стекло

тепловая труба, в промежутке расположен теплоизоляционный материал (пеноуретан). Когда в левой панели повышается температура, то в тепловой трубе вскипает и испаряется теплоноситель (вода или фреон); в процессе конденсации, происходящей в верхней низкотемпературной части трубы, он отдает тепло и путем естественной циркуляции возвращается в исходное положение. Таким образом, тепло передается по трубе в направлении слева направо. В обратном направлении процесс теплопередачи происходить не может.

В данной конструкции стены отношение значений коэффициента теплопроводности при направлении потока тепла слева направо и условного коэффициента теплопроводности в направлении справа налево называют показателем преимущественности направления тепла. Если добиться значения этого показателя выше 10, то такую систему можно внедрять в различные сферы практического применения. Однако, к сожалению, несколько лет назад авторам удалось получить в экспериментах только два положительных результата. Возможно, это объясняется тем, что в процессе противотока тепло частично передается в обратном направлении по медной трубке. Думается, что при использовании прозрачных неорганических материалов, например стекла, а также путем усовершенствования свойств тепловых труб и оптимизации их расположения можно добиться положительных результатов. Если бы были разработаны конструкции стен, обеспечивающие преимущественное направление

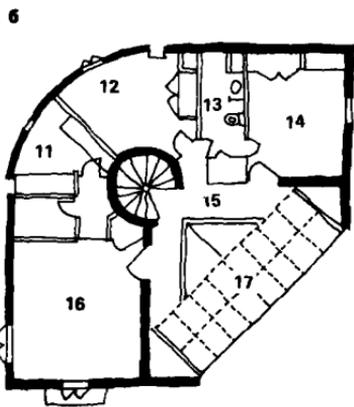
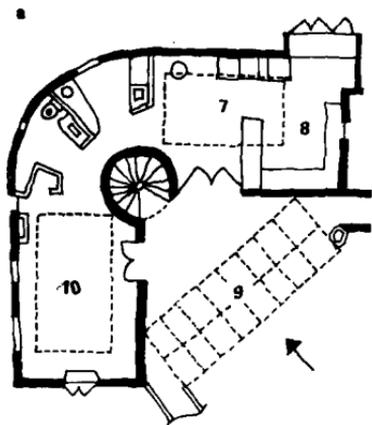
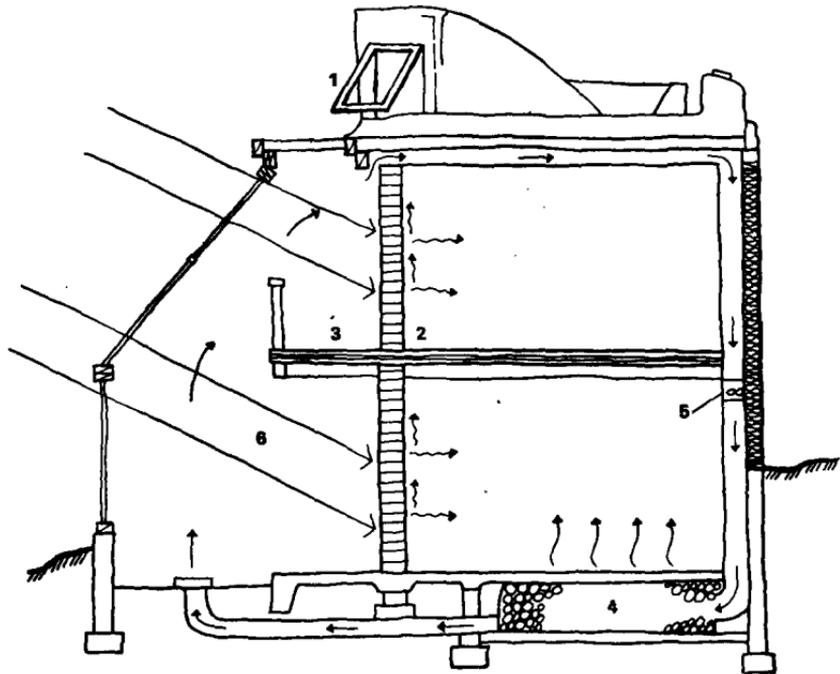


РИС. 4.33. ДОМ БАЛКОМА

1 – вентиляционное окно; 2 – кирпичная кладка; 3 – балкон; 4 – каменный фундамент; 5 – вентилятор; 6 – теплица; 7 – столовая (подземный каменный фундамент); а – 1-й этаж; 8 – кухня; 9 – теплица; 10 – гостиная (подземный каменный фундамент); б – 2-й этаж; 11 и 13 – ванна; 12, 14, 16 – спальня; 15 – балкон; 17 – теплица

потока тепла, то принцип такого устройства нашел бы широкое применение при создании тепловоспринимающих стен и кровель, приводящих к охлаждению помещения в ночные часы за счет излучения накопленного в течение дня тепла.

Уже имеются случаи практического использования этого устройства – термического аналога диодов – для охлаждения помещений путем усиления в ночные часы потоков излучения от электрических станций в районах пустынь.

4.14. НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ НАКОПЛЕНИЕ ТЕПЛА

Непосредственное накопление тепла характерно для пассивной солнечной системы и предполагает активное использование солнечного излучения, проникающего через большие оконные проемы, расположенные на южном фасаде здания. Это один из наиболее распространенных способов отопления, идея которого не является новой для Японии. Этот способ сейчас изучают в применении к жилым домам в Америке и Европе, где традиционно в южной части дома делают малые оконные проемы.

При непосредственном накоплении тепла важное значение приобретает система аккумуляирования и распределения тепла. В Японии в деревянных домах, имеющих малую теплоемкость, для обогрева помещений в настоящее время не используют такой способ, как закрывание окон и штор. Система непосредственного накопления тепла подразумевает наличие массивного пола из бетона или кирпичей. В отличие от стран Европы и Америки, где люди в помещении не снимают обувь, в Японии в доме ходят без обуви, и это вызывает сложности при создании пола такой конструкции.

Использование ковров и других покрытий заметно снижает тепловой эффект. Однако в соответствии с различными экспериментальными данными и результатами расчетов аккумулятор тепла необязательно устраивать в полу. Если соорудить кирпичную стену, в середине которой проложить слой камней, она сможет обеспечить теплом весь дом. В ночные часы или пасмурную дождливую погоду, когда солнечное излучение не поступает, система непосредственного накопления тепла начинает работать как радиатор, рассеивающий тепло, и, если не продумать меры теплоизоляции, то может получиться обратный эффект в отличие от других методов собирания тепла (типа устройства открытых проемов или установки коллекторов). В этих случаях в районах с большим количеством солнечных дней и сравнительно высокой температурой в зимний период, подобных региону Токио, наиболее эффективно организовать не двух-, а однослойное остекление и использовать простые (имеющиеся в продаже) теплоизоляционные ставни.

В системах прямого накопления тепла с дополнительными проемами, как при применении комнатных теплиц, необходимо продумать меры предотвращения перегрева воздуха в помещениях в летний период.

**5.1. РАЗНООБРАЗИЕ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО
ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

В разд. 1.13 авторы затрагивали вопрос об устройствах солнечных систем, способных вырабатывать холод; в этом разделе будут рассмотрены системы солнечного теплохладоснабжения и горячего водоснабжения различного типа.

Возможность осуществления охлаждения домов с использованием солнечного излучения уже подтверждена различными экспериментальными установками, и в последнее время число действующих установок увеличилось. В самом деле, если удастся создать систему чисто солнечного охлаждения, то за 1 год эксплуатации дорогостоящих солнечных коллекторов станет возможным окупить вложенные средства. Это также поможет снизить пиковую нагрузку на охлаждение в летний период. Однако если исходить из общего энергопотребления жилых домов и принять во внимание специфику и сложность гелиосистем, их малый вклад в обеспечение нагрузки, их высокую стоимость и низкий КПД, то станет совершенно ясно, что вопрос об экономии энергии продолжает существовать.

Следовательно, за исключением отдельных случаев, когда целью являются научно-технические разработки или когда охлаждение производят в малых масштабах (хладопроизводительность $10 \text{ Rt} = 30240 \text{ ккал/ч}$), такие системы не могут быть особенно рекомендованы.

Для обычного индивидуального дома, где необходима хладопроизводительность $1,5\text{--}3 \text{ Rt}$, такие системы подходят. Административные здания характеризуются большими объемами, однако у средне- и многоэтажных домов трудно обеспечить необходимые площади коллекторов, при этом невозможно за счет гелиосистем удовлетворить большие нагрузки теплоснабжения.

Таким образом, система солнечного теплохладоснабжения и горячего водоснабжения имеет определенные недостатки и достоинства.

Рассмотрим подробнее структуры таких систем. На рис. 5.1 представлена схема наиболее распространенной системы, работающей в режимах теплохладоснабжения и горячего водоснабжения.

По сравнению с системой отопления в схему добавлены абсорбционная холодильная установка, охладительная башня, а также низкотемпературный аккумуляторный бак. В системе солнечного охлаждения для действия абсорбционной холодильной установки необходимо, чтобы коллектор обеспечивал температуру теплоносителя $80\text{--}100^\circ\text{C}$, поэтому следует использо-

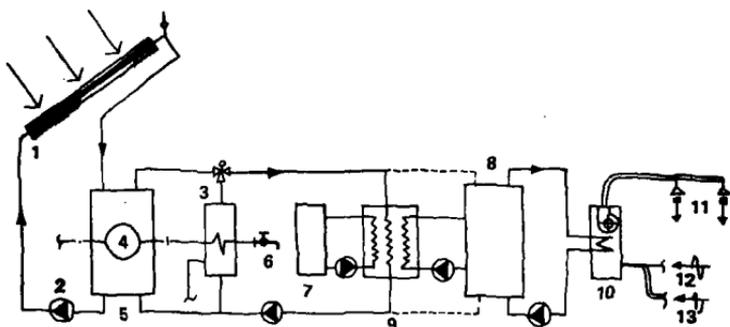


РИС. 5.1. СИСТЕМА СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ДВУМЯ АККУМУЛЯТОРНЫМИ БАКАМИ

1 — коллектор; 2 — коллекторный насос, подающий воду; 3 — бойлер; 4 — накопительный теплообменник; 5 — высокотемпературный аккумуляторный бак; 6 — снабжение горячей водой; 7 — охладительная башня; 8 — низкотемпературный аккумуляторный бак; 9 — абсорбционная холодильная установка; 10 — теплообменник для нагрева воздуха; 11 — снабжение воздухом потребителя; 12 — поступление отработанного воздуха; 13 — подача свежего воздуха

вать высококачественные солнечные плоские коллекторы и вакуумированные трубчатые коллекторы или фокусирующие коллекторы. Низкотемпературный аккумуляторный бак служит для аккумуляции холодной воды с температурой в пределах 10°C , получаемой в абсорбционной холодильной установке. Наличие низкотемпературного и высокотемпературного баков обеспечивает стабильную работу абсорбционной холодильной

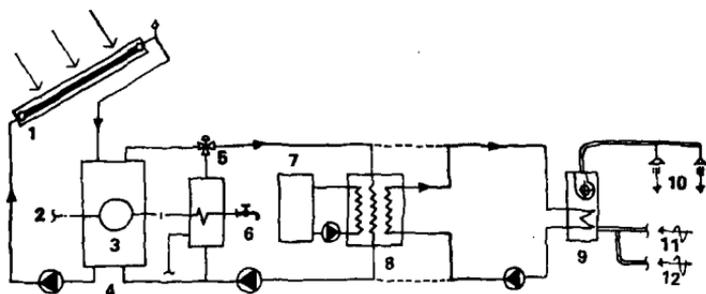


РИС. 5.2. СИСТЕМА СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ОДНИМ АККУМУЛЯТОРНЫМ БАКОМ

1 — коллектор; 2 — подача питательной воды; 3 — накопитель-теплообменник; 4 — высокотемпературный аккумуляторный бак; 5 — бойлер; 6 — подача горячей воды потребителю; 7 — охладительная башня; 8 — абсорбционная холодильная установка; 9 — теплообменник для нагрева воздуха; 10 — подача воздуха потребителю; 11 — поступление отработанного воздуха; 12 — подача свежего воздуха

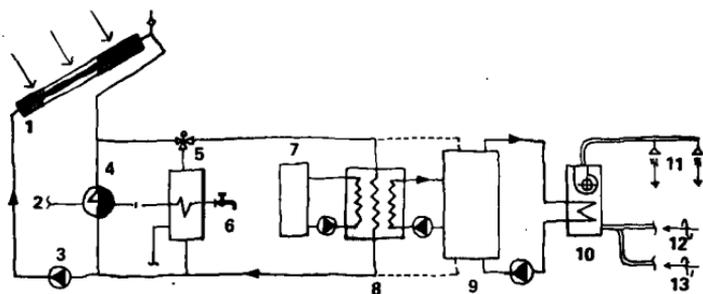


РИС. 5.3. СИСТЕМА ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ОДНИМ АККУМУЛЯТОРНЫМ БАКОМ

1 — коллектор; 2 — подача питательной воды; 3 — коллекторный насос; 4 — накопительный бак горячей воды; 5 — бойлер; 6 — подача горячей воды потребителю; 7 — охлаждающая башня; 8 — абсорбционная холодильная установка; 9 — низкотемпературный аккумуляторный бак; 10 — теплообменник для нагрева воздуха; 11 — подача воздуха потребителю; 12 — поступление отработанного воздуха; 13 — подача свежего воздуха

установки. Однако такая система требует больших расходов на оборудование, ее используют только в крупномасштабных домах (практический пример использования — солнечный дом Кусака).

Система без низкотемпературного аккумуляторного бака представлена на рис. 5.2. Известно много примеров практического использования такой системы в жилых и административных домах (экспериментальный солнечный дом Ядзаки, солнечный дом Исибаси, Дом общественных собраний Нумацукинока, дом престарелых Аситака).

Система без высокотемпературного аккумуляторного бака (рис. 5.3) в основном обеспечивает горячее водоснабжение в крупных масштабах, в летний период ее частично можно использовать в режиме солнечного хладоснабжения.

5.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

При проектировании систем теплохладоснабжения и горячего водоснабжения для жилых домов в настоящее время нет смысла преследовать экономическую выгоду, следует лишь стремиться к возможно меньшему использованию дополнительных источников энергии, увеличению коэффициента полезного использования солнечного излучения и получению максимальной экономии энергии.

1. *Проектирование коллекторов.* Поскольку летом коллектор должен вырабатывать сравнительно высокотемпературное тепло ($80-100^{\circ}\text{C}$), его эффективность должна быть высокой. Обычно используют высококачественные плоские коллекторы с селективно-поглощающей пленкой и вакуумированные трубчатые коллекторы. Для выработки холода в объеме 1 Rt требуется тепловоспринимающая площадь приблизительно в $20-35 \text{ м}^2$.

