

# **Энергетика Алтая:**

**реальные альтернативы**

**Барнаул 2006**

---

ББК 20.1+31.1

Э 65

Издание посвящено проблемам энергообеспечения юга Западной Сибири (на примере Республики Алтай) и возможным путям их решения. Основное внимание уделено вопросам солнечного теплоснабжения — теории и практике изготовления солнечных коллекторов.

**Издание осуществлено благодаря  
Межрегиональному Общественному Фонду  
Сибирский центр поддержки общественных инициатив**

## Содержание

Часть I .....	5
Введение Проблемы энергообеспечения и возможности региона .....	5
Проблемы — глобальные и локальные .....	5
Проблемы экологические .....	6
Проблемы социальные .....	8
Проблемы экономические .....	9
Легенды и мифы, или Что русскому хорошо, то европейцу .....	9
Экология или экономика? Экология и экономика .....	11
Проекты масштабные .....	11
Проекты локальные .....	13
Немного об этом издании .....	14
Немного истории .....	17
Часть II .....	18
Энергии солнечного излучения: Немного теории .....	18
Оценка энергетического потенциала солнечного излучения .....	18
Типы коллекторов .....	20
Устройство плоского солнечного коллектора .....	21
Двухслойное остекление .....	23
Прозрачная теплоизоляция с сотовой ячеистой структурой ПТИ .....	23
КПД солнечного коллектора .....	24
Воздушные коллекторы .....	24
Два типа конструкции воздушных коллекторов .....	26
Замечание .....	27
Загрязнение коллектора .....	27
Примеры исполнения конструкций воздушного коллектора .....	28
Аккумуляторы теплоты .....	30
Аккумуляторы теплоты емкостного типа .....	31
Аккумуляторы теплоты фазового перехода .....	34
Солнечный пруд .....	34
Солнечные установки коммунально-бытового назначения .....	36
Солнечные водонагревательные установки .....	36
Водонагреватели с естественной циркуляцией воды .....	36
Водонагревательные установки с принудительной циркуляцией .....	40
Системы солнечного теплоснабжения (отопления) зданий .....	42
Пассивные гелиосистемы отопления зданий .....	43
К сведению .....	48
Рациональное использование дневного освещения .....	51
Активные гелиосистемы отопления зданий .....	52

Часть III.....	55
Приложение I.....	55
Определение располагаемого количества солнечной энергии .....	55
Приложение II.....	57
Дневное поступление солнечной энергии.....	57
Приложение III .....	58
Некоторые вопросы изготовления и монтажа солнечных коллекторов .....	58
Выбор материалов для солнечных установок .....	62
Материалы для аккумуляторов теплоты.....	66
Изготовление, монтаж и установка жидкостной гелиосистемы теплоснабжения .....	68
Изготовление, монтаж и установка воздушных гелиосистем теплоснабжения .....	69
Изготовление и установка аккумулятора теплоты .....	70
Трубопроводы и теплообменники для солнечных установок .....	70
Приложение IV .....	72
Простые солнечные установки для приусадебных и дачных участков .....	72
Приложение V .....	78
Солнечный коллектор в Чуй-Оозы .....	78
I. Принципиальная схема солнечного коллектора с линейным параболическим отражателем .....	78
II. Описание и технические характеристики пилотного образца.....	79
III. Выводы и предложения по результатам эксплуатации опытного образца.....	80
Приложение VI .....	81
Некоторые вопросы эксплуатации и использования солнечных установок .....	81
Приложение VII.....	87
Некоторые выводы .....	87
Приложение VIII .....	88
Список использованной и рекомендуемой литературы .....	88

---

---

---

# Часть I

---

---

---

## Введение

### Проблемы энергообеспечения и возможности региона

В этом (2006) году Россия председательствует в Большой восьмерке (G8) и темой своего председательствования руководство нашей страны выбрало проблемы энергетической безопасности.

Как заявил президент России В.В. Путин 16 марта 2006 года на встрече с министрами энергетики стран «Группы восьми», сегодня именно энергетика является важнейшим ресурсом социально-экономического развития, прогресса и прямо влияет на благополучие жителей планеты. Однако, она подвержена серьезным рискам — и политическим, и экономическим, и экологическим. Поэтому, как заявил В.В. Путин, наша страна готова и хочет внести свой вклад во внедрение новейших технологий, развивать производство энергии на базе альтернативных и возобновляемых источников энергии. Экстенсивный, потребительский подход к природе — это тупиковый путь, считает Президент. В то же время нерациональное использование энергоресурсов может привести к экологической катастрофе, причем далеко не локального, а глобального масштаба.

---

### Проблемы — глобальные и локальные

Речь идет, конечно, не только о проблемах экологических, но и о проблемах социальных, экономических, совершенствования законодательства и т.д.

## Проблемы экологические

Здесь нет возможности освещать все экологические проблемы, связанные с энергетикой (только проблемы ядерной энергетики займут многотомное издание, начиная с истории Чернобыльской АЭС).

Однако, учитывая продолжающиеся судебные тяжбы и пересуды вокруг Алтайской ГЭС, мы считаем необходимым хотя бы в двух словах сказать о проблемах, возникающих в связи со строительством плотин.

Тем более, что буквально в марте этого года в Международный День борьбы против плотин (14 марта) был обнародован отчет Всемирного Фонда дикой природы «Свободно текущие реки — экономическая роскошь или экологическая необходимость?», авторы которого предупреждают о негативном влиянии дамб на реки, их обитателей и природу в целом.

В пресс-релизе по поводу этого отчета отмечается, что из 177 крупнейших рек мира (1 тысяча км длиной и более) только треть не имеют дамб или других сооружений на своем главном русле. Только 21 большая река свободна в своем течении от истоков до устья. Незарегулированными остаются всего 43 больших притока великих рек, таких, как Конго, Амазонка и Лена. **Строительство дамб на реках — опасная тенденция, которая угрожает природе всей планеты.**

«Последствия урагана Катарина для Нового Орлеана были ярким примером того, как река Миссисипи отомстила человеку за нарушение ее экосистемы, — сказал Джеймс Питток, директор международной Пресноводной программы WWF. — Дамба задерживает песок, ил, другие придонные отложения, тем самым обедняя пойменные луга и болота ниже по течению, что и является главным фактором опустошения и потери жизни».

Большинство незарегулированных рек сегодня находятся в Азии, в Южной и Северной Америке. В Австралии и Океании их три, в Европе, включая территорию западнее Урала, только одна большая река — Печора в России — остается свободно текущей от истоков до моря. По прогнозам экспертов, каждая четвертая крупнейшая река мира будет зарегулирована в ближайшие 15 лет.

Такую же судьбу сегодня Россия и Китай готовят и Амуру.

В пресс-релизе особое место отведено проблемам, связанным с зарегулированием дальневосточных рек. Это достаточно наглядный пример, тем более что совсем недавно был зарегулирован еще один приток Амура — река Буря. Построена была Бурейская ГЭС недавно, а проблемы, ею созданные, уже проявились достаточно серьезно.

Три притока Амура — Зея, Буря и Сунгари уже перерезаны плотинами. Огромные водохранилища затопили целые лесные массивы. Идет фенольное загрязнение Амура.

Нанесен колоссальный ущерб рыбным популяциям. Изменился гидрорежим реки. Однако это не останавливает людей, желающих построить плотины на самом русле Амура.

«Но если Амур будет перекрыт плотинами, — говорит директор Дальневосточного филиала WWF России **Юрий Дарман**, — динамика природных и социальных систем может стать не поступательной, а катастрофической — то есть очень быстрой и хаотической».

Важно вспомнить, что послужило толчком этому тотальному «оплотиниванию». В 1986 году в Москве было подписано межправительственное соглашение о создании советско-китайской комиссии для разработки «Схемы комплексного использования водных ресурсов пограничных участков рек Аргунь и Амур». Под давлением китайской стороны все свелось к созданию плотин на Амуре. Сегодня Китай уже разрабатывает проекты строительства 6 плотин на русле Амура. При этом у **России нет потребности в дополнительной электроэнергии**, так как на Дальнем Востоке не строятся энергоемкие производства. Зато **ток Бурейской ГЭС уже идет на экспорт в Китай**. На повестке дня строительство Хинганской ГЭС на Амуре. Плотина перекроет реку в самом важном месте — в уникальном Хинганском ущелье.

Это далеко не полный перечень проблем, которые создают плотинные ГЭС. Есть еще экономические и социальные последствия. Но об этом чуть ниже.

Еще одна из проблем — **наведенная сейсмичность**, которая, как заявляют инициаторы проекта, при строительстве Алтайской ГЭС исключена. Однако, это голословное заявление. Данная территория не изучалась достаточно полно и обстоятельно после землетрясения в сентябре 2003 года — во-первых, для этого нужны серьезные средства, а во-вторых, — время: за прошедший срок сделать полноценный научный анализ, учитывая отсутствие финансирования, нереально.

Схожая ситуация сложилась, например, у наших соседей в Казахстане<sup>1</sup>. В течение нескольких последних лет сейсмологи республики пытаются убедить чиновников и иностранных хозяев гидросооружений в необходимости провести комплекс работ для определения сейсмической надежности действующих гидроэлектростанций.

Об этом руководитель сейсмостойкости сооружений Института сейсмологии РК д.т.н. Т. Абаканов высказал в интервью корреспонденту «Известий–Казахстан» С. Алиной по поводу сейсмической безопасности стратегических объектов — ГЭС в Восточно-Казахстанской области.

Сейсмичность территории Восточно-Казахстанской области до настоящего времени остается малоизученной. Специалисты обратили внимание на возможность возникновения в этом регионе серьезных природных бедствий только после Зайсанского землетрясения, которое произошло в июне 1990 года силой в 6,9 балла по Рихтеру.

---

<sup>1</sup> Известия–Казахстан №22 (1051) от 22 апреля 2005.

Сразу после стихии в срочном порядке была пересмотрена карта сейсмического районирования области, подняты различные архивные материалы с наблюдениями за «дыханием земли». И обнаружили много интересных истораживающих фактов. Оказывается, китайцы проводят описательные характеристики землетрясений уже три тысячи лет. По историческим данным, **за последние два с половиной века в районе горного Алтая зафиксировано сорок крупных землетрясений, три вошли в ранг мировых катастроф.** Последнее из них случилось в Монголии в 1957 году. В результате произошел разрыв земной коры длиной до двухсот километров — практически рядом с территорией Казахстана. Однако в послевоенный период такие сведения во внимание не принимались, и здесь был построен каскад гидроэлектростанций. По последним данным научных исследований, эти объекты находятся на Иртышском тектоническом разломе.

Необходимость срочного принятия конкретных мер подтвердило Чуйское землетрясение, произошедшее на сопредельной территории Казахстана и России. В некоторых казахстанских населенных пунктах интенсивность поземных толчков достигла 7-8 баллов.

Сейчас гидроэлектростанциями руководят иностранцы. Каждые пять лет на гидросооружениях проводят работы, во время которых несколько специалистов из разных ведомств за считанные дни визуально осматривают объекты. И на этом все заканчивается.

## Проблемы социальные

Об этих проблемах довольно подробно сказано было в Отчете Всемирной комиссии по плотинам в 2000 году<sup>1</sup>. Однако, учитывая, что подобная информация не всегда доступна, перечислим основные из них.

1. В результате переселения из зон затопления, с одной стороны, и в результате функционирования водохранилища, — с другой, в общей сложности были **вытеснены с мест проживания около 40-80 миллионов человек.**
2. Миллионы людей, живущих в низовьях рек, перегороженных плотинами, и особенно тех, кто зависит от пойменных ресурсов и рыболовства, существенно пострадали, а будущая продуктивность природных ресурсов в эти районах оказалась под угрозой.
3. Многие люди, вытесненные с мест проживания, не были признаны (или учтены) как пострадавшие, в результате чего они **не получили компенсации.**
4. Выплаченные компенсации зачастую оказывались **недостаточными.**
5. Пострадавшие от строительства плотин (как переселенцы или как вынужденные соседи плотин), как правило, **не смогли даже восстановить свой прежний уровень жизни,** не говоря уже о его повышении по сравнению с уровнем жизни до возведения плотины.
6. Уязвимые этнические группы наиболее пострадали от соседства с плотинами в результате воздействия этих сооружений на их уровень жизни, а следовательно, на культуру и религиозные устои.
7. Люди, живущие вблизи искусственных водохранилищ, а также переселенцы и население низовий зарегулированных рек чаще всего подвержены **отрицательному воздействию**

---

<sup>1</sup> См. Плотины и развитие: Новая методическая основа для принятия решений. Отчет Всемирной Комиссии по Плотинам. Ноябрь, 2000 г.

---



на здоровье и уровень жизни, вызванному изменением окружающей среды и социальной дезинтеграцией.

8. Среди пострадавшего населения женщины зачастую оказывались более затронутыми социальными последствиями и часто подвергались дискриминации.

Все это более чем справедливо и в отношении ставшего притчей во языцех проекта Катунской (ныне Алтайской, а до этого Горно-Алтайской, Еландинской ГЭС<sup>1</sup>).

Наблюдая попытки реабилитации этого проекта, можно отметить также и проблемы, связанные с нарушением законодательства.

### Проблемы экономические

Здесь также можно привести довольно много аргументов. В частности, в уже упоминавшемся Отчете Всемирной Комиссии по Плотинам (ноябрь, 2000 г.) приводятся основные экономические проблемы, возникающие в результате строительства плотин.

1. Плотины, как правило, не дали ожидаемых материальных результатов, не возместили затраты и с экономической точки зрения были менее выгодными, чем ожидалось.
2. Плотины, как правило, не достигают поставленных целей по срокам и объемам поставки продукции (будет ли это орошение, водоснабжение или электроэнергия).
3. Плотины, как правило, делают природу прилегающей территории более уязвимой. В ряде случаев после строительства плотины наблюдаются стихийные бедствия, которых не было на этой территории до возведения плотины. Как следствие, — увеличение расходов на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций.

То, что касается экономических аспектов Алтайской ГЭС подробно уже было нами описано<sup>2</sup>. Вкратце можно еще раз отметить, что основные социально-экономические показатели этого проекта не соответствуют потребностям Республики Алтай. Иными словами, *Алтайская ГЭС не решает социально-экономических проблем региона*. Более того, как в процессе строительства, так и по его завершению, в процессе эксплуатации ГЭС эти проблемы будут только усугубляться.

### Легенды и мифы, или Что русскому хорошо, то европейцу...

Мы не будем касаться общеизвестных мифов, связанных с «прелестями» плотинных ГЭС. Но один миф, связанный именно с идеей строительства ГЭС на реке Катунь в Республике Алтай, считаем целесообразным рассмотреть. Это миф о том, что Республика Алтай, построив ГЭС, процветет как европейская Швейцария. Этот аргумент можно услышать довольно часто. Вот этому мифу можно уделить отдельное место.

Швейцария является туристической Меккой уже не одну сотню лет: развитая инфраструктура, сформированное, действующее и выполняющееся

---

<sup>1</sup> Мы намерено перечислили все наименования этой плотины, так как в прессе в разное время фигурируют все эти названия.

<sup>2</sup> См.: С.П. Суразакова, О.З. Енгоян «К вопросу об экономической эффективности Алтайской ГЭС» в альманахе «Алтайский вестник», №7'2005.

(!) законодательство, которому тоже не один десяток лет. Швейцария — это международный, как сейчас принято говорить, раскрученный, продвинутый бренд; ее туристические туры, рекреационные зоны практически не нуждаются в рекламе. Также не нуждаются в рекламе и другие ключевые для этой страны отрасли производства, например, производство швейцарских часов, которое в Швейцарии насчитывает не один век.

Все это к тому, что создание генерирующих мощностей было насущной потребностью **уже существующих сфер экономики**. В отличие от Швейцарии, в Республике Алтай нет развитых сфер экономики, требующих дополнительно таких генерирующих мощностей как, скажем, Алтайская ГЭС. Нет таких производств ни в Стратегии развития Республики Алтай, ни в Концепции развития Республики Алтай, ни в одном другом документе, который должен планировать то, что в прежние времена называлось «размещение производительных сил».

**Наивно рассчитывать, что создание ГЭС автоматически активизирует создание производственных предприятий**, переработку продукции и тому подобные «телодвижения» в экономике Республики Алтай<sup>1</sup>. Когда проблема с генерирующими мощностями является основным препятствием к созданию производства, предприниматели решают ее иными, доступными им путями: кто-то переносит наиболее энергоемкое производство в регионы, имеющие бóльшие энергоресурсы, кто-то устанавливает дизельные электростанции, кто-то рискует и начинает устанавливать так называемые альтернативные (нетрадиционные возобновляемые) источники энергии — солнечные батареи и коллекторы, биогазовые и ветроустановки.

Так что проблема не только, и, пожалуй, даже не столько в отсутствии генерирующих мощностей, сколько в комплексном подходе к решению проблем региона.

Но вернемся к Швейцарии.

Итак, гидроэнергетика была логическим (на тот исторический момент) решением социально-экономических проблем. Хотя довольно быстро этот ресурс был исчерпан, законодательство страны предусматривало достаточно серьезный социальный пакет при возведении плотинных ГЭС<sup>2</sup>. Кантоны и общины, на территории которых строились ГЭС, часть вырабатываемой электроэнергии получали бесплатно или по сниженным ценам, им выплачивалась водная и земельная ренты. Строительство ВСЕГДА сопровождалось строительством дорог, линий электропередач, поселков, систем водоснабжения и т.п. По швейцарскому законодательству, построенные электрокомпаниями гидроэлектростанции и другие

---

<sup>1</sup> Аналогом может служить, скажем, Республика Хакасия, которая, имея готовые, уже построенные ГЭС, имея низкий тариф на электроэнергию, увы, экономического прорыва до сих пор не сделала.

<sup>2</sup> Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Природа мира. Водохранилища. — М.: Мысль, 1987. — с. 172-176.

строительные объекты после окончания срока концессии (обычно он равен 80 годам) переходили в собственность кантона или коммун. Огромное внимание уделялось мерам по предотвращению или компенсации ущерба от создания водохранилищ. **Известно немало случаев отказа от строительства гидроэлектростанций или кардинального пересмотра проектов гидроузлов с позиций охраны окружающей среды.**

К сожалению, вынуждены отметить (уже в который раз!), что ни дополнительных дорог, ни линий электропередач, ни тем более строительства систем водоснабжения, ни компенсации ущерба — ничего этого внятно идеологи строительства Алтайской ГЭС не обещают. А если и обещают, то, увы, нужно отметить, что, с одной стороны, российское законодательство недостаточно разработано в том, чтобы гарантировать выполнение таких обязательств, а с другой, — чтобы отстоять свои права на подобный социальный пакет, нужно приложить немало усилий, преодолевая сопротивление не только чиновничьей среды, но и сопротивление инвестора (он заинтересован в снижении издержек), заказчика и прочих сторонников проекта. Тем более эта ситуация осложняется, когда сторонниками проекта становятся представители исполнительной и законодательной властей региона, которые начинают, с одной стороны, активную пропаганду и агитацию, а с другой, — используют для подавления недовольных так называемый административный ресурс.

---

## **Экология или экономика?**

### **Экология и экономика**

Противопоставление экологии и экономики, как минимум, некорректно. В наше время экологические технологии, как и производство экологически безопасных источников энергии становится серьезным доходным бизнесом. Примеры? Десятки отечественных фирм практически со всех уголков России (и европейской ее части, и азиатской). Достаточно посмотреть «Каталог нетрадиционных возобновляемых источников энергии», журнал «Возобновляемая энергия», сборник «Солнце, ветер, биогаз!» и другие издания. Довольно много информации на эту тему в интернете.

## **Проекты масштабные**

Особый разговор — зарубежный опыт<sup>1</sup>. Не останавливаясь на этом детально, обратим внимание читателя на практику нашего ближайшего геополитического соседа — Китая.

---

<sup>1</sup> Более подробную информацию можно посмотреть в сборнике «Солнце, ветер, биогаз!

Альтернативные источники энергии: экологичность и безопасность. Проблемы, перспективы, производители». — Барнаул, Изд-во Фонда «Алтай — 21 век», 2005. — 174 с.

Так, по сообщению Тихоокеанского центра окружающей среды и природных ресурсов (ПЕРК)<sup>1</sup>, **Китай обеспечил себе возможность получения займа Всемирного Банка на реализацию программы по возобновляемой энергии.**

Вследствие роста спроса на энергию в этой стране, в начале февраля 2006 года Всемирный Банк подтвердил свое согласие на предоставление Китаю займа в \$86.33 миллиона для ускорения процесса по использованию возобновляемой энергии.

«В основе этой программы — стремление начать коммерческое, масштабное, использование возобновляемой энергии ветра, солнца и небольших гидроэлектростанций, чтобы удовлетворить быстро растущий спрос жилого сектора, ферм и коммерческих производств на электричество», — говорит Нуреддин Берра (Noureddine Berrah), ведущий специалист Китая по энергетике.

Исполнительный совет директоров Всемирного банка одобрил следующий этап проекта, разработанный в рамках 1-ой фазы Программы Китая 2005 года по увеличению масштабов применения возобновляемой энергии, который предполагает строительство крупной электростанции, работающей на энергии ветра, на территории автономного региона Внутренней Монголии<sup>2</sup>.

«Спрос на энергию в Китае, а также проблема загрязнения воздуха свидетельствуют о необходимости широкомасштабного развития возобновляемой энергии», — говорит Нуреддин Берра (Noureddine Berrah), ведущий специалист Китая по энергетике. «В основе этой программы — стремление начать коммерческое, масштабное, использование возобновляемой энергии ветра, солнца и небольших гидроэлектростанций, чтобы удовлетворить быстро растущий спрос жилого сектора, ферм и коммерческих производств на электричество».

Вследствие того, что ВВП Китая увеличился вчетверо в период с 1980 до 2000 гг., потребление энергии выросло более, чем в два раза. Проектировочное потребление энергии свидетельствует о том, что использование ископаемого топлива может вырасти вдвое, а то и втрое к 2020 году<sup>3</sup>, т.е. до 2500–3300 миллионов тонн в угольном эквиваленте, даже если будут прилагаться все усилия по эффективному применению электроэнергии. Инвестиционный проект послужит демонстрацией успешного использования возобновляемой энергии в больших объемах, поставляемой местными производителями, в то время, пока местные инвестиционные фонды будут набирать силу.

---

<sup>1</sup> Спецвыпуск — №06 — 2006 от 12-ое марта 2006 г. Новости о природопользовании в Тихоокеанском регионе (<http://www.renewableenergyaccess.com/rea/news/story?id=43768>).

<sup>2</sup> Дать информацию о социально-экономическом и климатическом характере Внутренней Монголии.

<sup>3</sup> В этом контексте можно рассматривать не только внутрикитайские проекты, но международные, такие как трубопроводы от российских скважин месторождений углеводородов.

---

Общая сумма инвестиций Всемирного банка в \$67 миллионов будет непосредственно направлена на развитие ветряной электростанции Хуитенгхиль (Huitengxile) мощностью 100 МВт в автономном регионе Внутренней Монголии, где на сегодняшний момент уже производится 70 МВт ветряной электроэнергии.

Заем Международного банка реконструкции и развития (МБРР) в размере \$86,33 миллионов представляет собой кредит, который может быть распределен на разные проекты внутри общего и который рассчитан на 20 лет, при этом период до начала выплаты займа составляет 5 лет. Проект, который начнется в апреле 2006 года, планируется завершить в марте 2010 года.

### Проекты локальные

Примеров производства экологически безопасной энергии и оборудования довольно много. Достаточно упомянуть США, Германию, Данию, Голландию, где процветают множество предприятий, производящих солнечные батареи, оборудование для ветропарков и биогазовых установок.

Однако, справедливо задать вопрос: а какими ресурсами располагает Республика Алтай для развития энергетики и решения своих социально-экономических проблем<sup>1</sup>?

Остановимся на таком, довольно узком аспекте энергообеспечения, как теплоснабжение.

Традиционно этот вопрос в Сибири решается за счет угля, дров, дизельных электростанций. В последнее время наметился интерес к созданию малых гидроэлектростанций<sup>2</sup>; любопытство (пока, правда, только любопытство, за исключением частных случаев) вызывает солнечная и ветроэнергетика.

Как бы странно это ни звучало, но именно в плане использования солнечной энергетики для решения вопросов теплоснабжения в Республике Алтай есть серьезная база. Тем более что по отсутствию каких-либо негативных воздействий, неистощимаая солнечная энергия представляет особый интерес.

Всего на территорию Республики Алтай ежегодно поступает около 54 триллионов кВт•ч энергии в виде прямой солнечной радиации. Если солнечные лучи падают на поверхность под прямым углом, то на 1 квадратный метр поступает более 1 кВт.

**Чуйская степь**, где расположен районный центр с. Кош-Агач, по количеству солнечных часов вообще является чемпионом России — 113 солнечных дней или 2,7 тыс. часов в год. Не намного уступают чемпиону Улаганский, Усть-Канский, Шебалинский и Чемальский районы.

---

<sup>1</sup> Говорить об энергетической бедности в случае Республики Алтай некорректно. Здесь скорее вопрос рационального и экологически безопасного использования энергоресурсов.

<sup>2</sup> В Усть-Коксинском районе Республики Алтай дело уже дошло даже до бизнес-плана.

---

Федеральной целевой Программой «Энергоэффективная экономика» на 2002-2005 годы и на перспективу до 2010 года, принятой Постановлениями 796 и 923 Правительства Российской Федерации в конце 2001 года, предусмотрено сооружение в отдаленных селах Республики Алтай комплексов горячего водоснабжения на базе солнечных коллекторов общей тепловой мощностью 5,5 Гкал/ч (6,2 МВт).

Фотоэлектрическая станция мощностью 1 кВт за зимний день на широтах 50-52° способна выдать до 5 кВт•ч. Если не варить суп и чай на электрической плите, то, в разумных пределах, на семью<sup>1</sup> в сутки достаточно 3 кВт•ч. Избыток может аккумулироваться.

---

### Немного об этом издании

В нашей стране имеются довольно широкие возможности применения солнечных установок для индивидуальных потребителей, особенно в сельской местности. И массовое использование солнечных установок не только позволит смягчить экологическую ситуацию, но и даст значительную экономию энергоресурсов.

Наиболее простым и эффективным является использование солнечной энергии для горячего водоснабжения и отопления.

Спектр потребителей очень широк. Это, во-первых, сезонные потребители типа спортивно-оздоровительных учреждений, баз отдыха, пионерлагерей, дачных поселков. Солнечную энергию можно использовать для обогрева открытых и закрытых плавательных бассейнов, спортивных сооружений, душевых, гелиосушилок для сена, лесоматериалов и сельскохозяйственных продуктов. В сфере сельскохозяйственного производства применение недорогих воздушных коллекторов солнечной энергии поможет решить проблему отопления животноводческих ферм. Также целесообразно интенсифицировать работы по использованию солнечной энергии для отопления теплиц и улучшения условий труда<sup>2</sup>. Солнечные установки отопления, безусловно, требуют капиталовложений, особенно это касается районов, лежащих севернее 45°с.ш. Однако, опыт применения солнечных коллекторов в последние годы дал более чем оптимистичный прогноз: окупаемость этих установок составляет около двух лет<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> из 4-х человек.

<sup>2</sup> Что в принципе актуально не только с точки зрения имиджа конечной продукции, но и в свете принятия Госдумой ряда законодательных актов, возлагающих энергообеспечение на муниципальные власти.

<sup>3</sup> Это относится и к такому масштабному проекту, как горячее водоснабжение гостиницы «Барнаул», и в применении к малому бизнесу, например, солнечный коллектор в Чуй-Оозы (Онгудайский район, Республика Алтай).

И это неудивительно: даже в холодном климате скандинавских стран — Швеции и Финляндии — реализованы крупномасштабные проекты солнечных систем теплоснабжения с применением тепловых насосов и сезонных аккумуляторов теплоты, позволяющих покрывать практически всю годовую нагрузку отопления за счет солнечной энергии. Особенностью этих систем является аккумулятирование теплоты солнечной радиации, поступающей в летний период, в больших подземных резервуарах или шахтных выработках и использование этой теплоты, а также энергии окружающей среды (грунта, грунтовых вод и т.п.) для отопления зданий в зимний период.

В районах с годовым приходом солнечной радиации не менее  $1200 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  (напомним, количество солнечных часов приходящихся на площадь Чуйской степи в Кош-Агачском районе — 2600–2700 час/год<sup>1</sup>; близкие значения солнечной инсоляции и в ближайших районах Республики Алтай — Улаганском, Усть-Канском, Шебалинском, Чемальском) при эффективном использовании этой энергии можно будет обеспечить порядка **25% теплотребления в системах отопления, до 50% — в системах горячего водоснабжения и до 75% — в системах кондиционирования воздуха.**

Применение солнечных установок не только замещает дефицитное топливо, но и предотвращает загрязнение окружающей среды вредными выбросами установок, использующих топливо. В удаленных от источников энергоснабжения районах использование солнечной энергии (наряду с энергией ветра) является практически наиболее оптимальной альтернативой и позволяет значительно улучшить условия жизни населения.

Наиболее просты в конструктивном отношении солнечные водонагревательные системы, имеющие годовой КПД 30-50% (в зависимости от сезона использования). Повышение эффективности гелиосистем отопления и охлаждения зданий связано с применением более совершенного гелиотехнического оборудования в сочетании с энергосбережением<sup>2</sup>.

Основная проблема в использовании солнечной энергии для отопления индивидуальных домов в нашей стране — отсутствие массового производства солнечных коллекторов, аккумуляторов солнечной энергии и другого оборудования. Ключевой вопрос — разработка, оптимизация, конструирование и производство гелиоустановок, имеющих высокую эффективность при допустимых капиталозатратах.

