

P. R. Sabady

The Solar House

Newnes—Butterworthes London—Boston

П. Р. Сабади

Солнечный дом

**Перевод с английского
Н. Б. Гладковой**

Москва Стройиздат 1981

ББК 38.113
С 12
УДК 697.329+697.

Сабоди П. Р.
С12 Солнечный дом/Пер. с англ. Н. Б. Гладковой. —
М.: Стройиздат, 1981. — 113 с., ил.

Рассматривается проблема использования солнечной энергии и предлагается решение некоторых связанных с этим задач. На основе опыта, накопленного в этой области, делаются прогнозы на будущее. Дается практическая информация по использованию солнечного излучения; анализируются наиболее интересные солнечные установки в Европе и США. Проводится также сравнение различных типов солнечных коллекторов и методы аккумулирования солнечного тепла.

Книга предназначена для проектировщиков и инженеров-строителей.

С 30205-507 104-80. 3202000000
047(01)-81

ББК 38.113

6С1

© Sabady. 1978
© Перевод на русский язык,
Стройиздат, 1981

ПРЕДИСЛОВИЕ К АНГЛИЙСКОМУ ИЗДАНИЮ

Возможность использования солнечной энергии для отопления в наше время общепризнана. Хотя технология этого использования была известна уже очень давно, настоятельная необходимость обратиться к ней появилась только после энергетического кризиса 1973 г., когда во многих странах возникла потребность в новых источниках энергии. Теперь во многих странах ведется строительство домов, спроектированных на основе использования энергии солнца, и в настоящее время уже можно оценить этот опыт и дать практические рекомендации.

П. Р. Сабади — руководитель проекта и основатель компании по использованию солнечной энергии, изобретатель системы солнечного аккумулятора и автор проекта первого большого здания солнечной фабрики, спроектированного и построенного в Швейцарии, в Цюрихе. П. Сабади читает лекции по использованию солнечной энергии в технических институтах Швейцарии, Австрии и ФРГ. Его книга «Как я могу согреться солнцем?» завоевала популярность в ФРГ. П. Сабади принадлежат также многочисленные статьи о солнечной энергии, опубликованные в французских и немецких журналах и периодических изданиях.

Предлагаемая читателю книга — широко известный труд «Дом и энергия солнца» («Hous und Sonnenkraft»), который за короткий срок выдержал три издания.

Проблема использования солнечной энергии рассматривается на фоне исторических и экономических предпосылок.

В книге рассматриваются и сравниваются различные типы солнечных коллекторов и анализируются многие способы аккумуляирования солнечной энергии. Отдельная глава посвящена солнечным домам, которые уже построены в Европе и США. Подробно описываются особенности строительства подобных сооружений и даются их технические характеристики.

Множество фотографий, диаграммы и таблицы помогут читателю составить ясное представление о прошлом, настоящем и будущем использования солнечной энергии.

ВВЕДЕНИЕ

В ноябре 1973 г. разразился энергетический кризис, что поставило многие страны перед угрозой энергетического эмбарго. Транспорт, заводы и фабрики, центральные отопительные системы могли прийти в бездействие, и мы неожиданно увидели, что наше постоянно нуждающееся в энергии общество построено на весьма непрочном основании.

Сегодня у нас снова есть нефть (хотя мы должны платить за нее намного дороже), но никогда впредь в мире не будет такого положения, каким оно было до ноября 1973 г.

Растущий страх за энергетические резервы, за наш уровень жизни доминирует сегодня в мире. Распачение энергии стало грехом, а поиски новых видов энергии — важнейшей задачей. В журналах и по телевидению теперь можно увидеть необычные здания, в которых солнечное излучение используется в качестве энергетического источника. В результате может сложиться впечатление, что использование солнечной энергии для бытовых целей — нечто такое, чего раньше никогда не было. Однако возможность использования солнечной энергии для этих целей была известна тысячи лет назад, а в нашем столетии была открыта заново. До самого последнего времени новые открытия в области солнечной энергетики публиковались, главным образом, в специальных журналах и изданиях университетов, которые доступны немногим. В этой книге хотелось бы дать информацию общего характера и продемонстрировать широкому кругу специалистов возможность обеспечения зданий теплом за счет солнечной энергии.

Использовать нефть можно, в конце концов, только для производства жизненно важного сырья и протенна. Возможно, запрет на использование нефти для отопления не так далек, но он должен быть вызван не политическими причинами, а здравым смыслом.

Мы должны понять, что перерасход энергии и связанное с ним загрязнение окружающей среды может со временем разрушить всю цивилизацию. Необходимо «очистить» энергию. Осуществить это могут инженеры, ученые, архитекторы, строители, политические деятели. Но и все люди должны осознать свою ответственность и помочь найти решение этой проблемы. Эта книга представляет собой прямой вклад в реализацию идеи охраны окружающей среды путем широкого использования солнечной энергии.

1. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

Когда мы произносим слово «энергия», то предполагаем главным образом что-то абстрактное, техническое, имеющее отношение только к инженерам и ученым. Но если вдуматься, вся исто-

рия человечества была и есть история борьбы за получение все большего количества энергии. Все существенные достижения человека были в действительности новыми формами получения и использования энергии. С незапамятных времен человек нуждался в энергии, чтобы постоянно улучшать свои жизненные условия. С открытием нового вида энергии менялся образ жизни человека. Самым первым видом энергии в распоряжении человека была сила его собственных мускулов. Однако ему пришлось преодолеть предел этой силы, поскольку его уже не удовлетворял тот комфорт, который он мог создать своими собственными руками.

Прошли тысячелетия, и человек освоил внешние источники энергии — огонь и силу прирученных им животных. Значение этих двух видов энергии неизмеримо. Так, еще в 1860 г. 15% энергии, используемой во всем мире, производилось усилиями человека и 73% — животных.

Энергия используется в виде тепла и механической силы. Сначала механическая энергия вырабатывалась ветром и водой и немного позже переработкой тепла или посредством взрыва. Архимед и Герон из Александрии впервые предложили вырабатывать механическую энергию из тепла.

Большой спрос на энергию появился со стремлением к сравнительно более развитой цивилизации. Достаточно вспомнить об огромных обогреваемых купальных комплексах античного времени. Отапливаемое сооружение в Тель-Азмаре размером 55×32 м было построено около 300 г. до н. э.; королевский дворец Арзава в Юго-Западной Анатолии с расположенной в центре пола обогревательной установкой возведен в 1200 г. до н. э. Римские бани обогревались горячим воздухом и потребляли массу энергии. Термы Каракаллы были рассчитаны на 2300 чел., а термы Диоклетиана — на 3200 чел. Все эти сооружения обслуживали не только властителей, но и все население города. Никогда раньше не было возможности обеспечить потребность в энергии такого количества людей.

Проживающие в США 6% населения земного шара используют $\frac{1}{3}$ энергии, производимой во всем мире. Американец в среднем использует энергии в 3 раза больше, чем западноевропейец, и в 9 раз больше, чем турок. История современной энергетики началась в XVII в., когда в период Возрождения были заново открыты давно забытые идеи Аристотеля и Герона. Француз Денис Папин первый построил паровую установку. XVIII и в особенности XIX в. дали миру целую плеяду изобретателей и мыслителей, изобретения и идеи которых создали интеллектуальный и технический базис современного общества.

Изобреталось множество машин, которые, создавая все больше ценностей, требовали, естественно, большего количества энергии. Уголь был главным источником энергии вплоть до 1958 г., но прогресс последних 20 лет основан на нефти, активно

используемой с начала XIX в. Но еще в начале XX в. могли сказать: «Нефть— бесполезное выделение земли. Это липкая жидкость, которая дурно пахнет и не может быть никак использована». С тех пор было добыто 38 млрд. т нефти, а с 1955 г. по 1968 г. расход нефти утроился.



Рис. 1. «Солнечный небоскреб» в Нью-Йорке. Отопление и кондиционирование воздуха обеспечивается с помощью солнечной энергии

Сегодня 5 млрд. т нефти используется ежегодно, и специалисты считают, что ежегодный прирост расхода нефти равен 7,3%. Известные запасы нефти составляют приблизительно 90 млрд. т, а это означает, что примерно через 45 лет на земле не останется ни одной капли нефти. Поскольку снабжение нефтью уменьшает-

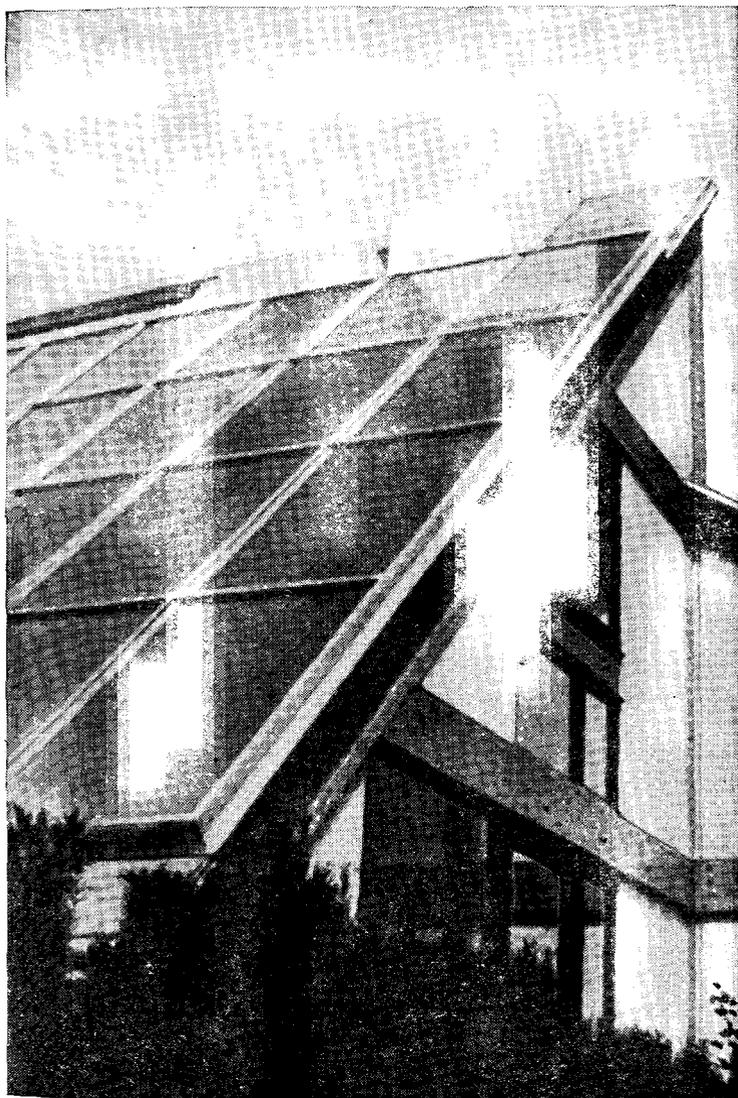


Рис. 2. «Солнечный дом» во Франции. Г. Мишель, 1975 г. (Фотография П. Сабади)

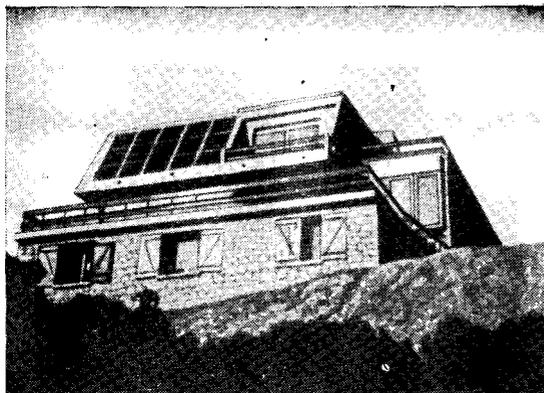


Рис. 3. «Солнечный дом» с плоскими солнечными панелями во Франции (Софэ)

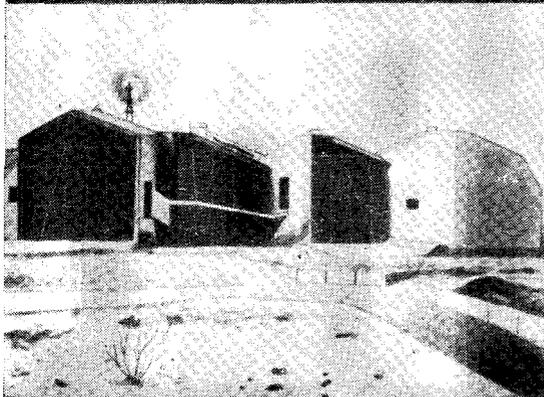


Рис. 4. Солнечная отопительная система в Нью-Мехико (Баер)

ся, цена ее может стать настолько высокой, что использование ее в качестве источника энергии для отопления вскоре будет нерентабельным.