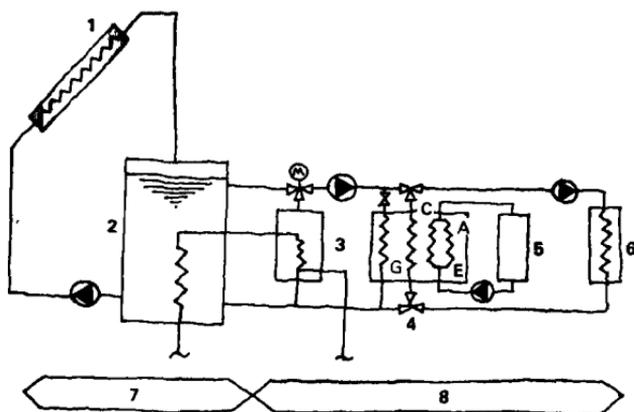


РИС. 5.4. СИСТЕМА СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ (СОЛНЕЧНЫЙ ДОМ ИСИБАСИ)

1 — коллектор; 2 — аккумулятор тепла; 3 — дополнительный энергоисточник; 4 — абсорбционная холодильная установка; 5 — охладительная башня; 6 — теплообменник для нагрева воздуха; 7 — специальное оборудование; 8 — традиционное оборудование; А — абсорбер; С — конденсатор; Е — испаритель; G — генератор

Угол наклона коллектора $25\text{--}30^\circ$. Если угол сделать слишком малым, то стеклянная поверхность будет загрязняться и, кроме того, заметно упадет выработка тепла в зимний период.

2. Проектирование высокотемпературного аккумуляторного бака. Обычно выбирают бак с открытым отбором воды. При остановке коллекторного насоса вода из коллекторных труб естественным путем сливается в бак. Эта система требует применения антифриза зимой, а летом для предотвращения возможности вскипания воды включают насос. Вместимость аккумулятора обычно выбирают из расчета, чтобы на 1 м^2 тепловоспринимающей поверхности коллектора приходилось $40\text{--}60$ л воды. Для уменьшения теплотерь бака необходим слой теплоизоляции толщиной $100\text{--}150$ мм.

3. Проектирование коллекторных трубопроводов. Как правило, для производства коллекторных труб используют медь, если система гарантирована от замерзания и нет необходимости применять антифризные растворы. Часто применяют также стальные трубы. Теплоизоляционный слой делают толщиной $50\text{--}100$ мм; вентили, контрольно-измерительные приборы, опорные металлические конструкции должны выдерживать определенную температуру. Очень важно точно установить наклон трубопроводов и коллектора, который гарантировал бы полный и беспрепятственный дренаж воды.

Коллекторные насосы должны быть термостойкими, выдерживающими температуру более 100°C (типа "Кяндомото", "Механикару сиру"). Трубопроводы рекомендуется монтировать

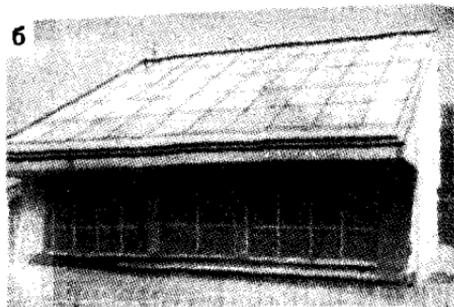
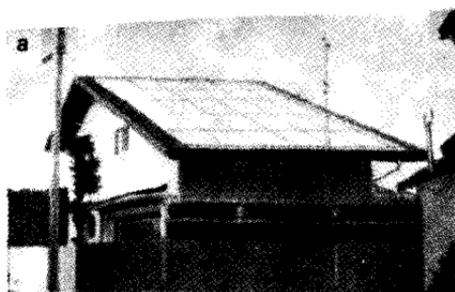


РИС. 5.5. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ
 а – внешний вид солнечного дома Исисаси; б – экспериментальный солнечный дом Ядзаки

ниже уровня воды в резервуарах. Скорость циркуляции воды должна обеспечивать расход $0,5-1$ л/мин на 1 м^2 тепловоспринимающей поверхности. При этом в период максимального нагрева разность температур теплоносителя на входе и выходе составляет $5-10^\circ$. При включении и выключении насосов следует пользоваться датчиками разности температур; включение насосов соответствует $\Delta T = 5^\circ$, выключение – $\Delta T = 0,5^\circ$.

Примечание. Температура на выходе охлажденной воды абсорбционной холодильной установки должна быть в пределах 10°C ; площадь теплопередающей поверхности теплообменника для нагрева воздуха и змеевиков вентилятора следует сделать больше обычного. При подборе охлаждающей башни необходимо также обратить внимание на то, чтобы температурные условия отличались от обычных.

5.3. СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ОСУШЕНИЯ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Почти для всей территории Японии, за исключением о. Хоккайдо, в летний сезон характерны высокая температура и большая влажность воздуха. Если бы погода была только жаркой, это не вызывало бы нареканий: наоборот, есть немало людей, которым нравится жара. Однако многие часто спрашивают – нельзя ли при помощи простой солнечной системы добиться снижения влажности воздуха.

Принято считать, что для уменьшения влажности воздуха приемлемы такие способы, как использование силикагеля в качестве твердого абсорбента и применение абсорбирующих водных растворов – например хлористого лития. В данном случае использование силикагеля аналогично его применению в качестве осушителя в производстве сладостей и клея из крахмала. Когда через адсорбирующую емкость, наполненную силикагелем, пропускают влажный воздух помещения, силикагель поглощает влагу и осушает воздух. Насыщенный влагой силикагель прогревают теплым воздухом или водой с температурой $80-100^\circ\text{C}$, нагретыми солнечным излучением, при этом воздух поглощает водяные пары ($20-30\%$) и происходит регенерация силикагеля, так что его снова можно использовать в качестве адсорбента.

Можно разделить емкость с адсорбентом на две части и через каждые несколько часов поочередно менять режимы адсорбиро-

вания и регенерации адсорбента, чтобы в результате получился непрерывный цикл адсорбции и регенерации. По такой же схеме работает водный раствор хлористого лития, обладающего свойством поглощать влагу подобно обычной поваренной соли.

Указанные способы лежат в основе создания систем осушения воздуха открытого типа, и сейчас в США и Японии проводят их научно-технические разработки. Системы, осуществляющие кондиционирование воздуха, еще сложны по конструкции и дороги, так что на практике их не используют. Здесь говорится о возможности создания устройства, которое осуществляло бы лишь осушение воздуха, однако сделать его совсем не просто. Во-первых, произвести осушение воздуха, не меняя температуры помещения, оказалось труднее, чем предполагали ранее: в конечном итоге выяснилось, что на осуществление этой цели требуется столько же энергии, сколько необходимо для системы охлаждения. Во-вторых, чтобы обеспечить низкую влажность воздуха, нужно закрыть помещение, а в таких условиях температура воздуха в нем будет повышаться.

Обычно используют схему охлаждения, представленную на рис. 5.6.

Летом, когда температура воздуха равна 32°C , а относительная влажность 68% , воздух, пропущенный через емкость с силикагелем, имеет относительную влажность 28% , но температура его при этом поднимается выше 45°C . Это объясняется тем, что, когда водяные пары адсорбируются силикагелем, выделяется скрытая теплота адсорбции: при поглощении 1 кг водяных паров выделяется 800 ккал . Если такой высокотемпературный воздух с малой влажностью охладить при помощи свежего воздуха, воды из охладительной башни или просто водопроводной воды, то можно получить сухой воздух с температурой $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$.

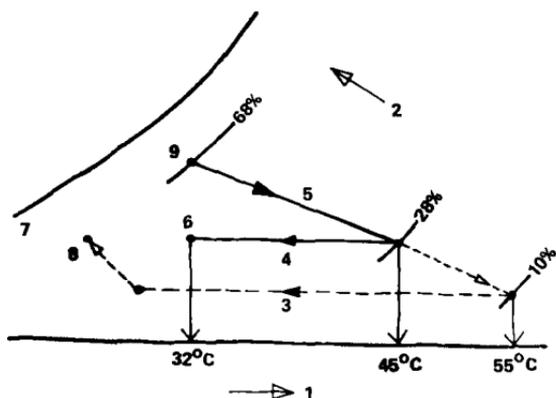


РИС. 5.6. ДИАГРАММА ПРОЦЕССА ОСУШЕНИЯ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

1 — температура воздуха; 2 — относительная влажность; 3 и 4 — охлаждение; 5 — уменьшение влажности; 6 — только осушение воздуха; 7 — осушение воздуха в системе открытого типа; 8 — охлаждение; 9 — внешний воздух

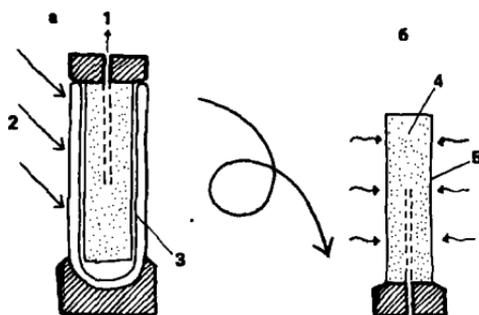


РИС. 5.7. ПЕРЕНОСНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА С РЕГЕНЕРАЦИЕЙ (АВТОР ТАНАКА)

а — цикл регенерации вне помещения в дневные часы; б — цикл адсорбции (в помещении); 1 — выделяемая влага; 2 — солнечное излучение; 3 — вакуумированная стеклянная трубка с двойными стенками (с селективно-поглощающей пленкой); 4 — поглотитель-силикагель; 5 — внутренняя трубка (металлическая с отверстиями)

Если бы удалось получить сухой воздух с температурой ниже 20°C , как в системе кондиционирования, то можно было бы говорить о системе кондиционирования открытого типа. В этом случае, однако, пришлось бы применить сложное оборудование, позволяющее осуществить ряд последовательных процессов: сначала с помощью адсорбента получить влажность воздуха ниже 15% при одновременном возрастании его температуры до 55°C , затем, используя наружный воздух или воду из охлаждающей башни, снизить температуру воздуха в помещении до $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$, после чего снова охладить его, например, водой из колодца до температуры 25°C . В результате мы получим сухой прохладный воздух.

Сейчас ведутся разработки различных способов осушения воздуха, направленные на упрощение осушительных систем, например предлагается встраивать простой влагоосушитель в участок воздухонагревательной системы солнечного отопления, использовать излучение в ночное небо, осуществлять регенерацию адсорбента непосредственно в коллекторе и др., однако практического решения этого вопроса пока не предвидится.

На рис. 5.7 представлено разрабатываемое автором книги устройство для осушения воздуха с регенерированием адсорбента при помощи солнечного излучения. Если бы такое устройство удалось доработать, его можно было бы широко использовать на практике.

5.4. ВОЗМОЖНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ ЗА СЧЕТ ИЗЛУЧЕНИЯ В НОЧНОЕ ВРЕМЯ

В конце весны в верхних слоях атмосферы над Японией наблюдается высокое давление, часто бывает ясная погода, а по утрам при отсутствии ветра на почве появляется иней, являющийся большим бедствием для сельского хозяйства. Хотя в такие дни температура воздуха над поверхностью земли составляет $3-5^{\circ}\text{C}$, температура почвы на поверхности земли опускается ниже 0°C , и водяные пары из воздуха, замерзая, превращаются в иней. Такое понижение температуры происходит в результате теплообмена излучением между поверхностью земли и водяными парами разреженных слоев атмосферы с температурой $-20...30^{\circ}\text{C}$. Это явление называют эффективным излучением в ночное небо, и поток его тем больше, чем суше воздух, т.е. чем меньше в нем водяных паров.

Это ночное излучение в зависимости от метеорологических условий региона можно использовать для производства холода. Например, американец Хэй в пустынной местности построил несколько солнечных домов, названных небесными теплицами (рис. 5.8), в которых применена система теплохладоснабжения без использования вспомогательных источников.

Далее итальянские инженеры из научного общества Италии разработали специальную пленку, отражающую солнечные лучи (коротковолновое излучение) и хорошо пропускающую ночное излучение (длинноволновое излучение); растянув эту пленку под открытым небом, они проводят эксперименты по созданию системы охлаждения на основе ночного излучения и в дневные часы.

В Японии в ясную погоду зимой плотность потока эффективного излучения составляет около $100 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Однако летом в связи с большим содержанием водяных паров в атмосфере она уменьшается до $50-60 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, и для системы охлаждения это излучение нельзя использовать.

В лаборатории авторов создана охлаждающая установка, работающая благодаря использованию солнечного и ночного излучения, в которую снизу подается свежий воздух. Установка состав-

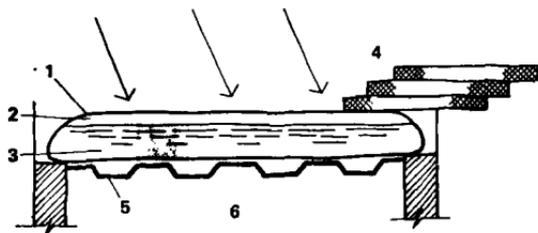
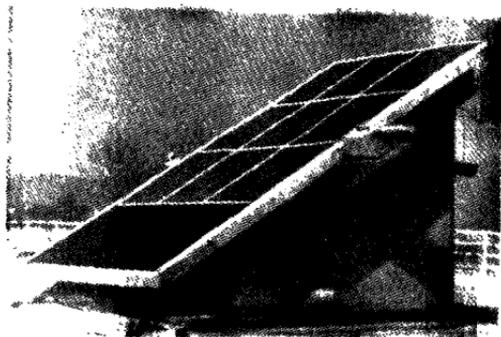


РИС. 5.8. ТЕПЛОВОЙ АККУМУЛИРУЮЩЕ-ИЗЛУЧАЮЩИЙ КОНТЕЙНЕР В СИСТЕМЕ "НЕБЕСНОЙ ТЕПЛИЦЫ" ХЭЯ

1 - пластмассовая пленка; 2 - слой воздуха; 3 - вода; 4 - передвижная теплоизоляционная панель; 5 - потолочный радиатор; 6 - помещение

РИС. 5.9. ВНЕШНИЙ ВИД ОХЛАЖДАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ, ДЕЙСТВУЮЩЕЙ БЛАГОДАря СОЛНЕЧНОМУ И НОЧНОМУ ИЗЛУЧЕНИЯМ



ляет единый формообразующий элемент с крышей помещения (рис. 5.9).

Наружный воздух поступает через отверстия, расположенные в нижней трети пластины солнечного коллектора, протекает между стеклянным покрытием и пластинами и нагнетается по трубам в аккумулятор тепла. Летом в ночные часы можно за счет излучения в ночное небо довести температуру воздуха в помещении до $22-24^{\circ}\text{C}$, что на $2-3^{\circ}\text{C}$ ниже, чем температура наружного воздуха.

Если бы при помощи какого-либо устройства можно было сохранить полученный холод и использовать его на следующий день, чтобы в течение дня температура воздуха в помещении не поднималась выше 27°C , то был бы получен тепловой эффект, для обеспечения которого потребовалась бы абсорбционная холодильная установка холодопроизводительностью $500 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{день})$. При этом, однако, не достигалось бы уменьшения влажности. Зимой весь внешний воздух становится как бы коллектором, и поскольку тепловоспринимающая часть плиты с отверстиями становится подогреваемым участком, почти не наблюдается теплопотерь. В этом случае возможна простейшая конструкция трубопровода при обычном давлении в помещении.

Кроме того, существуют другие способы охлаждения: например, крыша установки делается в форме глиняной ступки и холодный воздух втягивается путем естественной циркуляции. Можно также устроить на крыше приспособление для разбрызгивания воды или применить какой-либо другой метод охлаждения.

Надо иметь в виду, что в туманные и ветреные дни невозможно охладить помещение за счет ночного излучения, а также добиться уменьшения влажности воздуха в нем. Следовательно, целесообразно спроектировать такую систему охлаждения, которая имела бы простую конструкцию и употреблялась бы только для вспомогательных целей, а не как специализированное устройство.