**Но в сельской местности уже сейчас и в ближайшей перспективе можно использовать солнечную энергию для нагрева воды и отопления жилых и производственных помещений, сушки сельскохозяйственной**

---

<sup>1</sup> См. Справочник по климату СССР. Вып. 20. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. Часть I. Томская, Новосибирская, Кемеровская области и Алтайский край. — Л.: Гидрометеиздат, 1966.

<sup>2</sup> А это и оптимальные архитектурно-теплотехнические решения, направленные на сокращение тепловых потерь, и соответствующее снижение потребности в энергии; а также использование конструкции самого здания для улавливания солнечной энергии.

продукции, выращивания овощей, цветов, рассады, опреснения воды и получения умеренного холода. Хотя нет сомнений в том, что наиболее эффективные в энергетическом и экономическом отношении установки могут быть получены лишь в условиях серийного производства с использованием современных технологий, поэтому малый и средний бизнес уже сегодня могут внести достойный вклад в решение проблемы использования солнечной энергии.

Именно **вопросам теории и практики изготовления солнечных коллекторов** посвящены вторая и третья части настоящего издания. Авторы издания стремились, с одной стороны, дать базовую информацию о том, что собой представляют солнечные коллекторы, а с другой, — рассказать, хотя бы в общих чертах, как работают солнечные установки различного назначения, для каких целей наиболее целесообразно их использовать в настоящее время и в ближайшей перспективе, как самостоятельно рассчитать, изготовить и смонтировать простейшие солнечные установки и т.п.

В основу издания легли книги Евстигнеева В.В., Федянина В.Я., Чертищева В.В., Харченко Н.В., Мак-Вейга Д. Мы включили в издание только основные принципы расчетов, большинство формул остались неопубликованными по двум причинам: во-первых, в силу экономии места; а во-вторых, мы надеемся, что те, кто серьезно заинтересуется изготовлением (а возможно и серийным производством), наверняка, обратятся к специалистам и более солидным изданиям — справочникам, методическим пособиям, энциклопедиям и т.п.

Особую благодарность выражаем члену общественного экономического консультационного совета при Главе Республики Алтай и Российского комитета по использованию возобновляемых источников энергии, главному специалисту энергоинновационных программ Горно-Алтайского филиала Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук — Юрию Иванович Тошпокову за неоценимую помощь в подготовке издания.



### Немного истории

- В 1600 г. во Франции был создан первый солнечный двигатель, работавший на нагретом воздухе и использовавшийся для перекачки воды.
- В конце XVIII в. ведущий французский химик А. Лавуазье создал первую солнечную печь, в которой достигалась температура в  $1650^{\circ}\text{C}$  и нагревались образцы исследуемых материалов в вакууме и защитной атмосфере, а также были изучены свойства углерода и платины.
- В 1866 г. француз А. Мушо построил в Алжире несколько крупных солнечных концентраторов и использовал их для дистилляции воды и привода насосов. На всемирной выставке в Париже в 1878 г. А. Мушо продемонстрировал солнечную печь для приготовления пищи, в которой 0,5 кг мяса можно было сварить за 20 минут.
- В 1833 г. в США Дж. Эриксон построил солнечный воздушный двигатель с параболоцилиндрическим концентратором размером  $4,8 \times 3,3$  м.
- Тогда же француз А. Пифф построил паровой двигатель мощностью 500 Вт с концентратором площадью около  $10 \text{ м}^2$ , который приводил в действие печатный станок в типографии, где издавалась газета «Le Soleil» («Солнце»).
- Первый плоский коллектор солнечной энергии был построен французом Ш.А. Тельером. Он имел площадь  $20 \text{ м}^2$  и использовался в тепловом двигателе, работавшем на аммиаке.
- В 1885 г. была предложена схема солнечной установки с плоским коллектором для подачи воды, причем он был смонтирован на крыше пристройки к дому.
- Первая крупномасштабная установка для дистилляции воды была построена в Чили в 1871 г. американским инженером Ч. Уилсоном. Она эксплуатировалась в течение 30 лет, поставляя питьевую воду для рудника.
- Английский изобретатель А.Г. Инеас построил в штате Аризона (США) большие солнечные концентраторы для производства водяного пара давлением 10 бар, использовавшегося для перекачки воды с расходом до  $320 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Концентратор параболической формы имел диаметр 10,2 м в верхней части и 4,5 м внизу, 1788 зеркал направляли лучи на котел, расположенный в фокусе концентратора.
- В 1890 г. проф. В.К. Церасский в Москве осуществил процесс плавления металлов солнечной энергией, сфокусированной параболическим зеркалом, в фокусе которого температура превышала  $3000^{\circ}\text{C}$ .

---

---

# Часть II

---

---

## Энергии солнечного излучения: Немного теории

### Оценка энергетического потенциала солнечного излучения

Интенсивность излучения у земной поверхности зависит, как правило, от географической широты местности, от скорости вращения Земли вокруг своей оси, и от угла наклона земной оси. Важным фактором является и прозрачность, чистота атмосферы.

Радиация, падающая на внешнюю границу земной атмосферы, наиболее интенсивна в январе. Однако для точек на земной поверхности изменяется и склонение солнца, что определяет продолжительность светового дня и наклон солнечных лучей к горизонту — количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность земли, сильно зависит от широты местности, а также от высоты над уровнем моря<sup>1</sup>. Эти астрономические факторы могут быть рассчитаны с высокой точностью.

Солнечное излучение, достигающее земной поверхности, состоит из прямого потока лучей (прямой солнечной радиации) и диффузного (рассеянного) излучения. Сумма прямого и диффузного излучения называется суммарной радиацией, а плотность потока излучения, получаемую горизонтальной поверхностью (ее энергетическую освещенность), называют инсоляцией.

На изменение интенсивности радиации у земной поверхности в значительной мере сказываются погодные факторы, имеющие зачастую случайный характер. Прозрачность атмосферы зимой, как правило, выше. Отражение радиации от окружающей среды также непостоянно: отражательная способность травы летом ниже, чем снега зимой. Важнейшим

---

<sup>1</sup> Например, Кош-Агач расположен на высоте 1,8 км над уровнем моря. На таких высотах воздух разреженней и, как правило, чище, прозрачней.

случайным фактором является облачность, которая меняется не только день ото дня, но и час от часу.

Поэтому при описании закономерностей поступления солнечной энергии на земную поверхность приходится говорить о наиболее вероятном значении той или иной величины для данного момента времени, используя данные многолетних метеорологических наблюдений за прямой и рассеянной солнечной радиацией.

На практике для предсказания уровня солнечной радиации в наземных условиях либо используют данные измерений солнечной радиации, полученные в предполагаемом месте эксплуатации, либо оценивают теоретически по известным метеорологическим данным.

Для грубой визуальной оценки величины солнечной радиации может быть полезна таблица 1.

**Таблица 1.**  
**Суммарная и рассеянная радиация на поверхности Земли**  
**в зависимости от состояния облачности**

Состояние облачности	Ясно, голубое небо	Закрытое солнце, туманно, облачно	Небо закрыто облаками
Суммарная радиация, Вт/м <sup>2</sup>	600-1000	200-400	50-150
Рассеянная радиация, %	10-20	20-80	80-100

**Пример**

Горно-Алтайск расположен на 52 параллели северной широты. В дни весеннего равноденствия солнечные лучи падают на горизонтальную плоскость под углом 38°. Если принять, что под прямым углом интенсивность потока солнечной радиации составляет ≈1,2 кВт/м<sup>2</sup>, тогда под углом 38° интенсивность на 1 м<sup>2</sup> составит:

$$1,2 \cdot \sin 38^\circ \approx 0,74 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$$

20-22 июня при максимальной продолжительности светового дня в полдень угол падения солнечных лучей на горизонтальную плоскость составит 38°+23°≈61°. При этом интенсивность потока солнечной радиации

$$1,2 \text{ кВт} \cdot \sin 61^\circ \approx 1,05 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$$

В день зимнего солнцестояния угол падения солнечных лучей 38°–23°≈15°. Соответственно с одного квадратного метра можно получить

$$1,2 \text{ кВт} \cdot \sin 15^\circ \approx 0,31 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$$

## Типы коллекторов

Коллектор солнечной энергии представляет собой теплообменное устройство, использующее энергию излучения Солнца для увеличения температуры и, соответственно, внутренней энергии циркулирующего через солнечный коллектор теплоносителя жидкого (например, вода) или газообразного (например, воздух). Основным элементом коллектора является *абсорбер (поглощающая панель)*, через который циркулирует жидкий или газообразный теплоноситель. В водогрейных установках, как правило, используется жидкий теплоноситель. Обращенная к солнечным лучам зачерненная поверхность абсорбера поглощает энергию солнечной радиации, и выделяющаяся тепловая энергия отводится к потребителям через теплоноситель.

Тепловая мощность солнечного коллектора — количество тепловой энергии, вырабатываемой им за секунду, — зависит от многих факторов. Тепловая мощность выше, когда интенсивнее солнечное излучение, световые лучи падают на абсорбер примерно перпендикулярно, выше температура окружающего коллектор воздуха и сведены к минимуму тепловые потери коллектора как через нижнюю и боковые стенки корпуса, так и через прозрачное покрытие. Основной потребительской характеристикой солнечных коллекторов является *теплопроизводительность* — количество тепловой энергии, получаемой от солнечного коллектора за заданный промежуток времени (за световой день, месяц, сезон и т.п.), отнесенное к площади поглощающей панели.

В наибольшей степени теплопроизводительность зависит от интенсивности солнечного излучения, но на нее существенное влияние оказывает и температура наружного воздуха.

Конструктивно солнечные коллекторы, вообще говоря, отличаются значительным разнообразием как по форме (плоские или параболические — фокусирующие), так и по технологическим параметрам (с одинарным и двойным прозрачным покрытием, селективные, вакуумные и т.д.), работающие с естественной и принудительной циркуляцией теплоносителя.

В *фокусирующих* (зеркалами или линзами) *коллекторах солнечной энергии* достигается повышение плотности потока солнечной энергии. Плоские, параболоидные или параболоцилиндрические зеркала фокусирующих солнечных коллекторов изготавливают из тонкого металлического листа, фольги или других материалов с высокой отражательной способностью; линзы — из стекла или пластмасс. Однако концентрирование солнечной энергии на абсорбере — поглощающей панели, имеющей каналы для циркулирующего теплоносителя, — как правило, требует специального механизма слежения за солнцем. Фокусирующие коллекторы обычно применяются там, где требуются высокие температуры (солнечные электростанции, печи, кухни).

Принципиальным преимуществом *плоского коллектора* по сравнению с фокусирующим является способность улавливать в одинаковой мере как прямую (лучистую), так и рассеянную солнечную энергию. Поэтому плоский коллектор устанавливается стационарно, и нет необходимости отслеживать положения солнца в течение дня. Видимо, поэтому плоские коллекторы солнечной энергии получили наибольшее распространение в низкотемпературных (до  $-100^{\circ}\text{C}$ ) гелиоустановках. Их работа основана на непосредственном нагреве абсорбера солнечными лучами. Поглощающая панель (абсорбер) размещается в корпусе, обычно имеющем форму прямоугольного параллелепипеда (см. рис. 1), с однослойным или двухслойным остеклением грани, обращенной к солнцу, и непрозрачной теплоизоляцией остальных граней.

Теплоносителем обычно служит вода, а при работе солнечных коллекторов в периоды с отрицательной температурой наружного воздуха вместо воды необходимо использовать в качестве теплоносителя антифриз — раствор этиленгликоля с антикоррозийными добавками. В некоторых конструкциях в качестве теплоносителя служит воздух. Воздух не замерзает, не создает больших проблем, связанных с утечкой теплоносителя и коррозией оборудования. Однако из-за низкой плотности и теплоемкости воздуха размеры воздушных установок, расходы мощности на перекачку теплоносителя выше, чем у жидкостных систем. Поэтому при создании солнечных водогрейных установок предпочтение практически всегда отдается жидкостям.

---

### Устройство плоского солнечного коллектора

Основным элементом плоского солнечного коллектора (рис. 1) является абсорбер (1). Абсорбером может служить, например, зачерненная металлическая пластина. Обращенная к солнечным лучам поверхность абсорбера поглощает энергию солнечной радиации и нагревается. В одних конструкциях теплоноситель пропускается по трубкам (2), припаянным или приваренным к пластинам, улавливающим солнечное излучение. В других конструкциях абсорбер представляет собой штампованные пластины, в которых образованы каналы для теплоносителя (рис. 2). Теплоноситель благодаря хорошему тепловому контакту с абсорбером нагревается, и на выходе получается горячая вода. С боков и снизу корпус солнечного коллектора имеет тепловую изоляцию (3), сверху — прозрачное покрытие (4), также играющее роль тепловой изоляции.

При падении излучения на поверхность абсорбера поглощается не вся энергия — часть ее отражается. Чем выше поглощательная способность воспринимающей излучение поверхности, тем большая часть солнечной энергии будет поглощена. Если на полированную поверхность

металлического листа нанести слой сажи, коэффициент поглощения возрастет до 0,96.

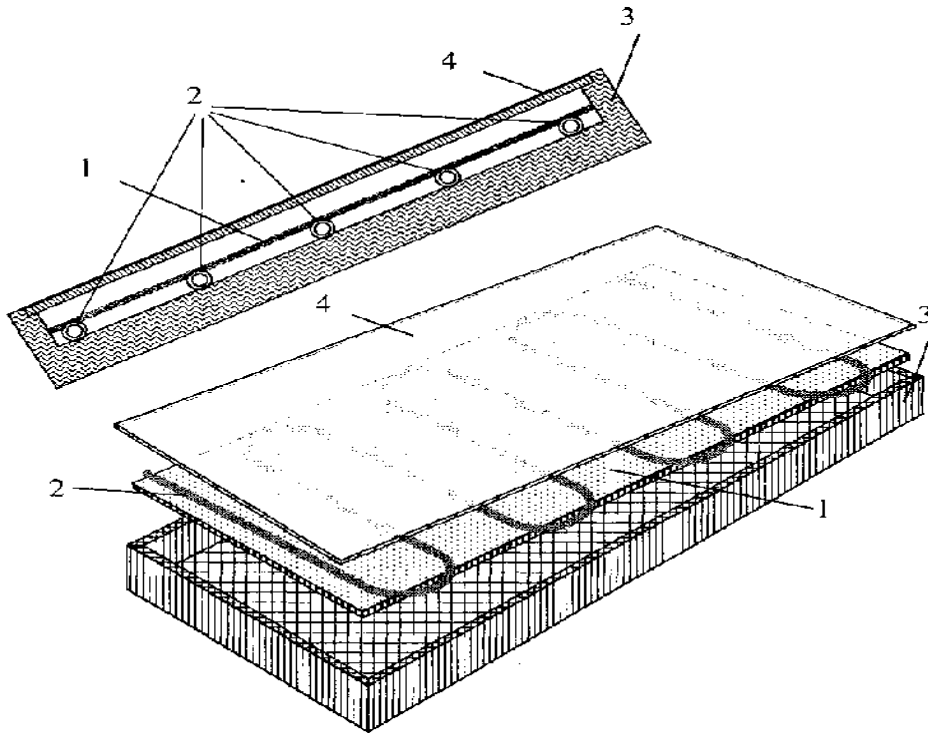


Рис. 1. Схема плоского солнечного коллектора

- |                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 1 — поглощающая панель (адсорбер); | 3 — корпус с тепловой изоляцией; |
| 2 — трубы для теплоносителя;       | 4 — прозрачное покрытие.         |

Нижняя и боковые стенки корпуса коллектора снабжаются тепловой изоляцией из пористого непрозрачного материала, имеющего низкую теплопроводность. Прозрачное покрытие (листовым стеклом) значительно снижает тепловые потери за счет уменьшения конвективных потерь, а также за счет избирательного пропускания излучения: стекло пропускает почти все солнечное излучение и не выпускает большую часть инфракрасного (теплого) излучения абсорбера.

Плоский коллектор с однослойным остеклением позволяет в летние дни получать воду с температурой 70-80°C. В таблице 3 приведена средняя мощность в Вт такого коллектора по месяцам за ту часть суток, когда приход солнечной энергии превышает тепловые потери, для типичных условий эксплуатации весной, летом и осенью: угол наклона к горизонту 45°, температура воды на выходе 50°C. В нижней строке таблицы 2 приведена продолжительность такого периода в часах.

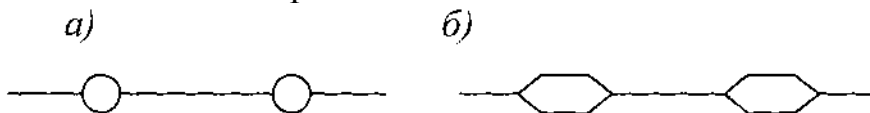


Рис. 2. Схема конструкций абсорбера.

- а) плоская трубчато-лепестковая; б) плоская штампованная

Таблица 2.

март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
72	144	207	252	259	224	150	57
3,3	5,9	7,5	8,3	8,4	8,0	6,4	2,5

### Двухслойное остекление

Потери тепла теплопроводностью через прозрачное покрытие можно сократить, используя двойное остекление с небольшим<sup>1</sup> примерно в 1 см толщиной зазором между стеклами. Увеличить приблизительно в два раза тепловое сопротивление прозрачного покрытия можно, применив не двойное, а тройное остекление: между стеклами будет два воздушных зазора толщиной в 1 см каждый.

Вместе с тем на каждом слое стекла происходит частичное отражение света. Поэтому на практике не используют более чем трехслойное остекление, а для солнечных водогрейных установок ограничиваются двумя. К тому же каждый слой остекления увеличивает стоимость, приводит к удорожанию конструкции.

### Прозрачная теплоизоляция с сотовой ячеистой структурой ПТИ

Для существенного снижения теплопотерь можно использовать ПТИ–прозрачную теплоизоляцию с сотовой ячеистой структурой (рис. 3). Эта теплоизоляция изготовлена в виде прямоугольных блоков из прозрачного материала (стекла, пластмассы) и состоит из продолговатых ячеек круглого, прямоугольного или шестиугольного сечения, напоминающих пчелиные соты. Потери на отражение света в ПТИ практически отсутствуют.

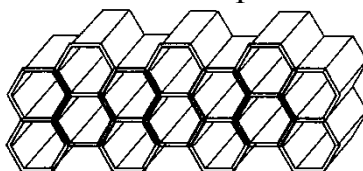


Рис. 3. Поперечное сечение прозрачной сотовой ячеистой структуры теплоизолирующего блока

Однако стенки ячеек изготовлены из реального прозрачного материала, имеющего оптические неоднородности. На этих неоднородностях происходит частичное рассеяние света во всевозможных направлениях, в результате часть энергии все же теряется в окружающее пространство. Коэффициент потерь энергии ячеистой структурой зависит от угла падения света — он минимален при нормальном падении.

Материал для ячеек должен иметь низкую теплопроводность и выдерживать достаточно высокие рабочие температуры (250÷300°С, именно такие температуры достижимы при использовании в качестве прозрачного

<sup>1</sup> чтобы предотвратить развитие конвекции.

покрытия блоков ПТИ). Толщина стенок ячеек не должна превышать 0,5 мм, а диаметр ячеек 5 мм. Рекомендованное отношение их высоты к диаметру не менее 5. Толщина серийно изготавливаемых блоков ПТИ заключена в пределах 50÷200 мм.

### **КПД солнечного коллектора**

КПД солнечного коллектора определяется как отношение полезной энергии, полученной коллектором, к суммарной падающей энергии солнечного излучения на плоскость солнечного коллектора.

При уменьшении плотности потока суммарной солнечной радиации КПД уменьшается до нуля и далее становится отрицательным. Это означает, что теплоноситель в солнечном коллекторе не нагревается, а остывает. Чтобы не допускать такого режима работы солнечного коллектора, необходимо обеспечить условия для своевременного прекращения циркуляции теплоносителя через солнечный коллектор.

Поступление тепла от коллектора может быть увеличено следующими способами:

- Поддержанием высокого уровня поступления солнечной радиации путем оптимальной ориентации коллектора. Оптимальная ориентация зависит, в частности, от того, для какого времени года предназначено использование коллектора. В зимнее время года поступление солнечной энергии невелико, продолжительность инсоляции короткая, а угол падения солнечных лучей на горизонтальную поверхность мал. Наиболее эффективны зимой коллекторы, расположенные на вертикальных поверхностях или имеющие большой угол наклона. Если коллектор предназначен для использования в течение всего года, то возможна установка не одного коллектора, а системы коллекторов с разными углами наклона. Возможно также использование плоских отражателей, расположенных под углом к коллектору так, чтобы отраженное солнечное излучение попадало на коллектор. На плоской крыше они могут соединять верхний край коллекторов предыдущего ряда с нижним краем коллекторов данного ряда<sup>1</sup>.
- Поддержанием на соответствующем уровне коэффициента пропускания защитного прозрачного покрытия.
- Снижением потерь тепла в подводящих трубопроводах.

---

### **Воздушные коллекторы**

Под воздушными коллекторами понимают коллекторы солнечной энергии, которые в качестве носителя теплоты используют воздух. В настоящее время они широко распространены в США и значительно меньше в странах Средней Европы. Еще менее распространены воздушные коллекторы для подогрева воды. Самый большой воздушный солнечный

---

<sup>1</sup> Однако это усложняет конструкцию крыши и приводит к удорожанию сооружения. Более целесообразно ставить коллекторы, у которых может меняться угол наклона. Это проще и дешевле, чем иметь систему с разными углами наклона.

---



коллектор Европы в городе Ошац вблизи Лейпцига имеет площадь около 1175 м<sup>2</sup>. Он отапливает склад стройматериалов и готовой продукции.

Воздушные коллекторы целесообразно применять для получения теплого воздуха (а не, допустим, горячей воды). Примеры применения воздушных коллекторов:

- Здания с системами воздушного отопления, такие, как спортивные залы, склады, цеха, помещения с большим потреблением наружного воздуха, а также жилые дома. В частности, в жилых домах, которые строятся в странах Западной Европы после ввода стандарта на низкое потребление энергии, доля потребления теплоты на подогрев воздуха в системе вентиляции в общем потреблении теплоты становится значительной. И система с использованием воздушного коллектора в сочетании с контролируемой вентиляцией может покрывать значительную часть требуемой теплоты. Полное обеспечение теплом от воздушных солнечных коллекторов зимой, правда, невозможно из-за неблагоприятного соотношения между количеством поступающей солнечной энергии и количеством тепла, требуемого для отопления.
- Помещения для сушки сельскохозяйственных или промышленных изделий, таких, как зерно, семена, лекарственные и пряные растения, древесина и другие стройматериалы и т.д. Сушающий потенциал воздушного солнечного коллектора лежит в диапазоне примерно от 0,2 до 0,7 кг воды за час от 1 м<sup>2</sup> поверхности коллектора.
- Солнечные системы охлаждения.

Хотя воздушные коллекторы распространены меньше, чем жидкостные, у них имеется несколько важных преимуществ по сравнению с коллекторами на жидких теплоносителях:

- воздушные коллекторы не замерзают и зимой;
- не представляет опасности утечка теплоносителя летом при перегреве;
- значительно меньше проблем, связанных с коррозией;
- воздушные коллекторы менее требовательны к материалам и часто дешевле;
- при непосредственном использовании нагретого в коллекторах воздуха нет потерь тепла в теплообменниках;
- пожарная безопасность.

Благодаря этим достоинствам они хорошо подходят для индивидуального строительства; их легко собрать на месте предстоящего применения, что приводит к меньшим расходам. К тому же воздушные коллекторы могут быть эффективными для отопления производственных помещений, гаражей, подсобных помещений и т.д.

Вместе с тем воздушные коллекторы имеют и несколько недостатков, ограничивающих их более широкое применение:

- воздухопроводы объемисты и могут сокращать полезную площадь в здании;
- им не хватает эффективного аккумулирования тепла;
- теплопроизводительность систем с воздушными солнечными коллекторами ниже, чем с жидкостными, из-за низкой плотности теплоносителя;
- обычно при работе воздушного коллектора для нагнетания воздуха требуется большая электрическая мощность, чем для работы жидкостного коллектора;
- коэффициент полезного действия воздушного коллектора меньше, чем жидкостного, что, в конечном счете, определяется физическими свойствами воздуха.

## Два типа конструкции воздушных коллекторов

Воздушные коллекторы делают плоскими. Они состоят из корпуса, прозрачного верхнего покрытия, абсорбера и теплоизоляции нижней и боковых стенок корпуса. Относительно выбора материала для различных компонентов, корпуса и обеспечения стойкости к атмосферному воздействию нужно соблюдать те же основные правила, что и для жидкостных коллекторов.

По конструкции абсорбера различают два класса воздушных коллекторов:

- с газопроницаемыми матричными абсорберами (рис. 4);
- с воздухонепроницаемыми обтекаемыми (чаще всего с тыльной стороны) плоскими абсорберами (рис. 5).

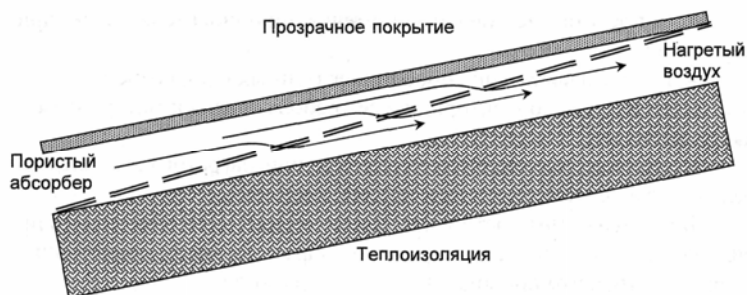


Рис. 4. Солнечный воздушный коллектор с матричным абсорбером

Воздушный коллектор с газопроницаемым матричным абсорбером (для краткости в дальнейшем будем говорить просто о матричном абсорбере) состоит из поглотителей из пористого материала с открытыми порами (здесь использован термин «матрица»). К примеру, это могут быть слои черных пористых текстильных материалов или пенопластовые пластины, которые размещают на пути воздуха как воздушные фильтры. Излучение солнца поглощается не только в поверхностном слое абсорбера, но и в его объеме. Между прозрачным покрытием и абсорбером оставляют щель переменной ширины для подачи воздуха к абсорберу. Когда воздух фильтруется через абсорбер, тот отдает свое тепло воздуху.

Противоположность матричным представляют коллекторы с обтекаемым плоским абсорбером из герметичного материала, как правило, листового металла (короче, с обтекаемым абсорбером). Как показано на рис. 5, воздух устремляется параллельно обтекаемому абсорберу либо вдоль обеих поверхностей абсорбера, либо только вдоль его тыльной поверхности. Тепло отдается стенками абсорбера воздуху конвекцией и теплопроводностью.

Когда коллектор используется для подогрева наружного воздуха, обычно выгоднее коллекторы с газопроницаемым матричным абсорбером. Дело в том, что когда наружный воздух имеет низкую температуру, прозрачное верхнее покрытие оказывается холодным, и при использовании конструкции с воздухонепроницаемым абсорбером, обтекаемым воздухом с обеих сторон, тепловые потери через прозрачное покрытие велики. В этом случае, или если в обычных условиях требуется нагревать воздух до более высокой температуры, часто выгоднее конструкции, у которых

воздухонепроницаемый абсорбер обтекается воздухом только с тыльной стороны. Нагретый воздух тогда не имеет непосредственного контакта с холодным прозрачным верхним покрытием, и коэффициент теплоотдачи получается ниже.

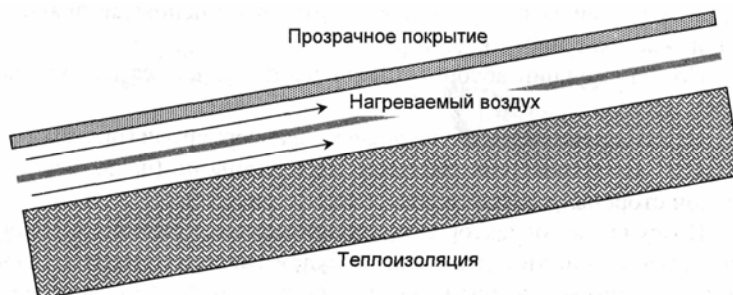


Рис. 5. Солнечный воздушный коллектор с воздухонепроницаемым абсорбером

Предусмотреть хорошую передачу теплоты от абсорбера к теплоносителю и обеспечить достаточно высокий коэффициент эффективности абсорбера при конструировании воздушных коллекторов еще важнее, чем при конструировании жидкостных коллекторов. Теплопроводность воздуха в 24 раза меньше теплопроводности воды. Поэтому нужно стремиться создать по возможности большую поверхность теплообмена и узкое поперечное сечение воздушного потока. Вместе с тем нужно предусмотреть, чтобы гидравлическое сопротивление — и соответственно расход электроэнергии на работу вентиляторов, обеспечивающих движение теплоносителя, — не были большими.

В канале гидравлическое сопротивление потоку быстро растет с ростом средней скорости воздуха. И хотя коэффициент теплоотдачи от абсорбера воздуху при этом тоже, вообще говоря, может расти, его рост будет происходить медленнее. В конкретных конструкциях воздушные каналы в коллекторе следует оптимизировать. Цель оптимизации состоит в том, чтобы при по возможности большей поверхности контакта с абсорбером для эффективной теплоотдачи в них не было чрезмерного падения давления воздуха.

### Замечание

Воздушные коллекторы не обладают высоким коэффициентом полезного действия, но они просты и дешевы в изготовлении и в эксплуатации. Для создания долговечных и устойчивых к погодным воздействиям в условиях сурового климата конструкций целесообразно использовать в качестве теплоизолятора пеностекло.