Каково положение с другими источниками энергии?

1.1. УГОЛЬ

Запасы угля до сих пор достаточно велики, особенно в Советском Союзе, США и Китае. Специалисты предполагают, что его количество доходит до 7600 млрд. т, что максимальное использование угля будет достигнуто приблизительно к 2150 г. и что уголь не будет считаться дефицитом вплоть до 2300 г. Уголь был первым источником энергии, использование которого вызвало необходимость охраны окружающей среды. В 1307 г. в Лондоне все печи для обжига извести, использующие уголь, были запрещены по причине выделения тяжелого дыма. Добыча угля становится все более трудоемкой: 50 лет назад разрабатывались месторождения угля на глубине 350 м, а сегодня средняя глубина залега-

ния промышленных разработок достигает 700—1000 м. Кроме того, постоянная угледобыча оставляет испорченными многие квадратные километры земли.

1.2. АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ

Это одна из величайших надежд нашего века. В настоящее время в Америке 5%, в Европе 1% потребности в энергии удовлетворяется с помощью атомных источников. Согласно прогнозам Комиссии по атомной энергии при ООН, 70% мировых потребностей в энергии в 2000 г. будет удовлетворяться атомной энергией. Предполагается, что в 1985 г. атомная энергия будет обеспечивать в США 16,7% энергетических потребностей, во Франции — 50%, ФРГ — 25%, в Великобритании — 7%. Однако существует слишком много нерешенных технических проблем, а теоретические разработки не могут еще внедряться в практику. Термоядерный реактор, в котором происходят те же процессы, что и на Солнце, изучается с 1952 г., но пока еще сомнительно, что эта проблема будет решена до 2000 г.

Трудности и опасность использования атомной энергии хорошо известны из многих дискуссий и средств массовой информации во всех странах. Основная проблема состоит в том, что ученые 77 лет спустя после открытия первых радиоактивных элементов до сих пор не знают, как поступать с радиоактивными отходами и что делать с реакторами после их амортизации. Если эти проблемы не найдут экономического и экологического разрешения, то цена на атомную энергию будет высокой не только для развивающихся, но и для развитых капиталистических стран. Будем надеяться, что решение этих неотложных проблем будет найдено, иначе мечта об Атомном веке закончится, не начавшись, и исследования в этой области войдут в историю человечества как самое ошибочное капиталовложение нашей цивилизации.

1.3. ДРУГИЕ ВИДЫ ЭНЕРГИИ

Другие классические виды энергии, такие, как сила воды (5% в 1975 г., приблизительно 2% в 1985 г.), природный газ (открытый около 50 лет назад) в настоящее время пригодны в ограниченных количествах. Они смогут обеспечить только небольшую часть наших будущих потребностей в энергии.

Уже давно специалисты знали о неудовлетворительном состоянии энергетической экономики, но особенно это стало ясно во время нефтяного кризиса 1973 г. Так что сейчас можно сказать, что эмбарго на нефть принесло больше пользы, чем тот дешевый поток нефти, который был нам доступен в последние 15 лет.

В самом деле, мы, видимо, должны быть благодарны тому обстоятельству, что повышение цен на нефть стимулировало по-

иски новых источников энергии, не загрязняющих окружающую среду, а также привело к тому, что правительства и частные предприниматели готовы вложить большие средства в исследовательские работы по изысканию альтернативных источников энергии. В настоящее время исследуются энергия ветра, геотермический, биологический газ и другие виды энергии, но самый большой и самый чистый энергетический источник лежит от нас на расстоянии 149 млн. км. Это Солнце.

2. СОЛНЦЕ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

«Перевозчик» солнечной энергии — излучение. Оно состоит из видимых световых лучей и невидимого ультрафиолетового и инфракрасного излучения (рис. 5). Видимые световые лучи имеют длину волны от 0,4 μ до 0,8 μ ($1\mu = 10^{-6}$ м), длина волны ультрафиолетовых лучей меньше 0,4 μ , а инфракрасных — больше 0,8 μ . Примерно 9% солнечного излучения лежит в полосе теплового излучения. Солнце, ярко светящийся газовый шар, состоит в основном из водорода (70%) и гелия (27%). Энергия — это результат термоядерных реакций. При этом Солнце теряет миллионы тонн своей массы каждую секунду. Интенсивность излучения на поверхности Солнца 70—80 тыс. кВт/м² при температуре 6000° С. Наша Земля получает небольшую, но значительную часть этой энергии — приблизительно 180 000 млрд. кВт. Это примерно в 18 тыс. раз больше, чем то количество энергии, которое человечество выработало к сегодняшнему дню на всей Земле.

За пределами земной атмосферы поток излучения составляет 1394 Вт/м², или 2 кал/см² в мин. Эта величина называется солнечной постоянной. Проходя через атмосферу, огромное количество этого излучения (30—40%) рассеивается, и поверхность Земли на уровне моря в ясный день получает 0,855 кВт/м² — 1кВт/м² прямой радиации. Естественно, что часть (около 50%) рассеянного в атмосфере света достигает поверхности Земли также в виде энергии.

Продолжительность солнечного излучения и его интенсивность зависят от времени года, погодных условий и, конечно, от географического положения местности. Около 25% поверхности Земли получает солнечный свет, т. е. прямое солнечное излучение, в течение всего дня. В большинстве стран продолжительность действия прямого солнечного света и интенсивность излучения измеряются десятками дней. Для технических расчетов пользуются среднегодовыми показателями, из которых выводят средние величины для каждого часа дня и каждого месяца.

Эти величины определяются отдельно для горизонтальных и различным образом ориентированных вертикальных поверхностей. Пользуясь такими данными, можно получить соответствующие значения эффекта радиации для каждого часа дня.

2.1. ПРЯМОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Это излучение называется солнечным светом. Его интенсивность и продолжительность имеют решающее значение для солнечной инженерии. Они контролируются постоянными измерениями, в результате которых вычисляется их средняя величина. В центре Швейцарии (около 400 м над уровнем моря) самая высокая величина прямого излучения наблюдается в апреле и в конце сентября.

Например, в районе Цюриха (48° с. ш., 400 м над уровнем мо-

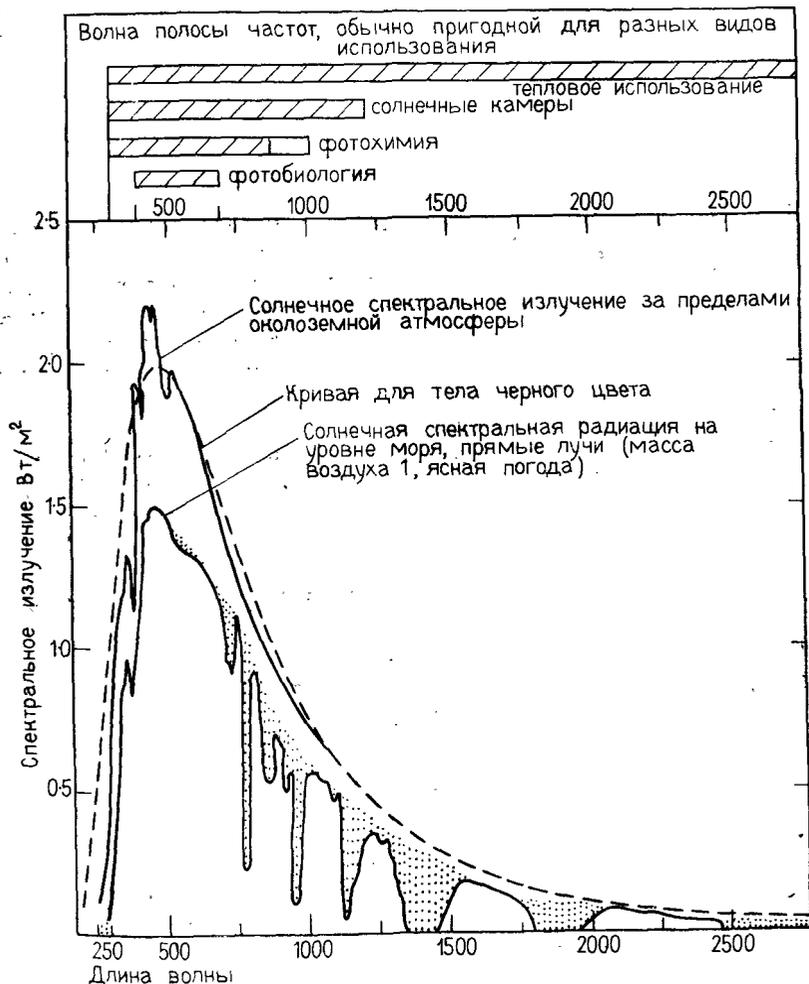


Рис. 5. Кривая спектрального излучения. Солнечная энергия — аттестация АИК, май 1976 г. (с разрешения ИК — ISES)

ря) прямое излучение в солнечный день в апреле в полдень составляет 875 Вт/м^2 , а 21 декабря 775 Вт/м^2 . В Англии эти величины соответственно равны 700 и 200 Вт/м^2 .

2.2. РАССЕЯННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Рассеянное излучение — результат прохождения солнечных лучей через атмосферу. Оно по-разному распределяется по всему полушарию и во многих отношениях слабее, чем прямое излучение. Тем не менее оно может быть использовано с целью обогрева. Даже в облачный зимний день в Центральной Европе рассеянное излучение дает $50-300 \text{ Вт/м}^2$. Рассеянное излучение не имеет определенной ориентации, оно происходит по всем направлениям.

2.3. ПОЛНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ (ВСЕСТОРОННЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ)

Полное излучение — сумма прямого и рассеянного излучения — одно из самых важных значений для метеорологических наблюдений, поскольку оно сразу же может использоваться для вычисления энергетического баланса. В Лондоне (52° с. ш.) максимальная величина дневного полного излучения за месяц для горизонтальной поверхности равна $5 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2$ (18 МДж/м^2) в день в июне и соответственно минимальное — $0,42 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2$ ($1,5 \text{ МДж/м}^2$) в день в декабре.

Полное излучение зависит от ориентации исследуемой поверхности относительно поступающей солнечной радиации. Например, в Европе в июне горизонтальная поверхность получает примерно в два раза больше, чем вертикальная, например 18 МДж/м^2 в день против 10 МДж/м^2 в день, но в декабре почти в два раза меньше: горизонтальная поверхность $1,5 \text{ МДж/м}^2$ в день, вертикальная — $3,5 \text{ МДж/м}^2$ в день.

Исходя из метеорологических данных для определенного района можно определить оптимальную ориентацию здания и установить оптимальное положение солнечных коллекторов.

2.4. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Она зависит от географического положения и климатических условий. Максимальная величины продолжительность солнечного излучения достигает в пустыне (например, в Сахаре 4000 ч в год) или высоко в горах.

Интенсивность и среднегодовая продолжительность солнечного излучения определяют количество солнечной энергии для данного географического района (табл. 1—7).