5.5. ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУНТА ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ

Температура грунта различна в зависимости от качества почвы. Обычно на глубине 7–10 м годовая температура постоянна и близка к среднегодовой температуре воздуха. Следовательно, если среднегодовая температура в Токио 16–18°C, а в Фудахоро 10–12°C, то при умелом использовании грунта можно устроить вполне подходящую систему охлаждения воздуха. Конечно, при наличии колодца наиболее эффективной была бы система охлаждения при помощи колодезной воды. Однако во многих районах нет подземных вод, а в местах, где такие воды есть, ограничено число колодцев, способных обеспечить бесперебойное водоснабжение. Существуют колодцы, в которых, несмотря на длительный срок службы, вода еще не полностью высохла, и ими продолжают пользоваться. Однако если использовать колодец для снабжения системы охлаждения, то каждый час необходимо выкачивать из него 1 т воды, и, естественно, это приведет к его осушению.

При отсутствии подпочвенных вод в грунте в вертикальном или горизонтальном направлении прокладывают трубы, по которым пропускают наружный воздух, и таким образом охлаждают его. Этот метод охлаждения давно известен: в 1830 г. в Греции был прорыт так называемый охладительный тоннель длиной 91,5 и шириной 2,74 м, предназначенный для охлаждения психиатрической больницы. В этой системе для организации циркуляции воздуха не применяются вентиляторы. Благодаря нагреву за счет тепла, выделяющегося при конденсации паров воды в верхней части сооружения, возникает термосифонная циркуляция. Когда не было специальных охладительных установок, такой способ широко использовали для охлаждения помещений. Этим способом можно также подогревать холодный зимний воздух или запастись теплым воздухом в летний период.

При прокладке вертикальных труб получают воздушные колодцы с двойными стенками: наружный воздух по внешней трубе поступает в грунт, где попадает во внутреннюю трубу, находящуюся в самой нижней части системы, и там нагревается (или охлаждается).

Этот способ, который некоторые считают технической новинкой, был запатентован еще Тайсё (1912–1926), и уже тогда в трубах применялась пленка, имеющая дезинфицирующие свойства и предотвращающая появление плесени.

Экспериментальными системами охлаждения с использованием охлаждающих поперечных труб и воздушного колодца с вертикальными трубами были оборудованы несколько солнечных домов. Пока, как и следовало ожидать, положительных результатов получить не удалось. В системах обоих типов монтажно-установочные работы оказались очень дорогими, а длина труб и площадь внутренней поверхности – недостаточными. В целом достигнутые результаты хуже, чем в случае применения комнатного охладителя. Следует иметь в виду, что при прокладке охлаждающих труб нужно тщательно следить за сохранностью фундамента дома.

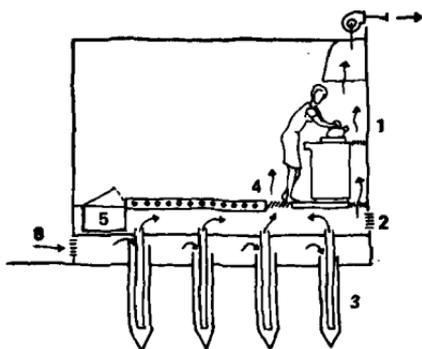


РИС. 5.10. КУХОННЫЙ ВЕНТИЛЯТОР, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД (ПАССИВНАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ)

1 — отверстие для поступления воздуха зимой; 2 — переключение на солнечное отопление; 3 — трубы с двойными стенками; 4 — отверстие для поступления воздуха летом; 5 — кладовая; 6 — внешний воздух

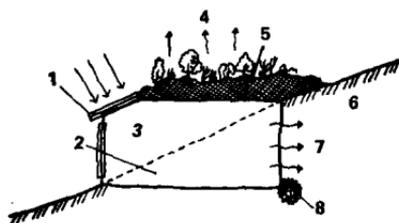


РИС. 5.11. ЖИЛОЙ ДОМ, ЧАСТИЧНО РАСПОЛОЖЕННЫЙ В ГРУНТЕ

1 — коллектор для системы горячего водоснабжения; 2 — поступающее солнечное излучение; 3 — отопление; 4 — охлаждение испарением; 5 — слой грунта; 6 — охлаждение; 7 — использование холода и тепла земли; 8 — дренажное отверстие

Если в жилом доме установить охлаждающую систему с комнатным охладителем, то необходимо проложить трубопровод из труб диаметром 30 см и длиной 40 м на глубине более 2 м. Если строительные работы проводить без учета правил техники безопасности, предусматривающих условия залегания грунта и его структуру на строительном участке, то экономического эффекта ожидать не следует.

Один из древнейших способов охлаждения кухни с использованием грунта с одновременной вентиляцией помещения известен во всем мире и применяется в жилищах, которые размещают целиком или частично в грунте (рис. 5.10). Он позволяет наиболее эффективно использовать тепло земли. В последнее время этот способ особенно тщательно изучают в США, и уже построено несколько зданий, где он используется.

На рис. 5.11 представлен типичный дом, который частично находится в грунте с южной стороны склона холма; слой почвы, на которой растет трава, сверху покрывает крышу.

В северо-западной части США, где летом бывает также жарко, как на о. Хоккайдо в Японии, создают системы теплохладоснабжения и горячего водоснабжения без вспомогательных энергоисточников. Летом действует система охлаждения с использованием теплоты грунта, зимой отопительные устройства работают за счет солнечного излучения, а горячее водоснабжение обеспечивается теплом, вырабатываемым коллекторами, установленными на верандах.

В Японии не так просто найти участок холма с южным склоном, находящийся в таких благоприятных условиях. Если бы все же подходящую местность удалось найти, то там следовало бы строить дома с солнечной системой охлаждения.

ГЛАВА 6 УСТАНОВКА СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ И КОНТРОЛЬ ЗА ИХ РАБОТОЙ

6.1. МОНТАЖ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

До сих пор работы по монтажу солнечных водонагревателей и коллекторов производились способами, выработанными практикой. В 1981 г. в постановлении, изданном министерством строительства, они были отнесены к разряду работ, выполняемых на кровле с выступающими конструкциями. Вслед за этим комиссией по экономии энергии при строительстве жилых домов было составлено "Руководство по проектированию монтажных и проведению пусконаладочных работ для гелиосистем жилых домов". Затем на основе этих положений были выпущены "Стандарты технических специалистов по работам с гелиоустановками".

Практические способы монтажа водонагревателей подробно изложены в "Руководстве для производителей водонагревателей", составленном на основе вышеупомянутого Руководства; в принципе пусконаладочные работы должны осуществляться специалистами. Слишком подробно все эти Руководства знать не обязательно. В книге приведены основные положения из этих документов, которыми следует руководствоваться при монтаже солнечных водонагревателей.

1. *Выбор места размещения установки.* Место размещения солнечного водонагревателя следует выбирать так, чтобы создать оптимальные условия для его эффективной работы и обеспечить безопасность конструкции здания, на котором монтируется водонагреватель. Так, чтобы избежать возникновения ветровых нагрузок и больших локальных напряжений на отдельных участках кровли, следует располагать солнечные водонагреватели по возможности в центре крыши (рис. 6.1).

В районах, где выпадает много снега, солнечные водонагреватели лучше устанавливать на таком участке крыши, который менее подвержен нагрузкам, появляющимся в результате снежных заносов (рис. 6.2).

2. *Прочность крыши и приспособления для защиты зданий.* Каждый участок конструкции здания, на котором устанавливают солнечный водонагреватель, должен обладать достаточной прочностью и устойчивостью по отношению к дополнительной нагрузке, появляющейся при установке водонагревателя. Поэтому рекомендуется провести меры по дополнительному упрочнению конструкций уже построенного здания. Монтажные работы необходимо проводить так, чтобы не повредить кровельный ковер и изоляционный слой; кроме того, следует обеспечить достаточную гидроизоляцию здания. На участках крыши, где проложена проволока или другие металлические элементы, необходимо устроить водосливные устройства, чтобы избежать скопления воды, появления ржавчины и водорослей.

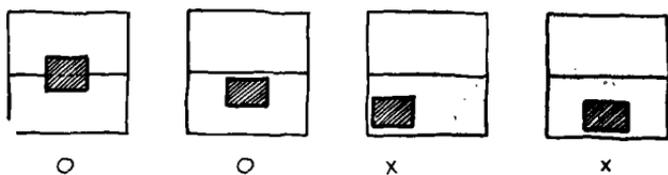
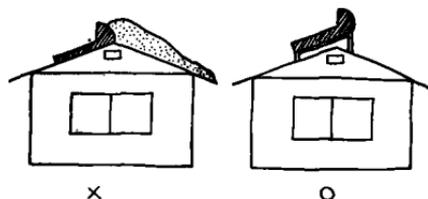


РИС. 6.1. РАСПОЛОЖЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ НА КРЫШЕ ЗДАНИЯ

РИС. 6.2. УСТАНОВКА СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ НА КРЫШЕ ДОМОВ В РАЙОНАХ С БОЛЬШИМ КОЛИЧЕСТВОМ СНЕЖНЫХ ОСАДКОВ



3. *Способы крепления солнечных водонагревателей.* Солнечные водонагреватели или их опорные конструкции должны быть жестко закреплены на определенных, рассчитанных на соответствующие нагрузки элементах здания так, чтобы избежать падения водонагревателей или опорных конструкций, их срыва с крыши в результате снежных завалов, землетрясений и ветровых нагрузок; величина возникающей нагрузки рассчитывается в зависимости от местности, где установлен солнечный водонагреватель. Обычно она определяется из расчета: постоянная нагрузка + дополнительная нагрузка.

4. *Способ крепления солнечного водонагревателя при помощи проволоки.* При прокладке и натяжении проволоки необходимо, чтобы на каждый несущий элемент конструкции здания приходилась бы по возможности равная нагрузка. Несущими

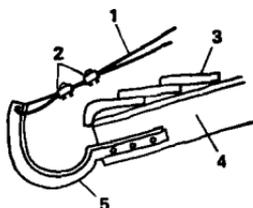


РИС. 6.3. МОНТАЖ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ПРОВОЛОКИ

1 — проволока; 2 — зажимы; 3 — черепица; 4 — стропила; 5 — металлическая скоба

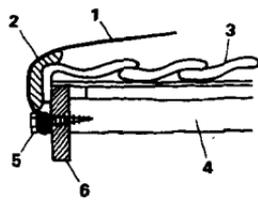


РИС. 6.4. УСТАНОВКА ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ ПРИ ПОМОЩИ ПРОВОЛОКИ И КРЕПЕЖНОГО МАТЕРИАЛА

1 — проволока; 2 — крепежный материал; 3 — черепица; 4 — брус перекрытия; 5 — шуруп; 6 — щипец

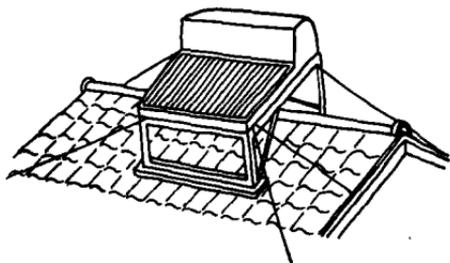


РИС. 6.5. УСТАНОВКА ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЕГО НАГРУЗКИ ПРИ ПОМОЩИ ОПОРНЫХ ПОДСТАВ

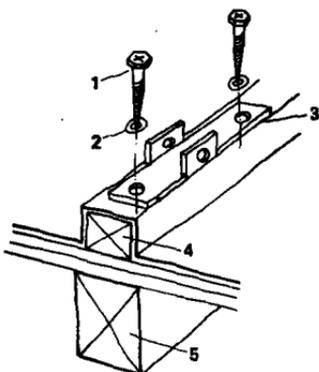
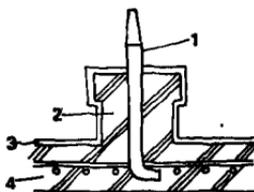


РИС. 6.6. АНКЕРНЫЕ БОЛТЫ И ШУРУПЫ В ЧЕРЕПИЧНОЙ КРЫШЕ

1 — шуруп; 2 — водонепроницаемая прокладка; 3 — резиновая прокладка; 4 — черепичный брус; 5 — стропила

РИС. 6.7. УСТАНОВКА СОЛНЕЧНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ПОМОЩИ АНКЕРНЫХ БОЛТОВ

1 — анкерный болт; 2 — основание; 3 — влагопроницаемый слой; 4 — плита



элементами здания считаются те части конструкции, которые рассчитаны на определенную нагрузку; если здание сделано из дерева или имеет металлический каркас, то такими элементами могут быть перекрытия, стропила, фермы, балки и т.д. В случае железобетонной конструкции здания такими элементами являются плиты, стропила, балки, парапеты, стены и др. Если для установки водонагревателя используют боковые стены (щипец), то эти стены, а также балки или перекрытия необходимо дополнительно укрепить.

Не рекомендуется выбирать место установки водонагревателя близко от торца здания, поскольку это затрудняет некоторые монтажные операции при сборке или разборке. При обвязке водонагревателя проволокой нужно её жестко натянуть или использовать специальный крепежный материал. Между проволокой и черепицей следует проложить защитный слой или специальную прокладку во избежание появления ржавчины или каких-либо других повреждений (рис. 6.3 и 6.4).

Монтаж водонагревателей или опорных конструкций рекомендуется проводить с таким расчетом, чтобы возникновение сосредоточенной нагрузки на кровле не привело к ее повреждению или появлению протечек. При установке водонагревателей непосредственно на крыше желательно использовать специальные приспособления для крепления кровельных материалов (рис. 6.5).

5. *Способ крепления водонагревателей при помощи анкерных болтов.* Если кровельный ковер состоит из черепицы или асбеста, то для крепления водонагревателей к стропилам или перекрытиям используют анкерные болты. Чтобы предотвратить протечки воды через сквозные отверстия для болтов, используют водонепроницаемые прокладки или покрытия из силиконовых материалов (рис. 6.6 и 6.7).

6.2. УСТАНОВКА ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА

При выборе участка кровли для установки плоского солнечного коллектора следует принимать во внимание наклон крыши здания или перил веранды, а также рельеф местности. Для монтажа коллектора такого типа сначала нужно подготовить опорные подставки, а затем при помощи болтов укрепить коллектор. Такой коллектор производится на заводах и не включается в структуру здания. На участке кровли, где устанавливают солнечный коллектор, должны быть приведены все необходимые кровельные работы и после этого возведены опорные подставки (см. рис. 6.9).