### Загрязнение коллектора

На практике, как правило, замкнутая циркуляция воздуха через воздушный коллектор не применяется — обычно в коллектор всасывается свежий воздух. Поэтому неизбежно постепенное загрязнение его внутренних поверхностей. Это необходимо учитывать при выборе конструкции коллектора. За длительный период эксплуатации и матричный, и обтекаемый

абсорберы постепенно будут загрязняться. Это будет приводить и к ухудшению поглощательной способности абсорбера, и к уменьшению коэффициента пропускания прозрачного покрытия. У матричного абсорбера могут существенно возрастать потери напора, так как его поры будут постепенно забиваться пылью и грязью. И если предполагается применение коллектора в условиях значительного запыления и загрязнения воздуха, предпочтение следует отдать коллекторам с обтекаемым абсорбером.

### Примеры исполнения конструкций воздушного коллектора

На рис.6 представлен пример коллектора с газопроницаемым матричным абсорбером, предназначенного для сушки семян, а в таблице 3 — основные его характеристики. В качестве газопроницаемого абсорбера использован нетканый текстильный материал из полипропиленового волокна. Воздушный канал образован прозрачной эфиропластовой пленкой (сверху) и закрепленной на Z-образном алюминиевом профиле пенополиуретановой пластиной (снизу). Для защиты прозрачного пленочного покрытия коллектора от погодных воздействий устанавливаются гофрированные плексигласовые листы или плоское листовое стекло.

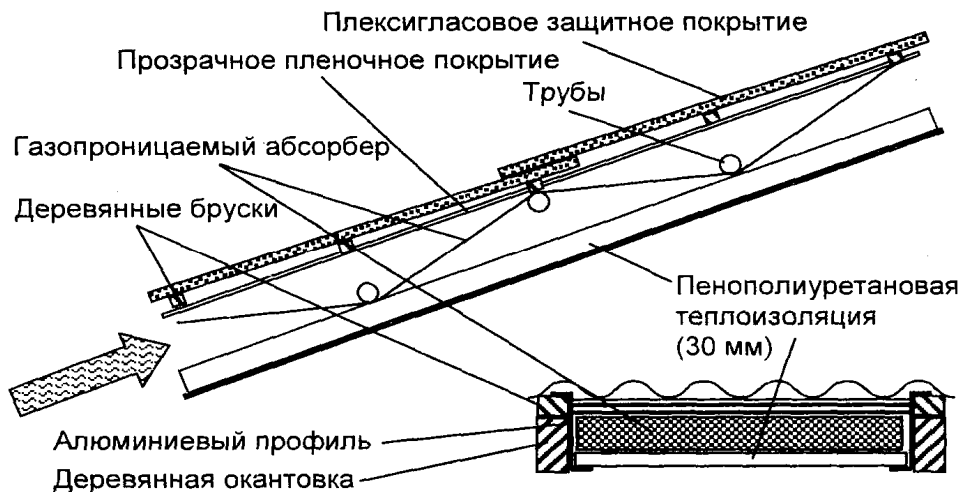


Рис. 6. Воздушный солнечный коллектор для сушки семян

Таблица 3.  
Технические данные коллектора

Длина	4150 мм	Ширина канала	570 мм
Ширина	778 мм	Площадь поверхности	2.40 м <sup>2</sup>
Глубина	375 мм	Материал абсорбера	нетканый текстильный материал
Глубина канала	70 мм		

На рис.7 изображена система фасадного воздушного коллектора с матричным абсорбером без прозрачного покрытия. Воздушный коллектор с матричным абсорбером размещен на фасаде строения. Он состоит из темных алюминиевых перфорированных листов. Отверстия диаметром около 1,5 мм просверлены по всему листу с шагом 20 мм как по горизонтали, так и по вертикали.

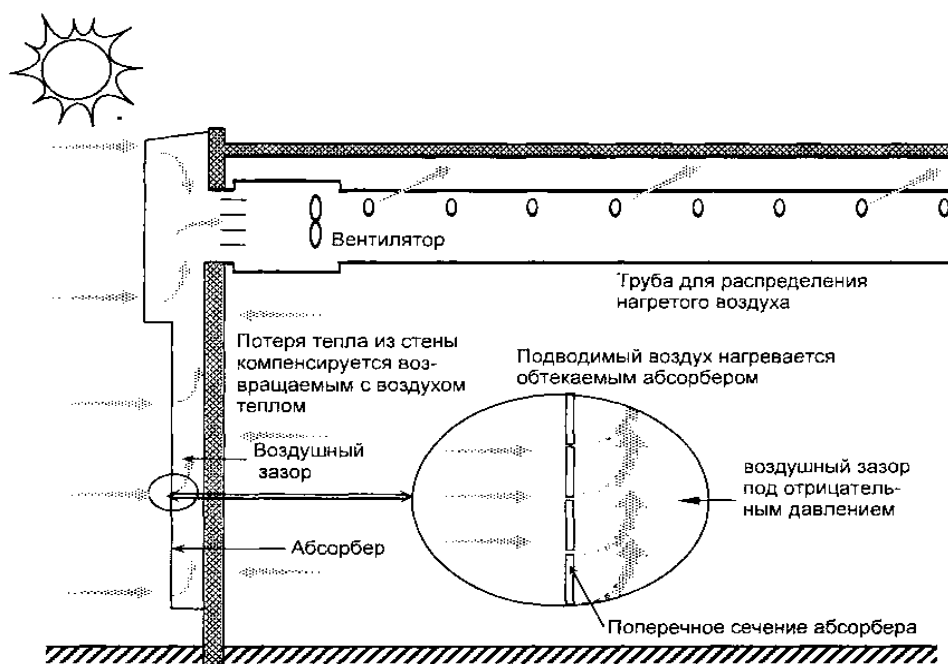


Рис. 7. Схема системы фасадного воздушного коллектора с матричным абсорбером без прозрачного покрытия

На рис. 13 изображен воздушный коллектор с обтекаемыми абсорберами из алюминия. Высота канала абсорбера может составлять в зависимости от размера воспринимающей излучение площади коллектора 28, 50 или 95 мм. Скорость потока в коллекторах составляет от 4 до 7 м/с. Если снабдить его фотоэлектрическим модулем, то вырабатываемый фотоэлектрическим модулем ток будет питать электродвигатель вентилятора, в результате система станет независимой от электросетей. Такая система может использоваться, например, для вентиляции строений, не обитаемых постоянно, таких как садовые домики или дачи.

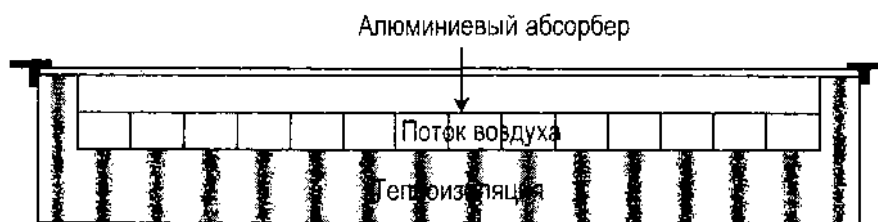


Рис. 8. Воздушный коллектор с обтекаемым (с тыльной стороны) абсорбером

В системе отопления с воздушными коллекторами тепло должно передаваться от твердых элементов системы к воздуху или обратно в трех точках:

- от нагретых солнечным излучением элементов к воздуху в коллекторе;
- от нагретого воздуха к аккумулятору тепла;
- от аккумулятора тепла к воздуху в периоды регенерации.

В каждой из этих трех точек имеются потери, снижающие эффективность системы.

Аккумулятор тепла должен не только обладать высокой тепловой емкостью, но и иметь большую поверхность теплообмена. Обычно в таких

аккумуляторах используется галька или гравий. Вместо гравия в корпусе аккумулятора можно поместить небольшие контейнеры, наполненные легкоплавкими солями.

Сочетать эту систему с аппаратурой для горячего водоснабжения трудно, но возможно.

---

### Аккумуляторы теплоты

Необходимость аккумуляирования теплоты в гелиосистемах обусловлена тем, что поток солнечной энергии изменяется в течение суток и в течение года.

Запас энергии в аккумуляторе может быть рассчитан на несколько часов или суток при краткосрочном аккумуляировании и на несколько месяцев — при сезонном аккумуляировании. В целом же применение аккумулятора теплоты повышает эффективность гелиосистемы и надежность теплоснабжения.

Низкотемпературные системы аккумуляирования теплоты охватывают диапазон температур от 30 до 100°C и используются в системах воздушного (30°C) и водяного (30–90°C) отопления и горячего водоснабжения (45–60°C). Система аккумуляирования теплоты, как правило, содержит:

- резервуар,
- теплоаккумулирующий материал, с помощью которого осуществляется накопление и хранение тепловой энергии,
- теплообменные устройства для подвода и отвода теплоты при зарядке и разрядке аккумулятора и
- тепловую изоляцию.

Аккумуляторы можно классифицировать по характеру физико-химических процессов, протекающих в теплоаккумулирующих материалах (ТАМ):

- аккумуляторы, емкостного типа, в которых используется теплоемкость нагреваемого (охлаждаемого) аккумуляирующего материала без изменения его агрегатного состояния (природный камень, галька, вода, водные растворы солей и др.);
- аккумуляторы фазового перехода вещества, в которых используется теплота плавления (затвердевания) вещества;
- аккумуляторы энергии, основанные на выделении и поглощении теплоты при обратимых химических и фотохимических реакциях.

В аккумуляторах первой группы происходят последовательно или одновременно процессы нагревания и охлаждения теплоаккумулирующего материала либо непосредственно за счет солнечной энергии, либо через *теплообменник*. Этот способ аккумуляирования тепловой энергии наиболее широко распространен. Основным недостатком аккумуляторов этого типа является их большая масса и как следствие этого — потребность в больших площадях и строительных объемах в расчете на 1ГДж аккумуляируемой

---

теплоты. Сравнение различных теплоаккумулирующих материалов приведено в таблице 4.

**Таблица 4.**  
**Сравнение некоторых теплоаккумулирующих материалов**

Характеристика ТАМ	Гранит, галька	Вода	Глауберова соль (декагидрат сульфата натрия)		Парафин
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1600	1000	1460 <sup>ж</sup>	1330 <sup>ж</sup>	786 <sup>т</sup>
Теплоемкость, кДж/(кг•К)	0,84	4,2	1,92 <sup>т</sup>	3,26 <sup>ж</sup>	2,89 <sup>т</sup>
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м•К)	0,45	0,6	1,85 <sup>т</sup>	1,714 <sup>ж</sup>	0,498 <sup>т</sup>
Масса ТАМ для аккумулирования 1 ГДж теплоты при ΔТ=20 К, кг	59 500	11 900	3300		3750
Относительная масса ТАМ по отношению к массе воды, кг/кг	5	1	0,28		0,32
Объем ТАМ для аккумулирования 1 ГДж теплоты при ΔТ=20 К, м <sup>3</sup>	49,6 <sup>ж</sup>	11,9	2,26		4,77
Относительный объем ТАМ по отношению к объему воды, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	4,2	1	0,19		0,4

Примечания:

1. Обозначения степени следующие:  
т — твердое состояние; ж — жидкое состояние; — с учетом объема пустот — 25%.
2. Температура и теплота плавления: парафин — 47°C и 209 кДж/кг;  
глауберова соль — 32°C и 251 кДж/кг.

### Аккумуляторы теплоты емкостного типа

Это наиболее широко распространенные устройства для аккумулирования тепловой энергии. Теплоаккумулирующую способность или количество теплоты (кДж), которое может быть накоплено в аккумуляторе теплоты емкостного типа, определяют по формуле

$$Q = m \cdot C_p (T_2 - T_1)$$

где  $m$  — масса теплоаккумулирующего вещества, кг;

$C_p$  — удельная изобарная теплоемкость вещества, кДж/(кг•К);

$T_2$  и  $T_1$  — средние значения начальной и конечной температур теплоаккумулирующего вещества, °С.

Наиболее эффективный теплоаккумулирующий материал в жидкостных солнечных системах теплоснабжения — это вода. Для сезонного аккумулирования теплоты перспективно использование подземных водоемов, грунта, скальной породы и других природных образований.

В крупномасштабных системах достаточно успешно используют железобетонные и стальные резервуары вместимостью до 100 тыс. м<sup>3</sup>, в которых горячая вода, обладающая значительной теплоемкостью, может сохранять при температуре 80–95°C до 8 тыс. ГДж теплоты. Они достаточно просты в эксплуатации, но требуют больших капиталовложений. Целесообразно их использование совместно с тепловыми насосами, в этом случае их теплоаккумулирующая способность может удвоиться за счет более глубокого (до 5°C) охлаждения воды в резервуаре.

Положительный опыт в сезонном аккумулировании теплоты накоплен в Швеции<sup>1</sup>, где успешно эксплуатируются крупные гелиотеплонасосные системы теплоснабжения целых поселков. Однако для индивидуального потребления наибольший интерес представляют аккумуляторы теплоты для небольших солнечных установок горячего водоснабжения и отопления.

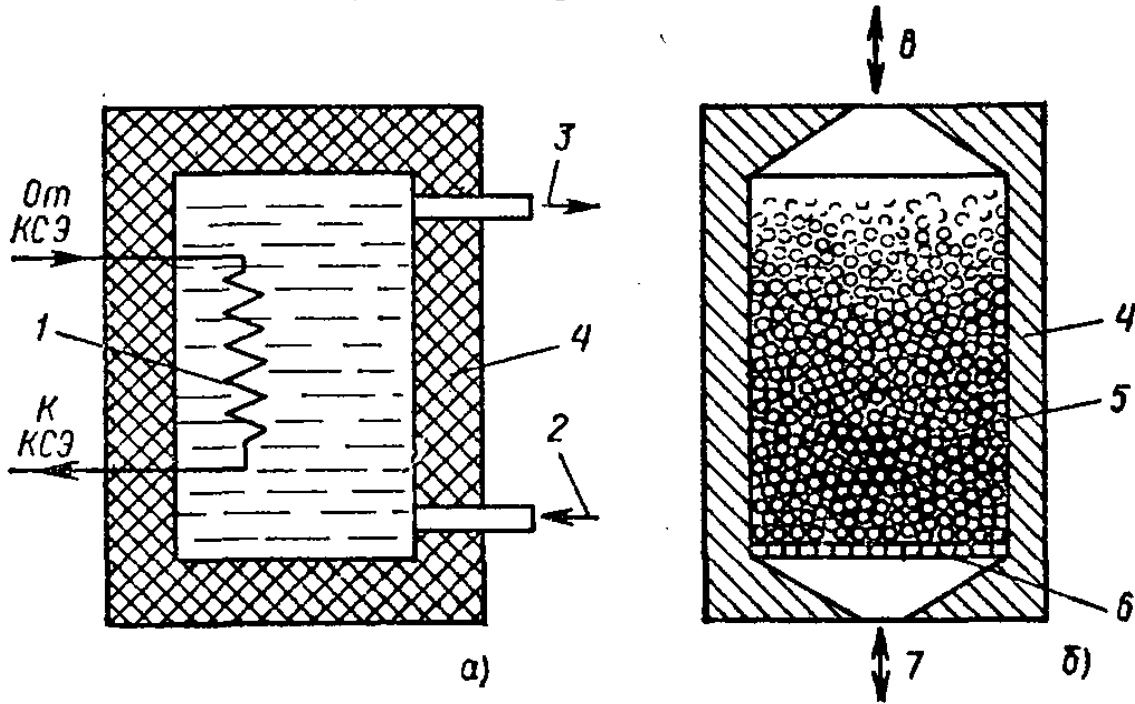


Рис. 9. Аккумуляторы теплоты емкостного типа — водяной (а) и галечный (б):

- |                    |                                      |                                |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| 1 — теплообменник; | 3 — горячая вода;                    | 5 — слой гальки;               |
| 2 — холодная вода; | 4 — теплоизолированный бак (бункер); | 6 — решетка;                   |
|                    |                                      | 7, 8 — подвод (отвод) воздуха. |

На рис. 10 показаны примеры конструктивного исполнения баков аккумуляторов вместимостью 200–500 л, применяемые в водонагревательных установках с *естественной* и *принудительной* циркуляцией. Как правило, используется вертикальный стальной бак высотой в 3–5 раз больше его диаметра для обеспечения температурного расслоения воды. Тепловые потери бака снижаются путем применения теплоизоляции типа стекловаты толщиной не менее 50 мм. Внутренняя поверхность бака, контактирующая с водопроводной водой, должна быть защищена от коррозии. Для этого бак должен быть изготовлен из нержавеющей стали, иметь эмалевое покрытие или анод из магния или анодную защиту с внешним источником электричества. В баке могут быть предусмотрены горизонтальные перегородки (рис. 10, а и г), поплавковый клапан для подвода холодной воды (рис. 10, б) и труба для ее поступления в нижнюю часть бака, теплообменник

<sup>1</sup> В качестве примера серьезного отношения к солнечной энергетике в Швеции можно привести законодательную норму, согласно которой при индивидуальной застройке застройщику, использующему солнечные коллекторы и представившему заключение специальной экспертизы (о том, сколько тонн условного топлива будет экономиться, благодаря солнечным коллекторам) — компенсируется экономия.



в двухконтурной системе для подвода теплоты от КСЭ (рис. 10, в и з), электронагреватель и теплообменник для отвода теплоты в систему отопления (рис. 10, з). Перегородки разделяют бак на секции с различными уровнями температуры воды по высоте, так что в верхней части бака вода имеет более высокую температуру, чем в нижней. Это повышает эффективность аккумулирования теплоты. В схемах а и б теплоносителем в КСЭ служит вода, а в схемах в и з — антифриз, поэтому используется теплообменник для передачи теплоты от антифриза к воде.

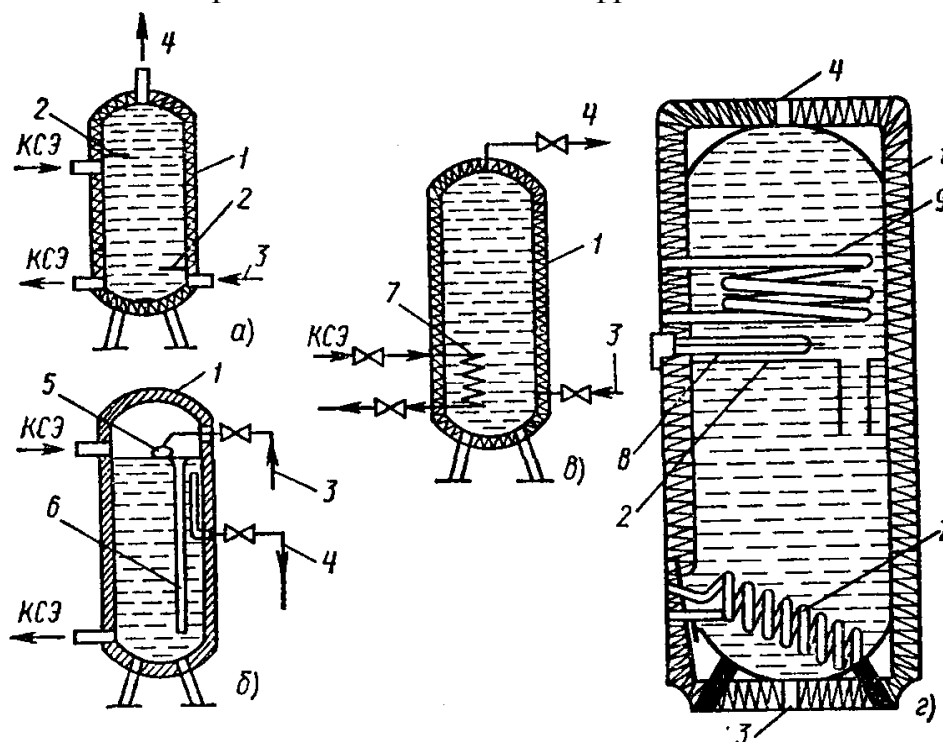


Рис. 10. Баки — аккумуляторы горячей воды

- |   |                                |
|---|--------------------------------|
| а — бак с подводом холодной воды снизу и внутренними перегородками; | 1 — теплоизолированный корпус; |
| б — бак с поплавковым клапаном для подвода холодной воды;           | 2 — перегородка;               |
| в — бак с подводом теплоты из КСЭ через теплообменник;              | 3 — подвод холодной воды;      |
| з — секционированный бак с электронагревателем;                     | 4 — отвод горячей воды;        |
|   | 5 — поплавковый клапан;        |
|   | 6 — опускная труба;            |
|   | 7 — теплообменник;             |
|   | 8 — электронагреватель;        |
|   | 9 — теплообменник.             |

В солнечных воздушных системах теплоснабжения обычно применяются *галечные аккумуляторы теплоты*, представляющие собой емкости круглого или прямоугольного сечения, содержащие гальку размером 20–50 мм в виде насадки из плотного слоя частиц. Аккумуляторы этого типа обладают рядом достоинств, но по сравнению с водяным аккумулятором в этом случае требуется больший объем. Галечный аккумулятор может располагаться вертикально или горизонтально.

Горячий воздух, поступающий днем из солнечного коллектора в аккумулятор, отдает гальке свою теплоту, и таким образом происходит зарядка аккумулятора. При разрядке аккумулятора ночью или в ненастную

погоду воздух движется в обратном направлении и отводит теплоту к потребителю.

Однако, при одинаковой энергоемкости объем галечного аккумулятора теплоты в 3 раза больше объема водяного бака-аккумулятора.

### **Аккумуляторы теплоты фазового перехода**

Основное преимущество теплоты с фазовым переходом — высокая удельная плотность энергии, благодаря чему существенно уменьшаются масса и объем аккумулятора по сравнению с емкостными аккумуляторами.

Для низкотемпературных солнечных систем теплоснабжения в аккумуляторах фазового перехода наиболее пригодны органические вещества (парафин и некоторые жирные кислоты) и кристаллогидраты неорганических солей, например гексагидрат хлористого кальция  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  или глауберова соль  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , плавящиеся при 29 и 32°C соответственно. При использовании кристаллогидратов возможно разделение смеси и ее переохлаждение, вызывающие нестабильность этих недорогих веществ и снижающие число рабочих циклов. Для устранения этих недостатков к теплоаккумулирующему материалу добавляют специальные вещества, которые обеспечивают равномерную кристаллизацию расплава и способствуют длительному использованию материала в многократных циклах плавления — затвердевания. Для организации эффективного теплообмена используются ребренные поверхности, капсулы, заполненные теплоаккумулирующим материалом, а также теплопроводные матрицы (ячеистые структуры). Это необходимо в первую очередь при использовании органических веществ, имеющих очень низкий коэффициент теплопроводности [0,15 Вт/(м·°C)].

### **Солнечный пруд**

В солнечном пруду происходит одновременно улавливание и накапливание солнечной энергии в большом объеме жидкости. Обнаружено, что в некоторых естественных соленых озерах температура воды у дна может достигать 70°C. Это обусловлено высокой концентрацией соли. В обычном водоеме поглощаемая солнечная энергия нагревает в основном поверхностный слой, и эта теплота довольно быстро теряется, особенно в ночные часы и при холодной ненастной погоде из-за испарения воды и теплообмена с окружающим воздухом. Солнечная энергия, проникая через всю массу жидкости в солнечном пруду, поглощается окрашенным в темный цвет дном и нагревает прилегающие слои жидкости, в результате чего температура ее может достигать 90–100°C в то время как температура поверхностного слоя остается на уровне 20°C. Благодаря высокой теплоемкости воды в солнечном пруду за летний сезон накапливается большое количество теплоты, и вследствие низких тепловых потерь падение температуры в нижнем слое в холодный период года происходит медленно,

так что солнечный пруд служит сезонным аккумулятором энергии. Теплота к потребителю отводится из нижней зоны пруда.

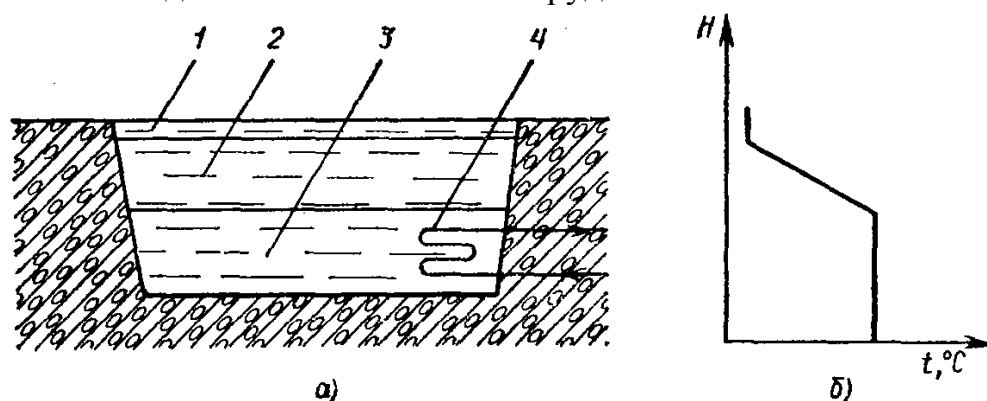


Рис. 11. Схема солнечного пруда (а) и изменения температуры (б)

- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| 1 — пресная вода;  | 3 — слой горячего раствора; |
| 2 — изолирующий слой с увеличивающейся к низу концентрацией; | 4 — теплообменник.          |

Схема солнечного пруда и график изменения температуры по его глубине даны на рис. 11. Обычно глубина пруда составляет 1–3 м. На 1 м<sup>2</sup> площади пруда требуется 500–1000 кг поваренной соли, ее можно заменить хлоридом магния.

Описанный эффект достигается благодаря тому, что по глубине солнечного пруда поддерживается градиент концентрации соли, направленный сверху вниз, т.е. весь объем жидкости как бы разделен на три зоны, концентрация соли в которых возрастает от поверхности к дну. Верхний тонкий слой (10–20 мм) практически пресной воды граничит с неконвективным слоем жидкости большой толщины, в котором концентрация соли по глубине постепенно увеличивается и достигает максимального значения на нижнем уровне. Толщина этого слоя составляет 2/3 общей глубины водоема. В нижнем конвективном слое концентрация соли максимальна и равномерно распределена в объеме жидкости. Итак, плотность жидкости максимальна у дна пруда и минимальна у его поверхности в соответствии с распределением концентрации соли. Солнечный пруд служит одновременно коллектором и аккумулятором теплоты и отличается низкой стоимостью по сравнению с обычными коллекторами солнечной энергии (КСЭ). Отвод теплоты из солнечного пруда может осуществляться либо посредством змеевика, размещенного в нижнем слое жидкости, либо путем отвода жидкости из этого слоя в теплообменник, в котором циркулирует теплоноситель. При первом способе меньше нарушается температурное расслоение жидкости в пруду, но второй способ теплотехнически более эффективен и экономичен.

Солнечные пруды могут быть использованы в гелиосистемах отопления и горячего водоснабжения жилых и общественных зданий, для получения технологической теплоты, в системах кондиционирования воздуха абсорбционного типа, для производства электроэнергии.

## **Солнечные установки коммунально-бытового назначения**

### **Солнечные водонагревательные установки**

В районах, имеющих более 1800 ч солнечного сияния в год<sup>1</sup>, целесообразно использовать солнечную энергию для теплоснабжения зданий. Солнечные водонагревательные установки получили довольно широкое распространение благодаря простоте их конструкции, надежности, быстрой окупаемости.

Максимальная суточная производительность плоского солнечного коллектора Братского завода равна 70–100 л горячей воды на 1 м<sup>2</sup> площади КСЭ в летний солнечный день, а годовая экономия топлива от применения солнечных систем теплоснабжения составляет 100–170 кг условного топлива на 1 м<sup>2</sup> площади КСЭ в зависимости от района страны, в котором установлены коллекторы.

К концу 80-х гг. XX века во всем мире в эксплуатации находились уже более 5 млн. солнечных водонагревательных установок, используемых в индивидуальных жилых домах, централизованных системах горячего водоснабжения жилых и общественных зданий, включая гостиницы, больницы, спортивно-оздоровительные учреждения и т.п. В технологически развитых странах (Япония, США, Индия, Франция и др.) налажено промышленное производство солнечных водонагревателей.

По принципу работы солнечные водонагревательные установки можно разделить на два типа: установки с *естественной* (пассивные) и *принудительной* циркуляцией теплоносителя. В последние годы все больше производится пассивных водонагревателей, которые работают без насоса, а следовательно, не потребляют электроэнергию. Они проще в конструктивном отношении, надежнее в эксплуатации, почти не требуют ухода, а по своей эффективности практически не уступают солнечным водонагревательным установкам с принудительной циркуляцией. Более половины пассивных водонагревателей составляют установки термосифонного типа с естественной циркуляцией, а остальные — это компактные водонагреватели, в которых бак-аккумулятор горячей воды и коллектор солнечной энергии объединены (интегрированы) в единое компактное устройство.

### **Водонагреватели с естественной циркуляцией воды**

Принцип работы солнечной водонагревательной установки термосифонного типа с естественной циркуляцией теплоносителя показан на

---

<sup>1</sup> Еще раз напомним, что для юга Западной Сибири характерна инсоляция в размере порядка 2–2,5 тысяч часов солнечного сияния в год.

рис. 12, а. Установка содержит коллектор солнечной энергии, бак-аккумулятор горячей воды, подъемную трубу и опускную трубу. В нижнюю часть бака-аккумулятора подводится холодная вода (ХВ), и из его верхней части отводится к потребителям горячая вода (ГВ). Перечисленные элементы образуют контур естественной циркуляции воды. По подъемной трубе горячая вода из коллектора солнечной энергии поступает в бак-аккумулятор, а по опускной трубе из бака в коллектор поступает более холодная вода для нагрева за счет поглощенной солнечной энергии. Поскольку средняя температура воды в подъемной трубе выше, чем в опускной, плотность воды, напротив, ниже во второй трубе. И вследствие этого возникает разность давлений (Па), вызывающая движение воды в контуре циркуляции.