ТАБЛИЦА 1. ГОДОВАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ, Ч/ГОД

Берлин	1705	Милан	1906
Берн	1756	Мюнхен	1730
Бостон	2615	Неаполь	2396
Бриндизи	2591	Нью-Йорк	2677
Ванкувер	1900	Ницца	2775
Вашиигтон	1540	Париж	1840
Вена	1891	Перпниьян	2560
Гамбург	1559	Перт	3000
Генуя	2288	Рим	2491
Гонолулу	3041	Сахара	4000
Грац	1903	Сидней	3000
Женева	1037	Тель-Авив	3500
Зальцбург	1712	Торонто	2045
Инсбрук	1765	Тунис	3200
Копенгаген	1680	Цюрих	1694
Лондон	1650	Чикаго	2611
Лос-Анджелес	3284	Штуттгарт	1702
Лугаио	2100		
Марсель	2654		

ТАБЛИЦА 2. СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ДНЕВНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ, Ч

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Абердин	2	3	3	5	5	6	5	5	4	3	2	1
Берлин	2	3	5	6	8	8	8	7	6	4	2	1
Бермингем	1	2	3	4	5	6	5	5	4	3	2	1
Бостон	5	6	7	7	8	9	10	9	8	6	5	5
Ванкувер	2	3	4	6	8	8	10	8	6	4	2	1
Вашингтон	4	5	6	7	8	9	10	9	8	7	5	4
Вена	2	3	4	6	7	8	8	8	7	5	2	1
Гамбург	2	2	4	6	8	8	7	6	6	3	2	1
Гонолулу	7	6	8	8	9	9	10	10	9	8	7	7
Лондон	2	2	3	5	6	7	6	6	5	3	2	1
Лос-Анджелес	7	7	9	8	9	10	11	11	10	9	8	7
Нью-Йорк	5	6	7	8	9	9	10	9	8	7	6	5
Перт	10	10	8	7	7	6	6	6	9	9	9	10
Сидней	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6
Торонто	3	4	5	6	7	8	9	8	6	5	2	2
Цюрих	2	3	5	6	7	7	7	6	6	3	2	2
Чикаго	4	5	6	7	9	10	11	10	8	7	4	4

ТАБЛИЦА 3. СРЕДНЯЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ДЛЯ САМОГО КОРОТКОГО И САМОГО ДЛИННОГО ДНЯ (ИЗ «СПРАВОЧНИКА МИРА» МЕЙЕРА)

Северная широта	22 декабря	22 июня	Разница
47°	8 ч 26 мин	15 ч 50 мин	7 ч 24 мин
48°	8 ч 18 мин	15 ч 59 мин	7 ч 41 мин
49°	8 ч 9 мин	16 ч 8 мин	7 ч 59 мин
50°	8 ч 0 мин	16 ч 18 мин	8 ч 18 мин
51°	7 ч 50 мин	16 ч 29 мин	8 ч 39 мин
52°	7 ч 40 мин	16 ч 40 мин	9 ч 0 мин
53°	7 ч 29 мин	16 ч 52 мин	9 ч 23 мин

ТАБЛИЦА 4. СРЕДНЯЯ ВОЗМОЖНАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ, Ч

Месяцы	47°	48°	49°	50°	51°	52°	53°
Январь	276	273	269	265	261	256	251
Февраль	286	284	282	280	273	275	273
Март	367	366	366	366	366	365	365
Апрель	406	407	409	411	412	414	416
Май	464	468	471	475	479	483	488
Июнь	473	477	482	486	491	497	503
Июль	478	482	486	491	495	500	505
Август	439	441	444	447	449	452	455
Сентябрь	376	377	378	378	379	379	380
Октябрь	337	335	334	333	331	330	328
Ноябрь	281	277	274	271	268	264	260
Декабрь	264	260	257	251	246	241	235

ТАБЛИЦА 5. СРЕДНЕГОДОВАЯ ПОЛНАЯ РАДИАЦИЯ, КВТ·Ч/М² В ГОД

Берлин	1000	Гамбург	930	Лугано	1500
Бостон	1274	Гонолулу	1883	Марсель	1860
Ванкувер	1270	Грац	1198	Монтана	1300
Вашингтон	1507	Зальцбург	1086	Нью-Йорк	1270
Вена	1120	Лондон	927	Париж	1500
Восточная Сахара	2550	Лос-Анджелес	1960	Торонто	1376
Вюрцбург	1081			Флорида	1800
				Цюрих	1160
				Чикаго	1155

ТАБЛИЦА 6. СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ПОЛНОЙ РАДИАЦИИ, КВТ·Ч/М² В ДЕНЬ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ. КОЭФФИЦИЕНТ ТРАНСМИССИИ 0,7. (ПО В. ДИАМАНТУ, «ТЕХНИКА И АРХИТЕКТУРА», СЕНТЯБРЬ/ОКТАБРЬ 1974.)

Месяцы	Северная широта										
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	
Январь	5,8	4,8	3,7	2,5	1,3	0,5	0	—	—	—	
Февраль	6,1	5,3	4,3	3,2	2	1	0,2	0	—	—	
Март	6,4	6	5,3	4,4	3,4	2,2	1,1	0,3	0	—	
Апрель	6,3	6,3	6,1	5,6	4,9	3,9	2,8	1,7	0,6	0,1	
Май	5,9	6,3	6,5	6,4	6,1	5,5	4,6	3,6	2,9	2,3	
Июнь	5,5	6,2	6,6	6,8	6,7	6,4	5,9	5,2	4,7	4,7	
Июль	5,4	6,1	6,6	6,8	6,8	6,3	6	5,3	5	4,9	
Август	5,7	6,2	6,3	6,5	6,2	5,7	5	4	3,2	3	
Сентябрь	6,1	6,3	6,2	5,8	5,1	4,3	3,2	2,1	1	0,4	
Октябрь	6,3	6	5,5	4,7	3,7	2,6	1,5	0,5	0	—	
Ноябрь	6,1	5,4	4,5	3,5	2,3	1,2	0,4	0	—	—	
Декабрь	5,8	4,9	3,8	2,6	1,5	0,5	0	—	—	—	
Среднее значение	5,95	5,8	5,5	4,9	3,9	3,3	2,5	2,3	2,15	2,5	

2.5. ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ

Ее значение дается в Вт/м² или в ккал/м² на единицу времени. Во внешних пределах атмосферы интенсивность солнечного излучения равна 1394 Вт/м² [1200 ккал/(м²·ч)]. Около поверхности Земли можно принять среднюю величину 635 Вт/м². В очень ясный солнечный день эта величина колеблется от 950 Вт/м² до 1220 Вт/м². Среднее значение — примерно 1000 Вт/м² [860 ккал/(м²·ч)].

Пример: Интенсивность полного излучения в Цюрихе (47°30' с. ш., 400 м над уровнем моря) на поверхности, перпендикулярной излучению:

1 мая 12 ч 00 мин 1080 Вт/м²;

21 декабря 12 ч 00 мин 930 Вт/м².

На рис. 6 и 7 показана интенсивность полного (глобального) излучения для Великобритании (по данным UK ISES).

2.6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

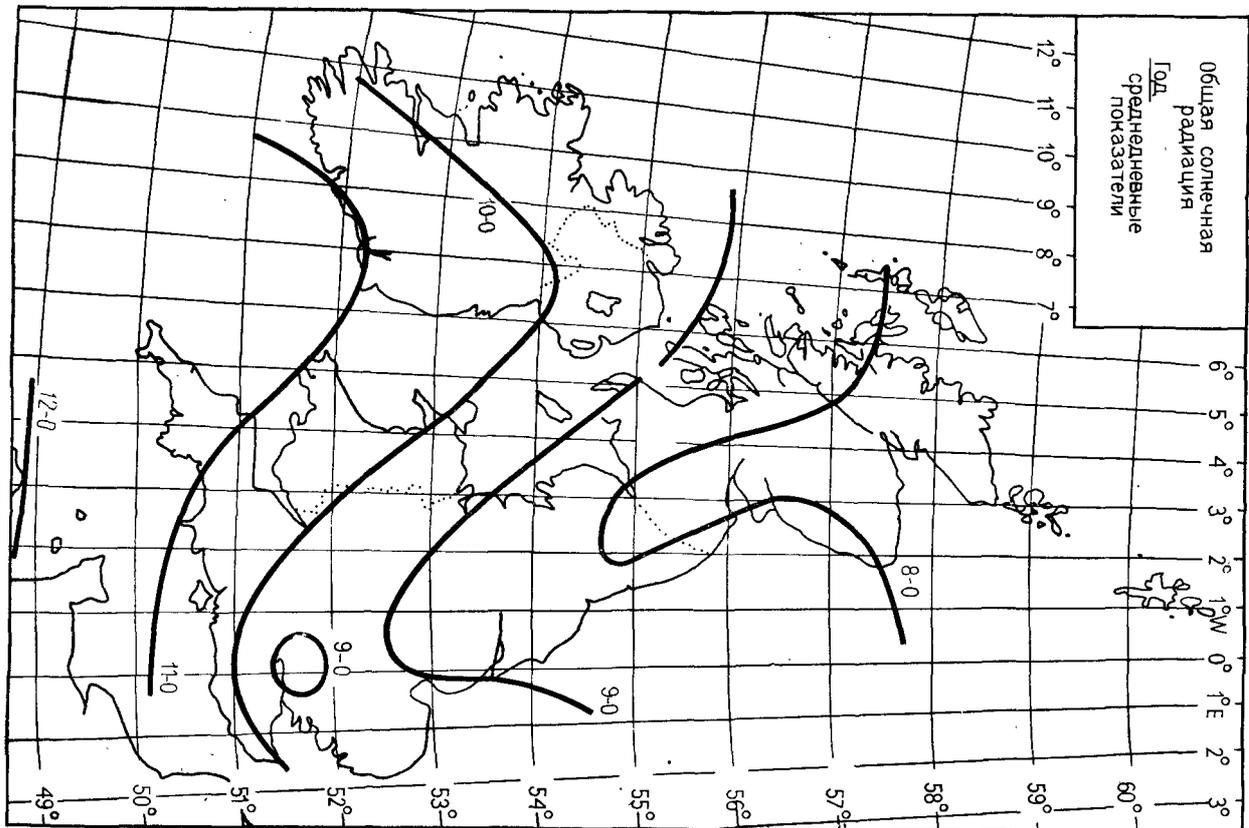
Просто цифры мало что значат для неспециалиста. Однако если мы рассмотрим их в денежном выражении, они приобретут вполне реальное значение.

Возьмем город в Великобритании, который имеет определенное законодательство, например Лондон. Какую стоимость энергии в деньгах посылает солнце на 100 м² крыши типичного английского дома? Лондон получает в течение года в среднем

ТАБЛИЦА 7. СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ПОЛНОЙ РАДИАЦИИ, ККАЛ/М² В ЧАС, ДЛЯ ОБРАЩЕННОЙ НА ЮГ ПОВЕРХНОСТИ КАК ФУНКЦИЯ ОТ ВРЕМЕНИ ГОДА И ВРЕМЕНИ ДНЯ В КЛОТЕНЕ (ЦЮРИХ) МЕЖДУ 1963 И 1972 ГГ., 50% СЛУЧАЕВ (П. ВАЛКО. «ОСНОВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ». СИМПОЗИУМ РЮШМИКОН, 1974). В СКОБКАХ ДАНЫ НЕКОТОРЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ЛОНДОНА (ПО ДАННЫМ АНГЛИЙСКОЙ СЕКЦИИ МЕЖДУНАРОДНОГО ОБЩЕСТВА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ.)