Как видно из рис. 6.8, поверхность кровли представляет собой алюминиевую плиту, поверх которой проложена алюминиевая балка для опорных подставок. Поскольку опоры коллектора выполнены также из алюминия, то однородность металлов предотвращает возможность появления ржавчины в точках соприкосновения опорных конструкций с защитным покрытием крыши. Алюминиевые опорные конструкции крепятся к стропилам крыши болтами из нержавеющей стали. Место выхода болта

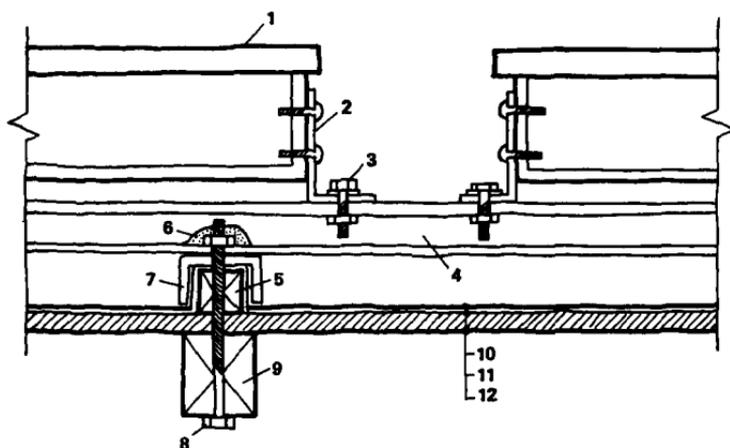
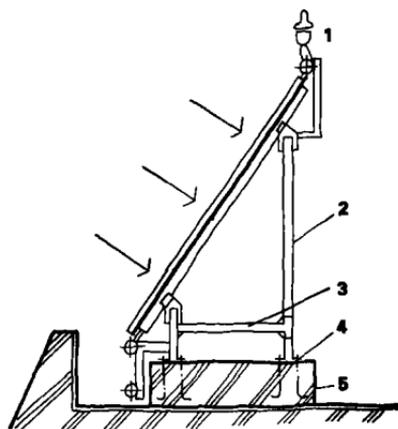


РИС. 6.8. ПРИМЕР УСТАНОВКИ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА НА ЧЕРЕПИЧНОЙ КРОВЛЕ

1 — коллектор (алюминиевые профили); 2 — уголок из нержавеющей стали для установки коллектора; 3 — болты из нержавеющей стали; 4 — алюминиевая балка; 5 — черепица; 6 — силиконовая набивка; 7 — алюминиевая балка; 8 — болт из нержавеющей стали; 9 — стропила; 10 — алюминиевая плита; 11 — асфальтовый ковер; 12 — основание кровли

РИС. 6.9. ПРИМЕР УСТАНОВКИ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА НА ПЛОСКОЙ КРЫШЕ
 1 – воздушник с автоматическим клапаном; 2 – опорная конструкция L 50x50x6 мм; 3 – плита основания 6 мм; 4 – анкерный болт М 16x250L; 5 – бетонное основание



заливается силиконовой набивкой для предотвращения появления протечек. Опорные конструкции каждого коллектора крепятся к кровле в двух местах, они размещаются на уголках из нержавеющей стали.

При установке коллектора на плоской крыше ему при помощи опорных конструкций (рис. 6.9) придается нужный наклон. Это требует дополнительных расходов на установку опорных конструкций. Очень часто опорные конструкции стоят открыто на крыше дома, что нарушает его архитектурный облик. Как правило, для установки опорных конструкций на плоских крышах нужно закладывать бетонное основание, но при этом следить, чтобы там не скапливалась вода. Преимуществом этого способа крепления опор является его относительная простота.

При монтаже коллектора такого типа необходимо обратить внимание на то, чтобы опорные подставки и болты были достаточно надежными, способными выдержать нагрузки от ветра и снежного покрова, а также колебания от землетрясений. Само собой разумеется, что все работы по монтажу и установке коллекторов должны проводиться в соответствии с требованиями "Руководства по проектированию монтажных и проведению пусконаладочных работ для гелиосистем жилых домов".

6.3. УСТАНОВКА КОЛЛЕКТОРА, ВХОДЯЩЕГО В СТРУКТУРУ ЗДАНИЯ

О солнечных коллекторах, составляющих единое целое со структурой здания, говорилось в разд. 2.7. Рассмотрим более подробно способы установки коллекторов такого типа.

На рис. 6.10 показан внешний вид солнечного коллектора после его монтажа в структуре здания. С первого взгляда виден дом с черепичной крышей, покрытый оцинкованным железом; остекленная поверхность крыши отражает небо. Такой дом красиво смотрится снаружи и вполне подходит для обоих стилей – японского и европейского. Данный вид солнечного коллектора по всем элементам конструкции отвечает требованиям стандартов, он изготовлен на заводе и собирается на месте установки. Он прост в монтаже и надежен в эксплуатации.

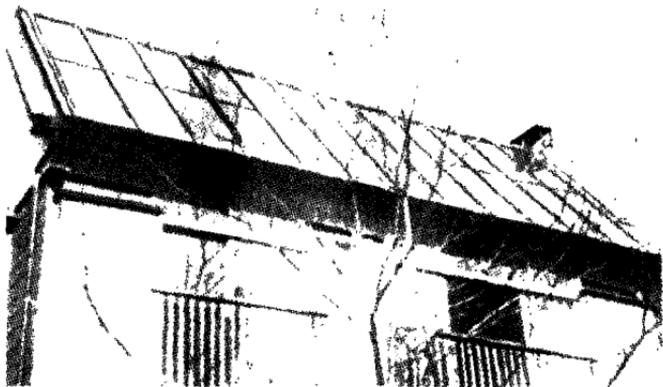


РИС. 6.10. ВНЕШНИЙ ВИД СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА, СОСТАВЛЯЮЩЕГО ЕДИНЫЙ ФОРМООБРАЗУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ С КРЫШЕЙ ЗДАНИЯ

Кроме того, этот тип коллектора, являясь формообразующим элементом, выполняет роль кровли и совершенно не пропускает влагу. В Японии в настоящее время чрезвычайно мало примеров установки таких коллекторов. В будущем, по всей вероятности, такой способ установки коллекторов получит более широкое применение.

На рис. 6.11 представлен детальный порядок проведения работ при установке коллекторов, составляющих единое целое со структурой здания. На рис. 6.11, а расстояние между стропилами, соответствующее ширине стеклянных листов, составляет 606 мм. На рис. 6.11, б укладываемые между стропилами алюминиевые влагозащитные плиты, включающие теплоизоляционные материалы, в местах стыковки прикрепляются к основанию крыши.

На рис. 6.11, в между влагозащитными алюминиевыми плитами размещают держатели для крепления стеклянных листов, представляющие собой алюминиевые профили, изготовленные методом выдавливания и подогнанные к размерам крыши. Они прикрепляются к стропилам шурупами или болтами.

На рис. 6.11, г между держателями стеклянных листов устанавливают тепловоспринимающие элементы коллекторов; а на рис. 6.11, д сверху по всей крыше укладывают стеклянные листы и в местах соединения монтируют декоративные прокладки.

Как показано на рис. 6.10, на кровле дома размещают по вертикали два стеклянных листа, а по горизонтали — 12, т.е. всего 24 стеклянных листа. Затем к коллекторам подключают трубы, оснащают их теплоизоляционными материалами, снабжают специальными покрытиями и на стыках с коньком крыши накладывают декоративные прокладки. Такие коллекторы, образующие единое целое с конструкцией крыши, не обеспечивают полную влагозащиту, поэтому необходимо предпринимать дополнительные меры по устранению возможности проникания влаги. При

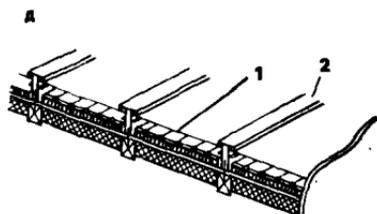
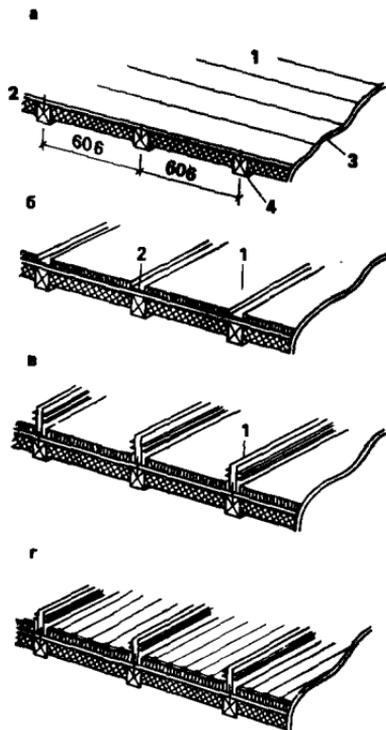


РИС. 6.11. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПРИ УСТАНОВКЕ КОЛЛЕКТОРОВ, ВХОДЯЩИХ В СТРУКТУРУ ЗДАНИЯ

а – подготовка кровли для установки солнечного коллектора; 1 – асфальтовое покрытие; 2 – пенопласт; 3 – основание; 4 – стропила; **б** – укладка алюминиевых теплоизоляционных плит, включающих влагозащитные материалы: 1 – влагозащитные плиты; 2 – место стыковки; **в** – укладка держателей для крепления стеклянных листов: 1 – вспомогательные элементы держателей; 2 – установка элементов коллектора; **д** – укладка стеклянных листов и декоративных прокладок: 1 – стекло; 2 – декоративные прокладки

наличии солнечных коллекторов на крыше под воздействием повышенных температур возможно размягчение асфальтового ковра кровли, что также необходимо иметь в виду. В целях предупреждения пожаров рекомендуется защитить коллекторы термостойкими материалами (помимо стекла).

6.4. УСТАНОВКА ВАКУУМИРОВАННОГО ТРУБЧАТОГО КОЛЛЕКТОРА

Установка вакуумированных трубчатых коллекторов в принципе существенно не отличается от размещения плоских солнечных коллекторов (коэффициент ветровых нагрузок одинаковый). Важно отметить, что такие коллекторы состоят из набора вакуумированных стеклянных трубок, поэтому обращаться с ними следует в соответствии с приводимыми рекомендациями (рис. 6.12).

Как бы ни был расположен участок, где монтируется коллектор, – горизонтально (на плоской крыше), с некоторым наклоном или вертикально, в любом случае угол наклона коллектора к горизонту можно устанавливать по выбору, поэтому место установки не ограничивает ориентацию коллектора.

Поскольку угол наклона теплоприемника в стеклянной вакуумированной трубке устанавливается на заводах, то, если коллектор изготавливается по заказу, необходимо этот угол указать.

При монтаже коллекторов такого типа следует обратить внимание на следующее:

1) плоскость установки коллектора должна иметь наклон более $1/50$, чтобы обеспечить откачку из него воздуха и слива воды;

2) коллектор должен устанавливаться так, чтобы верхние торцы трубок образовывали горизонтальную линию, а расстояние между панелями из трубок в коллекторе составляло более 400 мм. При этом вокруг коллектора необходимо иметь свободное пространство не менее 1 м (рис. 6.13);

3) соединение с входной трубой коллектора осуществляется в точке, расположенной на 200 мм ниже уровня плоскости коллектора; выходная труба помещена на 50 мм выше уровня плоскости коллектора (рис. 6.14);

4) в трубчатом коллекторе монтаж автоматического воздушного клапана и обеспечение наклона для дренажа воды осуществляются по такой же схеме, как у плоского коллектора;

5) во время транспортировки таких коллекторов для предотвращения поломки и нарушения герметичности трубок необходимо надевать на них специальные защитные покрытия, а весь коллектор упаковывать в чехол.

6.5. РАБОТЫ ПО ПОДСОЕДИНЕНИЮ ТРУБ

Монтаж трубопроводов в гелиосистемах включает работы по сборке коллекторных труб, соединяющих коллекторы и теплоаккумуляторные баки, а также по установке трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения, в том числе прокладку труб от аккумуляторного бака во внутренние помещения к каждому отопительному радиатору, а в системе горячего водоснабжения – к каждому крану. Обычно для солнечных домов используют стандартные трубы. Если выбрать трубы соответствующего диаметра, которые легко монтируются, то можно самостоятельно осуществить всю сборку. В этом случае экономятся средства на строительство дома.

Для оборудования гелиоустановок используют стальные и медные трубы, термостойкие трубы, покрытые поливинилхлоридом, полиэтиленовые и др.

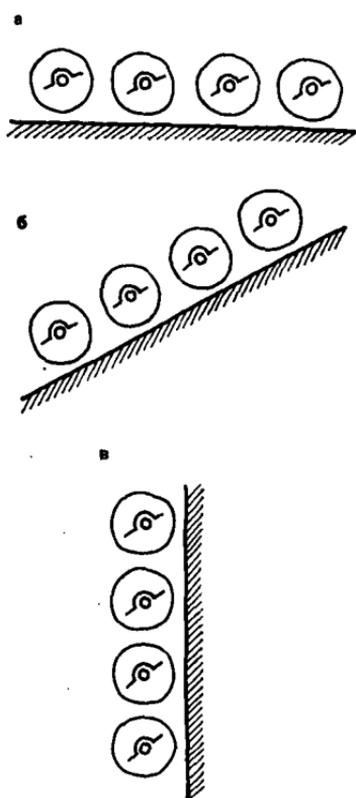
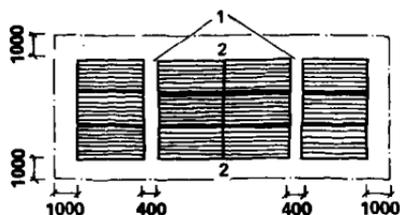


РИС. 6.12. ПРИМЕРЫ УСТАНОВКИ ВАКУУМИРОВАННЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

а – установка коллектора на плоской крыше; *б* – установка коллектора на покатой крыше; *в* – установка коллектора на вертикальной стене

РИС. 6.13. ПРИМЕР РАСПОЛОЖЕНИЯ ВАКУУМИРОВАННОГО ТРУБЧАТОГО КОЛЛЕКТОРА

1 — расстояние между панелями из труб; 2 — свободное пространство вокруг коллектора



В системах отопления и горячего водоснабжения наиболее удобными для монтажа являются медные трубы. Медные трубы часто используют в коллекторах. Если применять медные трубы с различными защитными покрытиями, чем обеспечиваются такие их свойства, как термостойкость, прочность, надежность и антикоррозионная активность, то они будут обходиться несколько дороже. Однако увеличение срока службы таких труб компенсирует затраченные средства.

Медные трубы с защитными покрытиями (рис. 6.15, а и б, имеются в продаже в виде катушек) можно использовать в качестве трубопроводов в коллекторах и системах горячего водоснабжения. Такие трубы из мягкой меди легко соединять, оставляя короткие концы на стыках.

Трубы типа, показанного на рис. 6.15, б, обеспечивают стабильную температуру теплоносителя, что особенно важно для районов с холодным климатом: чем толще слой защитного покрытия, тем достигается больший эффект сохранения стабильности температур. Спаренные трубы (рис. 6.15, в) с защитными покрытиями имеются в продаже, они применяются в системах отопления.

Стыковка труб и обработка участков стыка производятся при помощи инструмента, показанного на рис. 6.16, в следующем порядке (рис. 6.17):

1) с медной трубы снимается защитный слой и кусачками отсекается определенная ее часть, затем зачищаются внутренняя и наружная поверхности;

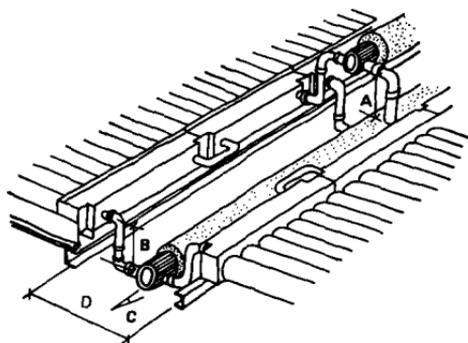


РИС. 6.14. ПРИМЕР УСТАНОВКИ ВАКУУМИРОВАННОГО ТРУБЧАТОГО КОЛЛЕКТОРА

$A \geq 200$ мм; $B \geq 50$ мм; $C \geq 1/50$; $D \geq 400$ мм

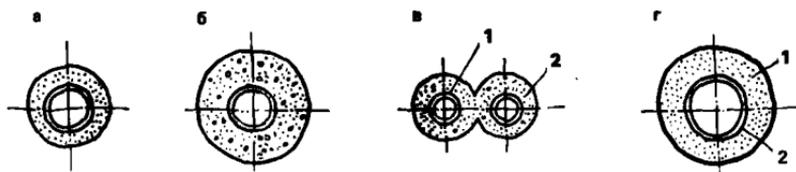


РИС. 6.15. ТИПЫ МЕДНЫХ ТРУБ С ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ
 а – медные трубы с защитными покрытиями из пенополиэтилена;
 б – медные трубы с изолирующими покрытиями из вспененных смол;
 в – медные спаренные трубы с изолирующими покрытиями для систем отопления: 1 – трубы из мягкой меди $\varnothing 9,52 \times 0,64$; 2 – пенополиэтилен; г – трубы из этиленпропилендиенового мономера: 1 – теплоизоляционное губчатое покрытие из этиленпропилендиенового мономера; 2 – трубы с этиленпропилендиенового мономера

2) края труб выравниваются, чтобы плоскость среза была перпендикулярна образующей трубы;

3) места соединения зачищаются "шкуркой", и на стык труб наносится небольшой слой припоя;

4) паяльной лампой нагревают места соединения труб так, чтобы довести поверхность меди до красного каления; между концами примеряют размеры паяльной проволоки, а затем нагревают ее. Когда она начинает плавиться, ее накладывают на место стыка;

5) после пайки место стыка протирают мокрой тряпкой и придают ему красивый вид.