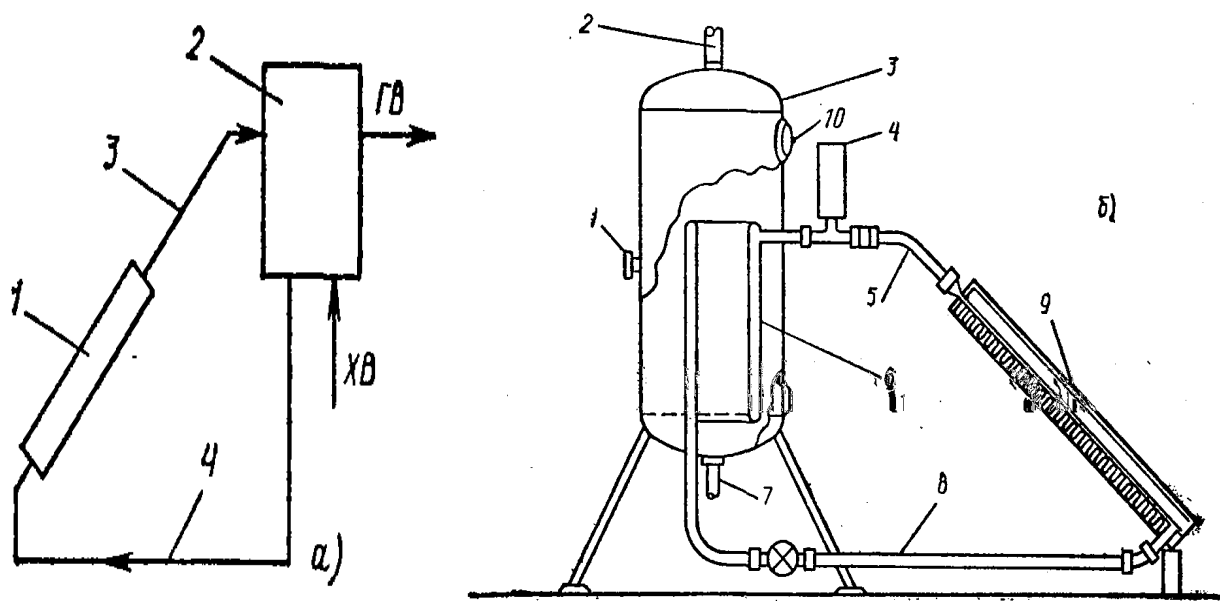


Рис. 12. Схема (а) и конструкция (б) солнечного водонагревателя с естественной циркуляцией:

- |    |                            |                                   |
|----|----------------------------|-----------------------------------|
| а: | 1 — солнечный коллектор;   | 2 — бак-аккумулятор горячей воды; |
| б: | 1 — термостат;             | 6 — теплообменник;                |
|    | 2 — горячая вода;          | 7 — подвод холодной воды;         |
|    | 3 — бак горячей воды;      | 8 — обратная труба;               |
|    | 4 — расширительный бак;    | 9 — коллектор;                    |
|    | 5 — горячий теплоноситель; | 10 — электронагреватель.          |

Очевидно, что чем больше разность температур воды, тем больше разность давлений и интенсивнее движение воды.

Непременным условием эффективной работы солнечной водонагревательной установки термосифонного типа является тепловая изоляция всех нагретых поверхностей — прежде всего бака-аккумулятора, подъемной и опускной труб, патрубка для отвода горячей воды к водоразборным кранам или душу и воздушника. Толщина тепловой изоляции бака должна быть 50–75 мм при использовании минеральной ваты или другого материала с коэффициентом теплопроводности 0,04–0,045 Вт/(м•К), а для трубопроводов — от 25 мм для опускной трубы до 50 мм для подъемного и соединительных трубопроводов. Точка присоединения подъемной трубы к

баку-аккумулятору должна находиться в верхней части бака на расстоянии не менее  $2/3$  высоты бака от его днища, а патрубок для подпитки холодной воды следует присоединять к нижней части бака. При необходимости использования электронагревателя для догрева воды внутри бака-аккумулятора его необходимо располагать горизонтально и размещать в верхней части бака. При соблюдении указанных условий обеспечивается температурное расслоение (стратификация) жидкости по высоте бака, при этом температура воды в нижней части бака ниже, чем в верхней. Благодаря этому в коллектор поступает вода с невысокой температурой, КПД коллектора возрастает и солнечная энергия используется более эффективно.

Более высокое положение бака-аккумулятора относительно коллектора солнечной энергии в водонагревательных установках термосифонного типа имеет важное значение не только для обеспечения циркуляции теплоносителя в дневное время (на схеме направление движения — по часовой стрелке), но также и для предотвращения циркуляции воды в обратном направлении — против часовой стрелки — в ночное время. Это возможно при низком положении бака, когда горячая вода из верхней части бака ночью поступает в коллектор, там она охлаждается за счет излучения энергии в окружающее пространство и конвекции и возвращается в нижнюю часть бака. Естественно, это нежелательный процесс, так как он вызывает потери энергии, и для его предотвращения бак-аккумулятор должен быть установлен так, чтобы его днище было выше верхней отметки наклонного коллектора солнечной энергии на 300–600 мм.

Солнечные водонагревательные установки с естественной циркуляцией теплоносителя являются саморегулирующимися системами, и расход жидкости в них полностью определяется интенсивностью поступающего солнечного излучения, а также теплотехническими и гидравлическими характеристиками солнечного коллектора, бака-аккумулятора и соединительных трубопроводов.

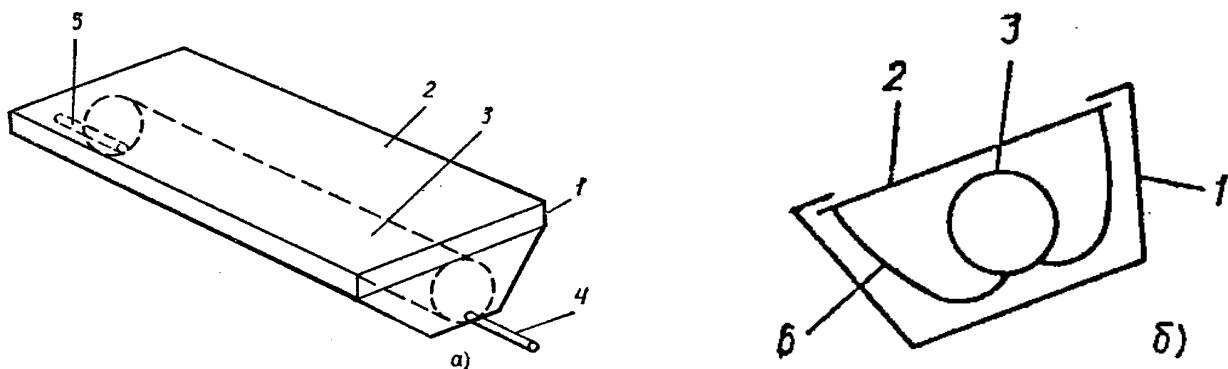


Рис. 13. Компактный солнечный водонагреватель емкостного типа

- |   |                 |                           |
|---|-----------------|---------------------------|
| <i>a</i> — с одной или несколькими емкостями с водой; | 1 — корпус;     | 4 — подвод холодной воды; |
| <i>б</i> — с отражателем солнечной энергии;           | 2 — остекление; | 5 — отвод горячей воды;   |
|   | 3 — емкость;    | 6 — отражатель            |

В условиях холодного климата в солнечном коллекторе следует использовать незамерзающий теплоноситель — смесь воды с этилен- или пропиленгликолем, глиэнтин (смесь воды с глицерином) и др. В этом случае

схема становится двухконтурной. Пример конструктивного выполнения водонагревателя с антифризом в контуре коллектора показан на рис. 12, б. Теплота, полученная незамерзающим теплоносителем в коллекторе, передается воде посредством теплообменника, размещенного в нижней части бака-аккумулятора. По санитарно-гигиеническим нормам вода должна быть надежно защищена от попадания теплоносителя, содержащего токсические вещества.

Говоря о компактных интегрированных водонагревателях, обратим внимание на исходную конструкцию, схематически показанную на рис. 13, а. В теплоизолированном корпусе с остекленной верхней крышкой (2) размещена емкость (3) с черной или селективной наружной поверхностью. Для подвода холодной и отвода горячей воды предусмотрены патрубки. Эффективность водонагревателя можно повысить с помощью отражателя, имеющего специальную форму и помещенного внутри корпуса (рис. 13, б). КПД компактных водонагревателей достигает 60%. На рис. 14 (а, б) показана конструкция компактного водонагревателя с солнечным коллектором, выполненным из тепловых труб с надетыми на них с помощью пружинящих прижимов плоскими ребрами, имеющими селективное покрытие в виде фольги, приклеиваемой к ребрам. Теплота от абсорбера коллектора передается баку-аккумулятору контактным способом с помощью листа, приваренного к ребрам и соприкасающегося со всей поверхностью днища бака. Площадь солнечного коллектора составляет всего 1,4–1,6 м<sup>2</sup>, объем аккумулятора равен 60–100 л, КПД водонагревателя равен 60%. Благодаря применению тепловых труб эффективность теплообмена достаточно высока, и вода, поступающая в бак, нагревается за счет теплоты, подводимой от коллектора с помощью контактного листа. В этом случае полностью исключается возможность загрязнения воды рабочей жидкостью, находящейся в тепловых трубах.

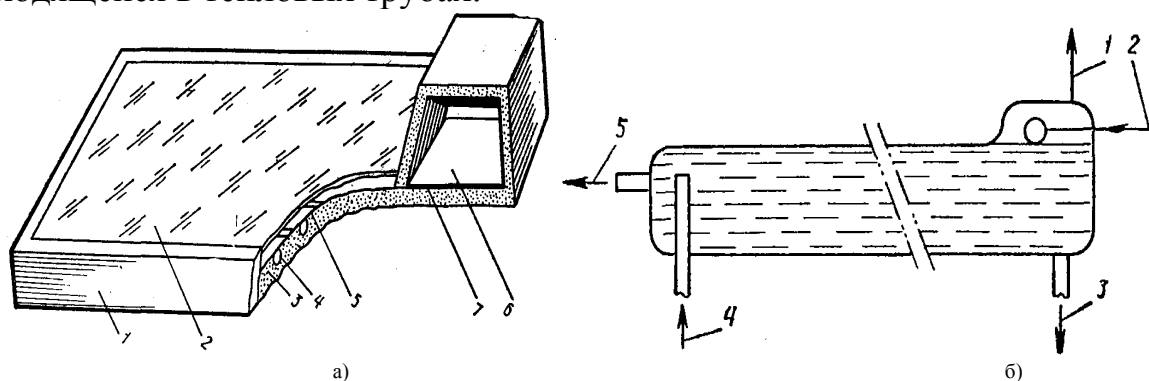


Рис. 14. а) Компактный солнечный водонагреватель;

б) Типичная конфигурация бака-аккумулятора компактного водонагревателя

- |    |   |                                  |
|----|---|----------------------------------|
| а) | 1 — корпус;                               | 5 —ребро;                        |
|    | 2 — остекление;                           | 6 — бак;                         |
|    | 3 — теплоизоляция;                        | 7 — контактный лист              |
|    | 4 — тепловая труба;                       |                                  |
| б) | 1 — автоматический воздушный клапан;      | 3 — вода в коллектор;            |
|    | 2 — подвод воды через поплавковый клапан; | 4 — нагретая вода из коллектора; |
|    |   | 5 — горячая вода к потребителям  |

## Водонагревательные установки с принудительной циркуляцией

Установки с принудительной циркуляцией теплоносителя целесообразно использовать для горячего водоснабжения крупных объектов. В них солнечный коллектор представляет собой большой массив модулей КСЭ. Эти установки имеют большую теплопроизводительность, но, как правило, они довольно сложны. Принципиальная схема установки с циркуляцией воды в контуре КСЭ с помощью насоса подачи холодной воды в бак-аккумулятор и регулированием температуры горячей воды, поступающей к потребителю, путем подмешивания холодной воды в смесительном клапане показана на рис. 15.

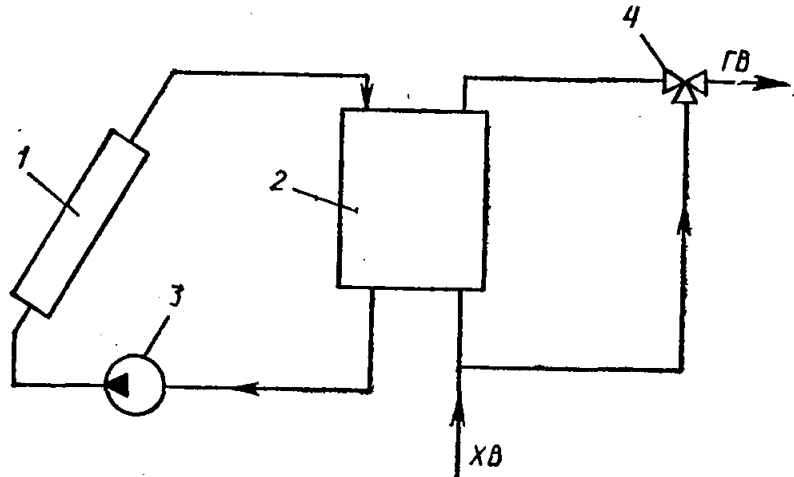


Рис. 15. Солнечная водонагревательная установка с принудительной циркуляцией

- |                          |                                   |
|--------------------------|-----------------------------------|
| 1 — солнечный коллектор; | 4 — клапан;                       |
| 2 — бак-аккумулятор;     | ХВ и ГВ — холодная и горячая вода |
| 3 — насос;               |                                   |

В холодном климате, как правило, применяются двухконтурные схемы водонагревательных установок (рис. 16). В первом контуре, состоящем из солнечного коллектора и теплообменника с циркуляционным насосом и расширительным баком, используется незамерзающий теплоноситель. Второй контур образуют бак-аккумулятор, теплообменник и электрический или газовый котел. Холодная вода подводится в нижнюю часть бака-аккумулятора, а вода, нагретая в теплообменнике, поступает в верхнюю часть бака, а оттуда через автоматический смесительный клапан и котел подается к потребителям. Все оборудование, кроме солнечного коллектора, устанавливаемого снаружи, размещается в здании, поэтому подобные системы могут эксплуатироваться и в холодный период года. Газовый котел предназначен для доведения температуры горячей воды, предварительно нагретой за счет солнечной энергии, до требуемого значения. При отсутствии солнечной радиации или недостаточном ее поступлении вся тепловая нагрузка горячего водоснабжения обеспечивается газовым котлом.

Солнечные водонагреватели могут использоваться в качестве первой ступени для предварительного подогрева воды в обычных топливных системах горячего водоснабжения жилого здания.



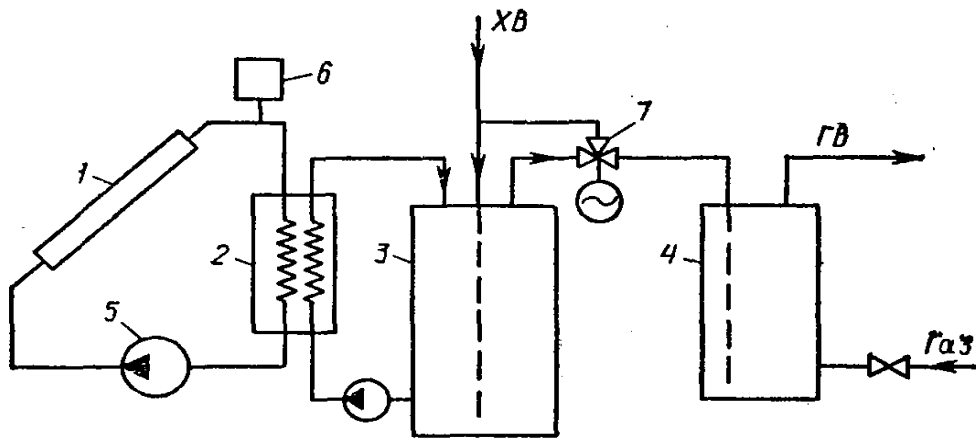


Рис. 16. Двухконтурная схема солнечной водонагревательной установки

- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| 1 — солнечный коллектор;      | 5 — насос;                              |
| 2 — теплообменник;            | 6 — расширительный бак;                 |
| 3 — аккумулятор горячей воды; | 7 — автоматический смесительный клапан; |
| 4 — дублер (газовый котел);   | ХВ и ГВ — холодная и горячая вода       |

Для достижения высокой эффективности всей гелиотопливной системы горячего водоснабжения следует избегать смещения горячей и холодной жидкости в баке-аккумуляторе, для чего в нем необходимо поддерживать температурное расслоение (стратификацию) жидкости. Горячая жидкость имеет меньшую плотность, чем холодная, и поэтому она находится в верхней части бака, а температура в нем уменьшается сверху вниз. Жидкость подается в солнечный коллектор из нижней части бака, где она имеет наиболее низкую температуру, и благодаря этому обеспечивается более высокий КПД коллектора. Нагретая жидкость из коллектора подается в верхнюю зону бака. Для обеспечения температурной стратификации жидкости в баке можно, в частности, использовать перфорированные горизонтальные перегородки, разделяющие бак на две или несколько зон и предотвращающие перемешивание слоев жидкости с разными температурами. Отводить горячую воду к потребителю необходимо из верхней части бака, где также можно установить электронагреватель, который будет обеспечивать требуемую температуру горячей воды при любых погодных условиях. Однако наилучшим решением является использование двух баков-аккумуляторов — одного с высокой температурой жидкости, а второго — с низкой.

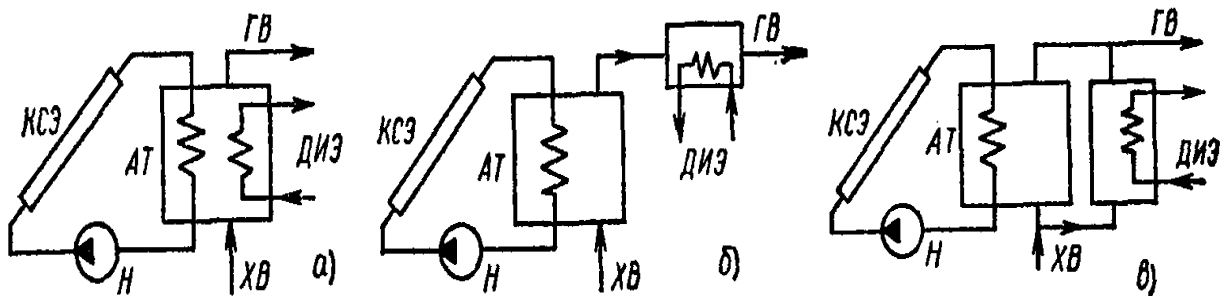


Рис. 17. Схемы водовода теплоты от дополнительного источника энергии

По экономическим соображениям за счет солнечной энергии целесообразно покрывать до 80% нагрузки горячего водоснабжения, поэтому

необходимо использовать наряду с коллектором солнечной энергии (КСЭ) также дополнительный источник энергии (ДИЭ). На рис. 17 показаны различные схемы подвода энергии от ДИЭ:

- а) непосредственно в бак-аккумулятор (АТ);
- б) к горячей воде (ГВ) на выходе из бака-аккумулятора или
- в) к холодной воде (ХВ) на байпасной<sup>1</sup> линии.

В качестве ДИЭ может использоваться электронагреватель или топливный котел. Циркуляция теплоносителя в контуре КСЭ осуществляется насосом Н. Изменение эффективности системы в зависимости от применяемого способа подвода дополнительной энергии связано со средним уровнем температуры воды в коллекторе. При подводе дополнительной энергии непосредственно в бак-аккумулятор (рис. 17, а) повышается средняя температура теплоносителя в коллекторе, а следовательно, снижается его КПД и теплопроизводительность и в результате увеличивается потребление дополнительной энергии. Это означает, что солнечная энергия используется недостаточно эффективно. Наилучшим образом солнечная энергия используется при последовательной схеме подключения дублирующего источника энергии (рис. 17, б). В этом случае вода предварительно подогревается за счет солнечной энергии до сравнительно невысокой температуры, поэтому средний уровень температуры теплоносителя в коллекторе низкий, а КПД и теплопроизводительность коллектора максимальны. Схема подвода дополнительной энергии в холодной воде в байпасной линии (рис. 17, в) наименее удачна, так как при этом недостаточно полно используется солнечная энергия из-за того, что часть воды вообще не нагревается ею, а поступает сразу в топливный дублер. Что же касается КПД и теплопроизводительности самого коллектора, то в этом отношении данная схема аналогична второй схеме.

---

### **Системы солнечного теплоснабжения (отопления) зданий**

Для теплоснабжения (отопления) зданий в наших северных широтах расходуется значительная часть всех потребляемых топливно-энергетических ресурсов. Использование солнечной энергии для этих целей позволит получить существенную экономию. Уже сейчас в различных районах южной части нашей страны эксплуатируются опытные солнечные установки теплоснабжения зданий<sup>2</sup>.

Различают *активные* и *пассивные* системы солнечного теплоснабжения зданий. Характерным признаком активных систем является наличие коллектора солнечной энергии, аккумулятора теплоты, дополнительного

---

<sup>1</sup> Байпас (от англ. *bypass*) — обход, обходной путь.

<sup>2</sup> См., например, в Приложении об опыте Республики Алтай.

источника энергии, трубопроводов, теплообменников, насосов или вентиляторов и устройств для автоматического контроля и управления. В пассивных системах роль солнечного коллектора и аккумулятора теплоты обычно выполняют сами ограждающие конструкции здания, а движение теплоносителя (воздуха) осуществляется за счет естественной конвекции без применения вентилятора. В странах ЕЭС в 2000 г. пассивные гелиосистемы позволяют экономить порядка 50 млн. т нефти в год.

Наиболее эффективно гелиосистема теплоснабжения работает, конечно, в том случае, когда уже на стадии разработки конструкции самого здания учтены требования, направленные на снижение потребности в тепловой энергии. Это лучше всего достигается в так называемых *энергоэффективных (или свехизолированных) домах*, имеющих хорошую тепловую изоляцию стен, потолка, пола и максимально герметичную конструкцию наружных ограждений. В таких домах коэффициент теплопотерь для стен составляет всего  $0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , а попадание наружного воздуха в здание сведено к минимуму.

Другой аспект, на который нужно обратить внимание — использование высокоэффективных окон, например со специальными покрытиями на стекле или полимерных пленках, расположенных между двумя слоями стекла. Могут использоваться покрытия, обеспечивающие высокую пропускательную способность по отношению к солнечной энергии, и покрытия с низкой излучательной способностью для теплового излучения. При применении таких окон температура внутренней поверхности повышается, и благодаря этому уменьшается конденсация водяных паров на стекле и увеличивается ощущение комфорта. Применение специальных окон, герметичных рам с вакуумированным зазором между двумя слоями остекления наряду с уменьшением теплопотерь также снижает уровень проникающего шума.

Итак, в зданиях, в которых предусматривается эффективное использование солнечной энергии, должен быть обеспечен высокий уровень сохранения энергии, особенно в условиях холодного климата. При этом мощность гелиосистемы и дополнительного источника энергии, а также их размеры и стоимость будут минимальными.

## **Пассивные гелиосистемы отопления зданий**

Для отопления зданий используются следующие типы пассивных гелиосистем:

- с прямым улавливанием солнечного излучения, поступающего через остекленные поверхности большой площади на южном фасаде здания (рис. 18, а) или через примыкающую к южной стене здания солнечную теплицу (зимний сад, оранжерею) (рис. 18, б);
- с непрямым улавливанием солнечного излучения, т.е. с теплоаккумулирующей стеной, расположенной за остеклением южного фасада (рис. 18, в);
- с контуром конвективной циркуляции воздуха и галечным аккумулятором теплоты. Дом с такой системой показан на рис. 19, а. Кроме того, могут использоваться гибридные системы, включающие элементы пассивной и активной гелиосистемы.

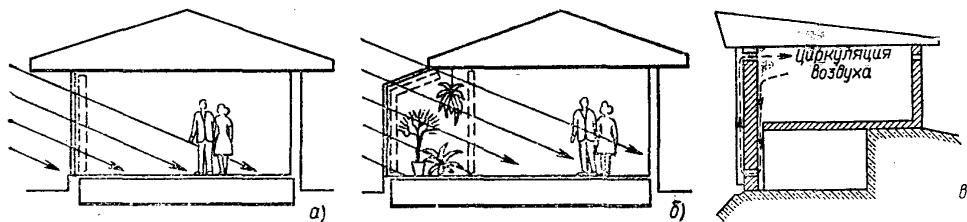


Рис. 18. Типы пассивных гелиосистем отопления зданий

а — с прямым улавливанием солнечной энергии; б — с пристроенной теплицей;  
в — с теплоаккумулирующей стеной

Пассивные системы составляют часть самого здания, которое должно проектироваться таким образом, чтобы обеспечивать наиболее эффективное использование солнечной энергии для отопления. Наряду с окнами и остекленными поверхностями южного фасада для улавливания солнечного излучения также используются остекленные проемы в крыше и дополнительные окна в верхней части здания, которые повышают уровень комфорта человека, так как исключают прямое попадание солнечных лучей в лицо. Одно из важнейших условий эффективной работы пассивной гелиосистемы заключается в правильном выборе местоположения и ориентации здания для максимального поступления и улавливания солнечного излучения в зимние месяцы.

Пассивные системы просты, но для их эффективной работы требуются регулирующие устройства, управляющие положением тепловой изоляции светопрозрачных поверхностей, штор, заслонок в отверстиях для циркуляции воздуха в теплоаккумулирующей стене и т.п.

Прямое улавливание солнечной энергии может эффективно осуществляться при соблюдении следующих условий:

- 1) оптимальная ориентация дома — вдоль оси восток—запад или с отклонением до  $30^\circ$  от этой оси;
- 2) на южной стороне дома должно быть сосредоточено не менее 50–70% всех окон, а на северной — не более 10%, причем южные окна должны иметь, как минимум, двухслойное остекление, а северные окна — трехслойное (не менее);
- 3) здание должно иметь улучшенную тепловую изоляцию и низкие теплопотери вследствие инфильтрации наружного воздуха;
- 4) внутренняя планировка здания должна обеспечивать расположение жилых комнат с южной стороны, а вспомогательных помещений — с северной;
- 5) должна быть обеспечена достаточная теплоаккумулирующая способность внутренних стен и пола для поглощения и аккумулирования теплоты солнечной энергии;
- 6) для предотвращения перегрева помещений в летний период над окнами должны быть предусмотрены навесы, козырьки и т.п. КПД такой системы отопления, как правило, составляет 25–30%, но в особо благоприятных климатических условиях может быть значительно выше и достигать 60%. Существенным недостатком этой системы являются большие суточные колебания температуры воздуха внутри помещений.

Пассивные системы прямого улавливания солнечной энергии наиболее выгодны (с экономической точки зрения) для вновь строящихся зданий.

Пассивные системы вообще имеют такой же срок службы, как и само здание, и весьма низкие текущие эксплуатационные расходы<sup>1</sup>.

Наряду с получением теплоты эти системы также обеспечивают эффективное использование дневного освещения, благодаря чему снижается потребление электроэнергии. Однако площадь остекления южного фасада должна быть значительной, чтобы обеспечить требуемую долю солнечной энергии в покрытии тепловой нагрузки, а теплоаккумулирующие элементы (тепловая масса) должны быть размещены в наиболее благоприятных местах, чтобы на них попадали солнечные лучи большую часть дня. Следует избегать излишнего перегрева тех зон здания, где постоянно находятся люди, а также попадания в них прямых солнечных лучей, «солнечных зайчиков» и бликов. Вместо остекления вертикальных стен или наряду с ним может быть использовано остекление элементов крыши и чердачных помещений, сообщающихся с жилыми помещениями. При этом облегчается задача размещения теплоаккумулирующих элементов, меньше возникает «солнечных зайчиков» и уменьшается затенение тепловой массы предметами интерьера и экстерьера.

Важнейшее требование, предъявляемое к пассивным системам, состоит в необходимости обеспечения теплового комфорта и регулирования температурного режима в помещениях. В помещениях с пассивным использованием солнечной энергии комфорт обеспечивается при более низких температурах воздуха по сравнению с обычными зданиями, так как температура всех или большинства внутренних помещений выше температуры воздуха и они излучают теплоту на человека, отчего ощущение комфорта повышается.

Однако при использовании пассивных систем прямого улавливания солнечной энергии трудно поддается регулированию температура воздуха в помещениях из-за большой тепловой инерции их теплоаккумулирующих элементов. При проектировании температурного режима помещений нужно оптимизировать массу и размещение каждого из этих элементов, а также использовать навесы и козырьки, тепловую изоляцию светопрозрачных поверхностей в ночное время, автоматически управляемые заслонки для организации поступления и удаления воздуха, закрытия и открытия окон, форточек и фрамуг и т.п.

В этих системах используются окна и остекленные поверхности большой площади в проемах стен на южной стороне дома. Площадь остекления определяется тепловой нагрузкой отопления и площадью отапливаемых помещений. Для уменьшения тепловой нагрузки здание должно быть построено с применением улучшенной тепловой изоляции и использованием других мероприятий по сохранению энергии. Этой цели служит также использование тепловой изоляции светопрозрачных наружных поверхностей

---

<sup>1</sup> Использование системы прямого улавливания солнечной энергии в существующих зданиях связано со значительными трудностями, однако и в этом случае можно значительно увеличить энергоэффективность зданий (например, произвести утепление окон, пола, стен и т.п.).

в ночное время, для чего могут использоваться теплоизоляционные щиты, ставни, плотные шторы и т.п. В доме, показанном на рис. 19, а, предусмотрено прямое улавливание солнечной энергии, а также имеется контур естественной конвективной циркуляции воздуха, нагретого в коллекторе, с аккумулятированием теплоты в слое гальки и регулированием движения воздуха с помощью клапана, а также солнцезащитное устройство.