Время	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
04—05	0	0	0 (0)	0	15	25 (12)	24	11	0 (0)	0	0	0 (0)
05—06	0	0	11 (0,85)	24	35	46 (53)	47	26	14 (3,4)	0	0	0 (0)
06—07	0	11	30 (11)	46	57	67 (125)	75	51	38 (22)	18	11	0 (0)
07—08	9	29	81 (46)	95	86	94 (210)	121	100	97 (72)	65	22	5 (0)
08—09	51	113	162 (107)	174	171	158 (295)	202	197	190 (145)	135	41	32 (8,5)
09—10	120	201	267 (173)	242	260	251 (365)	307	292	294 (220)	193	74	104 (25)
10—11	189	256	350 (227)	315	330	344 (412)	393	374	416 (281)	257	119	160 (53)
11—12	214	266	393 (258)	365	339	381 (440)	433	425	502 (319)	369	147	201 (76)
12—13	248	313	419 (266)	351	369	404 (444)	442	437	532 (326)	445	167	202 (80)
13—14	214	333	380 (251)	327	362	343 (424)	408	395	490 (310)	434	151	186 (59)
14—15	148	255	301 (214)	262	294	373 (391)	338	338	392 (273)	337	128	123 (55)
15—16	64	135	194 (162)	187	191	180 (339)	232	234	273 (214)	196	64	53 (21)
16—17	10	31	96 (100)	112	120	112 (269)	132	138	142 (147)	65	21	5 (1)
17—18	0	10	31 (41)	50	65	73 (196)	87	62	43 (72)	18	0	0 (0)
18—19	0	0	11 (7)	25	37	53 (124)	57	28	13 (17)	0	0	0 (0)
19—20	0	0	0 (0)	0	17	27 (0)	22	13	0 (0)	0	0	0 (0)

Рис. 6. Годовое значение полной дневной радиации (МДж/м²) с разложением ИК-ISES



900 кВт·ч/м², и при КПД коллектора, равном 45%, 100 м² крыши обеспечат 40 500 кВт·ч в год. При стоимости электроэнергии 2 пени за кВт·ч это составит 805 фунтов, т. е. сэкономит мистеру X. 67 фунтов в месяц. Жаль, что мы еще не можем собирать эти «деньги».

Что может означать солнце для такой страны, как Великобритания? Потребление энергии в Великобритании возросло до

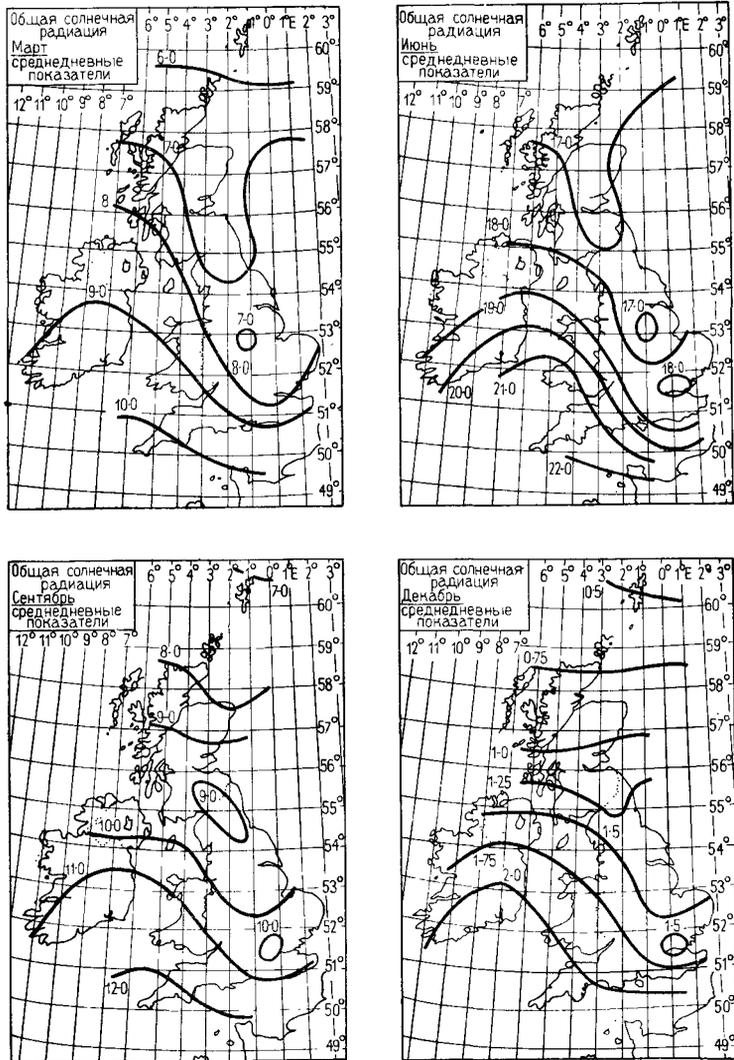


Рис. 7. Месячное значение полной радиации для марта, июня, сентября и декабря (с разрешения ИК — ISES)

10,2 GJ \times 10⁹ в 1976 г., но это соответствует солнечной энергии, падающей только на 1,25% территории Великобритании.

Из приведенных цифр можно заключить, что поток энергии Солнца на Землю имеет исключительно важное значение. Помимо энергии, излучение Солнца обладает многими важными качествами, которые уже известны, но некоторые из них еще не исследованы. Какое наиболее важное естественное действие Солнца на Землю? Трудно выбрать самое главное, так как можно сказать, что все исходит от Солнца, например, наш относительно теплый климат в сравнении с холодом космоса, ветер, движение миллиардов тонн воды в виде дождя, фотосинтез деревьев, океанские течения и многое другое.

Какую техническую пользу можно извлечь из солнечной энергии? Возможности различны для теплого и холодного климата. Для территорий, расположенных до 40° с. ш., доступно большое и довольно регулярное количество тепла. В этих районах использование солнечной энергии уже широко распространено. В Японии, например, работает несколько миллионов отопительных систем, нагреваемых солнцем. В Австралии, США (Флорида), Израиле широко используются различные солнечные установки. Было доказано, что и в северных широтах, между 45° и 55° с. ш., такие установки возможны и экономически выгодны. В Валласей, около Ливерпуля (53° с. ш.), школа обогревается солнечной энергией с 1960 г. (см. 9.2). Во Франции дома, обогреваемые солнцем, существуют уже много лет, например один из них в Шовенси-ле-Шато, расположенном около 49° с. ш. (см. 9.3). В Швейцарии такие дома можно встретить в Гренхене, Клотене, Берне и других местах.

В Цюрихе зарегистрировано в год в среднем 1693 ч солнечного света. Это обеспечивает ежегодно энергию в 1160 кВт·ч со средней мощностью 655 Вт для каждого квадратного метра горизонтальной поверхности.

Возможности использования солнечной энергии очень различны. В жарких странах, где обычно много солнца, но мало воды, построены опреснительные установки, действующие на солнечной энергии (например, в Бари, в Южной Италии).

В районах пустыни на солнечной энергии работают водяные насосы (Чингетти, Мавритания). Для научных целей на солнечной энергии построены печи, температура в которых достигает 4000°С (Одейло, Южная Франция).

Электрическая энергия также может вырабатываться солнцем, но из-за высокой стоимости производства это пока неэкономично. Существует уже много видов приспособлений (котлы, радио, телефоны, часы), которые приводятся в действие солнечной энергией.

В Центральной Европе около 50% всей энергии используется для отопления помещений и горячего водоснабжения. Если хотя бы частично удовлетворять эти потребности за счет солнечной

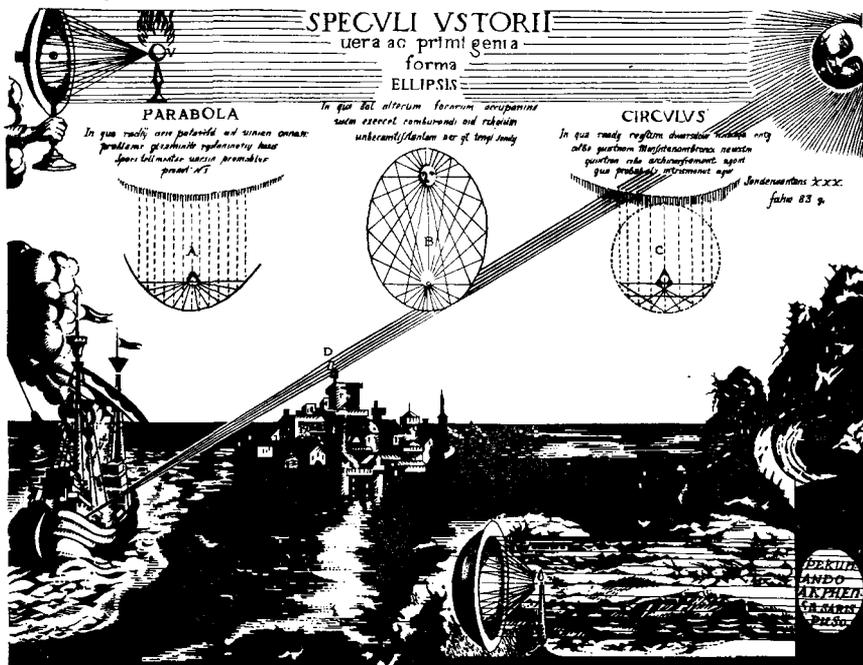


Рис. 8. Вогнутое зеркало Архимеда

энергии, можно за год сэкономить несколько миллионов тонн нефти.

Мы сознаем все недостатки солнечной энергии: нерегулярность поступления, огромное рассеивание, что делает необходимым сравнительно большую поглощающую поверхность и, наконец, трудности, связанные с проблемой аккумуляирования. Однако список преимуществ также велик: использование солнечной энергии не приводит к загрязнению окружающей среды; солнечные коллекторы могут быть построены всюду без всяких распределительных систем; энергия эта доступна практически везде.

Важность этих преимуществ уже общеизвестна. Во всем мире ученые, политики и бизнесмены пытаются воспользоваться огромными возможностями, которые им предоставляет Солнце.

3. ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Солнце создало биологическую основу человеческого существования, и культ Солнца был, вероятно, первой религией. Как и во многих древних цивилизациях, в Древнем Египте Солнце было основой религиозных верований. Бог Солнца Амон-Ра счи-

тался повелителем страны, а фараон — сыном Солнца и пользовался наивысшими почестями. Индийский бог Солнца, «дарующий жизнь», каждое утро будил Вселенную для новой жизни. В Древней Греции бог Солнца Гелиос был символом света, тепла, жизненной силы и изобилия. Его имя носил город Гелиополис.

У древних инков культ Солнца также был основой религии. Вожди племен почитались как наследники бога Солнца. Большая роль принадлежит богу Солнца в историческом развитии Японии, широкое распространение он нашел в мифологии других стран.

Во многих частях света были сооружены храмы в честь бога Солнца, например, в Гизе, Теотихуакане, Родосе и других местах. Сократ (469—399 гг. до н. э.) выдвинул идею «Солнечного дома», который функционально отличался от мегарона. В нем максимально использовалось зимнее солнце и полностью исключалось прямое попадание солнечного света с южной стороны летом (рис. 9).

3.1. РОЖДЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Первый совет архитекторам по использованию солнца был дан греческим историком Ксенофонтом (430—354 гг. до н. э.): «Мы должны строить южный фасад домов выше, чтобы поймать зимнее солнце». Первые теоретические предпосылки использования солнечной энергии появились в трудах греческого математика Евклида (около 300 г. до н. э.), работающего в Академии Платона в Александрии, который вывел теорему сферического отра-

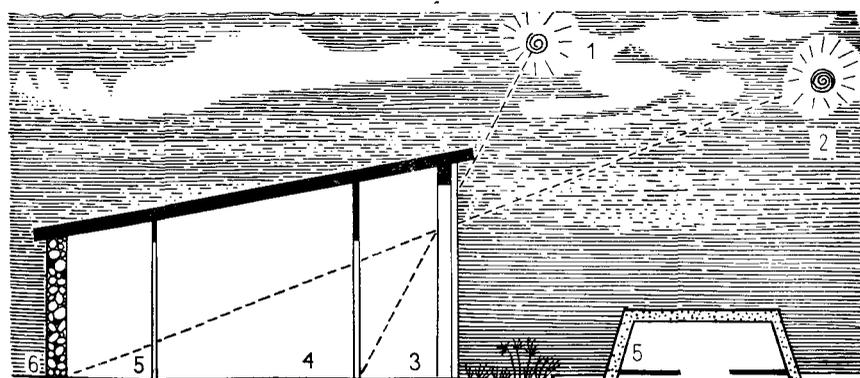


Рис. 9. «Концепция солнечных домов» Сократа

1 — солнечное излучение с южной стороны летом; 2 — солнечное излучение с южной стороны зимой; 3 — крытая терраса; 4 — общая комната; 5 — кладовая в качестве термической защитной зоны; 6 — стена с теплоизоляцией с северной стороны

План

жения. Но величайшим из древних солнечных инженеров был Архимед (287—212 гг. до н. э.), чьи исследования в области солнечной энергии имели не только теоретические, но и важные практические результаты. Посредством вогнутых зеркал, фокус которых благодаря очень небольшому искривлению был на расстоянии нескольких сотен метров, он смог зажечь корабли римского полководца Марка Клавдия Марцелла во время двухлетней осады столицы Сицилии города Сиракузы. Таким же образом Прокл в 514 г. н. э. уничтожил флот готов в Константинополе.