6.6. ВАЖНЕЙШИЕ ЭТАПЫ ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

После завершения монтажа гелиосистем необходимо провести комплекс мероприятий по проверке качества монтажных работ.

1) *Гидравлические испытания* преследуют цель обеспечить правильность монтажа трубопроводов, исключаящую возможность подтекания труб. Для этого необходимо осмотреть всю систему и убедиться, что сварка трубопроводов и сборка всех участков соединений наземных труб и коллекторных трубопроводов, а также соединения коллекторов с основным трубопроводом выполнены правильно. Испытательное давление устанавливают 2 кгс/см^2 , после этого его понижают до величины, которая приведена в паспортах коллекторов.

При испытании солнечных водонагревателей следует убедиться в надежности резьбовых соединений тех участков труб, по которым подается вода.

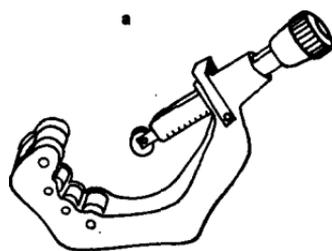
2) *Дренажные испытания* предназначены для определения возможности полного слива воды из труб. Обычно при монтаже трубопровода обязательно обеспечивается наклон трубопровода, необходимый в системе как с открытым, так и с закрытым отбором воды. На рис. 6.17 представлены случаи, когда невозможен полный дренаж воды. При монтаже труб следует избегать подобных ситуаций.

В системах с открытым отбором воды при нарушении работы воздушника, расположенного в верхней части трубопровода, затрудняется дренаж воды, осуществляемый за счет естественного слива. В таких системах следует проверить надежность клапана воздушника.

3) *Испытания приборов автоматического контроля системы.* Для контроля работы гелиосистем служат обычно датчики разности температур, при помощи которых осуществляются автоматические пуски и выключения коллекторных насосов. Существуют датчики различных видов. В данном случае требуются такие, у которых можно установить значения разности температур, характерные для работы коллекторных насосов. В зимний период, когда принудительная циркуляция теплоносителя с помощью насосов применяется для предотвращения замерзания, необходимо тщательно проверить реле с обозначением температуры замерзания. Летом, когда насосы используют для предотвращения перегревов, нужно проверить реле с обозначением температуры перегрева.

4) *Внешний осмотр оборудования.* После монтажа трубопроводов рекомендуется при визуальном осмотре убедиться, нет ли повреждений или деформаций в системах коллекторов, не загрязнены ли поверхности покрытий или отражающих панелей. Кроме того, следует проверить состояние черепичного или другого кровельного покрова, а также убедиться в надежности водонепроницаемого известкового раствора.

5) *Надежность креплений коллекторов.* При проверке надежности креплений коллекторов и опорных подставов необходимо убедиться в полной их безопасности. Для этого нужно проверить прочность болтовых соединений на



б



в



г

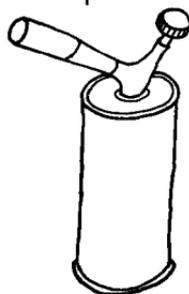


РИС. 6.16. ИНСТРУМЕНТЫ И МАТЕРИАЛЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБ

а — кусачки для труб; б — паяльная проволока (катушка 500 г); в — паяльный прибор (50 г); г — паяльная лампа (пропановая)

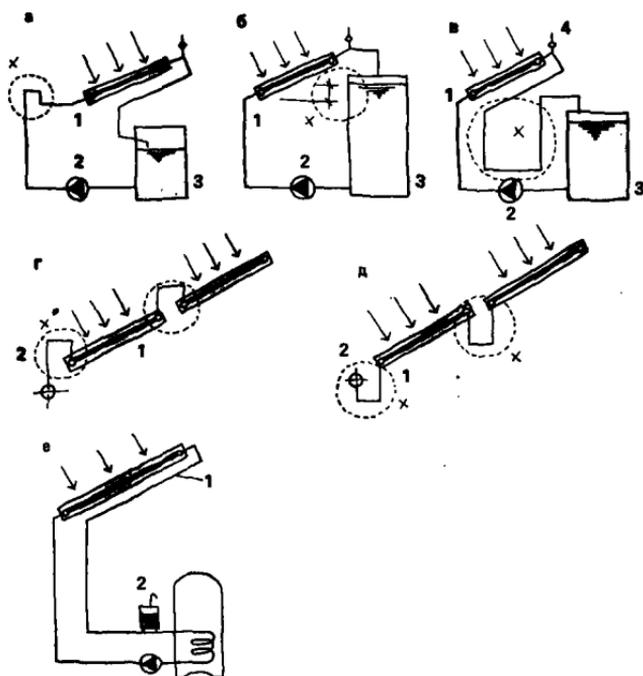


РИС. 6.17. ПРИМЕРЫ НЕПРАВИЛЬНОГО МОНТАЖА ТРУБОПРОВОДА

а: 1 – коллектор; 2 – коллекторный насос; 3 – теплоаккумуляторный бак; б: 1 – коллектор; 2 – коллекторный насос; 3 – теплоаккумуляторный бак; в: 1 – коллектор; 2 – коллекторный насос; 3 – теплоаккумуляторный бак; 4 – автоматический воздушник; г: 1 – коллектор; 2 – поднимающийся участок трубопровода; д: 1 – коллектор; 2 – поднимающийся участок трубопровода; е: 1 – расположение открытого расширительного бака внизу неудобно, поскольку при включении или выключении насоса падает давление. Кроме того, затрудняется соединение медных труб, а также установка резиновых труб; 2 – расширительный бак

участках коллекторов и опор, убедиться в прочности крепления опор к крыше и проверить прочность креплений проволокой. Важно также проконтролировать надежность креплений шурупами и соединений труб.

6.7. СОЛНЕЧНЫЕ ВОДОНАГРЕВАТЕЛИ, ТАЙФУНЫ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Срок службы солнечных водонагревателей, как видно из сказанного, определяется не только их качеством, но и надежностью монтажа. При неправильном монтаже солнечные водонагреватели, в основном устанавливаемые на крышах, могут

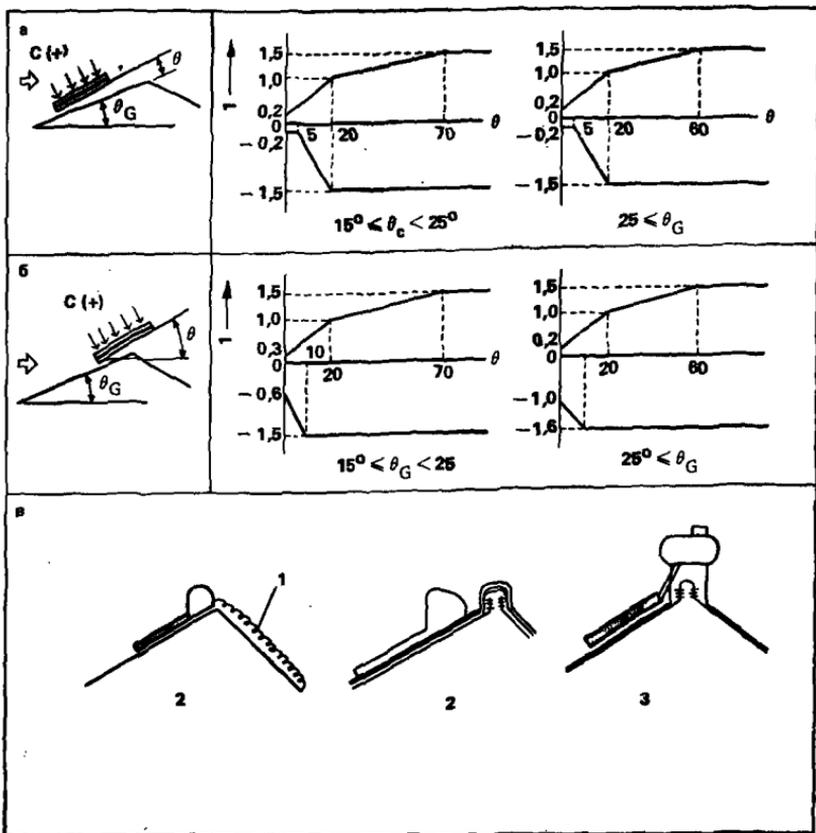


РИС. 6.18. СПОСОБ УСТАНОВКИ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ С УЧЕТОМ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК

а и б: 1 — коэффициент ветровых нагрузок; е: 1 — проволока; 2 — установка без опор; 3 — установка на опорах. Данный способ, обеспечивающий надежную установку водонагревателя, способствует уменьшению воздействия внешней нагрузки вдвое

сорваться или скатиться с крыши, что представляют большую опасность не только для самого здания, но и для людей.

Кроме обычных требований при проектировании способа монтажа и выборе водонагревателей необходимо учитывать возможные внешние нагрузки.

При проектировании установки солнечных водонагревателей с учетом внешних ветровых нагрузок (рис. 6.18) следует принимать в расчет постоянную и дополнительную нагрузки. Обычно к стабильной нагрузке добавляют напряжения, возникающие при тайфунах и землетрясениях, которые действуют в течение короткого периода времени. В Японии, где имеются географические районы, в которых случаются землетрясения и тайфуны, при монтаже солнечных водонагревателей необходимо обеспечивать конструктивную надежность зданий с учетом этих возможных нагрузок.

1) *Ветровые нагрузки* выражаются формулой $P = CqA$, где C – коэффициент ветровой нагрузки; q – удельная нагрузка; A – условная площадь. Удельная нагрузка на жилое помещение считается нормальной при $q = 135 \text{ кгс/см}^2$. Коэффициент ветровой нагрузки C зависит от способа и угла установки водонагревателя. Обычно если угол между кровлей и водонагревателем менее 20° , то коэффициент ветровой нагрузки не превышает 1.

При расчетах прочности конструкций зданий нагрузку обычно определяют в условиях заполненного водой водонагревателя. Поэтому когда начинается тайфун, не следует забывать заполнить водонагреватель водой.

2) *Нагрузки при землетрясениях* выражаются формулой $K = kw$, где k – степень колебания горизонтальной поверхности, а w – обычная нагрузка (постоянная + дополнительная). Что касается степени колебания горизонтальной поверхности, то для различных районов установлен определенный показатель допустимой нагрузки z , который следует учитывать при соответствующих расчетах.

6.8. НАИБОЛЕЕ ХАРАКТЕРНЫЕ ТРУДНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

1) *Протечки и повреждения трубопроводов в результате замерзания воды.* Причинами протечек могут быть повреждения труб, ослабление резиновых прокладок или дефекты в сварных соединениях. Если в гелиосистеме появляются протечки, системе следует выключить. В большинстве случаев причиной протечек является поломка труб в результате замерзания воды, которая обычно служит теплоносителем (рис. 6.19). Известно, что при замерзании воды ее объем значительно увеличивается, емкость трубопроводов и коллектора оказывается недостаточной и они лопаются. В трубах, изготовленных из стали, вода замерзает сразу, а в медных трубах она может совершить 5 циклов циркуляции.

2) *Появление ржавчины.* Обычно металлы сильно подвержены коррозии. Поэтому в гелиосистемах, где используют металлические материалы, всегда существует опасность появления коррозии. За последнее время достигнут значительный прогресс в развитии антикоррозионных технологий и разработаны активные средства по борьбе с коррозией. Рекомендуется выбирать такие солнечные коллекторы и трубы, которые выполнены из антикоррозионных материалов. При выборе теплоаккумуляторных баков часто останавливаются на изделиях, выполненных из стальных листов, поскольку они обладают хорошими качествами и не слишком дороги. В этом случае следует принимать антикоррозионные меры и тщательно следить за состоянием баков. Если используют электрохимический метод антикоррозионной защиты, его контроль необходимо осуществлять ежегодно. При применении ингибиторов коррозии следует тщательно следить за их концентрацией.

3) *Ухудшение свойств используемых материалов.* В процессе эксплуатации гелиосистем в экстремальных условиях исходные

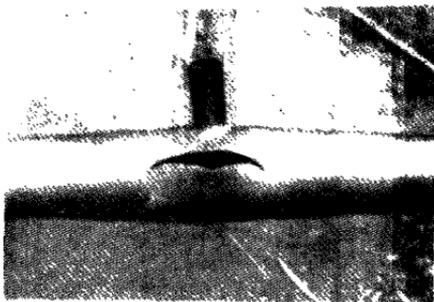


РИС. 6.19. ПРОТЕЧКИ, ОБРАЗОВАВШИЕСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАЗРУШЕНИЯ ТРУБ ПРИ ЗАМЕРЗАНИИ ВОДЫ

свойства их элементов существенно меняются. Например, элементы гелиосистем, которые служат приемниками солнечного излучения и устанавливаются на крышах, в процессе работы могут менять свои качества. Солнечные коллекторы непосредственно поглощают солнечное излучение, и вследствие перегревов их свойства также могут изменяться. При отсутствии отвода тепла температура поверхности плоского солнечного коллектора, окрашенного в черный цвет, достигает 150°C ; коллектора, оснащенного селективно-поглощающей пленкой, 180°C , а вакуумированного трубчатого коллектора 250°C . Поэтому рекомендуется выбирать солнечный коллектор, изготовленный из материалов, обладающих термостойкостью. Следует также проследить, чтобы соединения коллектора с трубопроводом, а также соединения корпуса с остеклением были выполнены из термостойких и прочных материалов.

4) *Просачивание воды и появление инея на поверхности остекления.* При ухудшении свойств материалов, из которых изготовлены коллекторы, дождевая вода может начать просачиваться внутрь коллектора, попадая на участки соединения теплоизоляционных материалов с алюминиевыми или медными плитами. Это может явиться одной из причин появления коррозии. Более того, если вода проникает внутрь коллектора, она может вызвать образование инея на внутренней поверхности остекления.

5) *Падение коллекторов с крыши.* При неправильной установке и монтаже коллекторов и водонагревателей или недостаточном тщательном закреплении анкерных болтов, проволоки, шурупов и других крепежных элементов коллекторы могут быть сорваны ударной волной и сброшены с крыши при возникновении тайфунов или землетрясений.

6) *Поломка остекления.* Для оборудования жилых домов, как правило, применяют плоские солнечные коллекторы фабричного производства с полуармированным стеклом толщиной 3,2 мм. Такие коллекторы почти безопасны для эксплуатации в условиях жилых домов. При их сборке на местах лучше не пользоваться крупноформатными стеклами и по возможности использовать полуармированное стекло.