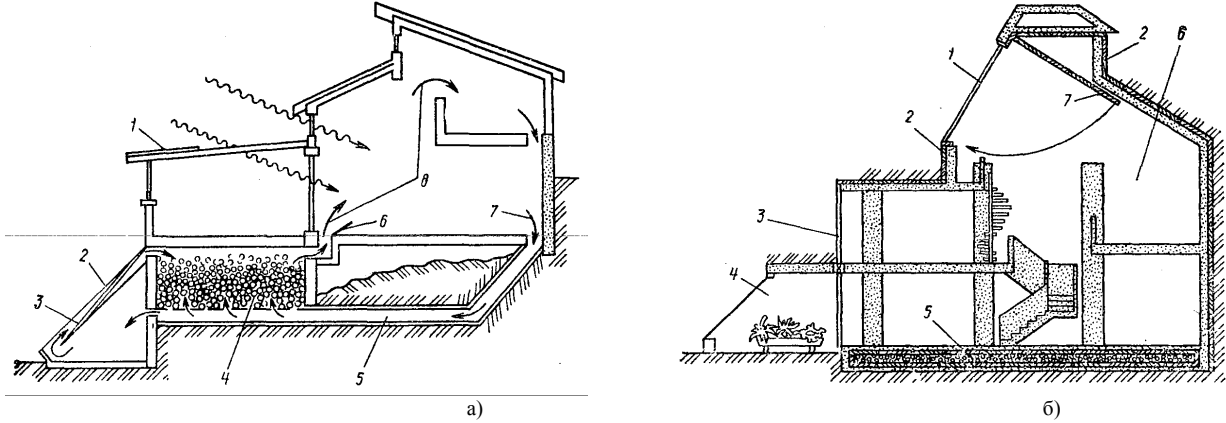


Рис. 19. Солнечный дом:

- а) с прямым улавливанием солнечной энергии, конвективным контуром для нагрева воздуха и аккумулятированием теплоты в слое камней;  
 б) с гравийным аккумулятиром теплоты

- |                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| а) 1 — солнцезащитное устройство; | 5 — возврат воздуха;              |
| 2 — воздушный коллектор;          | 6 — регулирование потока воздуха; |
| 3 — черный металлический лист;    | 7 — свежий, воздух;               |
| 4 — камни;                        | 8 — теплый воздух                 |
| б) 1 — остекление;                | 5 — гравий;                       |
| 2 — теплоизоляция;                | 6 — кухня;                        |
| 3 — окно;                         | 7 — клапан                        |
| 4 — насыпь;                       |                                   |

Пассивные гелиосистемы с остекленной теплоаккумулирующей южной стеной (стеной Тромба), окрашенной в черный или иной темный цвет, отличаются достаточно высокой эффективностью и могут иметь несколько вариантов конструктивного исполнения. Исходным вариантом является остекленная южная бетонная или каменная стена темного цвета, не имеющая отверстий для циркуляции воздуха. Проникающее через одно- или двухслойное остекление солнечное излучение поглощается поверхностью стены, покрашенной темной матовой краской, и аккумулятируется в массе стены, что вызывает повышение ее температуры. Аккумулятированная днем теплота передается с некоторым запаздыванием внутрь помещений посредством излучения и конвекции. При толщине бетонной стены 200 мм запаздывание составляет 5 ч.

Более совершенной является конструкция стены с отверстиями на нижнем и верхнем уровнях для циркуляции воздуха. При этом существенно улучшается передача теплоты в помещения. Регулирование движения воздуха можно осуществлять с помощью поворотных заслонок. Может также использоваться вентилятор небольшой мощности. При использовании пассивной гелиосистемы с теплоаккумулирующей стеной Тромба расстояние

между нею и внутренней стеной здания ограничено, так как эффект лучистого отопления распространяется на расстояние 5–7 м. Бетонная или каменная теплоаккумулирующая стена может быть заменена на так называемую водяную стену, состоящую из установленных друг на друга резервуаров (бочек) с водой, причем эта система даже более эффективна (КПД достигает 35%), поскольку вода имеет высокую удельную теплоемкость. Однако этот тип пассивных систем не подходит для районов с холодным климатом с преобладанием пасмурных дней в зимний период.

Разрез дома с пассивной системой отопления и гравийным аккумулятором, расположенным под домом, показан на рис. 19, б. В системе предусмотрены остекленная теплоаккумулирующая стена южного фасада, наклонные окна большой площади в верхней части дома, теплоизоляция северной стены и клапан, перекрывающий остекление в ночное время. Распределение теплоты осуществляется за счет естественного движения нагретого воздуха.

Система с гелиотеплицей (зимним садом, солярием или оранжереей), примыкающей к южной стене здания, может иметь КПД около 60–75%, но в здание поступает всего лишь 10–30% количества солнечной энергии, падающей на остекление теплицы.

При значительной доле диффузного излучения КПД этой системы на 5–10% выше, чем КПД системы прямого улавливания солнечной энергии. При этом следует применять двух- и/или трехслойное остекление теплицы в сочетании с окнами в примыкающей стене здания. Площадь остекления теплицы должна быть в 1–3 раза больше площади окон жилого дома. В гелиотеплице должно быть предусмотрено аккумулирование энергии в тепловой массе (бетонная плита или балка в полу и т.п.). Площадь остекления теплицы должна быть равна площади поверхности тепловой массы в полу, а отношение площадей тепловой массы в жилом здании и в гелиотеплице (оранжерее) должно быть в пределах 0–1. Стена, отделяющая гелиотеплицу (зимний сад, оранжерею) от жилого помещения, может представлять собой теплоизолированную массивную стену толщиной 100–150 мм, причем 25–45% площади этой стены должно быть занято окном. Доля остекления восточной и западной стен гелиотеплицы (оранжереи) должна быть не более 0,1 общей площади пола гелиотеплицы (оранжереи). Не следует использовать наклонные остекленные поверхности в оранжерее, так как при этом труднее регулировать тепловой режим. Поскольку пол гелиотеплицы (оранжереи) — это основная тепловая масса, ее следует проектировать с учетом таких рекомендаций:

- стена фундамента гелиотеплицы (оранжереи) должна быть теплоизолирована;
- пол и тепловая масса в нем должны быть тепло- и гидроизолированы для защиты от грунтовых вод;
- нижний уровень остекления оранжереи должен иметь отметку 0,15 м от уровня пола для обеспечения хорошего освещения и зарядки теплоаккумулирующей массы.

Поглощательная способность пола должна быть как можно выше, для чего его следует красить в темный цвет. На полу не должно быть ковра или

половиков, и допускается лишь минимальное его затенение предметами мебели, 15–25% площади пола может быть занято растениями или дорожками. Температура в оранжерее должна быть не выше 25–28°C зимой и 20–25°C летом, а при понижении температуры до 7–13°C должно включаться дополнительное отопление.

Для улучшения распределения теплоты в жилом помещении должны быть предусмотрены четыре отверстия в стене, обеспечивающие расход воздуха около 0,1 м<sup>3</sup>/с.

## **К сведению**

Для северных районов России представляет интерес опыт скандинавских стран в разработке пассивных гелиосистем отопления зданий. В традиционной архитектуре Швеции применяются небольшие и тщательно теплоизолированные индивидуальные жилые дома с окнами небольшой площади, ориентированными на юг, восток и запад, и печным отоплением. Современный шведский стандарт определяет значения коэффициентов теплопотерь для различных наружных ограждений здания, которые обеспечиваются:

- для стен — использование тепловой изоляции из минеральной ваты толщиной 130 мм;
- для потолка (крыши) и пола — толщина слоя минеральной ваты 200 мм;
- для окон — как правило, тройное остекление.

Построенный в соответствии с этим стандартом шведский дом среднего размера для одной семьи имеет годовое энергопотребление 15–20 МВт•ч, включая расход теплоты на отопление и горячее водоснабжение, а также расход электроэнергии. Это эквивалентно расходу 1,5–2 м<sup>3</sup> мазута. Дом располагают так, чтобы его светопрозрачные поверхности не затенялись в холодный период года. Те помещения, в которых люди находятся большую часть суток, располагают на южной стороне здания. Общая площадь окон — менее 15% площади стен. В неотапительный период необходимо предотвращать попадание солнечных лучей в здание, для этого используют навесы (козырьки) или выступы крыши, спроектированные так, чтобы пропускать внутрь здания максимум солнечного излучения весной и осенью и сводить к минимуму попадание прямых солнечных лучей летом.

Можно использовать естественную вентиляцию, но поступление воздуха в помещение можно также регулировать с помощью пристроенной к южной стене здания гелиотеплицы (зимнего сада, оранжереи), в которой наружный воздух зимой подогревается, а удаление воздуха из помещений регулируется.

Естественно, в зимний период требуется энергия от дополнительного топливного источника из аккумулятора теплоты.

Двухэтажные жилые дома на 16 квартир в г. Карльстаде (59°с.ш.) были построены в 1984 г. и расположены так, чтобы не было взаимного затенения. Каждый дом поставлен на бетонное основание толщиной 150 мм с тепловой изоляцией, а стены сделаны из дерева. Дом имеет гелиотеплицу с двойным остеклением. Воздухообмен осуществляется с помощью вентилятора, и



система вентиляции объединена с отоплением. Кратность воздухообмена равна 0,5 1/ч. Зимой наружный воздух проходит через гелиотеплицу. В теплый период года (с мая по сентябрь) окна полностью защищены от попадания солнечных лучей с помощью выступов крыши. Дома потребляют очень мало энергии —  $27 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  в год. Для отопления дома с жилой площадью  $100 \text{ м}^2$  требуется 270 л жидкого топлива в год.

Реализуется совместный шведско-западногерманский проект строительства двух жилых домов на 11 квартир каждый в городах Ингольштадт (ФРГ) и Хальмстаде (Швеция), расположенных на широте  $48,8^\circ$  и  $56,7^\circ$  с.ш. Среднегодовая температура наружного воздуха  $+7,9$  и  $+7,2^\circ\text{C}$ , а его расчетная температура —  $16^\circ\text{C}$ .

В обоих случаях используется тяжелая бетонная конструкция здания, южная ориентация, остекление южной стены, гелиотеплица, защита от солнечного излучения летом с помощью выступающей крыши. Основание дома — бетонная плита на земле, несущие конструкции — из бетона, остальные — из дерева. Отопление — водяное от газового (электрического) котла. Вентиляция — механическая с утилизацией теплоты удаляемого воздуха с помощью теплового насоса. Площадь отапливаемых помещений  $934 \text{ м}^2$ , годовое потребление энергии для отопления  $33\,000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ , удельное потребление теплоты  $35 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  в год.

Экспериментальный дом фирмы «Филипс» (ФРГ, г. Аахен,  $50,5^\circ$  с.ш.) жилой площадью  $116 \text{ м}^2$  и объемом  $290 \text{ м}^3$  (рис. 20) оборудован эффективной системой для использования солнечной энергии, теплоты грунта и утилизации теплоты сточных вод и удаляемого вентиляционного воздуха. Поставленная при проектировании цель снижения теплопотерь здания была достигнута путем применения улучшенной теплоизоляции стен, двойного остекления окон с отражательным для инфракрасного излучения покрытием, уменьшения нерегулируемой инфильтрации воздуха и организации принудительной вентиляции. Благодаря изоляции стен слоем минеральной ваты толщиной 250 мм по сравнению со стандартным домом коэффициент теплопередачи через стены снизился с 1,23 до  $0,14 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$ , а для окон площадью  $23,5 \text{ м}^2$  — с 5,8 до  $1,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$ . При этом годовая потребность в теплоте для отопления уменьшилась в 6 раз и составляет  $8,3 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$  вместо  $49,6 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$ .

В семидесятые годы двадцатого века дом использовался для проведения исследований и оборудован гелиосистемой, тепловым насосом и теплоутилизационными устройствами. Гелиосистема включает коллектор солнечной энергии площадью  $20 \text{ м}^2$ , сезонный водяной аккумулятор теплоты емкостью  $40 \text{ м}^3$  для отопления и бак объемом  $4 \text{ м}^3$  для подогрева воды. Вода, нагреваемая в коллекторе до  $95^\circ\text{C}$ , посредством теплообменника Т1 (рис. 20) передает теплоту воде в аккумуляторе. Тепловой насос использует теплоту сточных вод, собираемых в баке (3) емкостью  $1 \text{ м}^3$ , в котором размещен испаритель И теплового насоса, а его конденсатор К расположен в баке (4) вместе с электронагревателем. Тепловой насос также отбирает теплоту от грунта с помощью теплообменника Т5, расположенного под домом в земле.

Тепловой насос имеет два испарителя (И и Т5), и его коэффициент преобразования равен 3,5–4 в диапазоне температур 15–50 °С при мощности привода компрессора 1,2 кВт. С помощью насоса Н3 и трубопроводов аккумулятор теплоты соединяется с баком (4), а через него — с тепловым насосом (5) и баком (3). В доме предусмотрена вспомогательная стенка, сообщающаяся с грунтом и используемая для подогрева (зимой) и охлаждения (летом) воздуха (В), поступающего в здание.

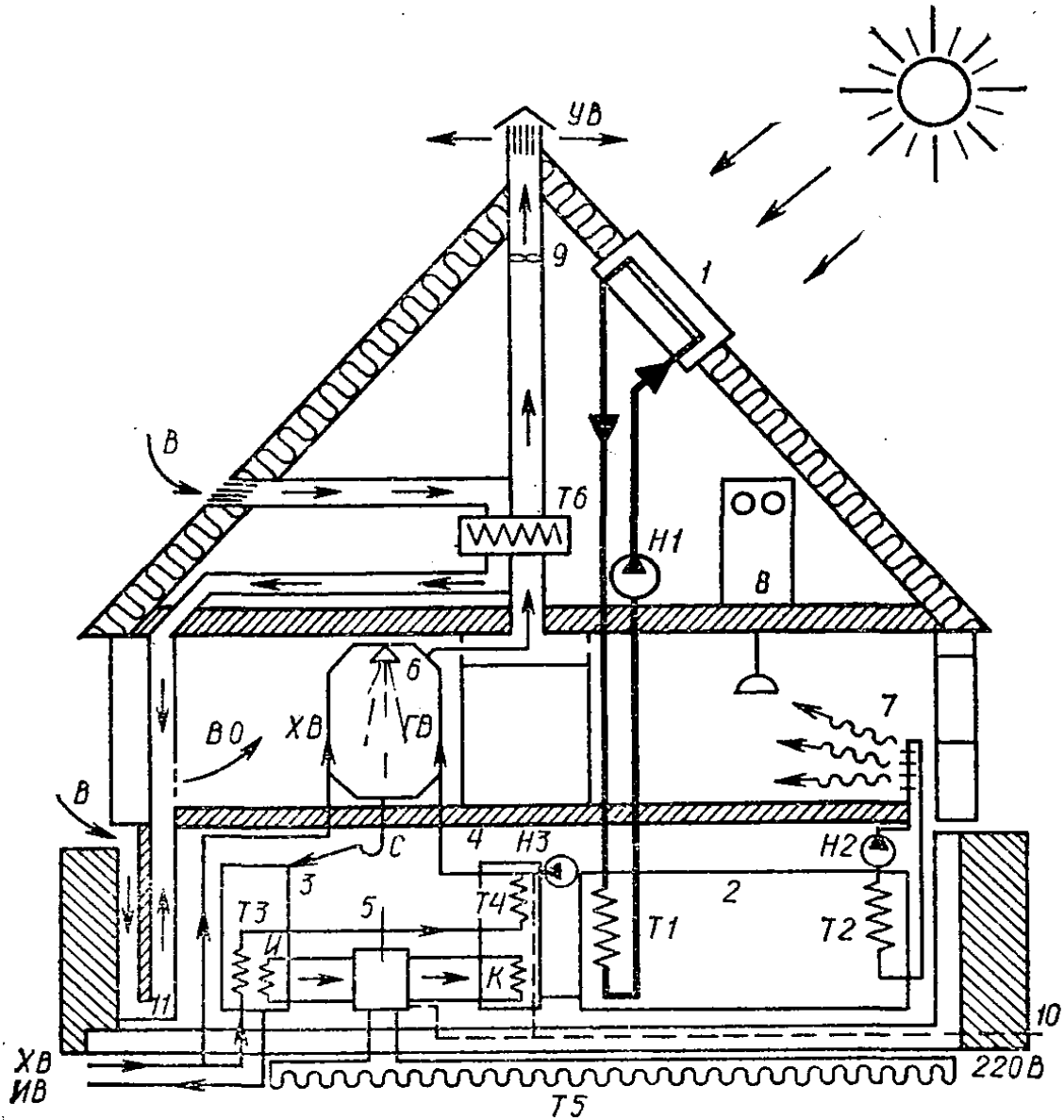


Рис. 20. Гелиотехническое и теплоутилизационное оборудование дома фирмы «Филиппс»

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 1 — солнечный коллектор;       | 10 — электросеть;                                  |
| 2 — аккумулятор теплоты;       | 11 — вспомогательная стенка;                       |
| 3 — бак для сбора сточных вод; | Т1–Т6 — теплообменники;                            |
| 4 — бак горячей воды;          | И и К — испаритель и конденсатор теплового насоса; |
| 5 — тепловой насос;            | ХВ и ГВ — колодная и горячая вода;                 |
| 6 — душ;                       | ИВ — использованная вода;                          |
| 7 — отопительные приборы;      | В и УВ — свежий и удаляемый воздух;                |
| 8 — компьютер;                 | ВО — воздушное отопление;                          |
| 9 — вентилятор;                | Н1–Н3 — насосы                                     |

Система может работать в различных режимах, и управление ею осуществляется с помощью компьютера.

Для отопления здания теплота подается к радиаторам из сезонного аккумулятора посредством теплообменника Т2. Аккумулятор заряжается до температуры 95°C от солнечного коллектора посредством теплообменника Т1 или от теплового насоса. Вентиляция здания осуществляется воздухом (В), подогретым в утилизационном теплообменнике Т6, удаление воздуха (УВ) производится вентилятором. Для горячего водоснабжения вода, подаваемая в душ, вначале подогревается в теплообменнике Т3, размещенном в баке (3) утилизации теплоты сточных вод, а затем догревается до 55°C в теплообменнике Т4 в баке (4) за счет теплоты, подводимой от коллектора солнечной энергии или от теплового насоса. Аккумулятор, баки, два насоса (Н2 и Н3) и тепловой насос размещены в подвале, ЭВМ и один насос (Н1) — в мансарде. Охлажденная использованная вода (ИВ) отводится в канализацию.

Коллектор выполнен из 18 модулей и размещен на южном скате крыши. Модуль КСЭ представляет собой вакуумированный стеклянный баллон, верхняя часть внутренней поверхности которого имеет покрытие, отражающее тепловое излучение, а нижняя часть покрыта посеребренным слоем, отражающим солнечные лучи на приемник, который изготовлен из покрытой черной стеклянной эмалью U-образной трубы для нагреваемого теплоносителя (воды). Оптический КПД коллектора равен 0,76, а коэффициент теплотерь 1,5 Вт/(м<sup>2</sup>•°С).

Дом с нулевой потребностью в топливной энергии, построенный в 1975 г. в г. Копенгагене (55°43' с.ш., Дания), имеет площадь 120 м<sup>2</sup> и объем 300 м<sup>3</sup>. Он состоит из двух блоков с плоской крышей, соединенных жилой комнатой со стеклянной крышей, на которой размещается КСЭ площадью 42 м<sup>2</sup>. Стены, пол и потолок дома имеют тепловую изоляцию из минеральной ваты толщиной 0,3–0,4 м, причем она с обеих сторон обшита фанерой с водоотталкивающим покрытием. Окна снабжены теплоизолирующими ставнями. Свежий воздух в здание подается вентиляционной системой. Теплота из КСЭ передается в подземный бак-аккумулятор объемом 30 м<sup>3</sup> с толщиной слоя минеральной ваты 0,6 м. Летом осуществляется вентиляция через остекленный проем в крыше.

### **Рациональное использование дневного освещения**

Новое достижение в области пассивного использования солнечной энергии—это такие архитектурно-планировочные и конструктивные решения здания, благодаря которым обеспечивается максимальное использование дневного освещения и, следовательно, сокращаются затраты на искусственное освещение, особенно в летнее время. На достижение этой же цели направлено введение летнего времени. Кроме того, в жарком климате переход на максимальное использование дневного света существенно уменьшает тепловую нагрузку на систему кондиционирования воздуха.

Благодаря применению волоконных световодов естественное освещение может быть обеспечено также для подземных сооружений.

Регулирование количества света, проходящего через остекление, может быть осуществлено при использовании окрашенного стекла или специального стекла, на которое накладывается небольшое электрическое напряжение и благодаря этому регулируется его пропускательная способность по отношению к солнечному свету. Применение жидкокристаллических пленок в сочетании с электрическим напряжением обеспечивает переход от прозрачного стекла к полностью непрозрачному.

### Активные гелиосистемы отопления зданий

В состав активной системы солнечного отопления входят коллектор солнечной энергии, аккумулятор теплоты, дополнительный (резервный) источник энергии, теплообменники для передачи теплоты из КСЭ в аккумулятор и из последнего к потребителям, насосы или вентиляторы, трубопроводы с арматурой и комплекс устройств для автоматического управления работой системы.

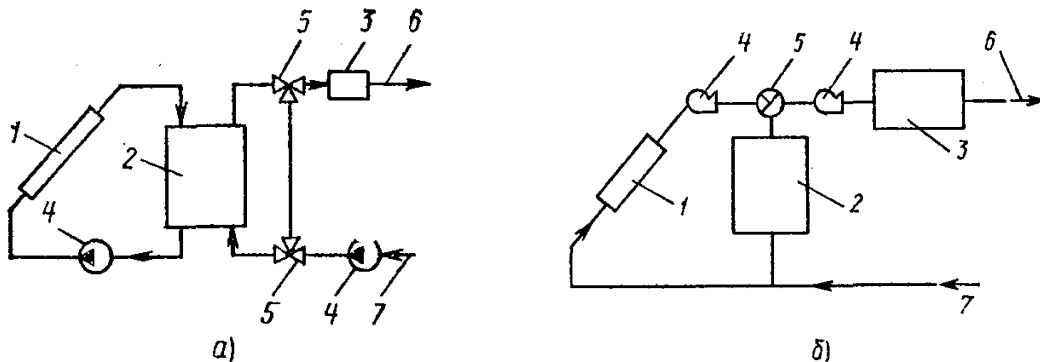


Рис. 21. Принципиальные схемы водяной (а) и воздушной (б) активных систем солнечного отопления

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| 1 — коллектор солнечной энергии;     | 5 — регулирующий клапан;               |
| 2 — аккумулятор теплоты;             | 6 — подача нагретого теплоносителя;    |
| 3 — дополнительный источник энергии; | 7 — возврат охлажденного теплоносителя |
| 4 — насос (вентилятор);              |  |

Теплота в здании распределяется с помощью вентилятора и воздухопроводов в воздушных системах или посредством излучающих панелей, радиаторов и конвекторов, рассчитанных на низкотемпературный теплоноситель (в жидкостных системах). Если тепловая нагрузка отопления равна  $45-60 \text{ Вт/м}^2$ , то при использовании напольной системы отопления (поверхность теплоизолированного снизу пола обогревается теплой водой, циркулирующей по проложенным в нем трубам) достаточно иметь температуру воды  $30^\circ\text{C}$ , а температуру поверхности пола  $22-24^\circ\text{C}$ , чтобы в помещении температура воздуха была  $18^\circ\text{C}$ . Пол обычно выполняется из бетона, внутри которого прокладывается ряд полиэтиленовых труб  $\text{Ø}20 \text{ мм}$  для теплоносителя, снизу размещается слой теплоизоляции, который гидроизолируется от слоя каменной засыпки. В другом варианте

используются медные трубы с алюминиевым ребром (листом) толщиной 0,5 мм, расположенным над слоем жесткого пенополиуретана. Сверху на алюминиевый лист укладывается тонкий слой войлока, а на него палас. Под отопляемым полом может размещаться галечный аккумулятор, через который с помощью вентилятора продувается воздух.

На рис. 22 показан жилой дом с жидкостным солнечным коллектором на крыше. Остальное оборудование гелиосистемы отопления и горячего водоснабжения дома размещено в подвале. Там установлены основной аккумулятор теплоты, теплообменник (3) для подогрева воды, бак для аккумуляции горячей воды, теплообменник (5) для нагрева воздуха для отопления дома, расширительный бак и теплообменник (8) для передачи теплоты от антифриза к воде. Снаружи дома находится теплообменник (6), предназначенный для сброса избыточного количества уловленной солнечной теплоты в летний период. Итак, в доме предусмотрено воздушное отопление.

Однако, одной из проблем, связанных с эксплуатацией галечных аккумуляторов, через которые с помощью вентилятора продувается воздух, — наличие так называемых «мертвых зон»<sup>1</sup>, где воздух не продувается. Это требует доработки и предоставляет простор для научно-исследовательских работ.

Основное и вспомогательное оборудование гелиосистемы, включая аккумулятор теплоты, теплообменники, насосы, тепловой насос, дополнительные подогреватели для горячей воды и отопления, т.е. все, кроме солнечного коллектора, устанавливаемого на крыше, может размещаться в подвале дома или пристройке.

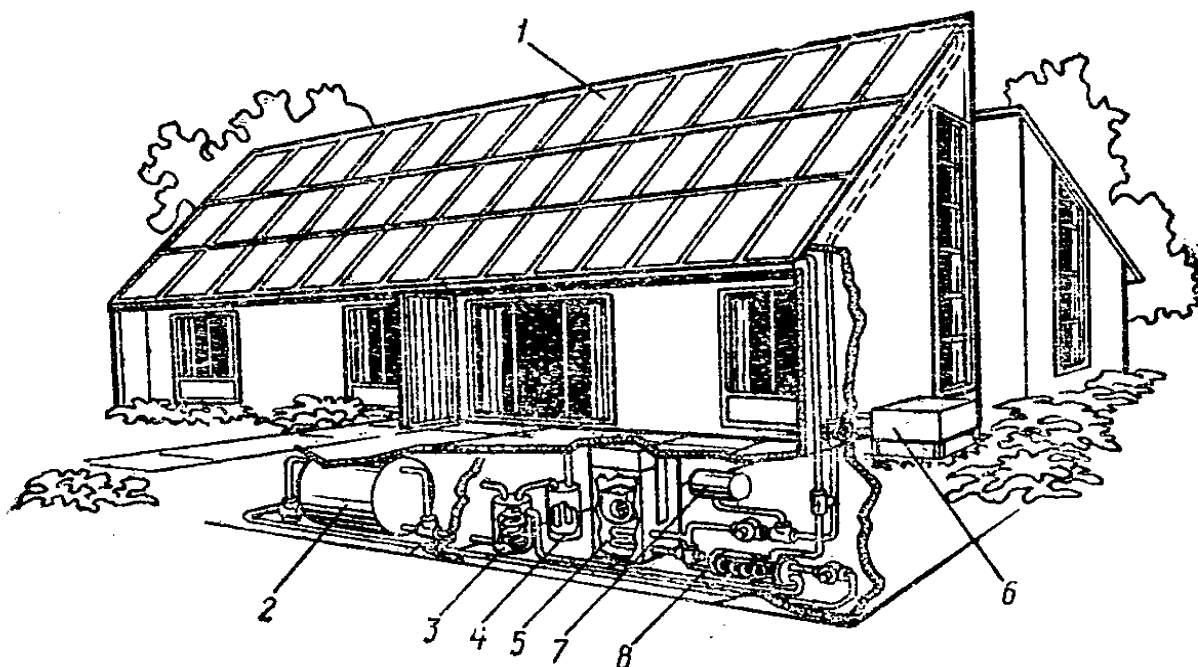


Рис. 22. Дом с активной гелиосистемой теплоснабжения

<sup>1</sup> См. Тайсаева В.Т. Солнечное теплоснабжение в условиях Сибири. — Улан-Удэ, Изд-во БГСХА, 2003.

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| 1 — солнечный коллектор;              | 5 — теплообменник для нагрева воздуха;           |
| 2 — аккумулятор теплоты;              | 6 — теплообменник для сброса избыточной теплоты; |
| 3 — теплообменник для подогрева воды; | 7 — расширительный бак;                          |
| 4 — бак-аккумулятор горячей воды;     | 8 — теплообменник для нагрева воды               |

Сравнение активных и пассивных гелиосистем дает возможность выявить их преимущества и недостатки. Преимущества активных гелиосистем связаны с легкостью и гибкостью интегрирования системы со зданием, возможностью автоматического управления работой системы и снижением тепловых потерь. Однако при применении активных гелиосистем часто возникают проблемы, обусловленные недостаточной надежностью оборудования, в том числе системы автоматического управления, неправильными его установкой и монтажом, плохим техническим обслуживанием, опасностью замерзания и коррозии, особенно в системах с жидкостным коллектором солнечной энергии. Существенным недостатком этих систем является их высокая стоимость. В отличие от них пассивные системы просты, надежны в работе и недороги, но они также имеют недостатки. Прежде всего возникают трудности с поддержанием температурного режима, необходимого для обеспечения теплового комфорта в отапливаемых помещениях. Так, в системах с прямым улавливанием солнечной энергии из-за недостаточной массы теплоаккумулирующих элементов и их неправильного размещения возникают сильные колебания температуры в помещениях. При использовании стены Тромба могут иметь место большие утечки теплоты наружу, если в ночное время не закрывать остекленные поверхности тепловой изоляцией. В то же время здания с гелиотеплицей летом могут испытывать перегрев. В гибридных системах можно соединить достоинства активных и пассивных элементов и устранить многие недостатки, повысив тем самым эффективность систем при умеренных капиталовложениях.