Возможности этого технического достижения с тех пор доказывались много раз: например, Дж. Л. Бюффон зажег дерево на расстоянии 60 м; Нерон в Александрии (около 100 г. н. э.) также применял «сжигающие зеркала»; известно также, что и после Плутарха (около 50—125 гг. н. э.) существовали «сжигающие зеркала», которые зажгли священный огонь храма Весты в древнем Риме.

Арабы уже знали, что обыкновенное стекло имеет свойство концентрировать солнечное тепло, и после завоевания Египта освоили его производство, которое процветало долгое время. Скоро они сделали стеклянные сосуды (реторты) для опреснения воды солнечными лучами. Прimitивные сферические стекла были найдены в руинах Ниневии в Месопотамии. В Европе проблема солнечного тепла снова стала актуальной после изобретения оптического стекла Галилеем (1564—1642 гг.). В 1615 г. во Франции инженер Саломон де Ко (1576—1626 гг.) описал в своей работе «Raison des forces mouvants» водоподъемные машины, действующие с помощью солнечного тепла, которые он назвал «вечным фонтаном».

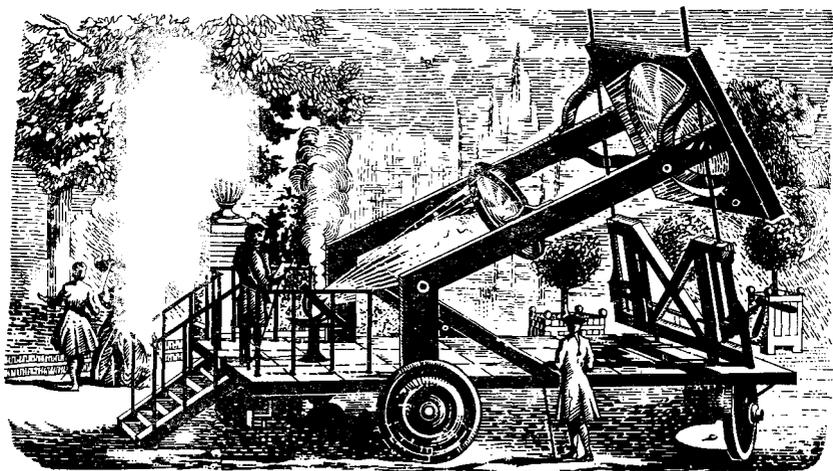


Рис. 10. «Сжигающие зеркала» Барньера и Трюдена, 1774 г.

Многие ученые¹ изобретали и строили различные машины и механизмы с линзами и зеркалами, которые приводились в действие с помощью солнечной энергии.

Швейцарский физик де Сосур (1740—1799) из Женевы построил первую систему аккумуляции солнечного тепла. Он установил пять слоев стекла таким образом, что каждый из них отделялся от соседнего воздушной прослойкой. Воздух между стеклами от слоя к слою основательно нагревался и таким образом достигал температуры 87,5° С. Современные поверхностные коллекторы работают на этом же принципе. В 1872 г. в пустыне на севере Чили была построена солнечная опреснительная установка, которая производила в день 27 тыс. л питьевой воды. Но XIX в. был в основном веком силовых солнечных машин. Первые современные машины принадлежат французу Августу Бернарду Мушо. 22 сентября 1864 г. около г. Алжира он пустил свою установку в действие. Эта огромная машина имела зеркало 5 м диаметром и насос, нагнетающий 2,5 т воды в минуту.

В 1878 г. на Всемирной выставке в Париже проф. Мушо представил другую солнечную машину, приводившую в движение пресс для печатания газет (рис. 11). Он также опубликовал книгу о солнечной энергии «Солнечное тепло и его промышленное применение». Приблизительно в это же время американец Джон Эриксон (1803—1889 гг.) построил небольшую, в 2,5 л. с., машину; он же 10 лет работал над проектом силовой солнечной станции, которая, к сожалению, так и не была построена.

3.2. ПРОГРЕСС НАЧАЛА 1900-Х ГОДОВ

С 1902 по 1908 г. Х. Е. Уилси и Джон Бойль построили в Калифорнии солнечные машины мощностью 6 и 20 л. с. В 1901 г. А. Г. Анеас построил машину мощностью 15 л. с.; в этом же году была построена знаменитая солнечная паровая установка в Пасадене. В 1911 г. Франк Шуман и С. В. Бойз в Фила-

¹ И. Б. Порта, Дреббель, Р. Флад, А. Мартина, А. Кирчер, М. Дешаль, Бернард де Белидор, Вальтер фон Чирхаус, Л. Буффон, Д. Трюден, А. Лавуазье, Джозеф Пристли, М. Берньер, Мариотт, Дюфай, Декарна, Хершель, Меллони, Пуйе, Мажини, де Фложерге, Лапровостае, Десэн, Мажини, Вийетт, Хоесен, Дюкарла, Де ла Клиш, Оливер Иванс, Делянкурт, Кагньард-Латур, Лоберо, Фрот и др.

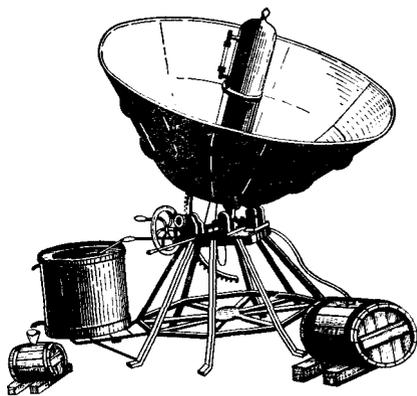


Рис. 11. Солнечная силовая машина. А. Мушо, 1878 г. Из книги Дж. Пейена «История источников энергии»

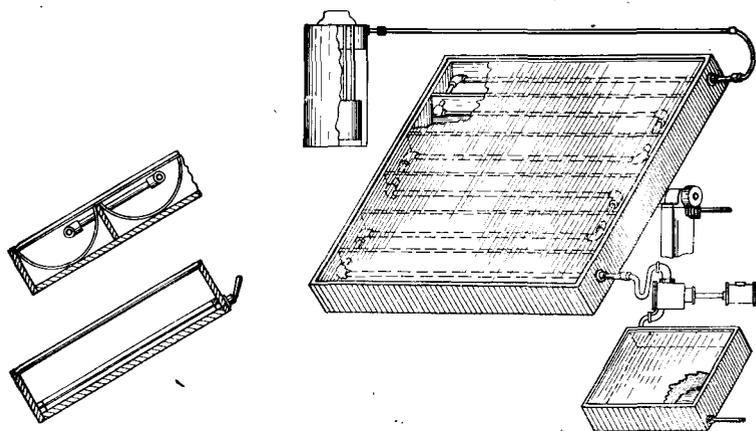


Рис. 12. Солнечный коллектор Т. Никлса, около 1908 г. Из книги О. Коша «Необходимость немедленного использования солнечной энергии»

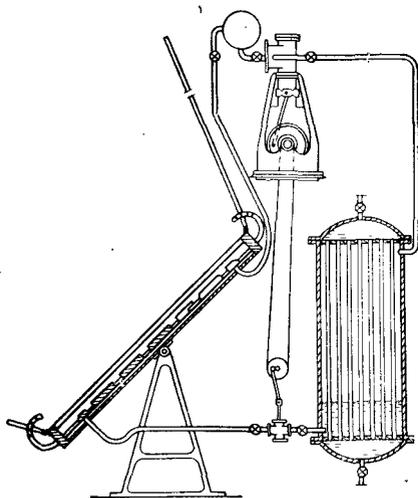


Рис. 13. Солнечная силовая машина с поверхностным коллектором Ф. Шумана, 1911 г. Из книги О. Коша «Необходимость немедленного использования солнечной энергии»

дельфии собрали модель солнечной силовой установки, которая два года спустя была пущена в действие в Меади (Египет), в 16 км от Каира. Эта машина в 100 лошадиных сил служила ирригационным целям и обеспечивала 4200 м² хлопковых плантаций водой из Нила.

В 1921 г. проф. Рудольф Штраубель из фирмы «Цейс» в Йене сделал солнечную печь, в которой сталь достигала температуры плавления за несколько секунд.

После 1918 г. в США было зарегистрировано много патентов подобных изобретений, и некоторые из них были внедрены. В то время ведущим ученым в этой области был С. Г. Абботт. Помимо различных агрегатов,

он построил солнечные установки для получения теплой воды, которые были пущены несколько лет спустя, что позволило сэкономить значительное количество энергии в южных Штатах.

Первая большая силовая солнечная экспериментальная установка была сделана в Ташкенте (СССР) в 1933 г. В это же вре-

мя была предложена установка, которая должна была снабжать энергией весь город, но она не была осуществлена.

Первые эксперименты по использованию солнечной энергии непосредственно для бытовых целей были сделаны между 1920 и 1940 гг. Александр Макнейледж в Калифорнии сконструировал здание с плоским солнечным коллектором для нагревания воды и воздуха. («Замок Скотти» в Долине Смерти, 1922—1929 гг.).

В 1931 г. опубликовал свой проект немецкий архитектор Мартин Вагнер. Стеклопанельная рубашка защищала наружные стены от непогоды, создавалось пространство, которое уменьшало потерю тепла и использовало проникающую в него солнечную радиацию.

Большинство солнечных домов тех лет (например, Г. Ф. Кек, Иллиновский технологический институт, 1940 г.; Ф. В. Хатчинсон Пардю, университет в Индиане, 1945 г.) были далеки от «солнечного дома» сегодняшнего дня, так как ограничивались большим остеклением с южной стороны. Этого было, конечно, недостаточно, так как в теплые солнечные дни в доме было слишком жарко, а в пасмурные холодные — слишком холодно. Зимой для них требовалось даже больше топлива, чем для других типов домов. Проблема накопления тепла так и не была решена.

Между 1930 и 1940 гг. снова стали уделять внимание оздоровительным свойствам солнечных лучей. Для борьбы с туберкулезом во многих странах, в основном Швейцарии, строились здания с большими окнами. Все современные архитекторы рассматривают солнце как наиболее важный фактор, оказывающий влияние на архитектуру дома. В 1939 г. был построен первый «солнечный дом», Массачусетского технологического института (MIT, рабочая группа под руководством Дж. Хоттела и Б. Воертца).

Первое большое здание, снабженное солнечными генераторами теплой воды, было построено во Флориде в 1939 г. (Эдисон Курт Экстенсонз). Солнечные коллекторы были выполнены из стали с двойным остеклением и ровными овальными трубами из меди. Вода нагревалась до 83°С в течение нескольких часов. Первый солнечный коллектор, пущенный в производство, был сделан фирмой «Пан Америкэн Солар Хитэ Инк».

3.3. РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ПОСЛЕ 1945 Г.

В Калифорнии, Флориде, Техасе и Аризоне использование солнечных нагревательных приборов было уже широко распространено с 1940 г. В 1948 г. Теллес, Раймонд, Пибоди в Дувре (штат Массачусетс, США) построили первый «солнечный дом», в котором 80% тепловых потребностей обеспечивалось солнечной энергией.

После 1945 г. исследования в области солнечной энергии получили новый подъем из-за появившихся трудностей в энергетическом снабжении. Почти во всем мире ученые и неспециалисты

поняли огромное значение солнечной энергии¹. Многие большие и малые промышленные фирмы во всех частях света финансировали эти исследования². После 1950 г. американскими университетами и исследовательскими институтами³ был организован первый большой симпозиум, посвященный проблемам использования солнечной энергии.