6.9. СРОК СЛУЖБЫ ГЕЛИОСИСТЕМ

Этот показатель определить не просто. Существует чрезвычайно большое разнообразие типов бытовых солнечных систем; материалы, используемые при их изготовлении, также весьма различны. Кроме того, сферы применения гелиосистем и условия их эксплуатации существенно различаются. История инженерных разработок гелиосистем чрезвычайно коротка, и в настоящее время экспериментальные данные относительно срока службы гелиосистем и их арматуры практически отсутствуют. Однако ниже приводятся некоторые сведения, касающиеся срока службы гелиосистем.

1) *Солнечный водонагреватель в виде стационарной установки с системой периодической подачи воды.* Среди установок такого типа наиболее простым по конструкции и дешевым является водонагреватель, состоящий из нескольких рядов в виде пластмассовых емкостей. Считается, что эти водонагреватели имеют самый непродолжительный срок службы – 1–2 года. Водонагреватели такого типа иногда выполняются из прозрачных панелей армированного полиэфира с пленочным покрытием из поликарбоната или фторорганических смол; под влиянием прямого солнечного излучения поверхность этих панелей через 7–10 лет желтеет и становится мутной, так что Японским промышленным стандартом предусматривается их замена по прошествии указанного срока.

2) *Водонагреватели с естественной циркуляцией воды.* Обычно срок их службы составляет 10–15 лет.

Срок службы коллекторных панелей в значительной степени зависит от качества питательной воды – от степени ее жесткости, содержания солей и органических веществ и др. Срок службы последних образцов водонагревателей такого типа составляет более 10 лет в тех случаях, когда используется вода с подходящими свойствами. В районах, расположенных близ морского побережья, вода содержит большое количество солей, поэтому рекомендуется выбирать водонагреватели, у которых коллекторная пластина выполнена из полиэтилена. Следует иметь в виду, что чаще всего повреждения происходят в винтовых соединениях и в прокладках кранов и клапанов.

Корпус водонагревателя в большинстве случаев делают из листовой стали, обработанной поливинилхлоридом. Такой корпус служит более 10 лет. Изделия с лакокрасочными покрытиями также за последние годы существенно усовершенствованы. Нужно только следить за тем, чтобы не повредить покрытие при монтаже или ремонте.

3) *Солнечные коллекторы как элементы систем.* Обычно солнечные коллекторы такого типа проектируются как изделия заводского производства со сроком службы 15–20 лет. Для изготовления этих коллекторов используют самые различные материалы. Прочность коллекторов определяется конструктивными материалами, а также качеством конструктивных узлов. Такие коллекторы можно рекомендовать для использования, при этом следует соблюдать правила их установки и эксплуатации. Если в местах стыковки изделий, выполненных из различных метал-

лов, появятся протечки воды, то их немедленно надо устранить, в противном случае начнется коррозия металлических деталей, что приведет к сокращению срока службы коллектора.

4) *Аккумуляторные баки.* При использовании в гелиосистемах аккумуляторных баков закрытого типа применяют коррозионную защиту током, пропускаемым по электропроводящему стеклокерамическому покрытию, нанесенному на стальные листы; такой метод называют катодной защитой. Эти аккумуляторные баки имеют почти такую же конструкцию, как в системе водонагревателя, работающего на электричестве ночного тарифа; при хорошем режиме контроля срок их службы составляет 10–15 лет.

Используемые в гелиосистемах аккумуляторные баки открытого типа в большинстве случаев изготавливают из пластика, армированных стекловолокном, или высокомолекулярного полиэтилена. Антикоррозионную защиту в этих случаях обычно не производят. Однако в процессе эксплуатации наблюдается ухудшение термических свойств таких баков. При использовании различных видов пластика, армированных стекловолокном, сроки службы аккумуляторных баков сильно зависят от способов эксплуатации. Для изготовления аккумуляторных баков используют также стальные листы. Если при этом применять ингибиторы коррозии, то срок службы баков может превышать 20 лет.

6.10. СПОСОБЫ ЧИСТКИ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

При загрязнении поверхности стекол, являющихся составными элементами солнечных коллекторов, ухудшается их коэффициент пропускания и соответственно уменьшается количество излучения, поступающего на коллекторные пластины. Это ведет к снижению коэффициента полезного действия коллектора. Обычно загрязнение поверхности стекла в значительной степени зависит от угла наклона коллектора к горизонту. Оптимальным, как уже говорилось, считается угол наклона в пределах 30° . Следует, однако, учитывать, что по мере приближения к городам и заводским объектам возрастает количество пыли в воздухе: даже в частных владениях содержание пыли увеличивается при перемещении от парковых участков к тропинкам, дорожным магистралям и железнодорожным трассам.

Следовательно, степень загрязнения поверхности остекления солнечных коллекторов меняется также в зависимости от места их установки. Поэтому если даже солнечный коллектор имеет угол наклона в пределах 30° , целесообразно регулярно производить чистку его остекления.

В соответствии с данными американских ученых, в результате загрязнения коэффициент пропускания стекол в солнечных коллекторах уменьшается на 2–3%. В Японии в городских условиях этот коэффициент, по-видимому, снижается более интенсивно.

В гелиосистемах, предназначенных для охлаждения, чаще всего угол наклона солнечного коллектора к горизонту составляет $10\text{--}20^\circ$; при таком малом угле загрязнения от осадков и других внешних факторов особенно существенны. Однако и в

случае, когда угол наклона большой, желателно обязательно производить регулярную чистку коллекторов.

Существует несколько способов чистки солнечных коллекторов: промывка остекления из шланга, промывка ручным или механическим способом. В условиях жилого дома, когда коллектор устанавливают на крыше, ручным способом его чистить весьма неудобно. Поэтому полезно при монтаже коллектора подготовить опору для крепления шланга с водой. Идеальным вариантом является устройство площадки, по которой можно приблизиться к коллектору. В этом случае достаточно просто осуществляется регулярная очистка остекления коллектора, что, безусловно, продлевает срок его службы.

6.11. НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНТРОЛЮ ЗА СОДЕРЖАНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ ГЕЛИОСИСТЕМ

Для исправной службы гелиосистемы на протяжении длительного времени необходимо, чтобы люди, пользующиеся ею, строго соблюдали правила по контролю эксплуатации. Гелиосистема представляет собой единый организм, и если не следить за состоянием ее оборудования и режимом эксплуатации, могут возникнуть неприятности, связанные с нанесением материального ущерба.

При эксплуатации и контроле за содержанием гелиосистем рекомендуется соблюдать следующие правила.

1) *Подготовка к зиме.* Для работы гелиосистем зимний сезон является наиболее неблагоприятным периодом, в течение которого могут возникнуть различные отклонения. В условиях климата Японии, отличающегося ветрами, температура воздуха часто снижается до уровня замерзания воды. Следовательно, в гелиосистемах надо обязательно принимать меры, предотвращающие замерзание. Рекомендуется ввести в практику ежегодные контрольные испытания системы перед наступлением зимнего периода.

Наиболее распространенный способ предотвращения замерзания состоит в использовании антифризных растворов, циркулирующих в трубопроводах замкнутого контура. Очень важно следить за концентрацией антифризных растворов, поскольку от этого зависит температура их замерзания.

При принудительном дренаже воды с использованием электромагнитного клапана и клапана, предотвращающего замерзание воды, необходимо предварительно убедиться в их исправности. Мусор, попадающий в трубопровод, скапливается около этих клапанов и зачастую является причиной их неисправности. При использовании коллекторных насосов, создающих принудительную циркуляцию воды для предотвращения ее замерзания, следует сначала проверить исправность реле предотвращения замерзания в автоматическом регулирующем устройстве и лишь после этого включить температурный регулятор предотвращения замерзания воды.

2) *Отключение тока.* В жилых домах Японии почти никогда не отключают электропитания. При отключении электричества могут создаваться большие затруднения, но опыта, как посту-

пать при подобной ситуации, практически нет. При ведении различного рода работ бывают моменты, когда электричество полностью отключают. Что же следует предпринять в этом случае по отношению к геосистемам?

В геосистемах принудительная циркуляция воды с помощью коллекторных насосов используется как мера предотвращения замерзания воды, поэтому отключение электрического тока в зимний период равносильно замерзанию воды, т.е. связано с большой опасностью.

Отключение электричества летом чревато опасностью перегрева. В двухконтурной геосистеме с применением раствора антифриза возможен выход раствора из расширительного резервуара. Один из способов предотвращения этого явления состоит в сливе раствора антифриза из трубопровода. При использовании выпускного электромагнитного клапана следует выбирать такой, который бы автоматически срабатывал при отключении тока.

3) *В случае необходимости покинуть дом на длительный срок* следует отключить все электроисточники, питающие геосистему, и слить всю воду из коллекторов и трубопроводов. При применении раствора антифриза надо слить всю жидкость в резервуар и, поскольку вводить антифриз в систему не просто, можно оставить этот резервуар присоединенным к системе. Для предотвращения перегревов коллектора при отсутствии отвода тепла его поверхность желательно укрыть тканью или какими-либо другими материалами.

4) *Подготовка к тайфунам.* Чтобы предотвратить падение или скатывание водонагревателей с крыши под воздействием ветровых погрузок во время тайфуна, при поступлении сигналов о его приближении необходимо обязательно наполнить их водой. Затем следует тщательно проверить, не ослабли ли анкерные болты, проволока и другие крепежные средства, которые использованы при установке водонагревателя.

5) *Повседневный контроль.* Рекомендуются проверять, не появились ли протечки в трубопроводах. Для этого нужно ежемесячно измерять количество циркулирующей в системе воды. Если при измерениях появились данные об изменении количества воды в системе, это является сигналом о появлении протечек. Время от времени необходимо также внимательно осматривать места стыков резиновых труб. Обычно если в теплоаккумуляторном баке появляется пробоина, то коллекторные насосы начинают издавать необычные звуки.

ПОСЛЕСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

В книге С.Танака, Р.Суда "Жилые дома с автономным солнечным теплохладоснабжением" кратко, но достаточно четко представлены большинство разработанных в настоящее время устройств, позволяющих за счет солнечного излучения (в некоторых случаях полностью, а иногда частично в зависимости от климатических условий) обеспечить жилой дом теплом и горячей водой. В предлагаемом читателю послесловии редактор перевода посчитал необходимым дополнить книгу сведениями о некоторых современных исследованиях, которые могут в ближайшем будущем оказаться чрезвычайно перспективными для архитекторов, проектировщиков, конструкторов, строителей солнечных жилых домов.

Авторы упоминают о селективных оптических покрытиях, поглощающих почти весь поток падающего солнечного излучения и одновременно превращающих солнечный коллектор в устройство, практически не излучающее тепло. Возможность создания таких покрытий основана на том счастливом для разработчиков солнечных коллекторов факте, что спектр падающего солнечного излучения не совпадает со спектром собственного теплового излучения поверхности коллектора при характерных для него рабочих температурах 40–80°C. Спектр наземного солнечного излучения охватывает интервал длин волн от 0,3 до 2,5 мкм, а спектр собственного теплового излучения коллектора — от 2,5 до 40 мкм. Исследователи получили тем самым теоретическую возможность создавать поверхности, которые в одной области спектра были бы черными, поглощающими солнечное излучение, а в другой — белыми, весьма слабо излучающими. Практические достижения в этой перспективной области науки оказались впечатляющими — экспериментаторам удалось создать покрытия, сообщающие поверхности коллектора способность поглощать солнечное излучение почти на 95% и в то же время излучать в инфракрасной области собственного теплового излучения не более 4–5%. Пластины с такими покрытиями, как показали эксперименты, выполненные в лаборатории автора этих строк, способны в вакууме при отсутствии других видов тепловых потерь нагреваться от лампы-имитатора солнечного излучения без концентраторов до температур 350–400°C, без подвода энергии в какой-либо другой форме, кроме однократного светового потока.

Естественно, что из этих опытов вытекает желание использовать селективные покрытия, обеспечивающие значение отношения коэффициента поглощения к коэффициенту излучения, превышающее 20, в вакуумированных трубчатых коллекторах, где конвективные потери практически отсутствуют, поскольку поглощающая солнечное излучение поверхность внутренней трубки отделена от внешней прозрачной стеклянной трубки вакуумированным промежутком. К тому же в коллекторах подобной конструкции эффективные селективные покрытия, состоящие, как правило, из нескольких слоев весьма тонких оптических пленок (толщиной от 0,01 до 0,1 мкм), защищены стеклянной оболочкой от неблагоприятного воздействия влаги и кислорода воздуха.

Многочисленные эксперименты показали, что именно такие вакуумированные коллекторы с оптическими селективными покрытиями позволяют нагревать теплоносители — воду или антифриз (даже при достаточно больших скоростях их прохождения по внутренним каналам коллектора) до температур 80–90°C, что делает возможным применение в жилом доме не только системы солнечного отопления и горячей воды водоснабжения, но и системы кондиционирования на основе, например, адсорбционных холодильных машин с хладагентом, имеющим подходящую температуру испарения.

Весьма перспективна также разработка солнечных систем, где вакуумированные коллекторы будут работать в сочетании с тепловыми насосами, кратко описанными в книге. Ведь вокруг любого жилого дома имеется значительное количество низкопотенциального тепла (тепло воздуха, тепло поверхностных и более глубоких слоев земли, тепло рек, морей, озерных водоемов), которое не удастся использовать для энергоснабжения из-за слишком низкого уровня температур. Поднять такой уровень помогают тепловые насосы.

Тепловой насос представляет собой холодильную машину, совершающую обратный цикл. Хладагент, например фреон или аммиак, циркулирует в замкнутом цикле, включаящем в себя компрессор. С помощью редукционного (или дроселирующего) клапана теплоноситель в горячей части цикла (в конденсаторе) поддерживается при повышенном давлении, а в холодной части (в испарителе) — при пониженном. При сжатии температура теплоносителя повышается и он сжимается, отдавая тепло, например, в помещение жилого дома. Проходя через дроселирующий клапан, теплоноситель быстро сбрасывает температуру и испаряется, отбирая тепло от окружающей среды, от источника низкопотенциального тепла.

Если, например, тепло от источника с температурой 10°C передается в радиаторы системы отопления дома с температурой 50°C, то тепловой коэффициент

насосов, как показывают расчеты, может составить 4,8. Это означает, что при мощности компрессора 1 кВт переданная тепловая мощность составит 4,8 кВт.

Исследования показали, что солнечный коллектор, особенно трубчатый вакуумированный, может быть использован при работе теплового насоса дома в качестве испарителя, а в бак-аккумулятор может быть помещен теплообменник, в котором будет происходить конденсация хладагента и тем самым нагрев содержимого бака-аккумулятора.

Для работы компрессора теплового насоса необходима электрическая энергия (как и для устройств дома, например для электробытовых приборов). Источником электроэнергии для таких потребителей внутри жилого дома могут служить солнечные батареи, представляющие собой набор последовательно или параллельно соединенных тонких (толщиной 0,3–0,4 мкм) полупроводниковых пластинок с электронно-дырочными переходами внутри, получивших название солнечных элементов. При ярком солнечном освещении солнечные батареи площадью 30 м² способны генерировать не менее 3 кВт электрической мощности, которая частично может идти на питание компрессора теплового насоса и электробытовых приборов, частично — на подзарядку электрохимических аккумуляторов, используемых для получения электроэнергии в темное время суток.