---

---

---

# Часть III

---

---

---

---

---

---

## Приложение I

---

### Определение располагаемого количества солнечной энергии

Количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность Земли, сильно зависит от широты местности. Отношение среднемесячных приходов солнечной радиации в июне и декабре с увеличением широты возрастает, и на широте  $50^\circ$ с.ш. оно приблизительно равно 13. Еще в большей мере различается поступление солнечной энергии в самый хороший и самый плохой дни года, при этом отношение  $E_{\text{Макс}}$  и  $E_{\text{Мин}}$  может достигать 50. Эти данные свидетельствуют о большом изменении в течение года количества поступающей солнечной энергии, а следовательно, и о подобном изменении теплопроизводительности гелиосистемы.

Для расчета располагаемого количества солнечной энергии, поступающего на наклонную лучепоглощающую поверхность, необходимо знать углы падения солнечных лучей на наклонную и горизонтальную поверхности в данном месте. Положение некоторой точки А на земной поверхности относительно солнечных лучей в данный момент времени определяется тремя основными углами — широтой местоположения точки  $\varphi$ , часовым углом  $\omega$  и склонением Солнца  $\delta$  (рис. 23, а). Широта  $\varphi$  — это угол между линией, соединяющей точку А с центром Земли  $O$ , и ее проекцией на

плоскость экватора. Часовой угол  $\omega$  — это угол, измеренный в экваториальной плоскости между проекцией линии  $OA$  и проекцией линии, соединяющей центры Земли и Солнца. Угол  $\omega = 0$  в солнечный полдень, а 1 ч соответствует  $15^\circ$ . Склонение Солнца  $\delta$  — это угол между линией, соединяющей центры Земли и Солнца, и ее проекцией на плоскость экватора. Склонение Солнца  $\delta$  в течение года непрерывно изменяется — от  $-23^\circ 27'$  в день зимнего солнцестояния 22 декабря до  $+23^\circ 27'$  в день летнего солнцестояния 22 июня и равно нулю в дни весеннего и осеннего равноденствия (21 марта и 23 сентября).

Склонение Солнца в данный день определяется по формуле

$$\delta = 23,45 \sin \left( 360 \frac{284+n}{365} \right)$$

где  $n$  — порядковый номер дня, отсчитанный от 1 января.

В качестве  $n$  обычно берется номер среднего расчетного дня месяца для I–XII месяцев года.

Ниже приводятся данные для  $n$  и  $\delta$  для среднего дня I–XII месяцев:

$n$ .....	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
$\delta$ , град.	-20,9	-13	-2,4	9,4	18,8	23,1	21,2	13,5	2,2	-9,6	-18,9	-23

Наряду с тремя основными углами  $\varphi$ ,  $\omega$  и  $\delta$  в расчетах солнечной радиации используют также зенитный угол  $z$ , угол высоты  $\alpha$  и азимут  $a$  Солнца (рис. 23, б).

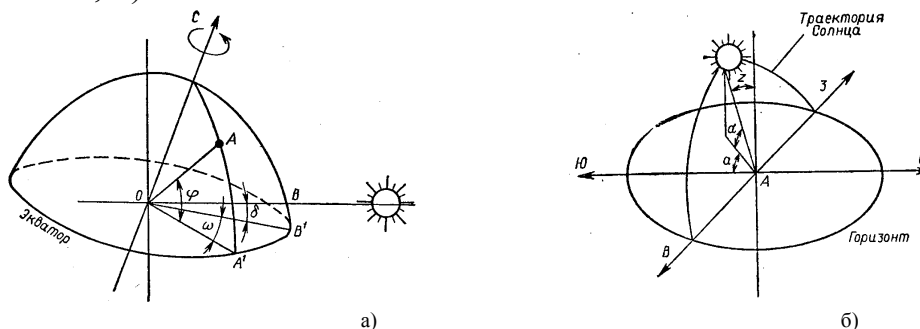


Рис. 23. а) Схема кажущегося движения Солнца по небосводу.  
б) Углы, определяющие положение точки  $A$  на земной поверхности относительно солнечных лучей

Зенитный угол Солнца  $z$  — это угол между солнечным лучом и нормалью к горизонтальной плоскости в точке  $A$ . Угол высоты Солнца  $\alpha$  — это угол в вертикальной плоскости между солнечным лучом и его проекцией на горизонтальную плоскость. Сумма  $\alpha+z$  равна  $90^\circ$ . Азимут Солнца  $a$  — это угол в горизонтальной плоскости между проекцией солнечного луча и направлением на юг. Азимут поверхности  $a$  измеряется как угол между нормалью к поверхности и направлением на юг.



**Приложение II**

**Дневное поступление солнечной энергии**

(МДж/м<sup>2</sup>)

на горизонтальную поверхность и пропускании солнечной энергии  
через одинарное оконное стекло в стенах различной ориентации<sup>1</sup>

Ориентация поверхности	Месяц и дата											
	21.01	21.02	21.03	21.04	21.05	21.06	21.07	21.08	21.09	21.10	21.11	21.12
<b>Широта 40°с.ш.</b>												
Горизонтальная	8,04	12,44	17,34	21,72	24,58	25,56	24,42	21,47	16,75	12,26	8,04	6,4
С	1,38	1,91	2,59	3,5	4,88	5,74	5,06	3,72	2,7	2,0	1,43	1,18
СВ	1,66	3,45	6,86	11,37	15,12	16,66	15,12	11,3	6,6	3,45	1,7	1,27
В	10,26	14,71	18,88	21,72	23,24	23,56	22,88	21,06	17,86	14,14	10,1	8,49
ЮВ	20,52	23,81	24,67	22,56	20	18,57	19,43	21,7	23,45	22,84	20,13	18,66
Ю	18,45	18,64	15,75	11,08	8,13	7,15	7,99	10,76	15,25	17,96	18,11	17,59
ЮЗ	6,2	5,68	5	4,52	4,54	4,63	4,63	4,65	5,04	5,61	6,11	6,26
З	1,4	1,93	2,6	3,36	4	4,27	4,11	3,56	2,7	2,02	1,43	1,2
СЗ	1,38	1,91	2,56	3,34	3,95	4,22	4,09	3,54	2,68	2	1,43	1,18
<b>Широта 48°с.ш.</b>												
Горизонтальная	4,61	6,97	14,44	19,86	23,72	25,15	23,65	19,72	13,94	8,88	4,63	3,2
С	0,98	1,54	2,27	3,34	4,88	5,83	5,06	3,56	2,38	1,6	1	0,75
СВ	1,04	2,43	5,67	10,46	14,64	16,39	14,66	10,42	5,45	2,45	1,07	0,78
В	7,17	12,28	17,59	21,72	24,17	24,86	23,86	21,09	16,55	11,78	7,04	5,29
ЮВ	16,55	21,97	24,97	24,54	22,86	21,68	22,31	23,61	23,61	21,08	16,18	13,85
Ю	15,91	18,45	17,41	13,73	10,96	9,9	10,76	13,32	16,73	17,68	15,57	13,98
ЮЗ	5,88	5,92	5,99	5,36	5,11	5,18	5,2	5,24	5,52	5,81	5,79	5,61
З	0,98	1,54	2,29	3,2	3,95	4,29	4,1	3,43	2,41	1,63	1	0,8
СЗ	0,98	1,54	2,27	3,18	3,93	4,27	4,06	3,38	2,38	1,61	1	0,75

Примечание. Ориентация окон:

С — север; СВ — северо-восток;

В — восток; ЮВ — юго-восток;

Ю — юг; ЮЗ — юго-запад;

З — запад; СЗ — северо-запад.

<sup>1</sup> См. рис. 28 на стр. \_\_\_\_\_

## Приложение III

---

### Некоторые вопросы изготовления и монтажа солнечных коллекторов

Коллекторы солнечной энергии, как правило, изготавливаются в заводских условиях, а на месте они монтируются на опорной конструкции. Однако простые коллекторы можно изготовить собственными силами, хотя следует иметь в виду, что их эффективность будет несколько ниже. Основным элементом солнечного коллектора является абсорбер, т.е. лучепоглощающая поверхность. В жидкостных коллекторах наиболее часто используется лучепоглощающая поверхность, представляющая собой ряд трубок небольшого диаметра (10–15 мм), соединенных с плоским ребром (листом). Трубки могут располагаться сверху, снизу или в плоскости листа. Трубки присоединяются к верхнему и нижнему гидравлическим коллекторам. В других конструкциях используются соединенные между собой плоский и гофрированный листы с каналами для теплоносителя либо штампованный абсорбер. В воздушных коллекторах лучевоспринимающая поверхность обычно представляет собой плоский лист с оребрением или без него, омываемый потоком воздуха снизу, сверху или с обеих сторон.

Для эффективной и надежной работы коллектора в течение длительного срока важное значение имеет правильный выбор материала для изготовления абсорбера. Не менее важно обеспечить хороший тепловой контакт между трубками и оребрением. Ребро может быть приварено, припаяно и присоединено к трубкам с помощью хомутиков или пружинящих прижимов. Конечно, наилучший способ соединения — сварка или пайка. Способ и качество соединения трубок для теплоносителя с лучепоглощающим листом сильно влияют на его тепловую эффективность, которая зависит от многих конструктивных факторов.

Корпус коллектора должен быть герметичным и не должен допускать утечки теплоносителя и попадания влаги и пыли внутрь коллектора. Для этого остекление должно быть надежно уплотнено.

Коллектор солнечной энергии может содержать несколько отдельных модулей, соединенных параллельно.

Коллекторы солнечной энергии могут быть установлены на крыше дома, на земле, на козырьке над окном или на навесе для автомобиля (рис. 24).

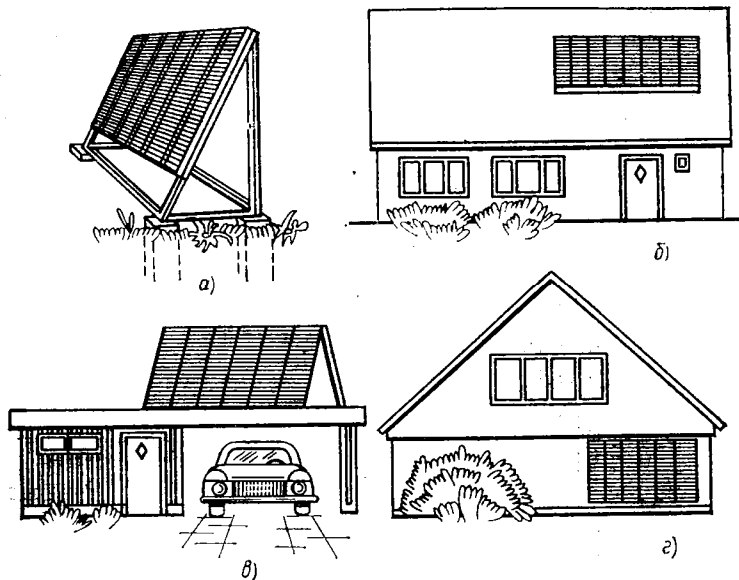


Рис. 24. Варианты установки солнечных коллекторов

а — на земле; б — на крыше дома; в — на навесе для автомобиля; г — как часть стены

Целесообразно устанавливать коллектор в плоскости наклонной крыши в случае, если углы наклона крыши и КСЭ совпадают. При монтаже КСЭ на горизонтальной крыше КСЭ устанавливают на опорной конструкции, обеспечивающей оптимальный угол наклона. Коллектор может служить ограждением балкона или быть частью стены.

Возможны различные варианты размещения солнечного коллектора на крыше (рис. 25). Коллектор совмещается с южным склоном крыши (а), составляет часть южной стены (б), размещается вертикально за стеклянной частью крыши (в) или устанавливается на опорах на крыше и на балконе (г). Вариант (а) используется для горячего водоснабжения, остальные — для отопления, так как в системе отопления угол наклона коллектора должен быть большим. Для увеличения поступления солнечного излучения на коллектор применяется плоский отражатель (б и г). Бак аккумулятор для горячей воды может размещаться на чердаке.

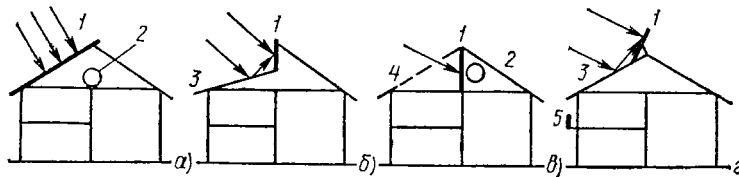


Рис. 25. Варианты размещения солнечного коллектора на крыше

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| а — совмещение с кровлей;                        | 1 — коллектор;                 |
| б — на южной стене с отражательной поверхностью; | 2 — бак-аккумулятор;           |
| в — на чердаке с остекленной крышей;             | 3 — отражательная поверхность; |
| г — на опорной конструкции и на балконе          | 4 — остекленная крыша;         |
|  | 5 — ограждение балкона         |

Совмещение коллектора с крышей дает следующие преимущества: удешевляется строительство, так как коллектор заменяет крышу и не требуется специальная опорная конструкция; снижаются теплопотери коллектора, так как его нижняя поверхность и соединительные трубы не

контактируют с наружным воздухом, однако усложняются монтаж и ремонт. Недостатком является также то, что угол наклона крыши может не совпадать с оптимальным углом наклона коллектора. При свободной установке коллектора или гелиоустановки в целом облегчается монтаж и ремонт, обеспечивается оптимальная ориентация и наклон коллектора, но требуется устойчивая опорная конструкция, а это повышает стоимость строительства, увеличивает теплопотери от коллектора и труб и при этом не всегда удается удовлетворить эстетические требования при размещении гелиоустановки на крыше дома.

При прохождении труб через крышу или стену отверстия должны быть тщательно уплотнены. Осуществляя монтаж КСЭ, следует соблюдать меры предосторожности, чтобы не повредить остекление.

На рисунке 26 показан пример расположения солнечного коллектора на крыше жилого дома. Обращает на себя внимание рациональное архитектурное решение, обеспечивающее хорошее эстетическое восприятие гелиосистемы.



Рис. 26. Жилой дом с солнечными коллекторами на крыше

Крыша должна выдерживать вес гелиоустановки. Для уменьшения локальной нагрузки под ножки опорной конструкции подкладывают настил или швеллеры. При необходимости несущая способность крыши должна быть усилена. Гелиоустановка должна быть надежно закреплена с помощью проволочных растяжек, анкерных болтов (заделанных в бетонное основание), чтобы она могла выдерживать ветровую нагрузку. Размещать гелиоустановку следует ближе к коньку в центре крыши. Все отверстия для труб должны быть тщательно уплотнены, чтобы в дом не попадала влага.

Современная тенденция состоит в разработке коллекторов с малой удельной массой и хорошими оптико-теплотехническими характеристиками. При этом легко осуществляется их монтаж.

Существенно повышает КПД коллектора наряду с применением селективных покрытий также использование прозрачной гофрированной вставки между однослойным остеклением и селективным абсорбером и отражательной пленки (фольги) над слоем теплоизоляции. Вставка предназначена для снижения конвективных теплопотерь и изготовлена из фторированного полимера (пленка толщиной 0,025 мм), имеющего пропускательную способность 0,98. Абсорбер изготовлен из нержавеющей стали и имеет селективное покрытие. Эффективный оптический КПД коллектора равен 0,79, а коэффициент теплопотерь 3,3 Вт/(м<sup>2</sup>•К).

### *Солнечные коллекторы из полимерных материалов*

Дешевые высокоэффективные и надежные плоские солнечные коллекторы могут быть изготовлены с широким использованием тонких полимерных пленок и пенопластов. Масса КСЭ может быть доведена до 2,5 кг на 1 м<sup>2</sup> лучепоглощающей поверхности.

Конструкция КСЭ содержит всего четыре элемента: абсорбер с селективным покрытием, алюминиевую штампованную раму, пенопластовую теплоизоляцию и внешнюю оболочку из полимерной пленки, приклеенной к раме.

Один и тот же элемент выполняет несколько функций. Пленка, служащая прозрачной изоляцией, одновременно обеспечивает подавление конвекции воздуха. Нижняя пленка защищает коллектор от воздействия внешней среды. Обе эти пленки работают на растяжение. В то же время пенопласт, служащий тепловой изоляцией, работает на сжатие.

При рациональном выборе полимерных материалов обеспечивается такая конструкция КСЭ, которая отличается высокой эффективностью и хорошими прочностными характеристиками при малой массе. КСЭ способен выдерживать силу ветра в 5 м/с и более.

Полимерная пленка предварительно термически деформируется, благодаря чему она образует элементы, работающие на растяжение. В сочетании с жесткой пенопластовой теплоизоляцией образуется конструкция КСЭ, подобная конструкции предварительно напряженного крыла самолета.

Селективная поглощательная способность абсорбера зависит от толщины пленки. По сравнению со стеклом полимерная пленка лучше пропускает солнечное излучение.

Совершенствование конструкции КСЭ позволяет повышать его КПД при сравнительно невысокой равновесной температуре, благодаря чему тепловое напряжение материалов абсорбера уменьшится и значительно снизится стоимость при широком выборе полимеров.

Дешевые воздушные коллекторы могут быть изготовлены на месте. В частности, часть крыши здания или его стены может быть использована как

абсорбер (металлический лист), сверху защищенный стеклом, а снизу омываемый потоком воздуха. Другой вариант воздушного солнечного коллектора можно самим изготовить, используя недорогие и доступные материалы. Корпус коллектора изготавливается из фанеры или тонких досок, на дно ящика укладывается слой теплоизоляции толщиной 50–75 мм (минеральная вата или пенопласт), сверху на него кладется отражательная пленка (фольга), затем в наклонном положении по диагонали закрепляется металлическая сетка, предварительно окрашенная в черный матовый цвет. На сетку кладут небольшой слой (5–10 мм) зачерненной стружки черного металла. Подвод холодного воздуха осуществляется через один патрубок, а отвод нагретого воздуха — через другой патрубок. Сверху коллектор имеет остекление. Нагрев воздуха солнечной энергией осуществляется при его движении через слой стружки на сетке, который поглощает солнечную энергию. Внутренняя поверхность коллектора должна быть покрашена матовой черной краской. Необходимо обеспечить герметичность канала, по которому движется воздух.

---

## **Выбор материалов для солнечных установок**

### *Материалы для изготовления корпуса солнечного коллектора*

Основным требованием к выбору материалов является требование совместимости конструкционных материалов с рабочими жидкостями при условиях эксплуатации. Особенностью работы солнечных коллекторов является воздействие на них внешней среды. Поэтому корпус коллектора, вмещающий такие конструктивные элементы, как лучепоглощающая поверхность с трубами или каналами для теплоносителя, остекление, тепловая изоляция, должен надежно защищать их от воздействия внешней среды, предохраняя от попадания влаги, пыли, вредных веществ.

Корпус коллектора может быть изготовлен из оцинкованного железа, алюминия, стеклоткани, дерева, каучука, композиционных материалов и др. Выбор материала осуществляется в соответствии с конструкцией и с учетом наличия материала. Так, для вакуумированного солнечного коллектора требуются трубы из высококачественного боросиликатного стекла.

Все материалы, используемые для изготовления элементов коллектора, должны выдерживать максимальные и минимальные рабочие температуры. Внутри корпуса коллектора должно быть предусмотрено свободное пространство для расширения абсорбера, температура которого может достигать 200°C и более (при отсутствии теплоносителя).

---

*Материалы для лучепоглощающей поверхности коллектора*

При выборе конструкционных материалов для изготовления элементов гелиосистем необходимо учитывать их совместимость с рабочими жидкостями. При этом для предотвращения коррозии необходимо учитывать следующие рекомендации.

**Алюминий** нельзя применять в случае прямого контакта с водопроводной водой ( $pH=5\div 9$ ) без ее химической обработки и добавления ингибитора коррозии. Он может применяться при прямом контакте с дистиллированной или деионизированной водой, содержащей ингибитор коррозии при условии отсутствия контакта с железом или медью, которые, обладая менее положительным электродным потенциалом, образуют с алюминием гальванические пары. Кроме того, алюминий может работать с безводными органическими жидкостями. Скорость воды и водных растворов в трубопроводах не должна превышать 1,25 м/с.

**Медь и ее сплавы** можно применять при прямом контакте с дистиллированной и деионизированной водой или с водопроводной водой с низким содержанием хлоридов, сульфатов и сульфидов, а также с безводными органическими жидкостями. Медь нельзя применять в следующих случаях:

- 1) при прямом контакте с водными растворами с высоким содержанием сульфида водорода, хлоридов и сульфатов;
- 2) при прямом контакте с водой и с водными растворами при скорости их движения более 1,25 м/с и при  $pH$  до 5.

**Сталь** рекомендуется применять при прямом контакте с дистиллированной и деионизированной водой или с водой, содержащей ингибиторы коррозии ( $pH=8\div 12$ ), при низком общем солесодержании. Ее нельзя применять в прямом контакте с необработанной водопроводной водой, дистиллированной или деионизированной водой с  $pH$  более 12 или  $pH$  до 8.

**Оцинкованную сталь (железо)** следует применять для внутренней обшивки аккумуляторов теплоты с катодной защитой и с безводными органическими жидкостями. Ее нельзя применять в прямом контакте с водой и водными растворами, содержащими ионы меди или имеющими  $pH$  более 12 или  $pH$  до 8, а также при температуре воды выше  $55^{\circ}C$ .

**Нержавеющая сталь** должна обладать высоким сопротивлением к питтинговой коррозии, межкристаллитной коррозии и коррозионному растрескиванию в рабочих средах. Ее можно применять при контакте с безводными органическими жидкостями. Во всех остальных случаях выбор марки нержавеющей стали должен быть основан на ее совместимости с конкретной жидкой средой.

**Пластмасса, резина, каучук, композиционные материалы** хорошо совместимы с жидкими теплоносителями — водой и другими жидкостями. Однако масштабы их применения в гелиотехнике пока невелики.

Материалы должны обладать следующими характеристиками:

- хорошей устойчивостью к воздействию ультрафиолетового излучения и атмосферных факторов — осадков, загрязнений и т.п.;
- способностью выдерживать колебания температур от  $-25$  до  $150^{\circ}\text{C}$ ;
- достаточной механической прочностью и пожаробезопасностью.

Недостатки пластмасс: деградируют под действием ультрафиолетового излучения и не выдерживают высоких температур, которые могут развиваться при отсутствии теплоносителя в коллекторе.

Если применять пластмассы, каучук, резину и композиционные материалы, то масса коллекторов уменьшится до  $5\text{--}10\text{ кг/м}^2$ . В Германии и Франции выпускаются КСЭ из синтетического каучука и оребренных пластмассовых труб, выдерживающих как низкие (до  $-30^{\circ}\text{C}$ ), так и высокие (до  $110\text{--}140^{\circ}\text{C}$ ) температуры, не портящихся под действием ультрафиолетового излучения, имеющих высокую эффективность и низкую стоимость. Себестоимость  $1\text{ кВт}\cdot\text{ч}$  производимой в пластмассовых КСЭ теплоты в  $10\text{--}12$  раз ниже, чем в металлических, и в  $4\text{--}5$  раз ниже, чем при сжигании жидкого топлива или при использовании теплового насоса. Очевидно, нужно направить усилия на производство новых типов солнечных коллекторов из современных материалов, включая полимерные и композиционные материалы. В низкотемпературных солнечных установках, предназначенных для получения горячей воды в индивидуальных жилых домах, дачных поселках и на сельскохозяйственных объектах, а также для обогрева плавательных бассейнов, целесообразно использовать пластмассовые коллекторы.

#### *Материал прозрачной изоляции солнечных коллекторов*

Прозрачная изоляция предназначена для снижения тепловых потерь КСЭ и предотвращения попадания осадков внутрь него. Обычно используется один или два слоя прозрачной изоляции КСЭ, но могут также применяться КСЭ без прозрачной изоляции, а иногда и КСЭ с тремя слоями изоляции. Материал прозрачной изоляции должен обладать высокой пропускательной способностью для солнечной радиации (длина волн от  $0,3$  до  $2,5\text{ мкм}$ ) и быть практически непрозрачным для длинноволнового (более  $3\text{ мкм}$ ) теплового излучения, испускаемого поверхностью абсорбера.

Обычно используется оконное стекло. Лучше всего применять стекло с низким содержанием оксидов железа. Стекло должно быть изолировано от металлических поверхностей с помощью резиновой П-образной прокладки и уплотнения во избежание его повреждения или образования трещин в результате возникновения тепловых напряжений.

Альтернативным материалом прозрачной изоляции является полимерная пленка, обладающая, к сожалению, существенным недостатком, связанным с деградацией под действием ультрафиолетового излучения. Однако, учитывая ее низкую стоимость, ее все же целесообразно применять. Полимерная пленка лучше (по сравнению со стеклом) пропускает солнечное излучение, поэтому при двухслойной прозрачной изоляции можно один слой стекла заменять полимерной пленкой. Для повышения срока службы пленки ее необходимо



специально обработать с целью повышения стабильности по отношению к воздействию ультрафиолетового излучения.

### Теплоизоляционные материалы для коллекторов

Теплоизоляционный материал должен отвечать следующим требованиям. Он должен иметь низкий коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , низкую плотность  $\rho$ , высокую температуру плавления, высокую сопротивляемость различным вредным воздействиям и влиянию погодных условий. Наилучшими теплоизоляционными материалами являются пенополиуретан и полистирол, могут применяться также минеральная вата и стекловата.

Характеристики некоторых наиболее употребительных в конструкциях коллекторов теплоизоляционных материалов приведены в таблице 5.

Таблица 5.  
Теплоизоляционные материалы

Материал	$\lambda$ , Вт/(м·К)	T, °С	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Полистирол	0,035	80	0,02
Пенополиуретан	0,028	110	0,035
Пенопласт	0,03–0,08	150	0,4–0,7
Поливинилхлорид	0,035	130	0,04–0,08
Полиметакриламид	0,029–0,035	160	0,03–0,2
Минеральная вата	0,038	200	0,145
Стекловолокно	0,036	300	0,12

### Уплотнительные материалы и прокладки

Для уплотнения стекла в корпусе солнечного коллектора лучше всего подходит силиконовая резина. Уплотнительные прокладки необходимо помещать с обеих сторон стекла. Для этого прокладка должна иметь П-образную форму с зазором для стекла.

Таблица 6.  
Свойства теплоносителей для КСЭ (при 20°С)

Показатель	Вода	Воздух	Этилен-гликоль (50%)	Пропилен-гликоль (50%)	Силиконовое масло	Углеводороды	
						ароматические	парафиновые
Температура замерзания $T_{\text{зам}}$ , °С	0	—	–36	–33	—	–60 ÷ –10	—
Температура кипения $T_{\text{кип}}$ , °С	100	—	110	106	—	180–340	—
Удельная теплоемкость $C_p$ , кДж/(кг·К)	4,187	1,005	3,3	3,6	1,4–2	1,5–2,1	1,8–2,6
Теплопроводность $\lambda$ , Вт/(м·К)	0,68	0,026	0,43	0,42	0,16	0,13	0,13
Вязкость $\nu$ , 10 <sup>–6</sup> м <sup>2</sup> /с	0,9	16,06	3,4	5	10–50	9–50	1–60

В жидкостных системах наряду с водой используются также незамерзающие теплоносители — этилен- и пропиленгликоль и др. Их недостатком является малый срок Службы (до 3–5 лет). Пропиленгликоль в отличие от этиленгликоля не токсичен. Токсичность водного раствора теплоносителя зависит от вида применяемого ингибитора коррозии. Углеводородные теплоносители мало токсичны. Не следует применять фреоны, поскольку они разрушают озонный слой атмосферы Земли.

Свойства некоторых материалов для изготовления гелиосистем, а также селективных поглощающих покрытий приведены в таблицах 7 и 8.

### Материалы для аккумуляторов теплоты

Описание методов аккумулирования теплоты, а также теплоаккумулирующих материалов, применяемых в жидкостных и воздушных гелиосистемах горячего водоснабжения и отопления, было дано вкратце выше, там же была дана сравнительная характеристика этих материалов. Для водонагревательных установок и жидкостных систем отопления лучше всего применять воду в качестве теплоаккумулирующего материала, а для воздушных гелиосистем — гальку, гравий и т.п. Однако следует иметь в виду, что галечный аккумулятор при одинаковой энергоемкости по сравнению с водяным аккумулятором имеет в 3 раза больший объем и занимает в 1,6 раза большую площадь. Например, водяной аккумулятор диаметром 1,5 и высотой 2,4 м имеет объем 4,3 м<sup>3</sup>, в то время как галечный аккумулятор в форме куба со стороной 2,4 м имеет объем 13,8 м<sup>3</sup>.

Таблица 7.  
Свойства материалов для гелиосистем

Материал	$C$ , кДж/(кг·К)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\alpha$	$\epsilon$
Строительные материалы					
Бетон	0,834	1920–2240	0,8–1,73	0,6–0,98	0,88–0,97
Кирпич	0,921	1920–2080	0,6–1,3	0,26–0,89	0,93
Древесина	2,51–2,93	350–740	0,1–0,16	0,6	0,9
Керамическая плитка	0,8		1,7–2,9	0,2–0,8	0,6–0,9
Металлы					
Сталь	0,5	7830	45	0,8–0,9	0,85
Железо окисленное	0,5	7 10	55	0,8–0,94	0,94
Алюминий:					
— полированный	0,88	2740	202	0,1–0,4	0,03
— окисленный	0,88	2740	202	0,4–0,65	0,09

Таблица 8.  
Характеристика основных селективных поглощающих покрытий

Покрытие	Поглощательная способность в диапазоне солнечного излучения $\alpha_c$	Излучательная способность в диапазоне инфракрасного излучения $s_r$	Степень селективности покрытия $\alpha_c/s_r$
Черная краска:			

Покрытие	Поглощательная способность в диапазоне солнечного излучения $\alpha_c$	Излучательная способность в диапазоне инфракрасного излучения $s_r$	Степень селективности покрытия $\alpha_c/s_r$
— матовая	0,95–0,98	0,9–0,97	1
— силиконовая	0,94	0,4	2,35
— акриловая	0,92–0,97	0,84–0,9	1,1
Черный хром	0,87–0,93	0,1	9
Черный хром на никеле	0,92–0,94	0,07–0,12	8–13
Черный никель на никеле	0,93	0,06	15
Черный цинк	0,9	0,1	9
Оксид меди на алюминии	0,93	0,11	8,5

Плотность аккумуляирования теплоты в значительной степени зависит от метода аккумуляирования и рода вещества. Она может быть аккумуляирована в химически связанном виде в топливе. При этом плотность аккумуляирования соответствует теплоте сгорания: нефть — 11,3, уголь (условное топливо) — 8,1, водород — 33,6 и древесина — 4,2 кВт•ч/кг. При термохимическом аккумуляировании теплоты в цеолите (процессы адсорбции — десорбции) может аккумуляироваться 286 Вт•ч/кг теплоты при разности температур 55°C. Плотность аккумуляирования теплоты в твердых материалах (скальная порода, галька, гранит, бетон, кирпич) при разности температур 60°C составляет 14–17 Вт•ч/кг, а в воде — 70 Вт•ч/кг. При фазовых переходах вещества (плавление — затвердевание) плотность аккумуляирования значительно выше: лед (таяние) — 93, парафин — 47, гидраты солей неорганических кислот — 40–130 Вт•ч/кг.