В октябре 1954 г. ЮНЕСКО и индийское правительство организовали первую международную конференцию, которая была посвящена исключительно солнечной энергии и энергии ветра.

В октябре 1955 г. в Финиксе, штат Аризона (США) была основана ассоциация по использованию солнечной энергии, в это же время были устроены международный симпозиум и первая выставка солнечной энергетической техники. Тысячи ученых из 36 стран приняли участие в этом мероприятии, экспонировалось около 80 изобретений.

В 1956 г. появился первый журнал, посвященный проблемам солнечной энергии, — «Солнце за работой». Год спустя начал выходить журнал «Наука и техника солнечной энергии».

Интенсивная исследовательская работа привела к целому ряду практических результатов. В Америке, СССР, Японии и Франции были построены солнечные установки и плавильные печи.

¹ Пионерами новой технологии были следующие ученые: **США** — д-р Мария Теллес, д-р Георг Лёф, д-р Х. К. Хотгел, д-р Ф. Даниэль, Х. Б. Саржан, д-р Ж. Хобзоб, Д. Фаррингтон, И. Дюффи, Р. П. Лапала, Джон Джейлотт, В. Л. Лакинг, С. Эндрасси, Р. Н. Морз, Р. Крауз, Р. К. Жордан, Дж. Остермейер, Г. Бенвенист, В. Родес, д-р Ласзио, К. Дж. Кеван, Б. М. Кони, П. Е. Гласер, М. Кастенс. **Великобритания** — д-р Х. Хейвуд, Е. Голдинг, Л. Гарднер, Е. Куртис. **Франция** — проф. Феликс Тромб, д-р Туше, проф. Перро, М. Фокс; **Израиль** — д-р Н. Робинсон, д-р Х. Табор, Р. Саботка. **Италия** — проф. Джорджио Неббиа, проф. Г. Газтано, д-р В. Сторелли, К. Гарбато, А. Чириси; **Южная Африка** — Остин Вийе. **Швейцария** — Дж. Сатгер, Г. Аданк, Сихаус, Е. Шенхользер, Огуз Пиккард; **СССР** — Ф. Моларо, д-р В. А. Баум; **Испания** — проф. К. Азкарага, проф. Б. Бланко; **Япония** — Х. Тамия, М. Янагимачи, Сейзо Гото, И. Танишита; **Ливан** — А. Таркики; **Канада** — Е. А. Алькут; **Индия** — М. Л. Гхан; К. Н. Матур и М. Л. Кхана.

² «Дженерал Динамикс Корп.», «Кеннекотт Коппер Корпорэйшн», «Лаборатории Белл-Телефон К°», «Дю-Понт, Артур Д. Литтл Инк», «Конвэр, Куртис-Райт Корпорэйшн», «Америкэн-Сэнт Говэйи Корп.», «Лочхэд Экрафт», «Вестингхаус», «Норскроп Экрафт», «Рэвер Коппер и Брасс», «Браун Электрик», «Шелл Девелопмент Компани», «Стронг Электрик Корп.», «Адмирал Корп.», «В. М. К. Пресижн Воркс, Сандиа Корп.», «Аризона Паблик Сервис К°». — в США; «Радиозоль А. Т.» — в Марокко; «Патек Филип А. Г.» — в Швейцарии; «Миромит А. Г. и Сан Хитэс Лтд.» — в Израиле; «Дельта Стл Мил К°» — в Египте; «Мизошири АГ», «Гото Оптикал», «Джиро Оно Индастри Комп.», «Сан Терматик К°», «Кийова Воркс», «Токухо Шиканай», «Таката Алюминиум Воркс», «Тайзей Сан Хит К°», «Сеньоро Канеко», «Ниппон Электрик К°» — в Японии и многие другие.

³ Технологический институт в Массачусетсе, университет в Юте, университет в Миннесоте, институт им. Бателлы, университет в Калифорнии, Академия наук в Огайо, университет в Висконсине, Стэнфордский институт, университет в Аризоне, университет во Флориде, Фордхамский университет, Гарвардский университет.

Во многих странах, таких, как Япония, Австралия, Израиль, Кипр, а также в Южной Африке солнечные водонагреватели стали обычным явлением. Все чаще можно услышать о домах, которые отапливаются и кондиционируются с помощью солнечной энергии.

Между 1945 и 1959 гг. были построены следующие наиболее значительные «солнечные дома».

дом Булдера в Колорадо, архит. Г. Лёф (1945 г.);

«солнечный дом» № 2 Массачусетского технологического института, архит. Х. Хоттел (1947 г.);

«солнечный дом» Довера в Массачусетсе, архитекторы Телкас, Раймонд, Пибоди (1948 г.);

«солнечный дом» № 3 Массачусетского технологического института, архит. Х. Хоттел (1949 г.);

дом в государственном колледже в Нью-Мехико (1953 г.), архит. Л. Гарденшир;

«солнечный дом» Лефевра, архит. Х. Лефевр (1954 г.);

дом в Амадо, Аризона, архитекторы Денован, Раймонд, Блисс (1954 г.);

дом в университете в Торонто, архит. Е. Алькут (1956 г.);

«солнечный дом» — офис в Альберкверке, архитекторы Х. Бриджерс, Д. Пакстон (1956 г.);

«солнечный дом» в Токио, архит. М. Янагимачи (1956 г.);

«солнечный дом» в Бристоле (Англия), архит. Л. Гарднер (1956 г.);

дом Рикмансворса в Англии, архит. Е. Куртис (1956 г.);

«солнечный дом» № 4 Массачусетского технологического института, архит. Х. Хоттел (1958 г.);

дом в Бенедикт-Каньоне, архит. Р. Уайт (1958 г.);

«солнечный дом» Касабланке, архитекторы К. Шоу и Асс (1958 г.);

«солнечный дом» в Нагойя, Япония, архит. Яначимачи (1958 г.);

дом Денвера в Колорадо, архит. Г. Лёф. (1959 г.);

дом Принстонского университета, архит. А. Ольгия (1959 г.);

«солнечный дом» — офис в Туксоне, архит. Р. Блисс (1959 г.);

«солнечный дом» № 1 Томасона, архит. А. Томасон (1959 г.).

Теперь эти «солнечные дома» принадлежат истории архитектуры, но не благодаря своим эстетическим качествам, а потому, что впоследствии на их основе были сделаны интересные технические нововведения, которые отличались от ранних простых методов строительства домов такого же типа. Важным изобретением этого раннего периода были солнечные элементы, разработанные лабораториями компании «Белл Телефон» в Нью-Йорке в 1954 г. Это изобретение позволяло перерабатывать солнечную энергию непосредственно в электрическую. Вскоре оно стало приемлемым экономически не только для космических полетов, но и для бытовых целей. В марте 1957 г. состоялся первый архи-

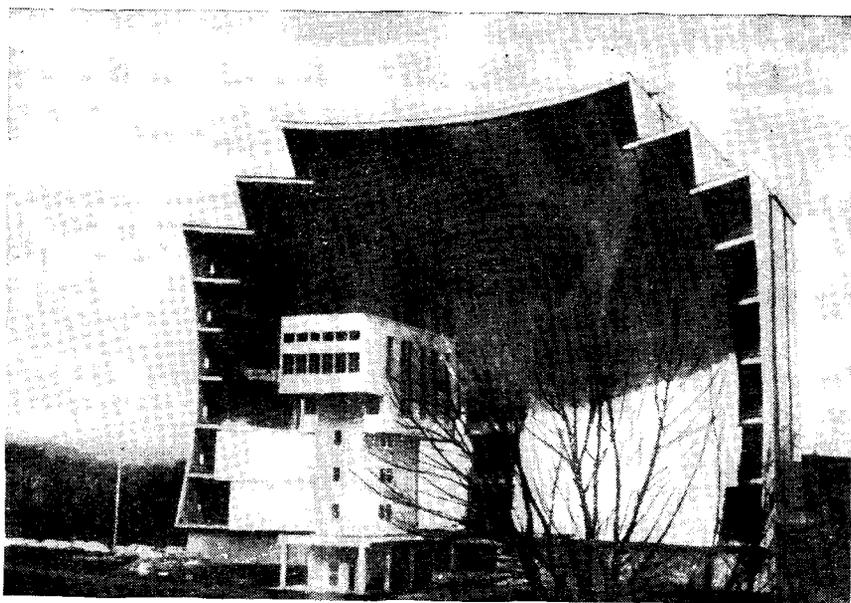


Рис. 14. Солнечная установка в Фонт-Ромо, Франция

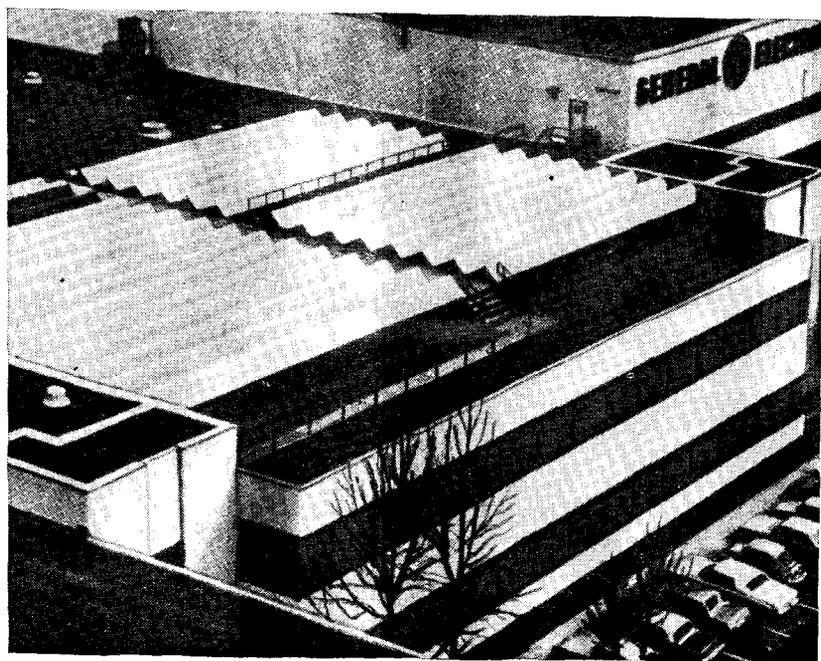


Рис. 15. Столовая с солнечными панелями

тектурный конкурс в Фениксе, Аризона, под девизом «Жизнь с солнцем». Около 1400 архитекторов приняли в нем участие. Питер Р. Ли из Миннеаполиса завоевал первую премию, его проект был осуществлен в 1958 г. (AFASE, солнечный дом в Фениксе, архитекторы: Питер Р. Ли и Л. Гарденшир).

С 1958 г. в связи с тем, что нефть была сравнительно дешевой, развитие использования солнечной энергии существенно замедлилось, но не остановилось.

В 1961 г. ООН организовала важную конференцию в Риме под названием «Новые источники энергии». Несколько сот ученых из 30 стран мира приняли участие в 250 дискуссионных семинарах на тему солнечной и геотермической энергии и энергии ветра (Конференция ООН о новых источниках энергии). Франция, Италия, Израиль и Новая Зеландия организовали выставку, на которой были представлены интересные фотографии из всех областей применения солнечной энергии. В сентябре 1961 г. состоялся симпозиум по солнечной энергии в Греции. Эти совещания в конечном счете принесли первые практические результаты, особенно в области обогрева с помощью солнечной энергии.

3.4. «СОЛНЕЧНЫЕ ДОМА» В ЕВРОПЕ

Первые солнечные дома в Европе были построены в 1956 г. в Англии Гарднером и Куртисом. Парадоксально, что эти здания были построены в стране, где по сравнению с другими странами Европы мало солнца. В 1961 г. архит. А. Е. Морган построил вблизи Ливерпуля здание школы Святого Георгия с солнечным обогревом. Это здание — одно из самых больших «солнечных зданий» в Европе (см. гл. 5 и 9).