Таким образом, ученым и инженерам удалось найти ряд технических решений, позволяющих эффективно преобразовывать солнечное излучение в наиболее удобные для практического использования формы энергии — электрическую и тепловую. При современном уровне разработки полупроводниковых солнечных элементов, тепловых солнечных коллекторов, тепловых насосов, селективных оптических покрытий и теплоизоляционных материалов могут быть созданы полностью энергетически автономные жилые дома, которые будут надежно эксплуатироваться в течение десятков лет как в обжитых и освоенных, так и в самых отдаленных и труднодоступных районах земного шара. В связи с этим возникает важный вопрос, от ответа на который зависит будущее солнечных домов с комбинированной энергетической установкой электро- и теплоснабжения: будут ли такие дома экономически выгодны и способны ли они окупить затраты на их постройку за время эксплуатации? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо прежде всего оценить стоимость наиболее дорогостоящего элемента энергетически автономных солнечных домов — полупроводниковой солнечной батареи.

Еще совсем недавно — 10 или 15 лет назад — солнечная батарея площадью 1 м², генерирующая при ярком солнечном освещении около 100 Вт электрической мощности, стоила 5–10 тыс. дол. (50 дол. за 1 Вт пиковой мощности!^х). Пиковой в данном случае значит максимальной, производимой при самых благоприятных условиях, наибольшей освещенности и невысокой температуре. Конечно, столь дорогие, хотя и очень удобные источники электроэнергии можно было применять только на борту космических аппаратов, заполненных еще более ценными приборами и электронной аппаратурой. За последние 10–15 лет разработчики солнечных батарей добились больших успехов в трудном деле снижения стоимости солнечных батарей. Резко уменьшились цены на исходные полупроводниковые материалы, была улучшена и в значительной степени автоматизирована технология изготовления солнечных элементов, существенно производительнее стал процесс сборки отдельных элементов в солнечные батареи, найдены защитные прозрачные материалы, позволяющие герметизировать батареи, предохранить их от воздействия неблагоприятных внешних факторов и обеспечить 20–30-летний срок их безотказной работы.

В настоящее время стоимость 1 Вт пиковой мощности, генерируемой наземными солнечными батареями, оценивается в 5 дол. Если учесть среднее число часов солнечного сияния в тех местностях, где предполагается строить солнечные дома, считать реальным 20-летний срок их эксплуатации, удвоить затраты на батарею из-за необходимости сделать надежной и прочной ее конструкцию, то стоимость 1 кВт·ч производимой сейчас такими батареями электроэнергии будет оцениваться в 30–35 центов, что лишь в несколько раз превышает цены на электроэнергию, получаемую от электростанций обычного типа.

Вполне обоснованные экономические прогнозы показывают, что переход к тонкопленочной технологии изготовления солнечных батарей, использование таких полупроводниковых материалов, как аморфный кремний или селенид индия и меди, поглощающих все фотоактивное солнечное излучение при толщине материала всего 1–2 мкм (для поглощения солнечного света в обычных солнеч-

^х Здесь и далее цены в долларах, поскольку приводимые оценки основаны на зарубежных данных, однако экономические прогнозы советских специалистов, посвященные себестоимости выпускаемых отечественных солнечных батарей (с некоторыми из которых можно ознакомиться, изучив публикации, приводимые в списке дополнительной литературы), в основном совпадают с зарубежными.

ных элементах из монокристаллического кремния требуется слой полупроводника, в 100–150 раз более толстый), позволит к периоду после 1995 г. уменьшить стоимость 1 Вт пиковой мощности, генерируемой в наземных условиях солнечными батареями, до 0,5 дол. и соответственно стоимость 1 кВт·ч до 3–4 центов. Стоимость же электроэнергии, получаемой от электростанций, работающих на обычном ископаемом топливе – нефти или газе, может к этому времени даже возрасти, достигнув 25–30 центов за 1 кВт·ч.

Таким образом, использование солнечных батарей станет не только технически, но и экономически выгодным. Учитывая экологическую чистоту этого источника электроэнергии, бесшумность его работы, отсутствие каких-либо вредных побочных отходов, уже в наши дни целесообразно применять солнечные батареи в экспериментальных проектах автономных электростанций и солнечных домов, приобретать архитектурный и конструкторский опыт создания зданий нового типа, накапливать данные длительной эксплуатации таких устройств в разнообразных климатических условиях.

В СССР начаты испытания отдельных систем, необходимых для создания таких домов с полностью автономным энергообеспечением.

В 1987 г. в Крыму, под Алуштой, вступила в строй экспериментальная база по использованию солнечной энергии Московского научно-исследовательского энергетического института имени Г.М.Кржижановского. В начале декабря 1987 г. в конференц-зале этой базы проходил первый научный семинар на тему "Практика проектирования и эксплуатации систем солнечного тепло- и хладоснабжения", в котором участвовал и автор этих строк. Участники семинара рассказывали о работе и показывали фотографии многих действующих нашей стране солнечных установок, но самое большое впечатление на участников семинара произвело архитектурное и инженерное решение зданий самой экспериментальной базы. Оба главных здания базы, спроектированных киевским архитектором Г.А.Хорхотом, немного напоминают египетские пирамиды. Плоскости обоих зданий обращенные к югу, заполнены солнечными коллекторами из легких зачерченных алюминиевых панелей, оттеняющих другие поверхности зданий, покрытые плитами из белого камня. Коллекторы, площадь которых превышает 1100 м², снабжают тепловой энергией напольно-потолочную систему отопления, обеспечивают здание горячей водой, обогревают бассейн с морской водой. В жаркие летние месяцы эффективное кондиционирование помещений осуществляется за счет использования морской воды в двухконтурной системе и применения больших холодильных агрегатов.

В том же году в Крыму, недалеко от Ялты, начал работать советско-чехословацкий профсоюзный пансионат "Дружба". Для пансионата не нужна котельная, загрязняющая голубое небо и воздух Крыма дымом и несгоревшими твердыми частицами-взвесями. Все отопление и кондиционирование большого девятиэтажного цилиндрического здания пансионата обеспечивается теплонасосной установкой, разработанной специалистами "Союзкурортпроект", расположенной в пьедестале-цоколе. Компрессоры теплонасосной установки, использующие электроэнергию, обеспечивают обычный холодильный цикл фреона. Работая зимой в обратном цикле, компрессоры повышают температуру закачиваемой в первичный контур установки морской воды с +6...7°С до +30°, а летом – уже в прямом холодильном цикле – охлаждают с ее помощью здание, поскольку на расстоянии 150–200 м от берега, где теплонасосная установка забирает морскую воду, температура воды даже в жаркие летние дни на сравнительно небольшой глубине не поднимается выше +15...16°С.

В 1989–1990 гг. в Краснодарском крае РСФСР, в поселке Черноморский, должны быть пущены в эксплуатацию солнечный поселок, включающий около 20 одно- и двухэтажных жилых домов, летний сад, сельскохозяйственный комплекс, очистные сооружения. На крышах всех этих зданий будут расположены полупроводниковые солнечные батареи из кремния, а в подвале зданий установлены электрохимические аккумуляторы. Общая мощность автономных энергетических установок этого первого в СССР солнечного поселка, разрабатываемого научно-производственным объединением "Квант", составляет более 400 кВт. Несколько домов поселка в 1987 г. уже приняли первых жильцов. Площадь крыши каждого из жилых домов – 50–70 м², в летний солнечный день она может отдавать электрическую мощность до 4–6 кВт.

Не вызывает сомнений, что в недалеком будущем мы окажемся свидетелями комбинации в жилых, общественных или административных зданиях всех упомянутых систем тепло-, хладо- и электроснабжения: полупроводниковых солнечных батарей, солнечных тепловых коллекторов, тепловых насосов. Авторы солнечного поселка в Краснодарском крае, например, уже сейчас работают над усовершенствованием автономных энергоустановок, которыми оборудованы дома этого поселка, с целью получить от солнца не только электричество, но и тепловую энергию для систем отопления, кондиционирования и горячего водоснабжения этих

домов.

Разнообразные солнечные установки могут быть расположены вокруг жилого дома и использоваться независимо друг от друга, хотя широкое применение преобразователей солнечного излучения в электрическую и тепловую энергию, грядущее в весьма недалеком будущем, требует, конечно, объединения этих устройств в едином функциональном энергетическом узле здания, который удобнее всего для экономии места и средств расположить на крыше или даже использовать вместо крыши здания. Эта важная проблема будет решена, когда будут созданы и пройдут испытания эффективные комбинированные фототермические коллекторы солнечного излучения.

Как уже упоминалось ранее, наиболее простую из таких конструкций представляет собой обычный плоский солнечный коллектор с каналами для прохождения теплоносителя — воздуха или воды, на световоспринимающей поверхности которого укреплена плоская полупроводниковая солнечная батарея. Именно такой конструктивный принцип лежал в основе создания солнечного дома в университете штата Делавэр (США), построенного и испытанного около двенадцати лет назад. Комбинированные фототермические коллекторы этого дома были выполнены из плоских тонкопленочных солнечных элементов на основе слоев сульфида кадмия, помещенных между двумя слоями стекла. За солнечными элементами располагались профили треугольного сечения, по которым продувался воздух. Отопление здания осуществлялось с помощью воздуха, нагретого за счет теплосъема с тыльной поверхности солнечных элементов. У этого фототермического коллектора был слишком велик уровень тепловых потерь (ведь защитное стекло на обеих поверхностях солнечных элементов обладает слишком большим коэффициентом излучения) и низкий КПД использованных солнечных элементов. Коэффициент усвоения солнечного излучения в описанном случае не превышал 50%: 3% падающего на поверхность коллектора излучения Солнца превращалось в электроэнергию, 47% — в тепло.

В научных публикациях советских специалистов описаны различные варианты фототермических коллекторов, объединяющих в единой конструкции солнечные батареи и тепловые коллекторы. Среди разработанных и успешно испытанных в СССР фототермических коллекторов могут быть выделены три конструкции, наиболее удачные с точки зрения снижения оптических и тепловых потерь и в то же время достаточно надежные и долговечные при длительной эксплуатации.

Первая из конструкций представляет собой плоский тепловой коллектор с каналами для прохода теплоносителя (вода, антифриз или воздух), выполненный из любых достаточно теплопроводных металлов (например, сплавов алюминия, стали, меди, латуни), на внешнюю поверхность которого вместо селективного покрытия наклеены солнечные элементы из монокристаллического, поликристаллического или аморфного полупроводникового материала. Коллектор снабжен, как обычно, внешним слоем из стекла, снижающим в основном конвективные потери. Между поверхностью солнечных элементов и внешним стеклом имеется воздушный зазор в несколько сантиметров, с тыльной стороны коллектора расположен слой теплоизоляции (минеральная вата, пенополиуретан). Снижению тепловых потерь излучением в данной конструкции способствует несколько технических решений:

1) на обращенную к солнечным элементам и коллектору сторону внешнего стекла может быть нанесено прозрачное в области солнечного спектра и в то время обладающее малым коэффициентом собственного теплового излучения селективное покрытие, созданное, например, на основе оксидов олова, индия или их смесей, стантонов кадмия или состоящее из слоистых структур, полученных чередованием полупрозрачных металлических пленок и диэлектрических слоев (например, сульфида цинка, полупрозрачных алюминия или серебра и снова сульфида цинка);

2) в качестве преобразователя солнечного излучения в электричество могут быть использованы не обычные солнечные элементы с диффузионным электронно-дырочным переходом внутри полупроводника, а солнечные элементы с расположенным на их поверхности барьером металл-полупроводник (барьер Шоттки) или барьером металл — туннельный диэлектрик-полупроводник, а также барьером, образованным с полупроводником прозрачной электропроводящей пленкой из оксидов олова или индия. В этом случае излучательная способность ϵ поверхности солнечных элементов определяется природой и толщиной полупрозрачного металлического слоя или прозрачной электропроводящей пленки и может быть уменьшена с 0,86—0,92 (величина, обычно характерная для солнечных элементов) до 0,1—0,3;

3) на поверхность солнечных элементов могут быть наклеены защитные стекла, на внешнюю сторону которых предварительно нанесен слой прозрачной электропроводящей пленки из оксидов олова, индия или их смесей, например толщиной 0,4—0,5 мкм и с удельным поверхностным слоев сопротивлением не более

25–30 Ом на квадрат. В этом случае излучательная способность поверхности солнечных элементов также снижается до значений менее 0,3.

Следует отметить, что весьма важным достоинством конструкции описанного фототермического коллектора является возможность замены его настила крыши жилого дома, что, конечно, заметно уменьшает расходы на строительство. Суммарный коэффициент усвоения солнечного излучения таким коллектором может достигать 55–60%. Конструкция плоского фототермического коллектора может быть значительно облегчена и удешевлена, если вместо сравнительно тяжелого теплового коллектора из металлов или их сплавов использовать гибкий легкий коллектор на основе полимерных материалов, а внешний слой стекла заменить на прозрачную светостойкую пленку, например выполненную на основе фторсополимеров. В этом случае солнечные элементы должны быть, конечно, сделаны не из моно- или поликристаллических пластинок, а из тонких полупроводниковых пленок, например на основе сульфида кадмия, селенида меди и кадмия или аморфного кремния и его соединений с другими элементами.

Вторая из возможных конструкций фототермического коллектора выполнена на основе стеклянного трубчатого вакуумированного коллектора, у которого селективное покрытие на поверхности внутренней стеклянной или металлической трубки заменено на кристаллические или пленочные солнечные элементы с поверхностью, имеющей низкую излучательную способность. При металлической внутренней трубке в конструкции такого коллектора можно использовать тепловые трубы из металла (с сетчатым наполнителем и органическим или пароводяным теплоносителем внутри), представляющие собой устройства, способные практически без потерь передать тепловой поток с одного конца трубы на другой, причем их может разделять расстояние более 1 м. При применении тепловых труб вместо или внутри внутренней металлической трубки коллектора теплосъем осуществляется с концов тепловых труб, выведенных за пределы внешних стеклянных оболочек, что облегчает и упрощает конструкцию коллектора в целом, особенно если он состоит из нескольких десятков или сотен труб. Однако использование внутренних стеклянных трубок вместо металлических тоже имеет свои преимущества, превращая конструкцию в полностью стеклянную, свободную от дефицитного металла, и избавляя тех, кто эксплуатирует такие устройства, от необходимости бороться с коррозией металлов. При полностью стеклянном вакуумированном коллекторе теплоноситель проходит по внутренней стеклянной трубке, куда могут быть введены также направляющие поток теплоносителя полимерные трубки малого диаметра. Коэффициент усвоения солнечного излучения рабочей поверхностью вакуумированного фототермического коллектора достаточно высок — не менее 70–75%, однако у него имеется серьезный конструктивный недостаток — низкий коэффициент заполнения световоспринимающей площади, например в здании — площади крыши. Слишком много места (даже при плотном, близком друг к другу расположении стеклянных трубок) занимают вакуумированные зазоры между внешней и внутренней трубкой. Этот недостаток вакуумированных фототермических коллекторов может быть преодолен нанесением на тыльную половину внутренней поверхности внешней стеклянной трубки отражающего слоя алюминия, который будет выполнять роль встроенного в коллектор концентратора солнечного излучения, направляющего его в внутренней поглощающей излучение трубке дополнительное количество энергии. Такой концентратор солнечного излучения будет к тому же изолирован от воздействия неблагоприятных климатических факторов и на его поверхность не надо наносить защитные слои.

Разработана модификация вакуумированного фототермического коллектора, отличия которой от конструкции, рассмотренной выше, состоит в том, что солнечные элементы расположены не на поверхности внутренней трубки, а внутри нее, причем вся полость внутренней стеклянной трубки заполнена прозрачной светостойкой кремнийорганической жидкостью. Солнечные элементы генерируют электроэнергию, поступающую через электрические выводы коллектора к потребителям внутри жилого дома. Накопленное элементами тепло передается кремнийорганической жидкости, а от жидкости — теплоносителю (воде или антифризу), проходящему через жидкость по полимерным трубкам. Тепловое излучение от внутренней трубки в данной конструкции резко уменьшено благодаря нанесенному на ее поверхность селективному покрытию с малой излучательной способностью, одновременно прозрачному в спектральной области солнечного излучения.