Свойства теплоаккумуляирующих веществ приведены в таблице 9.

Таблица 9.  
Свойства твердых и жидких теплоаккумуляирующих материалов

Материал	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$C$ , кДж/(кг•К)	$\lambda$ , Вт/(м•К)	Теплоаккумуляирующая способность при $\Delta T=20$ К, МДж/м <sup>3</sup>
Вода (давление 0,1 МПа)	1000	4,19	0,6	73,4
Камень (природный)	3100	0,83		52,6
Бетон (с легкими заполнителями)	1000	1,04	0,35	20,9
Железобетон	2200	1,08	1,56	47,5
Кирпич	1700	0,83	0,75	27,4
Древесина	800	1,55	0,21	25
Сталь	7800	0,47	58	73,4
Песок сухой	1500	0,83	0,58	25
Земля сухая	1000–2000	0,83	0,17–0,58	16,6–50,4
Галька	2640	0,86	1,7–4	45,6
Жидкий натрий	960	1,26	67,5	24,2
Эвтектическая смесь (46% NaNO <sub>3</sub> + 54% KNO <sub>3</sub> )	1733	1,55	0,57	53,6
Вода (давление 1 МПа)	920	4,32	0,69	79,5

Аккумуляирование теплоты может осуществляться также в грунте, в частности, этот способ аккумуляирования применяется в теплицах.

В качестве материала для изготовления бака-аккумуляатора обычно используют сталь или бетон. Бункер для слоя гальки может быть изготовлен

из этих же материалов. Однако он также может быть изготовлен из толстой фанеры (12 мм) или досок, а каркас при этом делают из стального уголка. Изнутри обшивка должна иметь покрытие из полимерной пленки для обеспечения герметичности. В случае горизонтального расположения галечного аккумулятора сверху на слой гальки необходимо положить полимерную пленку, а на нее насыпать слой песка толщиной около 5 см. Это делается для того, чтобы предотвратить движение воздуха над слоем гальки. Кроме того, при большой длине аккумулятора необходимо установить вертикальную перегородку, которая обеспечит хорошее омывание частиц гальки потоком воздуха.

**Таблица 10.**  
**Среднемесячный коэффициент пересчета суммарного потока солнечной энергии с горизонтальной плоскости на поверхность коллектора. Широта 50°с.ш.**

Месяц	Угол наклона КСЭ к горизонту $\beta$ , град			
	30	45	60	90
I	1,3	1,37	1,37	1,18
II	1,35	1,43	1,44	1,23
III	1,24	1,27	1,23	0,98
IV	1,1	1,07	0,99	0,69
V	1,02	0,95	0,84	0,53
VI	0,98	0,9	0,78	0,47
VII	0,99	0,92	0,81	0,49
VIII	1,07	1,02	0,93	0,62
IX	1,2	1,21	1,15	0,88
X	1,34	1,41	1,4	1,18
XI	1,32	1,4	1,4	1,21
XII	1,41	1,52	1,56	1,39
Среднегодовое значение	1,11	1,09	1,01	0,72

При монтаже и установке гелиосистем теплоснабжения рекомендуется следующая последовательность выполнения работ.

### **Изготовление, монтаж и установка жидкостной гелиосистемы теплоснабжения**

*Установка водяного аккумулятора теплоты включает следующие этапы:*

- строительство основания, фундамента или опорной конструкции — при выполнении бетонных работ на заливке фундамента здания;
- установку бака-аккумулятора;

- монтаж обвязочных трубопроводов;
- заполнение системы водой и проведение испытаний на плотность;
- монтаж тепловой изоляции.

***Установка коллектора солнечной энергии включает в себя:***

- изготовление и установку опорной конструкции — по изготовлении каркаса, рамы, стропил и других строительных элементов крыши дома;
- монтаж опорной конструкции и установку солнечного коллектора на крыше;
- монтаж соединительных трубопроводов;
- испытание контура солнечного коллектора на плотность;
- проведение теплоизоляционных работ на трубопроводах.

***Установка теплообменников и дополнительного источника энергии включает следующие этапы:***

- монтаж трубопроводов, насосов и арматуры;
- испытание трубопроводов на плотность;
- проведение теплоизоляционных работ на трубопроводах;
- установку дополнительного источника энергии.

***Монтаж установки горячего водоснабжения включает следующие этапы:***

- монтаж теплообменника и трубопроводов для предварительного подогрева воды;
- испытание на плотность;
- проведение теплоизоляционных работ;
- монтаж баков-аккумуляторов.

Установка приборов и датчиков системы управления состоит из:

- установки датчиков и приборов управления и регулирования по месту;
- монтажа щита управления с приборами.

**Изготовление, монтаж и установка воздушных гелиосистем теплоснабжения**

***Установка галечного аккумулятора теплоты включает этапы:***

- изготовление основания и опорной конструкции;
- изготовление бункера (контейнера) — до установки крыши над помещением или перекрытия над подвалом, в котором устанавливается аккумулятор;
- заполнение бункера твердыми частицами гальки, гранита и т.п.;
- монтаж воздухопроводов;
- проведение изоляционных работ.

Монтаж и установка солнечного коллектора, системы подогрева воды, вспомогательного оборудования и приборов выполняются в той же последовательности, что и для жидкостных гелиосистем.

**При монтаже трубопроводов необходимо выполнять следующие правила:**

- для уменьшения тепловых потерь и гидравлического сопротивления длина основных трубопроводов и ответвлений должна быть минимально возможной, а ответвления должны иметь одинаковый диаметр, чтобы обеспечивалось равномерное распределение теплоносителя между отдельными модулями коллектора;
- следует использовать минимальное количество соединительных деталей, арматуры и т.п.; колена и повороты трубопроводов необходимо изготавливать с помощью гибочного станка;
- для предотвращения контактной коррозии при установке арматуры из медных сплавов на стальных трубопроводах необходимо использовать соединительные элементы из диэлектрических материалов;
- на длинных прямых участках трубопроводов должны быть предусмотрены компенсаторы температурных удлинений и соответствующие опоры;
- в самых верхних точках системы должны быть установлены воздушники и должен быть предусмотрен слив жидкости из нижних точек системы.

При использовании в контуре коллектора антифриза должен быть предусмотрен расширительный бак, емкость которого составляет приблизительно 1–2% емкости контура, включая сам коллектор.

### **Изготовление и установка аккумулятора теплоты**

Желательно, чтобы бак-аккумулятор горячей воды был изготовлен промышленным способом. Водяной бак-аккумулятор теплоты может быть изготовлен из листовой стали, асбоцементного стекловолокна, бетона, а бункер галечного аккумулятора — из бетона или дерева с металлической обшивкой. Следует иметь в виду, что асбоцементный бак выдерживает температуру не выше 80°C.

Резервуар должен иметь внутреннее защитное покрытие. Основание аккумулятора может быть выполнено из бетонной плиты или залито при строительстве фундамента дома. Толщина тепловой изоляции составляет от 75 до 300 мм.

### **Трубопроводы и теплообменники для солнечных установок**

Расход воды в солнечных установках может изменяться от 30 до 100 л/ч на 1 м<sup>2</sup> лучепоглощающей поверхности КСЭ, точнее, 30–40 л/ч для водонагревателей с естественной циркуляцией воды, 40–60 л/ч для установок отопления и горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией, 70–100 л/ч для установок, используемых в плавательных бассейнах. При использовании антифриза, теплоемкость которого на 20% ниже, чем воды, расход должен быть, соответственно, больше на 20%. Скорость теплоносителя в трубопроводах должна быть равной 0,5–1 м/с. Диаметр трубопроводов можно определить по полезной мощности коллектора. Так, при КПД коллектора 0,5, плотности потока солнечной энергии 800 Вт/м<sup>2</sup> и разности температур воды в КСЭ 10°C расход теплоносителя равен  $0,5 \cdot 800 / (1,16 \cdot 10) = 41,3$  кг/(м<sup>2</sup>•ч). При площади поверхности КСЭ 20 м<sup>2</sup> и

скорости воды 1 м/с площадь поперечного сечения трубопровода составит  $41,3 \cdot 20 / (1 \cdot 3600 \cdot 103) = 2,29 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  и его диаметр будет равен  $\sqrt{4 \cdot 0,000229 / \pi} = 0,017 \text{ м}$ . Скорость воды в водонагревателях с естественной циркуляцией равна 0,05–0,1 м/с. Тогда при площади КСЭ 10 м<sup>2</sup>, удельном расходе воды 30 л/(м<sup>2</sup>•ч) и скорости 0,1 м/с диаметр труб составит 32,6 мм.

Скорость воздуха в воздуховодах принимается до 3 м/с. Удельная объемная теплоемкость воздуха в 3500 раз меньше, чем воды, и соответственно объемный расход воздуха в КСЭ составит 50–300 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади поверхности КСЭ. Диаметр воздухопроводов в 30 раз больше диаметра трубопроводов для воды. Теплотери от трубопроводов существенно уменьшаются при применении теплоизоляции. Так, при диаметре трубы 20 и 48 мм без теплоизоляции теплотери при разности температур воды и наружного воздуха 40°С составляют 27 и 57 Вт на 1 м длины трубы, а при применении теплоизоляции с коэффициентом теплопроводности 0,035 Вт/(м•К) и толщине 40 мм — 5,2 и 7,7 Вт соответственно.

Трубопроводы следует прокладывать по кратчайшему пути между КСЭ, аккумулятором теплоты и потребителем в сухих местах с обязательным применением теплоизоляции и обеспечением возможности удлинения.

При разности температур 100°С удлинение составляет для стекла 0,45 мм/м, плексигласа 3,5, поливинилхлорида 3,8, полиэтилена 10, стали 1,2, меди 1,7, алюминия 2,4 мм/м.

Для передачи теплоты из КСЭ в аккумулятор используется теплообменник — это может быть змеевик внутри бака-аккумулятора, или рубашка вокруг его наружной поверхности, или отдельный противоточный теплообменник. Коэффициент теплопередачи  $K$  составляет 300–400 Вт/(м<sup>2</sup>•°С) для рубашки, 500–900 для гладкотрубного змеевика в неподвижной жидкости, 1000–2000 Вт/(м<sup>2</sup>•°С) для противоточного теплообменника, а для воздушного теплообменника  $K=12 \div 20$  Вт/(м<sup>2</sup>•°С). При средней разности температур теплоносителей 8°С плотность передаваемого теплового потока составляет для указанных теплообменников 2,4–3,2; 4–7,2; 8–16 и 0,096–0,16 кВт/м<sup>2</sup>. Для нетеплоизолированного трубопровода коэффициент теплотерь составляет 10 Вт/(м<sup>2</sup>•°С).

Теплообменник для передачи теплоты из аккумулятора к потребителю обычно имеет большие размеры по сравнению с теплообменником в контуре солнечного коллектора, и поэтому в большинстве случаев (кроме небольших установок) используются отдельные теплообменные аппараты противоточного типа. При использовании воздушных коллекторов для нагрева воды требуется пластинчатый теплообменник типа воздух—вода, в этом случае обязательно применение ребер со стороны воздуха, так как теплообмен там происходит весьма неинтенсивно и коэффициент теплопередачи от воды к воздуху составляет 10–15 Вт/(м<sup>2</sup>•°С).

---

### Простые солнечные установки для приусадебных и дачных участков

Самый простой солнечный водонагреватель можно сделать, используя черный пластмассовый шланг, который для этого сворачивается в виде спирали в бухту и укладывается на южный скат наклонной крыши (рис. 27). Один конец шланга надевается на водопроводный кран, а второй соединяется с душем. Необходимую лучевоспринимающую поверхность и емкость этого водонагревателя можно обеспечить, выбрав соответствующую длину шланга, а регулируя краном расход воды, можно получить требуемую температуру горячей воды. Кольца бухты должны быть ослаблены, и для уменьшения тепловых потерь сверху можно натянуть прозрачную полимерную пленку, зафиксировав ее на высоте 15–25 мм от шланга с помощью деревянной рамы (ящика), снизу же под бухту шланга следует подложить металлический лист или фольгу с высокой отражательной способностью или хотя бы окрашенный в белый цвет лист фанеры. Лучевоспринимающая поверхность шланга длиной 100 м, внутренним диаметром 16 мм при толщине стенки 2 мм составляет 2 м<sup>2</sup>, а его емкость 0,02 м<sup>3</sup>. Для того, чтобы нагреть 1 кг воды от 15 до 40°С, требуется 105 кДж теплоты.

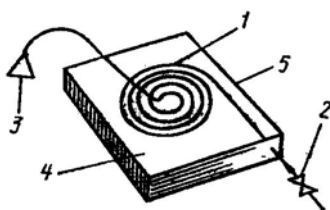


Рис. 27. Простой водонагреватель из черного полиэтиленового шланга

- |                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| 1 — шланг;              | 4 — полимерная пленка; |
| 2 — водопроводный кран; | 5 — ящик               |
| 3 — душ;                |                        |

Нетрудно изготовить водонагреватель из черной и прозрачной прочной полимерной пленки в виде мешка, дно которого выполнено из черной пленки, верхняя выпуклая поверхность — из прозрачной пленки, а между ними находится вода (рис. 28). Заполнение и опорожнение водонагревателя производится через штуцер соответственно утром и вечером. Для уменьшения тепловых потерь водонагреватель может быть снабжен теплоизоляцией снизу и прозрачной изоляцией. Водонагреватель переносной,



и его можно использовать дома, на даче, на пляже, в туристских походах и т.п. Для получения горячей воды достаточно поместить его на солнце, например на крыше автомобиля.

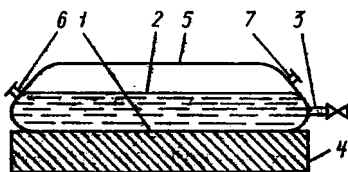


Рис. 28. пленочный водонагреватель

- |                        |                      |                         |
|------------------------|----------------------|-------------------------|
| 1 — черная пленка;     | 3 — штуцер для воды; | 5 — прозрачная пленка;  |
| 2 — прозрачная пленка; | 4 — теплоизоляция;   | 6, 7 — воздушный клапан |

Конечно, описанные водонагреватели являются весьма примитивными устройствами, и их эффективность невысока. Значительно эффективнее компактные водонагреватели, отличающиеся простым устройством, низкой стоимостью, и обладающие достаточно высоким КПД. Возможны различные модификации конструкций. В частности, водонагреватель может содержать несколько цилиндрических емкостей (до шести — восьми) в едином корпусе. Водонагреватель не обязательно должен иметь тепловые трубы. Вместо них может использоваться обычный трубчатый абсорбер типа «труба в листе» и т.п. Верхний и нижний гидравлические коллекторы абсорбера соединяются трубками с баком-аккумулятором горячей воды, который имеет горизонтальное расположение и соединен также с баком холодной воды небольшой емкости. Все эти конструктивные элементы объединяются в единый компактный водонагреватель.

Солнечный водонагреватель может соединяться с обычным топливным водонагревателем (рис. 29).

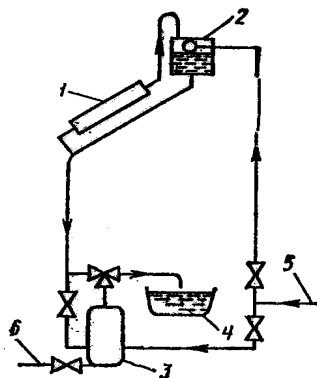


Рис. 29. Объединение гелиоустановки и топливного водонагревателя

- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1 — гелиоводонагреватель с естественной циркуляцией воды; | 4 — потребители горячей воды; |
| 2 — напорный бак с поплавковым клапаном для подвода воды; | 5 — холодная вода;            |
| 3 — топливный водонагреватель;                            | 6 — топливо (газ)             |

На приусадебных и дачных участках солнечные установки должны найти довольно широкое применение. Кроме описанных выше простых водонагревателей, можно рекомендовать гелиотеплицы, показанные на рисунках 29–30, которые нетрудно построить непосредственно на участке. При этом следует иметь в виду, что эффективность теплицы повышается при защите с помощью слоя теплоизоляции северной стенки, аккумулировании

теплоты в грунте и подогреве воздуха или воды в солнечном коллекторе. Вода, нагретая в коллекторе, циркулирует в трубопроводах, проложенных в грунте. Для этой цели используются пластмассовые трубы, не поддающиеся коррозии. Простая конструкция теплицы с пассивным использованием солнечной энергии показана на рисунке 30. Она имеет развитую остекленную поверхность с южной стороны и засыпанную грунтом стенку с северной стороны. Земляная насыпь служит одновременно теплоизоляцией и аккумулятором теплоты. Для циркуляции воздуха в насыпи предусмотрены каналы. Днем происходит нагрев этого слоя земли, а ночью от него теплота отводится воздухом, поступающим в теплицу.

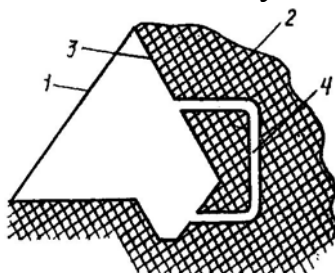


Рис. 30. Гелиотеплица с земляной насыпью

- |                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| 1 — остекление; | 3 — северная стена;   |
| 2 — насыпь;     | 4 — канал для воздуха |

В гелиотеплице (рис. 31) с прозрачной южной стороной и теплоизолированной северной стеной целесообразно применять подпочвенный галечный аккумулятор. Для лучшей циркуляции воздуха следует использовать вентилятор, установленный в воздуховоде. Для аккумулятирования теплоты требуется 0,5–0,9 м<sup>3</sup> гальки (щебня, камня) на 1 м<sup>2</sup> площади остекленной южной поверхности.

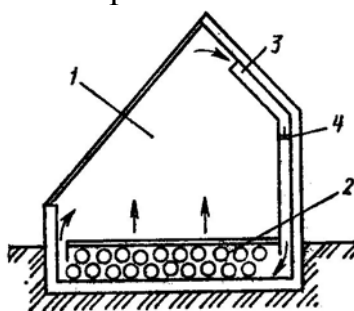


Рис. 31. Гелиотеплица с подпочвенным галечным аккумулятором теплоты

- |                          |                                   |
|--------------------------|-----------------------------------|
| 1 — теплица;             | 3 — канал для циркуляции воздуха; |
| 2 — аккумулятор теплоты; | 4 — вентилятор                    |

Потери теплоты гелиотеплицы в ночной период значительны, и температура воздуха в теплице может упасть ниже допустимого предела в 5°С. Можно существенно снизить теплотопери путем применения подвижной теплоизоляции. Пример конструктивного исполнения теплицы с поворачивающейся шарнирно закрепленной теплоизоляционной панелью показан на рисунке 32. В ночное время панель поворачивается и в горизонтальном положении защищает растения от переохлаждения. Для большего эффекта внутренняя поверхность панели должна быть окрашена в

белый цвет. В этой гелиотеплице используются два тепловых аккумулятора — галечный и водяной. Галька засыпается в продольный канал в полу, проходящий по всей длине теплицы. Бочки с водой помещаются на полу у теплоизолированной стены. Можно также использовать канистры с парафином — в этом случае требуется меньший объем теплоаккумулирующего материала. Вместо жесткой теплоизолирующей панели можно использовать горизонтальную штору, движущуюся с помощью вращающихся опорных роликов.

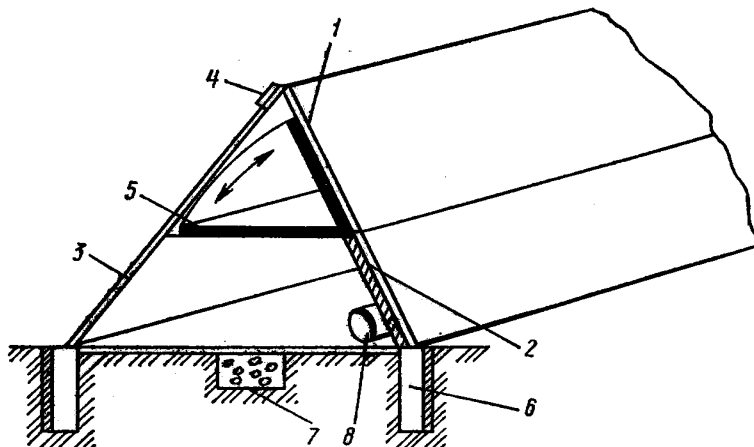


Рис. 32. Гелиотеплица с подвижной теплозащитой

- |                                       |                                   |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 — северная стена;                   | 5 — подвижная теплоизоляция;      |
| 2 — неподвижная теплоизоляция стенки; | 6 — теплоизолированный фундамент; |
| 3 — прозрачная изоляция;              | 7 — галечный аккумулятор теплоты; |
| 4 — клапан для вентиляции;            | 8 — бочки с водой                 |

Гелиотеплицу можно скомбинировать с другими полезными сооружениями. Например, внутри теплицы можно разместить пруд для разведения рыб (рис. 33) или над ней устроить солнечный опреснитель (здесь большой простор для фантазии, например, туристических фирм, так как подобные сооружения позволяют создавать эксклюзивные места отдыха и развлечений, придавать месту отдыха исключительность, неповторимость).

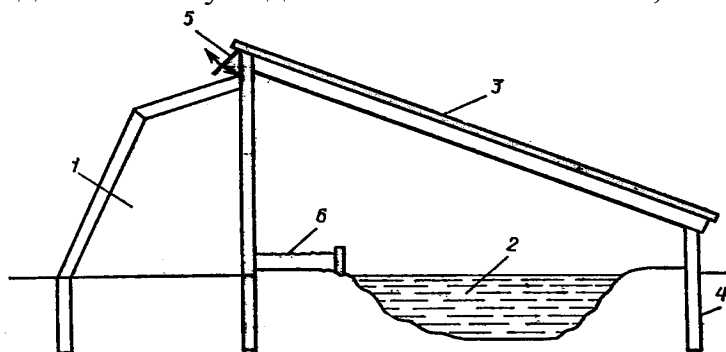


Рис. 33. Гелиотеплица с прудом для разведения рыб

- |              |                               |                            |
|--------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1 — теплица; | 3 — строительная конструкция; | 5 — вентиляционный клапан; |
| 2 — пруд;    | 4 — фундамент;                | 6 — грядки с рассадой      |

При строительстве гелиотеплицы возникает ряд практических вопросов. В частности, важное значение имеют такие вопросы, как выбор места для строительства теплицы, ее ориентации, угла наклона светопрозрачной

поверхности. Теплицу надо размещать на ровном солнечном месте, не затеняемом зданием или деревьями. Низинные места, где часто бывают туманы и заморозки, не пригодны для теплиц. Нельзя располагать теплицу в промежутке между двумя домами или между домом и сараем, так как там возникает сильный поток воздуха. С северной стороны теплица должна быть защищена от ветров плотным забором или высоким кустарником. Устройство фундамента показано на рисунке 50. Наружная поверхность фундамента должна быть покрыта слоем теплоизоляции толщиной 30–40 мм (пенополистирол). Теплоизоляция должна быть защищена от влаги земли битумным покрытием, рубероидом, полимерной пленкой. Если возможно попадание дождевой воды, то перед фундаментом вырывают ров и заполняют его крупной щебенкой, а на дно кладут дренажную трубу — керамическую или пластмассовую — диаметром 50–200 мм. Влага земли всегда проникает из крупнозернистого слоя в мелкозернистый, поэтому дно теплицы следует выкладывать из крупного щебня. Более надежную защиту от влаги обеспечивает многослойная структура, состоящая из слоев щебня, теплоизоляции и бетона со слоем поливинилхлоридной пленки для защиты теплоизоляции от влаги. Особенно хорошая влагозащита требуется для теплицы, пристроенной к жилому дому. Кроме описанной выше защитной структуры должен быть применен также барьер для распространения водяных паров в горизонтальном направлении.

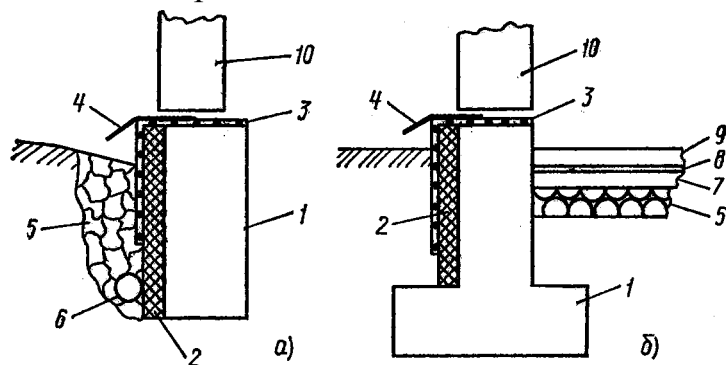


Рис. 34. Фундамент гелиотеплицы с теплоизоляцией (а) и влагозащитой (б)

- |                                    |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 1 — фундамент;                     | 6 — дренажная труба;        |
| 2 — теплоизоляция;                 | 7 — слой тощего бетона;     |
| 3 — рубероид;                      | 8 — пленка для влагозащиты; |
| 4 — пленка или металлический лист; | 9 — пол;                    |
| 5 — щебень;                        | 10 — опорная стенка         |

При изготовлении несущей конструкции и обшивки теплицы из дерева доски должны быть предварительно обработаны составом, защищающим от грибка; доски должны прибиваться так, чтобы вода не проникала через стыки (лучше всего, если доски перекрывают одна другую). Рамы окон и дверей, а также вентиляционные отверстия должны иметь хорошее уплотнение для предотвращения неконтролируемой инфильтрации воздуха. Клапаны могут изготавливаться из металлического листа или из фанеры и могут поворачиваться вокруг вертикальной или горизонтальной оси, расположенной посередине или с краю клапана. Все непрозрачные

поверхности теплицы (северная стена, нижняя часть южной стены, фундамент) для уменьшения теплотерь должны быть теплоизолированы. В качестве теплоизоляции можно использовать такие материалы, как минераловатные маты, пенопласта — пенополиуретан, пенополистирол, сухие опилки и стружка, спрессованная солома и др. Следует помнить, что влажные материалы теряют свои теплоизоляционные свойства, поэтому особое значение имеет защита теплоизоляции от попадания влаги.

Располагать гелиотеплицу надо так, чтобы конек ее крыши совпадал с осью восток — запад. Угол наклона южной светопрозрачной поверхности выбирают с таким расчетом, чтобы обеспечить максимальное количество уловленной солнечной энергии в данной местности. Так, для средней полосы оптимальным является наклон в 50–60°. Угол наклона крыши должен быть равным 20–35°, чтобы хорошо удалялись осадки и грязь. Толщина теплоизоляции северной стены выбирается в пределах 150–250 мм в зависимости от коэффициента теплопроводности используемого материала. Остекленная поверхность в ночное время может иметь теплоизоляцию толщиной 20–50 мм. При этом коэффициент теплотерь через остекление может уменьшиться от 6,8 Вт/(м<sup>2</sup>•°С) при одном слое стекла толщиной 3–4 м до 0,75 Вт/(м<sup>2</sup>•°С) при одном слое стекла и пенополистирольной теплоизоляции толщиной 50 мм. Для теплоизоляции можно использовать легкие пенопластовые маты толщиной 50 мм из экструдированного полистирола, закрепляемые магнитами на стекле.

Можно также использовать рулонный эластичный теплоизоляционный материал толщиной 30 мм. Чтобы не образовывался конденсат на холодной поверхности стекла (за теплоизоляцией), перед теплоизоляцией надо установить защиту (из полимерной пленки) от водяных паров. В теплицах больших размеров в ночное время используются шторы из полимерной пленки с напыленным отражательным (алюминиевым) покрытием. Благодаря этому теплотери снижаются на 40–60%. При использовании наружной теплоизоляции на остеклении конденсация водяных паров на стекле не происходит, но между теплоизоляцией (жесткие пенопластовые панели или гибкие маты) и остеклением не должно быть движения воздуха, а сама теплоизоляция должна быть защищена от воздействия осадков. Жесткие теплоизоляционные панели днем откидываются и отражают дополнительное количество солнечной энергии на светопрозрачные поверхности теплицы.

Фундамент должен доставать до уровня постоянной температуры грунта, а его теплоизоляция должна покрывать всю ту поверхность фундамента, которая может находиться в области отрицательных температур. Обычно глубина фундамента составляет 80–120 см.

**Солнечный коллектор в Чуй-Оозы**

*Ю.И. Тоштоков,  
Инженер,  
Республика Алтай, с. Майма*

**I. Принципиальная схема солнечного коллектора с линейным параболическим отражателем**

Солнечный световой поток, падающий параллельно оси  $Y$  на внутреннюю светоотражающую поверхность параболического рефлектора, (расчетная формула  $y=x^2$ , рис. 35), отражаясь, фокусируется в точке:  $X = 0$ ;  $Y = 0,25$ , рис. 36.