Первый «солнечный дом» во Франции был построен в исследовательских целях в 1962 г. французским исследовательским институтом CNRS в Одейло (Пиренеи) под руководством д-ра Тромба. В 1968 г. архит. Мишель построил еще два «солнечных дома» в этом же районе и в 1972 г. еще один дом на северо-востоке Франции, в Шовенси-лэ-Шато. Все эти дома были построены по запатентованной системе Тромба-Мишеля, в которой воздух, нагретый солнцем, обогревал здание путем естественной конвекции. Коллекторы устанавливались вертикально с южной стороны. Продолжая архитектурную новаторскую работу Ж. Мишеля во Франции, другой парижский архитектор, Жорж Александров, построил в Чингетти (Мавритания), в районе с трудным водоснабжением, установку, в которой устроенные на крыше коллекторы поглощали достаточно энергии, чтобы с помощью солнечных насосов (1,5 л. с., система Массона — Жирардьё) снабжать водой 2 тыс. человек. Это здание отличается интересным архитектурным решением, в котором используются элементы традиционной мавританской архитектуры. Этот пример показывает,

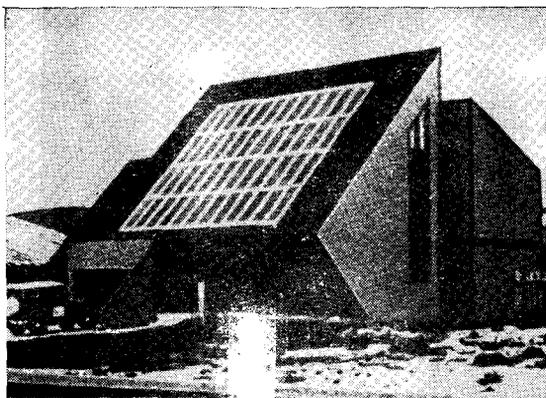


Рис. 16. Дом с прямым солнечным обогревом, США, «Томасон-коллектор»

какие хорошие результаты может принести сотрудничество между архитекторами и инженерами — солнечными энергетиками.

Конференция ЮНЕСКО в июле 1973 г. в Париже, проходившая под девизом «Солнце на службе у человека», дала совершенно точную информацию о состоянии солнечной энергетики в мире. В конференции приняли участие 800 ученых из 60 стран. Было представлено несколько архитектурных солнечных проектов:

«солнечный дом», в Калифорнии, архит. Х Хэй;

«солнечный дом», архит. К. Бёйер;

«солнечный дом» Флоридского университета, архит. Е. Фарбер;

жилая терраса, архитекторы Д. Шансон и П. Клокс;

«солнечный оазис» проект архит. Ж. Александрова.

Конференция ЮНЕСКО, которая состоялась за несколько месяцев перед нефтяным кризисом, подвела итог целой эпохе исследований в области солнечной энергии. Если до 1973 г. солнечная энергия была объектом исследований для ученых, теперь она стала новой областью индустрии, делом огромной важности для всего мира. Она стала представлять жизненный интерес не только для инженеров, архитекторов, строителей, но и для простого налогоплательщика, который на первый взгляд не заинтересован ни в строительной промышленности, ни в энергетической политике, но в конечном счете должен платить за перерасход энергии.

4. АСПЕКТЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В ОБЛАСТИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Как видно из предыдущих глав, солнечная энергетика — наука новая, и в энергетическом обеспечении различных стран она все еще играет незначительную роль.

Совсем недавно солнечная энергия рассматривалась во многих странах как нечто несущественное и часто невозможное для использования в качестве энергетического источника. В наши дни ситуация изменилась. Нефтяной кризис 1973 г. и охватившая весь мир полемика об использовании атомной энергии сделали проблему использования солнечной энергии открытой, и теперь уже обсуждаются не «да» или «нет», а «когда?» и «как?».

Министр исследований и технологии в ФРГ высказал «официальное признание» «Солнца как энергетического источника: «Солнечная энергия приобретает все большее значение в дискуссиях об энергетическом снабжении. Это единственный известный в настоящее время технически удобный источник энергии, который может обеспечивать человека практически неограниченное время и к тому же совершенно не загрязняет окружающую среду. Ограниченность запасов традиционных источников энергии стала очевидной благодаря событиям 1973 г. С тех пор во всем мире основное внимание было направлено на поиски новых источников. Солнечная энергия занимает в этом центральное место».

Выдающийся ученый Вернер фон Браун сделал на открытии конгресса ЮНЕСКО «Солнце на службе у человека»: «Человек находится на пороге новой эры, которую можно назвать Веком солнца».

Новые направления энергетической политики нашли свое выражение в статье «Нойе Цюрихен Цайтунг» о программе энергетических исследований в США: «Министерство исследований и развития энергетики (ERDA) — организация, продолжающая деятельность Атомной энергетической комиссии, существует с начала прошлого года, она подчиняется президенту и конгрессу и занимается прогнозом энергетической политики в США, которая должна базироваться на самых разнообразных источниках энергии. Практическое использование термоядерного реактора, которое первоначально предполагалось в 1987 г., сейчас откладывается до XXI в. В своем докладе министерство исследований и развития энергии (ERDA) поставило солнечную энергию на один уровень с термоядерной и ядерной энергиями. Эти три вида энергии идентифицируются как долгосрочные доминанты энергетической политики».

Два последних положения доклада особенно важны, так как они определяют коренной поворот в американской энергетической политике. Эта переориентация вскоре принесет глобальный эффект и заставит другие страны пересмотреть свою энергетическую политику.

Какие же теперь, несколько лет спустя после нефтяного кризиса, практические аспекты использования солнечной энергии имеют место в различных странах, и не только в быту, но и в экономике и политике? Ниже даны примеры развития исследований в этом направлении.

4.1. США

США, обладающие огромными солнечными ресурсами, с начала века были в авангарде исследований в области солнечной энергии и сохранили ведущее место. Хотя правительство Соединенных Штатов до сих пор ориентируется на приоритет атомной энергии, тем не менее оно прямо и косвенно оказывает существенную помощь исследованиям в области солнечной энергии. Даже Атомная энергетическая комиссия (АЕС) имеет свои собственные лаборатории, в которых исследуется Солнце.

Наибольшая помощь (от государства) оказывается через NASA (Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства), NSF (Национальный научный фонд), НИД (Управление жилищного и городского строительства). В сентябре 1974 г. был ратифицирован закон, который предусматривает специальный бюджет в целях создания солнечных отопительных систем («Закон об использовании солнечной энергии для отопления зданий и приготовления пищи»).

Около 80 больших фирм, включая такие гиганты, как «Дженерал Электрик», «Вестингхаус», «Моторола», «Дюпон», «Хонейвелл», «Корнинг», «П. П. Г. индастри» и «Артур Д. Литтл Инк.», совместно изучают возможности рынка с помощью специальных институтов.

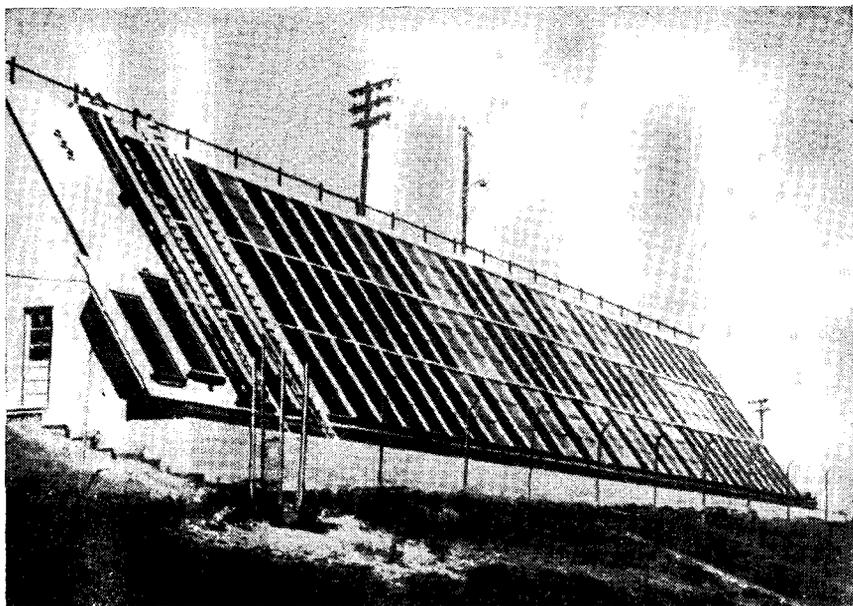


Рис. 17. Средняя школа в Варрентоне, штат Виргиния, США

Вывод из их исследований состоит в том, что индустрия солнечной энергии для бытовых целей (отопление помещений, горячее водоснабжение, приготовление пищи) может к 1985 г. принести 1,3 млрд. долларов прибыли.

Согласно мнению «Артур Д. Литтл Инк.», такая ситуация через 15 лет сделает США полностью независимыми от других стран в экономическом отношении. Инвестиции частных фирм, вероятно, прекроются ожидаемыми прибылями, однако точные цифры пока еще не ясны.

Солнечные накопительные системы для получения горячей воды, которые во время и сразу после второй мировой войны широко использовались в южных штатах, сейчас снова стали популярны.

Несколько фирм выпускают установки, которые продаются под девизом «Сделай сам». Согласно рекламным объявлениям, можно купить обогревательную систему для бассейна. В США больше чем 1,3 миллиона плавательных бассейнов обогреваются солнцем. Есть уже солнечные обогреватели воздуха. Полная солнечно-обогревательная система также имеется в продаже.

Число обогреваемых солнцем зданий в США достигает уже несколько тысяч и включает в себя такие крупные сооружения, как здание средней школы в Дорчестере (Массачусетс); здание начальной школы в Мэриленде; здание средней школы в Миннеаполисе (Миннесота); здание средней школы в Виррентоне (Виргиния).

На звание самого большого в мире здания с кондиционированием воздуха на солнечной энергии претендует административное здание, строящееся в Линкольне (Массачусетс). Проект был представлен фирмой «Артур Д. Литтл Инк.». Он рассчитан на то, чтобы зимой от 56 до 85% всех энергопотребностей удовлетворялось за счет солнечной энергии. Летом эта же установка служит для охлаждения помещения. В результате исследований, проведенных Р. Черри и Р. Морзом в 1972 г., было выявлено, что, при необходимой поддержке в изысканиях, солнечная энергия может в следующих десятилетиях обеспечить 35% потребностей в кондиционировании воздуха в зданиях (10% потребностей в жидком топливе и 20% потребностей в электроэнергии к 2020 г. может быть обеспечено солнечной энергией). Для стимулирования использования солнечной энергии для этих целей некоторые американские штаты, например Индиана, предоставляют налоговые преимущества владельцам домов, которые снабжают свои здания солнечными обогревателями. Данная перспектива использования солнечной энергии в США приводится в одном из докладов об американской энергетической политике, который министерство исследований и развития энергетики опубликовало в середине 1975 г., где показаны перспективы использования солнечной энергии на следующие 50 лет. Во всеобщем плане энергетической политики министерство попыталось разработать долго-

срочную стратегию, которая гарантирует США соответствующую политическую независимость и экономическое могущество. В этой стратегии солнечная энергия вместе с ядерной и термо-ядерной была определена как один из основных неисчерпаемых источников энергии.

Согласно прогнозам, солнце, с трудом используемое сейчас как источник энергии, будет удовлетворять приблизительно четверть всех потребностей страны в энергии к 2020 г. и сможет содействовать сокращению импорта нефти, тем более что к этому времени добыча нефти и природного газа в США станет незначительной.

Чтобы увеличить роль солнечной энергии необходимы усилия. Во-первых, и это обещает наибольший эффект, нужно добиться прямого использования солнечной энергии с целью обогрева и охлаждения зданий как в частной сфере, так и в промышленности и сельском хозяйстве, во-вторых, нужно иметь возможность превращать солнечную энергию в электрическую, посредством чего будет открыт неистошимый источник электричества; эта цель, в долгосрочной перспективе, имеет наивысший приоритет, в-третьих, солнечная энергия должна использоваться для добычи газа из удобрений, дерева и других хозяйственных отходов; хотя, конечно, эта технология, известная как биологическая энергия, не в состоянии сделать заметный вклад в сохранение энергии до следующего столетия.