Такая конструкция фототермического коллектора сложнее других, однако у нее имеется весомое достоинство: кремнийорганическая жидкость выполняет (до некоторой степени, конечно) обязанность аккумулятора тепла, сглаживая резкие скачки в выработке тепла, которые наблюдаются у коллекторов других типов при переменах погоды и изменениях освещенности (затенение солнца тучами).

Данный фототермический коллектор, разработанный с участием автора этих строк, успешно прошел натурные испытания, подтвердив характеристики, полученные при расчетах. Суммарный коэффициент усвоения солнечного излучения рабочей поверхностью такого коллектора при небольших расходах теплоносителя достигал 75–80%.

Необходимо также упомянуть, что стабильность характеристик солнечных элементов при работе в описанном коллекторе значительно повышена благодаря защитному действию инертной в химическом и электрическом отношении кремнийорганической жидкости. Слой кремнийорганической жидкости над поверхностью солнечных элементов, как было обнаружено в ходе натурных испытаний, до некоторой степени играет в данной конструкции роль фокусирующей линзы, увеличивая выходную электрическую мощность, генерируемую элементами.

Следует указать, что технико-экономические показатели всех трех типов фототермических коллекторов могут быть существенно улучшены, если они будут снабжены дешевыми и долговечными внешними концентраторами солнечной энергии, что позволит значительно уменьшить площадь, которую должен занимать коллектор для выработки всей необходимой жилому дому тепловой и электрической энергии.

Расчетные оценки показывают, что стоимость фототермических коллекторов в ближайшие годы будет на 85–90% определяться себестоимостью солнечных батарей, в связи с чем экономические прогнозы, сделанные для наземных солнечных батарей массового народнохозяйственного применения (для электропитания электронных приборов, радиоприемников, магнитофонов, часов, калькуляторов), могут быть вполне обоснованно отнесены и к фототермическим коллекторам. Разработчикам технологии изготовления фототермических коллекторов следует стремиться к максимальному снижению веса, увеличению КПД, улучшению энерго-массовых и эксплуатационных характеристик солнечных батарей, автоматизации их производства и, конечно, улучшению и удешевлению конструкции. Имеются все основания для вывода: следующее десятилетие нашего века станет временем широкомасштабных экспериментов по созданию и практическому использованию как крупных, так и небольших жилых объектов с системами автономного энергообеспечения на основе тепловых и фототермических солнечных коллекторов.

М.М.Колтун

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Солнечная энергетика:** Пер. с англ. и фр./Под ред. Ю.Н.Малевского и М.М.Колтуна. — М.: Мир, 1979.
 2. **Преобразование солнечной энергии/**Под ред. Н.Н.Семенова и А.Е.Шилова. — М.: Наука, 1985. — Разд. 4. Солнечное теплоиспользование.
 3. **Бринкворт Б.Дж.** Солнечная энергия для человека: Пер. с англ./Под ред. Б.В.Тарнижевского. — М.: Мир, 1976.
 4. **Зокoley С.** Солнечная энергия и строительство: Пер. с англ./ Под ред. Ю.Н.Малевского. — М.: Стройиздат, 1979. — 215 с.
 5. **Скоков Ю.В., Закс М.Б., Нагайкин А.С., Разгоньев Ю.В.** Система электроснабжения микрорайона "Солнечный" на основе фотоэлектрической станции// Возобновляемые источники энергии: Тез. докл. Всесоюз. конф., 28-31 мая 1985 г., г. Ереван. — Т. 2. — С. 40-41.
 6. **Солнечное село//**Наука и жизнь. — 1987. — № 11. — С. 52, 33 и IV с. цветной вклейки.
 7. **Колтун М.М.** Селективные оптические поверхности преобразователей солнечной энергии. — М.: Наука, 1979. с.
 8. **Колтун М.М., Невезин О.А., Романкевич А.В., Юрин Е.М.** Повышение эффективности преобразователя солнечной энергии в тепловую на основе стеклянных вакуумированных труб//Телиотехника. — 1980. — № 4. — С. 3-4.
 9. **Колтун М.М., Матвеев В.П., Гаврилова И.П.** Фототермические коллекторы солнечного излучения//Телиотехника. — 1978. — № 1. — С. 3-12.
 10. **Колтун М.М., Гухман Г.А., Малевский Ю.Н.** и др. Многослойные селективные покрытия для солнечных коллекторов: А.с. 868282 СССР. — № 2852908; Заявл. 13.12.79; Опубл. в Б.И. — 1981. — № 36. — С. 145.
-
- (1) 田中俊六: 太陽熱冷暖房システム, オーム社, 1977.
ТАНАКА СЮНРОКУ. СИСТЕМЫ ХЛАДОТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛА. — ИЗД-ВО "ОМУ", 1977.
 - (2) 田中俊六, 浅野祐一郎: ソーラーハウスの設計と施工, オーム社, 1981.
ТАНАКА СЮНРОКУ, АСАНО ЮИТИРО. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО СОЛНЕЧНОГО ДОМА. — ИЗД-ВО "ОМУ", 1981.
 - (3) 日本太陽エネルギー学会編: 太陽エネルギー読本, オーム社, 1975.
СБОРНИК ТРУДОВ НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА "СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ ЯПОНИИ" НАУЧНОЕ ПОСОБИЕ "СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ". — ИЗД-ВО "ОМУ", 1975
 - (4) 日本太陽エネルギー学会編: 太陽エネルギーの基礎と応用, オーム社, 1978.
СБОРНИК ТРУДОВ НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА "СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ ЯПОНИИ": "СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ". — ИЗД-ВО "ОМУ", 1978.
 - (5) 木村建一: ソーラーハウス入門, オーム社, 1980.
КИМУРА КЭНИТИ. СОЛНЕЧНЫЙ ДОМ. — ИЗД-ВО "ОМУ", 1980.
 - (6) 中島康孝, 大橋一正: ソーラーハウス設計の実際, オーム社, 1980.
НАКАТОРИ ЯСУТАКА, ОХАСИ КАДЗУМАСА. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ДОМОВ. — ИЗД-ВО "ОМУ", 1980.
 - (7) (社) ソーラーシステム振興協会編: ソーラーシステムデザインガイド, オーム社, 1981.
СБОРНИК ТРУДОВ НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА ПО СТИМУЛИРОВАНИЮ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ: РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ. — ИЗД-ВО "ОМУ", 1981.
 - (8) 内山武夫: ソーラーハウス, 学芸出版社, 1979.
УТИЯМА ТАКЕО. СОЛНЕЧНЫЙ ДОМ. — ИЗД-ВО "ГАКУЭЙ СЮПАНСЯ", 1979.

- (9) 米国エネルギー省編, 野口哲男監訳: ソーラーシステムの基礎知識, 鹿島出版会, 1981.
ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ: СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ США / ПЕР. НОГУТИ ТЭПУДАН. - ИЗД-ВО КОСИМА СЮПАНКАЙ, 1981.
- (10) 下川健治, 川元昭吾, 間純一: これだけは知っておきたいソーラーシステムの知識, 鹿島出版会, 1982.
СИТАГАВА КЭНДЗИ, КАВАМОТО СЕГО, КАДО ДЗЮНИТИ. СВЕДЕНИЯ О СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМАХ. - ИЗД-ВО "КАСИМА СЮПАНСЯ", 1982.
- (11) ドナルド・ワトソン著, 高間三郎訳: ソーラーハウス入門, 日本工業新聞社, 1980.
ДОНАЛЬД ВАТСОН. СОЛНЕЧНЫЕ ДОМА / ПЕР. ОКАДО САБУРО. - ИЗД-ВО "НИХОНКОГЕСИНККАЙСЯ", 1980.
- (12) 後藤幸二: ソーラーシステム, 日刊工業新聞社, 1982.
ГОТО СИНДЗИ. СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ. - ИЗД-ВО "НИККАНКОГЕСИНКАЙ-СЯ", 1981.
- (13) 斎藤義和: 太陽エネルギーのフロンティア, 全国出版, 1981.
САЙТО ГИВА. ГРАНИЦЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ. - ИЗД-ВО "ДЗЕНКОКУСЮПАН", 1981.
- (14) 吉田正太郎: 太陽と家族たち, 誠文堂新光社, 1981.
ЕСИДО СЕТАРО. СОЛНЦЕ И ЖИЛЫЕ ДОМА. - ИЗД-ВО "СЭЙБУНДОСИНККОСЯ", 1981.
- (15) ウォレン・ケントン著, 矢島文夫訳: 占星術-天と地のドラマ, 平凡社, 1977.
УОРЕН КЕНТОН. АСТРОЛОГИЯ - НЕБЕСА И ДРУГИЕ МОМЕНТЫ / ПЕР. ЯДОРИ ФУМИО. - ИЗД-ВО "ХЕЙБОНСЯ", 1977.
- (16) 高津春繁: ギリシア・ローマ神話辞典, 岩波書店, 1960.
ТАКУЦУ ХАРУСИГЭ. СЛОВАРЬ МИФОЛОГИИ ГРЕЦИИ И РИМА. - ИЗД-ВО "ИВАНАМИ СЕТЭН", 1960.
- (17) 斎藤尚生: 有翼日輪の謎-太陽磁気圏と古代日食, 中央公論社, 1982.
САЙТО НАОИКУ. ТАЙНЫ СОЛНЦА - СФЕРА СОЛНЕЧНОГО МАГНЕТИЗМА И ЗАТМЕНИЯ СОЛНЦА В ДРЕВНИЕ ВРЕМЕНА. - ИЗД-ВО "ТЮОКОРОНСЯ", 1982.
- (18) アルビン・トフラー著, 徳山二郎, 鈴木健次, 桜井元雄訳: 第三の波, 日本放送出版協会, 1980.
АЛЬБИН ТОФУРУ. ТРЕТЬЯ ВОЛНА / ПЕР. ТОКУЯМЯ ДЗИРО, СУДЗУКИ КЭН-ДЗИ, САКУРАИ МОТО. - ИЗД-ВО "НИХОНХОСОСЮПАНКАЙ", 1980.
- (19) 日本経済新聞社編: 新素材革命-技術革新を支えるもの, 日本経済新聞社, 1981.
СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА "НИХОНКЭЙДЗАЙ СИМБУН": ЧТО СПОСОБСТВУЕТ РАЗВИТИЮ НОВЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ - РАЗВИТИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА. - ИЗД-ВО "НИХОНКЭЙДЗАЙСИМБУНСЯ", 1981.
- (20) アズマ工機(株)開発室編: QUESTIONS AND ANSWERS ON SOLAPAK, アズマ工機(株), 1978.

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ ЛАБОРАТОРИИ РАЗРАБОТОК: "ВОПРОСЫ И ОТВЕТЫ— ПО SOLARAK". ФИРМА "АДЗУМУ КОКИ". /АКЦ./ — ИЗД.—ВО "АДЗУМУ КОКИ", 1978

- (21) 三洋電機空調設備 (株), 東京三洋電機 (株): サンヨーソーラーシステム技術資料その1, 1979.

ТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, КАСАЮЩИЕСЯ СОЛНЕЧНЫХ СИСТЕМ "САНЬЕ". ФИРМА "МИЦУИ ДЭНКИ КУТЭСЭЦУБИ" /АКЦ./, "ТОКЕМИЦУИДЭНКИ" /АКЦ./, 1979. Ч.1

- (22) 古河電気工業 (株): 古河太陽熱集熱器技術資料 <機器部> <設計編>. ТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ О СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ "КОГАВА" /ФИРМА "КОГАВА ДЭНКИКОГЕ", /АКЦ./

- (23) 矢崎総業 (株): YAZAKI Solar 設計資料 (ブルーパネル, スーパーブルーパネル), 1982.

МАТЕРИАЛЫ О ПРОЕКТИРОВАНИИ ГЕЛИООБОРУДОВАНИЯ ЯДЗАКИ /ФИРМА "ЯДЗАКИ СОГЕ" /АКЦ./, 1982.

- (24) 昭和アルミニウム (株): SHOWA SOLAR COLLECTOR 技術資料. ТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ "СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ СЕВА" — ФИРМА "СЕВА АРУМИНИУМУ" /АКЦ./

- (25) 床暖房ハンドブック編集委員会編: クリエイトシステム床暖房ハンドブック, 中部クリエイト工業 (株), 1976.

СБОРНИК ТРУДОВ, ВКЛЮЧАЮЩИХ ПОСОБИЕ ПО НАПОЛЬНОМУ ОТОПЛЕНИЮ: ПОСОБИЕ ПО НАПОЛЬНОМУ ОТОПЛЕНИЮ СИСТЕМЫ "КРИЭЙТО" /ФИРМА "ТЪБУ КРИЭЙТО КОГЕ" /АКЦ./, 1976.

- (26) 家庭用エネルギー消費構造の分析: 日本エネルギー経済研究所, 1975.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЖИЛЬИМИ ДОМАМИ /ЭКОНОМИЧЕСКАЯ НАУЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЭНЕРГИИ, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЯПОНИЕЙ. —1975.

- (27) タイケンニュース 225号増刊 (特集 太陽): 大建出版社, 1981

"ДАЙКЭННЬЮСУ" № 225 (ДОП.ВЫП.): СПЕЦ.РАЗД. "СОЛНЦЕ" — ИЗД.—ВО "ДАЙ—КЭНСЮПАНСЯ", 1981.

- (28) 佐藤光男, 田中俊六, 松本敏男: 建築設備, 学研社, 1980.

САТО МИЦУО, ТАНАКА СЮНРОКУ, МИЦУКИ ТОСИО. — СТРОИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ИЗД.—ВО "ГАККОСЯ", 1980.

- (29) ソルウィーター著, 押田勇雄監修: 太陽エネルギー入門, ワイリージャパン, 1983.

СОЛОРД /ПОД РЕД. ОСИА ИСАО/, "СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ", — ИЗД.—ВО "ВАЙРИД ЭЯПЭН", 1983.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к русскому изданию	3
<i>Предисловие</i>	4
Глава 1. Общие сведения о солнечных домах	6
Глава 2. Конструкции бытовых солнечных систем	34
Глава 3. Системы солнечного горячего водоснабжения.....	87
Глава 4. Системы солнечного отопления и горячего водоснабжения	113
Глава 5. Системы солнечного теплохладоснабжения и горячего водоснабжения	146
Глава 6. Установка солнечных систем и контроль за их работой	157

Научное издание

Танака Сюнроку, Суда Рейдзи

ЖИЛЫЕ ДОМА С АВТОНОМНЫМ СОЛНЕЧНЫМ

ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЕМ

Редактор *М.В.Перевалюк*

Младший редактор *С.В.Петрашова*

Художественный редактор *Л.М.Чериковер*

Технический редактор *И.В.Берина*

Корректор *Л.А.Егорова*

Оператор *Н.М.Гайнулина*

ИБ № 4574

Подписано в печать 11.04.89 Формат 60x90 1/16 Бумага офсетная №1
Печать офсетная Печ.л. 11,5 Усл.кр.отт. 25,25 Уч.-изд.л. 12,71 Тираж 5000 экз.
Изд. № АУШ-2787 Заказ 219 Цена 2 р. 10 к.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательства, полиграфии и книжной торговли
300600, ГСП, г. Тула, пр. Ленина, 109.