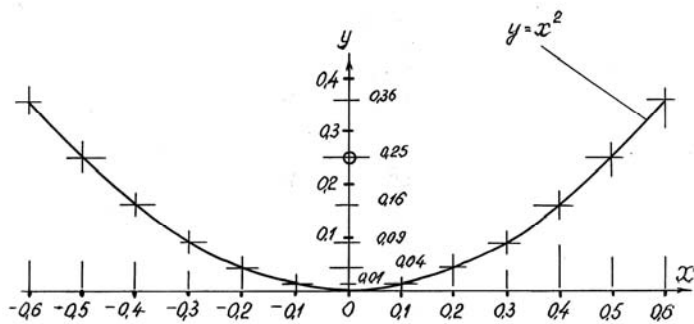


Рис. 35.

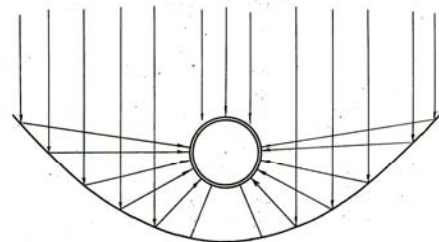


Рис. 36.

На поверхности трубы, продольной осью которой является фокус параболы, концентрируется световой поток, отраженный с площади, равной произведению ширины рефлектора по оси  $X$  на его длину  $L$ . Такая концентрация обеспечивает интенсивный нагрев трубы. Трубы соединяются в коллектор, рис. 37.

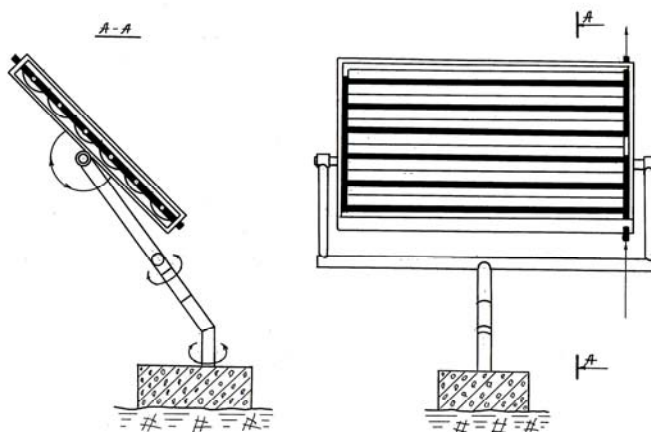


Рис. 37.

## II. Описание и технические характеристики пилотного образца

Пилотный (опытный) образец солнечного коллектора изготовлен Горно-Алтайскими электрическими сетями в 2002 году по эскизному проекту автора. Конструкция — деревометаллическая.

Слежение за высотой Солнца осуществляется поворотом коллектора в горизонтальной оси винтовым домкратом.

Слежение за ходом Солнца осуществляется поворотом коллектора вручную в вертикальной оси. В установленном положении удерживается за счет сил трения.

Коллектор состоит из 4-х элементов, каждый из которых изготовлен из стальной тонкостенной трубы наружным диаметром 32 мм, длиной  $L = 2$  м. Трубы коллектора окрашены Кузбасским лаком в черный цвет. Сварное соединение труб в коллектор — параллельно-последовательное. Продольные рефлекторы по длине труб имеют ширину 310 мм в оси X (отношение ширины рефлектора к диаметру трубы — 10). Изготовлены из отходов типографского производства — пластин, использованных для печати газет.

Остекление — 4-х мм оконное стекло.

Площадь приёма солнечного излучения —  $2,5 \text{ м}^2$ .

Объём труб коллектора — 7,5 л.

Холодная вода, через кран, подведена металлопластиковой трубой в нижнюю часть коллектора. После наполнения коллектора кран закрывается. По достижению температуры воды требуемого значения, открывается кран на подаче холодной воды, которая вытесняет горячую (нагретую) воду, которая из верхней части коллектора по другой металлопластиковой трубе сливается в емкость.

В июле 2004 года образец был установлен для горячего водоснабжения кафе «Чуй-Оозы» в Онгудайском районе Республики Алтай в 1 км выше по течению реки Чуя от её слияния с Катунью. Высота над уровнем моря — 760 м.

Для упрощения эксплуатации слежение за суточным ходом Солнца не производится. Установка зафиксирована в горизонтальном положении труб коллектора, ориентированных перпендикулярно вектору потока солнечного излучения в полдень. При таком положении вектор потока солнечного излучения в течение светового дня остаётся в плоскости Y–L, перпендикулярной оси X. Угол падения потока солнечного излучения на поверхность трубы по оси L в течение дня меняется в пределах: 0–90–0 град.

**Результаты опытной эксплуатации:**

- температура воздуха — +28° C
  - температура исходной холодной воды — +10° C;
  - температура горячей воды — +60° C;
  - производительность:    максимальная в полдень — 30 л x 50° C/ч;  
                                      дневная — 200 л x 50° C
  - мощность:               максимальная в полдень — 1,7 кВт;
  - в остальное время — 1,7 x Sin  $\alpha$ ,
- где  $\alpha$  — угол падения потока солнечного излучения на плоскость труб коллектора.

**III. Выводы и предложения по результатам эксплуатации опытного образца**

**Достоинства:**

1. Концентрация потока солнечного излучения линейным рефлектором параболического сечения обеспечивает интенсивный нагрев по длине трубы.
2. Конструкция проста, выполнена из доступных и недорогих материалов.

**Недостатки**

1. Низкий коэффициент светоотражения использованного материала рефлектора.
2. Слежение за положением Солнца в течение светового дня требует регулирования с поворотом в двух осях вращения — горизонтальной и вертикальной.
3. Большая парусность, тяжелый вес, недостаточная жесткость конструкции.
4. Нарушения геометрии рефлекторов из-за деформации при установке и транспортировке. В результате теряется часть солнечного потока.

**Предложения по повышению эффективности**

1. Для максимального использования потока солнечного излучения в течение светового дня ось вращения коллектора для слежения за суточным ходом Солнца установить параллельно оси вращения Земли (в плоскости меридиана, под углом к горизонтальной поверхности равным географической широте). При вращении за ходом Солнца в течение светового дня с угловой скоростью 1 оборот в сутки будет обеспечен максимум приема энергии солнечного излучения. Со снижением получаемой мощности в среднем на 5%, слежение возможно поворотом на 30–45 градусов по ходу Солнца с интервалом 2–3 часа.
2. Коллектор изготовить из тонкостенной трубы  $D_n = 20\text{--}25$  мм из нержавеющей стали или сплавов цветных металлов. Ширину рефлекторов в оси X принять равной 6 диаметров трубы. Рефлектор изготовить из материала с лучшим светоотражением. Количество элементов и размеры коллектора принять исходя из стандартного размера листа стекла 1600 x 1300 мм. Площадь приёма солнечного излучения составит 2 м<sup>2</sup>, расчетная мощность — 1,5 кВт.



---

---

---

## Приложение VI

---

### Некоторые вопросы эксплуатации и использования солнечных установок

#### 1. В каких районах можно использовать солнечные установки?

Практически в любом районе. Сезонные установки горячего водоснабжения можно использовать в различных местах, но чем больше широта местности, тем короче период использования установки в год, а следовательно, хуже показатель экономической эффективности. Солнечные установки отопления лучше всего подходят для районов с продолжительным отопительным периодом, но с достаточно высокой интенсивностью солнечной радиации и умеренной температурой наружного воздуха в отопительный период.

#### 2. Каков срок службы солнечных установок?

Это зависит от многих факторов, в том числе от качества изготовления и монтажа установки, включая правильный выбор материалов для изготовления солнечных коллекторов, аккумуляторов теплоты, трубопроводов, качества уплотнений и т.п. Важное значение имеет выбор теплоносителя и применение соответствующих антикоррозионных добавок, соблюдение требуемых скоростей потока в трубах, предотвращение попадания кислорода воздуха, вызывающего коррозию. Срок службы также зависит от предотвращения замерзания теплоносителя в трубопроводах и других элементах оборудования, подверженных воздействию наружного воздуха. Некоторые материалы, в частности полимерные пленки, быстро стареют под действием ультрафиолетового излучения. Основным элементом гелиоустановки — солнечный коллектор — обычно рассчитан на 15–20 лет работы при условии правильного монтажа и эксплуатации. Баки-аккумуляторы закрытого типа должны иметь катодную защиту от коррозии и могут эксплуатироваться в течение 20 лет. Аккумуляторы теплоты, работающие в условиях атмосферного давления и изготовленные из пластика, армированных стекловолокном, могут служить длительное время при соблюдении правил эксплуатации. До сих пор эксплуатируются солнечные дома, построенные 30 и более лет назад.

Срок службы водонагревателей с естественной циркуляцией теплоносителя и компактных водонагревателей составляет 10–15 лет. При высоком солесодержании воды и вообще ее низком качестве срок службы коллектора может быть весьма непродолжительным из-за возможных повреждений, особенно в местах соединений и уплотнений. Прозрачные пластмассы и полимерные пленки стареют по истечении 7–10 лет.

**3. Какие преимущества дает совмещение солнечных коллекторов с крышей дома?**

Уменьшается общая стоимость дома и инженерного оборудования. При качественном монтаже установки эксплуатационные качества крыши не ухудшаются,

**4. Какие дополнительные строительные капитальные затраты возникают при монтаже гелиоустановки на существующем доме?**

Современная технология позволяет устанавливать солнечные коллекторы на существующем доме без проблем. Затраты при этом могут быть различными в зависимости от архитектуры дома и других особенностей.

**5. Ухудшается ли внешний вид дома?**

В большинстве случаев солнечные коллекторы придают оригинальный и привлекательный вид дому. А вот архитектурный облик старинных домов не следует нарушать, и размещать солнечные коллекторы следует так, чтобы они не бросались в глаза.

**6. Может ли солнечная установка давать полезную теплоту при отрицательных температурах наружного воздуха и при плотной облачности?**

Да, может, но количество полезной энергии уменьшается и зависит от прихода солнечной энергии и коэффициента теплопотерь коллектора. Плоский коллектор способен улавливать как прямое, так и рассеянное солнечное излучение. При пасмурной погоде прямое излучение отсутствует, но коллектор будет улавливать рассеянное излучение. Иное дело с фокусирующими коллекторами, которые улавливают только прямое солнечное излучение и при отсутствии прямых солнечных лучей не дают полезной теплоты.

**7. Что дает применение солнечных установок в умеренных широтах?**

Солнечная установка может экономить от 25 до 75% расходов на топливо.

**8. Каковы основные предпосылки для сооружения солнечного дома?**

Применение улучшенной теплоизоляции дома, существенно снижающей потребность в теплоте для отопления, а также правильный выбор местоположения и ориентации дома. Дом располагают в таком месте, где с учетом ландшафта солнце светит в течение большей части дня, отсутствуют затенение и сильные ветры, от которых дом может быть защищен с северной стороны, холмом, деревьями или кустарниками. Дом своей длинной стороной должен быть обращен на юг, а большая часть окон должна быть размещена в южной стене. Южный скат крыши должен иметь угол наклона к горизонту в пределах 25–60°, чтобы можно было совместить коллектор с крышей.

**9. Работает ли гелиоустановка зимой?**

Да. Но зимой поступление солнечной энергии невелико, продолжительность инсоляции короткая, а угол падения солнечных лучей мал. При этом КПД гелиоустановки низкий, а тепловая нагрузка отопления велика. Поэтому солнечная установка может обеспечить лишь небольшую долю всей тепловой нагрузки. Требуется дополнительный источник теплоты — котел на обычном топливе. Наиболее эффективны зимой коллекторы, расположенные на вертикальных поверхностях или имеющие большой угол наклона. Для защиты от замерзания используется антифриз.

**10. Какова продолжительность хранения теплоты в аккумуляторе?**

От нескольких часов до нескольких дней. Для установок горячего водоснабжения обычно достаточно запаса теплоты на 8–12 ч, а для установки солнечного отопления — от 2–3 до 4–5 дней. В принципе возможно запастись солнечную теплоту летом, а использовать ее зимой, но для этого требуются аккумуляторы теплоты большой вместимости с очень хорошей теплоизоляцией, экономически это нецелесообразно для индивидуальных потребителей.

**11. Какова средняя теплопроизводительность гелиоустановки?**

Она зависит от климатических характеристик района и характеристик применяемого гелиотехнического оборудования — коллекторов, аккумуляторов и др. В средней полосе при использовании плоского коллектора можно получить до 350 кВт·ч теплоты в год с 1 м<sup>2</sup> площади КСЭ.

**12. Сколько можно сэкономить за счет солнечной установки?**

Это зависит от многих факторов: климатических данных местности, размеров и теплоизоляции дома, среднего уровня теплопотребления, типа и размеров гелиоустановки. Вполне возможно получить экономию от 25 до 75% расходов на топливо.

**13. Какие основные правила техники безопасности применимы к гелиоустановкам?**

При перегреве аккумулятора теплоты возможно образование пара, для предотвращения повышения давления предусматривается предохранительный клапан. Для автоматического удаления воздуха из контура солнечного коллектора в верхней точке должен быть расположен воздушник. Все материалы должны выдерживать максимальные температуры, которые могут иметь место при холостом ходе (без теплоносителя) коллектора. Это относится к материалам тепловой изоляции и деталям корпуса, соприкасающимся с лучепоглощающей поверхностью, температура которой может достигать 170–250°C в зависимости от типа коллектора.

**14. Как удалить снег с поверхности солнечного коллектора?**

Для этого можно использовать устройство для оттаивания, которое прокачивает теплую воду из аккумулятора в коллектор, при этом остекление прогревается и снег соскальзывает с коллектора. В иных случаях приходится удалять снег вручную с соблюдением мер предосторожности, чтобы не повредить остекление.

**15. Можно ли увеличить приход солнечной энергии на поверхность солнечного коллектора?**

Да, для этого можно использовать плоские отражатели (окрашенные в белый цвет листы фанеры), расположенные под углом к коллектору так, чтобы отраженное солнечное излучение попадало на коллектор. На плоской крыше они могут соединять верхний край коллекторов предыдущего ряда с нижним краем коллекторов данного ряда.

**16. Как влияет высота местности над уровнем -моря на приход солнечной энергии?**

Поступление солнечной энергии увеличивается с увеличением высоты местности. Более того, благодаря более чистой атмосфере в горах интенсивность солнечного излучения там значительно выше, чем в равнинных, особенно промышленных районах. Загрязнение атмосферы в больших городах и промышленных зонах существенно снижает уровень солнечной радиации, поступающей на поверхность солнечного коллектора.

**17. За сколько лет окупается солнечная установка?**

Стоимость гелиоустановок зависит от области применения, типа и характеристик установок, местных климатических особенностей. Установка окупается за счет обеспечиваемой ею экономии топлива. Солнечные водонагреватели в зависимости от конструкции и климатических особенностей местности окупаются в течение 3–10 лет. Срок окупаемости зависит также от цены на топливо — с ее ростом он сокращается. По

истечении этого срока установка дает чистую прибыль. Гелиоустановки отопления имеют большой срок окупаемости из-за низкого коэффициента использования при высокой стоимости. Как правило, они рассчитываются на покрытие тепловой нагрузки в переходный период. Следует иметь в виду, что для сокращения срока окупаемости установка должна использоваться большую часть года.

#### **18. Как изготовить и смонтировать простой солнечный водонагреватель?**

Корпус коллектора можно изготовить из досок или фанеры, а снаружи его можно обшить оцинкованным железом. На дно кладут слой теплоизоляции — минеральной ваты — толщиной 50–75 мм, а сверху гипсоволокнистую плиту с наклеенной алюминиевой фольгой. Затем укладывают абсорбер, предварительно изготовленный и испытанный на плотность. Он может быть составлен из отдельных полосок, представляющих собой трубку для теплоносителя, припаянную к металлическому ребру. Эти трубки присоединены вверху и внизу к гидравлическим коллекторам, диаметр которых больше диаметра трубок (10–15 мм) в 2–3 раза. После этого устанавливается стекло (толщиной 4 мм) с уплотнением в алюминиевом профиле. Переход между стеклом и корпусом закрывается водонепроницаемой уплотнительной лентой или замазкой.

Изготовленный коллектор устанавливают на металлическую или деревянную опорную конструкцию и закрепляют его на ней. Саму эту опорную конструкцию прикрепляют к строительным деталям крыши или к специальному настилу или бетонной плите, располагаемой на плоской крыше дома. Монтаж на плоской крыше намного легче, чем встраивание коллектора в наклонную крышу.

Место для размещения солнечного водонагревателя выбирают таким образом, чтобы обеспечивалась его эффективная и надежная работа и не возникала опасность для людей и самого здания. Участок крыши, на котором устанавливается солнечный водонагреватель, должен выдерживать дополнительную нагрузку от веса установки. Коллекторы и их опорные конструкции должны быть надежно прикреплены к несущей конструкции, чтобы предотвратить их падение под действием ветра, снежных буранов и других внешних воздействий. К стропилам, балкам и перекрытию можно прикрепить установку с помощью анкерных болтов или проволоки. Для предотвращения протечек воды через отверстия для трубопроводов и крепежных деталей следует использовать специальные прокладки, уплотнения или силиконовые покрытия.

#### **19. Каковы особенности пуска жидкостного солнечного коллектора?**

При пуске жидкостного коллектора солнечной энергии должны соблюдаться определенные правила безопасной работы, предотвращающие его повреждение. В солнечный полдень температура лучепоглощающей

поверхности КСЭ, не заполненного теплоносителем, может достигать температуры 200°C и более. При поступлении холодной жидкости возникает тепловой удар, приводящий к разрушению остекления и образованию трещин и вздутий в каналах для теплоносителя. Для предотвращения этих нежелательных явлений заполнение коллектора теплоносителем необходимо производить тогда, когда температура лучепоглощающей поверхности невелика, т.е. утром или вечером. Это в первую очередь относится к КСЭ, в которых предусмотрен дренаж теплоносителя. Аналогичная ситуация возникает при отключении насоса по той или иной причине. При наличии системы автоматического управления в ней должен быть предусмотрен датчик максимальной температуры, не допускающий включение насоса при опасно высокой температуре абсорбера. Перед первым пуском смонтированной установки производится ее внешний осмотр, гидравлические испытания давлением 250 кПа, проверку воздушника и полноты слива жидкости при дренаже.

**20. Какой требуется уход за солнечными установками?**

По сравнению с обычными установками, они требуют мало ухода. Для обеспечения контроля за работой установки необходимо установить приборы: манометр для измерения давления в закрытых системах, термометры или термодары для контроля температуры на входе и выходе коллектора, в аккумуляторе. Если перепад температур в коллекторе уменьшается, это свидетельствует о забивании теплообменника. Загрязнение остекления, попадание воздуха в коллектор снижают теплопроизводительность коллектора.

При появлении протечек в жидкостных гелиосистемах из-за повреждения труб, возникновения неплотностей в местах сварки и уплотнений система должна быть выключена.

При нарушении целостности остекления коллектора, его разгерметизации внутрь коллектора попадают осадки, которые ухудшают качество материалов, в том числе тепловой изоляции, и снижают теплотехнические показатели коллектора в целом.

---

---

---

## Приложение VII

---

### Некоторые выводы

1. В России имеется достаточно большой опыт проектирования и эксплуатации гелиоустановок. При этом требуется доработка применительно к современным условиям норм и рекомендации по проектированию гелиоустановок.
2. Для южных регионов России имеются достоверные данные интенсивности солнечной радиации для проектирования гелиоустановок, а также методики для их уточнения.
3. На российском рынке солнечных коллекторов наилучшее соотношение потребительских свойств и стоимости имеют изделия Ковровского механического завода. Представлены также коллекторы фирмы «Конкурент» (г. Жуковский, Московской обл.), НПО «Машиностроение» (г. Реутово, Московской обл.), нескольких украинских производителей.
4. В современных экономических условиях для повышения объективности предложены формулы для определения срока окупаемости гелиоустановок по стоимостным показателям, а также срока энергетической окупаемости.
5. Для российского рынка необходим солнечный коллектор, который совмещает приемлемые технические характеристики совмещал с низкой стоимостью. На основе анализа расчетных и экспериментальных данных на Ковровском механическом заводе налажен выпуск солнечных коллекторов с теплопоглощающей панелью из латунной трубки и стальными ребрами, а в качестве теплоизоляции применены коробка из пергамина.
6. Предложена формула для определения предельной удельной стоимости теплоизоляции коллекторов.
7. Десятилетний опыт успешной эксплуатации гелиоустановок горячего водоснабжения свидетельствует о перспективности и приоритетности данного направления использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии.
8. Использование солнечных коллекторов с изменяющимся углом наклона значительно повышает их эффективность при круглогодичном использовании. Конструкции с концентрирующими рефлекторами и слежением за высотой солнца можно считать наиболее перспективными.

---

---

---

## Приложение VIII

---

### Список использованной и рекомендуемой литературы

1. Аббот Ч. Солнце: Пер. с англ. — М.–Л., ОНТИ, 1936.
2. Аvezов Р.Р., Орлов А.Ю. Солнечные системы отопления Я горячего водоснабжения. — Ташкент: Фан, 1988.
3. Андерсон Б. Солнечная энергия (основы строительного проектирования): Пер. с англ. / Под ред. Ю.Н. Малевского. — М.: Стройиздат, 1982.
4. Ахмедов Р.Б. Технология использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. (Итоги науки и техники. Сер. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.) — М., ВИНТИ, 1987.
5. Байрамов Р.Б., Ушакова А.Д. Солнечные водонагревательные установки. — Ашхабад: Ылым, 1987.
6. Байрамов Р.Б., Ушакова А.Д. Системы солнечного теплохолодоснабжения в энергетическом балансе южных районов страны / Под ред. Л.Е. Рыбаковой. — Ашхабад: Ылым, 1987.
7. Байрамов Р.Б., Сейиткурбанов С. Теплонасосные установки для индивидуальных потребителей. — Ашхабад: Ылым, 1984.
8. Бекман У.А., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения: Пер. с англ. — М.: Энергоиздат, 1982.
9. Берковский Б.М., Кузьминов В.А. Возобновляемые источники энергии на службе человека / Под ред. А.Е. Шейндлина. — М.: Наука, 1987.
10. Бринкворт Б.Дж. Солнечная энергия для человека: Пер. с англ. / Под ред. Б.В. Тарнижевского. — М.: Мир, 1976.
11. Бутузов В.А. Анализ опыта проектирования и эксплуатации гелиоустановок горячего водоснабжения в сборнике «Энергосбережение на Кубани», Краснодар, Советская Кубань, 1999.
12. Бутузов В.А. Анализ опыта разработки и эксплуатации гелиоустановок в Краснодарском крае // Промышленная энергетика, №2, 1997.
13. Бутузов В.А. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии в системах теплоснабжения Краснодарского края // Краснодар, 1989.
14. Валов ММ., Горшков Б.Н., Некрасова Э.И. О точности определения интенсивности солнечной радиации при расчетах гелиоустановок // Гелиотехника, №6, 1982.
15. ГОСТ 28310-89 Коллекторы солнечные. Общие технические условия. М.: Госстандарт, 1999.
16. Даффи Дж.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии: Пер. с англ. / Под ред. Ю.Н. Малевского. — М.: Мир, 1977.
17. Денисенко Г.И. Возобновляемые источники энергии. — Киев: Вища школа, 1983.
18. Дверняков В.С. Солнце — жизнь, энергия. — Киев: Наукова думка, 1986.
19. Дэвинс Д. Энергия: Пер. с англ. / Под ред. Д.Б. Вольфберга. — М.: Энергоиздат, 1985.



20. Евстигнеев В.В., Федянин В.Я., Чертищев В.В. Физические основы использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для теплоснабжения. — Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2004.
21. Зоколей С.В. Солнечная энергия и строительство: Пер. с англ./Под ред. Ю.Н. Малевского. — М.: Стройиздат, 1979.
22. Зоколей С.В. Архитектурное проектирование, эксплуатация объектов, их связь с окружающей средой: Пер. с англ./Под ред. В.Г. Бердичевского, Б.Ю. Бранденбурга. — М.: Стройиздат, 1984.
23. Использование солнечной энергии для теплоснабжения зданий / Э.В. Сарнацкий, Ю.А. Константиновский, А.И. Заваров и др. — Киев: Будивельник, 1985.
24. Капралов А.И. Рекомендации по применению жидкостных солнечных коллекторов. — Кишинев; Картя Молдовеняскэ, 1988.
25. Колтун М.М. Солнце и человечество. — М.: Наука, 1981.
26. Крецу И.В., Чабан А.Г. Солнечная энергия служит человеку. — Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1982.
27. Мак-Вейг Д. Применение солнечной энергии: Пер. с англ./Под ред. Б.В. Тарнижевского. — М.: Энергоиздат, 1981.
28. Мировая энергетика: прогноз развития до 2020 г.: Пер. с англ./Под ред. Ю.Н. Старшинова. — М.: Энергия, 1980.
29. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Часть 3. Многолетние. Выпуск 13. Часть 1. Солнечная радиация и солнечной сияние. — Л.: Гидроитноиздат, 1990.
30. Нормы проектирования. Раздел «Установки солнечного горячего водоснабжения»: ВСН 5286 / Госгражданстрой СССР: — М., 1987.
31. Оболенский Н.В. Архитектура и солнце. — М.: Стройиздат, 1988.
32. Одум Т., Одум Э. Энергетический базис человека и природы: Пер. с англ. / Под ред. А.П. Огурцова. — М.: Прогресс, 1978.
33. Отчет о НИР «Разработка рекомендаций по проектированию гелиоустановок котельных и ЦТП» // Краснодарская лаборатория энергосбережения и нетрадиционных источников энергии Академии коммунального хозяйства — Краснодар, 1989.
34. Отчет о НИР «Исследования и разработка гелиоустановок для систем теплоснабжения заводов МЖК и пионерлагеря «Чайка» в пос. Джанхот // Краснодарская лаборатория энергосбережения и нетрадиционных источников энергии Академии коммунального хозяйства. Краснодар, 1991.
35. Отчет о НИР. Схема размещения нетрадиционных возобновляемых источников энергии в Краснодарском крае. Техничко-экономический доклад. Часть 2. Оценка гелиоэнергетических ресурсов Краснодарского края и рекомендации по их техническому использованию для выработки тепловой и электрической энергии — АО Ленгидропроект. АОЗТ «Гидротех» №030-23-27 С.-Петербург, 1994.
36. Отчет о НИР. Разработка климатических характеристик для нормативных документов по строительному проектированию, техническому нормированию и других целей ГГО им. А.И. Воейкова, Л. 1990.
37. Рабинович М.Д. Сравнение различных методов представления климатологической информации при расчете производительности гелиосистем // Гелиотехника, №3, 1986.
38. Рекомендации по определению климатических характеристик гелиоэнергетических ресурсов на территории СССР / Гл. геофиз. обсерв. ЭНИН. — Л.: Гидрометеиздат, 1987.
39. Рекомендации по определению энергетической и экономической эффективности гелиосистем теплоснабжения жилых и общественных зданий. — Ташкент, ЭНИЭП, 1986.
40. Сабади П.Р. Солнечный дом: Пер. с англ. — М.: Стройиздат, 1981.
41. Селиванов Н.П. Энергоактивные солнечные здания. — М.: Знание, 1982.

42. Строительные нормы и правила (желательно последней редакции).
43. Спасов К.И., Балабанов М.М., Станков А.Е. Проектиране и конструиране на топлинни слънчеви инсталации. — София: Техника, 1988.
44. Справочник по климату СССР. В 34-х вып. — Л.: Гидрометеиздат, 1966.
45. Справочник по климату СССР. Часть 1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. — Л.: Гидрометеиздат, 1966.
46. Танака С., Суда Р. Жилые дома с автономным солнечным теплохладоснабжением: Пер. с яп. — М.: Стройиздат, 1989.
47. Тайсаева В.Т. Солнечное теплоснабжение в условиях Сибири. — Улан-Удэ, Изд-во БГСХА, 2003.
48. Уделл С. Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии. — М.: Знание, 1980.
49. Усаковский В.М. Возобновляющиеся источники энергии. — М.: Россельхозиздат, 1986.
50. Харченко Н.В. Гелиотеплонасосные системы теплоснабжения с сезонным аккумулярованием теплоты: Обзор, информ. — М.: Информэнерго, 1989.
51. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. — М.: Энергоатомиздат, 1991.
52. Харченко Н.В., Делягин Г.Н. Солнечные теплогенерирующие установки для систем теплоснабжения. — М., МИСИ, 1987.
53. Харченко Н.В., Никифоров В.А. Системы гелиотеплоснабжения и методика их расчета. — Киев: Знание, 1982.
54. Энергоактивные здания / Н.П. Селиванов, А.И. Мелуа, С.В. Зоколей и др.; Под ред. Э.В. Сарнацкого, Н.П. Селиванова. — М.: Стройиздат, 1988.

---

**С вопросами и предложениями обращаться:**

**Центр альтернативных технологий,  
энергосбережения и энергообеспечения  
Алтайского краевого общественного Фонда  
«Алтай — 21 век»**

**656052 г. Барнаул, ул. Матросова, 120**

**тел./факс: (385-2) 75-72-00**

**email: [katun@ab.ru](mailto:katun@ab.ru)**

**(с пометкой: Центр альтернативных технологий)**

---

Подписано в печать 18.05.2006. Формат 60x84/16  
Бумага для множительных аппаратов. Печать офсетная  
Усл.–печ. л. 7,5. Тираж 500 экз. Заказ \_\_\_\_\_  
Типография Фонда «Алтай — 21 век»  
656052, Барнаул, ул. Матросова, 120.