4.2. ЯПОНИЯ

С незапамятных времен японцы поняли важность солнца. Сегодня Япония и США стоят в авангарде использования солнечной энергии.

На «Выставке Солнца» в Токио в 1956 г. около 15 фирм представили солнечные водяные нагреватели. Теперь в Японии действует около 3,5 млн. таких установок. В университете Кейо работает установка с коллектором площадью 66 м². Первый японский «солнечный дом» был построен архитектором Янагимачи в 1956 г., он же построил еще два «солнечных дома» в Токио и Фунабата-Сити. Перечисленные ниже фирмы — это некоторые из тех, которые внедрили в производство устройства для «солнечных домов»: «Гото Оптикал МФГ К°», «Хитачи Кемикал К° Лтд.»; «Секисуи Кемикал К° Лтд.»; «Сидзуока Сейка К° Лтд.»; «Мацуси на Электрик Воркс Лтд.»; «Марно Санжю Кайшо Лтд.».

Самый крупный исследовательский центр в Японии — Государственная лаборатория солнечных исследований в Нагойе. В начале 1975 г. она приступила к выполнению «Программы солнечного света», реализация которой планируется к 2000 г. Правительство намерено основать несколько станций, действующих

на энергии солнца, в горах, в центре Японии. Другие установки планируется построить около существующих заводов, работающих на атомной энергии.

4.3. АВСТРАЛИЯ

Австралийское министерство науки также представило программу использования солнечной энергии. Исследовательскую работу продолжает Государственная организация научных и промышленных исследований, которая поддерживается правительством.

Австралийский департамент жилищного строительства выдвинул программу, выполнение которой позволит установить в общественных зданиях солнечные коллекторы площадью 3—4 м² и аккумуляторы емкостью 180—360 л. Подсчитано, что путем использования солнечной энергии для нагрева воды можно обеспечить 65% всех потребностей горячего водоснабжения. В некоторых отелях и колледжах действуют солнечные водяные нагреватели с высокой производительностью, например: в отеле Дон в Дарвине (30 м² солнечных коллекторов с аккумулятором емкостью 950 л), в отеле «Росс Смит» в Дарвине (24 м² коллекторов с 2275-литровым аккумулятором), в духовном колледже в Аделаиде (60 м² коллектора с аккумулятором общей вместимостью 4100 л). В стране широко используются солнечные обогреватели воды и 3000—4000 новых установок производится ежегодно. Несколько солнечных домов уже построено и строится.

4.4. ВЕЛИКОБРИТАНИЯ

Первые «солнечные дома» в Европе были построены в Англии. Это были Рикмансворс-хаус, около Лондона, построенный Е. Куртисом в 1956 г., и «солнечный дом» в Бристоле, построенный Л. Гарднером в том же году. Специалисты считают, что и в Англии, где в облачный февральский день величина рассеянного излучения составляет всего 60 Вт/м², эта энергия может быть использована. В 1974 г. был построен Энглези-хаус (С. В. Сзоколан), а Корпорация развития «Мильтон Кейнес» (МКДС) построила дом с 40 м² солнечных коллекторов. Теперь уже возможно строительство «автономного дома», проект которого основан на теоретических исследованиях, начатых в 1971 г. В нем все энергетические потребности (обогревание, кондиционер, электричество) обеспечиваются солнечной энергией и энергией ветра (проект А. Пайка, Дж. Тринга, Г. Смита и Дж. Литтлера) (см. § 9.9).

Ройстон Саммерс проектирует 29 квартир на солнечном отоплении, у Доминика Михаелиса несколько проектов «солнечных домов» в процессе разработки. Многие фирмы выпускают

солнечные коллекторы, и несколько больших институтов ведут исследовательскую работу.

«Таймс» 5 марта 1977 г. опубликовала заявление Министерства энергетики: «К 2000 г. Великобритания будет использовать 8% энергии из возобновляемых источников, таких, как солнце и морские волны».

4.5. ФРАНЦИЯ

Во Франции программа исследований солнечной архитектуры осуществляется под руководством государственных институтов, таких, как Национальный центр научных исследований (CNRS), Национальное агентство стоимости и исследований (ANVAR), «Электричество Франции» (EDF), Марсельский университет и др.

В 1973—1975 гг. несколько «солнечных домов» архит. Ж. Мишеля были представлены на выставке «Foire de Paris». В Армоне, около Нима и в Гавре строится шесть «солнечных домов» (Ж. Мишель, Ж. Александров). Другие архитекторы, такие, как Д. Шансон, П. Клокс и Ги Ротье («Экополис-проект») работают над различными вариантами «солнечных домов».

Несколько фирм, таких, как «Софи», «Саре», «Кайлой СА», «Патурль», «Диемо», «Серка», «Софрэт», «Ситюб», «Сэнт Гибэн», «Сежедюр — Пешиней», «Сэнт Гелио Систем», «Ст. Гелибат», «Р.Т.С.» уже наладили производство некоторых агрегатов для использования солнечной энергии.

С целью содействия техническому прогрессу в использовании солнечной энергии во Франции также предоставляются льготы при выплате налогов, если налогоплательщик устанавливает солнечное оборудование.

4.6. ФРГ

В 1975 г. министр исследований и технологии ФРГ заявил прессе в Бонне: «Экономическое использование солнечной энергии с целью обогрева возможно в Западной Германии при возмещении первоначальных расходов. За короткий период вполне возможно получить большое количество горячей воды, накопленной летом с помощью солнечной энергии. В настоящее время летом теплую воду часто получают с помощью нефтяных обогревательных установок с очень низкой производительностью. Через некоторое время также будет возможно использование солнечной энергии для обогрева воздуха». В связи с этим было опубликовано два безусловно удачных проекта: экспериментальный дом Исследовательской лаборатории «Филиппс» в Аахене и плавательный бассейн в Вайле, работающие на солнечной энергии (Обергишер Крейс).

Солнечный дом в Аахене построен исследовательской лабораторией «Филипс» и электростанцией «Рейн Вестфалия» при финансовой помощи государства. Теплоизоляция в этом доме в пять раз лучше, чем в традиционных домах, и должна обеспечить все потребности в отоплении с помощью 20 м² солнечных коллекторов. Дом служит примером для архитекторов и специалистов-теплотехников и должен способствовать распространению новой солнечной техники.

Компьютеры моделируют жизнь семьи в доме в течение почти двух лет, перед тем как дом будет сдан в эксплуатацию.

Обогреваемый солнцем плавательный бассейн в Вайле был построен фирмой Браун Бовери, Маннгейм (рис. 18 и 19). 1500 м² коллекторов нагревают воду. Браун Бовери в 1974 г. разработал параметры солнечных тепловых коллекторов, которые позволяют, несмотря на плохие погодные условия, с мая по сентябрь получить в день около 2,5 кВт·ч/м² энергии.

Коллекторы состоят из отдельных секций, которые вполне могут изготавливаться в мастерских. Исходя из результатов этого опыта, были намечены планы выпуска и установки таких коллекторов в больших количествах. Таким образом, с одной стороны, коллекторы должны подвергаться длительной проверке, с другой — возможность использования солнечной энергии будет широко рекламироваться. В дальнейшем образцы оборудования будут испытываться и проверяться по предпроектной программе.

Использование солнечной энергии особенно пригодно для дополнительного нагрева открытых плавательных бассейнов, так как необходимая температура воды (около 26° С, в холодные дни до 28° С) ниже температуры воды, используемой для бытовых целей.

Согласно заявлениям прессы, в 1975 г. в Западной Германии было намечено осуществить ряд важных проектов с использованием солнечной энергии. Один из них (предложенный «Schleswig Holsteiner Landgesellschaft mbH» в Киле) — завод по переработке солнечной энергии в виде демонстрационной установки в городе-саде. Солнечная энергия должна использоваться для отопления торговых рядов и для создания в оранжерее условий, предусмотренных проектом.

Кроме того, предложены следующие проекты:

обогревание воды с помощью солнечной энергии (BBC и RWE);

специальные солнцепоглощающие поверхности для получения тепла (дальнейшее усовершенствование поглотителей для опреснительных заводов — Дорнье);

модульный «солнечный дом» с обогреванием и системой кондиционирования (Мессершмитт, Бёлков, Блохм);

развитие стойких к высоким температурам солнцепоглощающих поверхностей (Дорнье);

исследование неископаемых и неядерных энергетических источников для обеспечения энергией в будущем (AGF);

исследование длительного аккумулирования энергии (MBV);

экспериментальные исследования по совершенствованию генераторов на солнечных батареях (AEF), использующих земной магнетизм.

Солнечная научно-исследовательская лаборатория работает в Штутгарте под руководством д-ра Вернера Блосса. Исследовательский институт Николааса Лайнга в Альдингене около Штутгарта работает над проектами «солнечных домов», в том числе над проектом энергетического каскада. Этот институт намерен сделать доступной солнечную энергию для осуществления горячего водоснабжения в Испании, Северной Африке, Северной Италии, Центральной Европе.

В 1975 г. в ФРГ было объявлено о подписании многостороннего соглашения о сотрудничестве в области исследования солнечной энергии под председательством США.

Сегодня в Западной Германии функционирует уже несколько сотен домов, в которых действует солнечная обогревательная система.

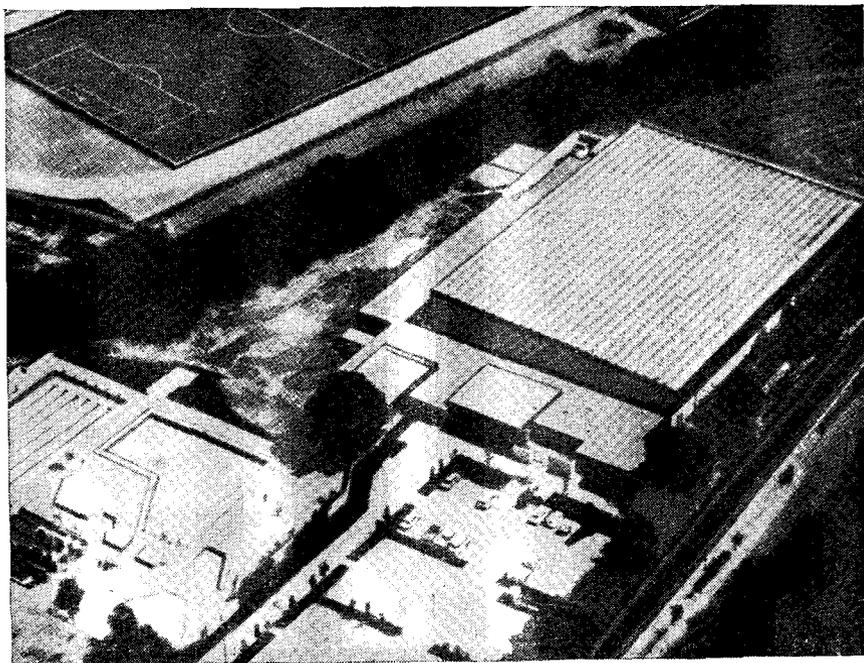


Рис. 18. Плавательный бассейн с солнечным подогревом воды в Вайле, ФРГ

4.7. СОВЕТСКИЙ СОЮЗ

После США и Японии Советский Союз — третья страна в мире, где использование солнечной энергии достигло большого прогресса. Первая значительная солнечная установка была построена в 1930-х годах.

В США главная область для использования солнечной энергии — обогревание плавательных бассейнов, в Японии — установки для нагревания воды; Советский Союз, где приблизительно 1 млн. км² — неосвоенные территории, особенно заинтересован в широком использовании солнечных насосов и опреснительных установок. В СССР много районов, где продолжительность солнечного периода достигает значительной величины (около 3000 ч в год в Средней Азии) и использование различных солнечных установок экономически особенно выгодно. Соответствующие научно-исследовательские учреждения распространены по всей стране, координация работ осуществляется Институтом солнечной энергии им. Кржижановского в Москве.

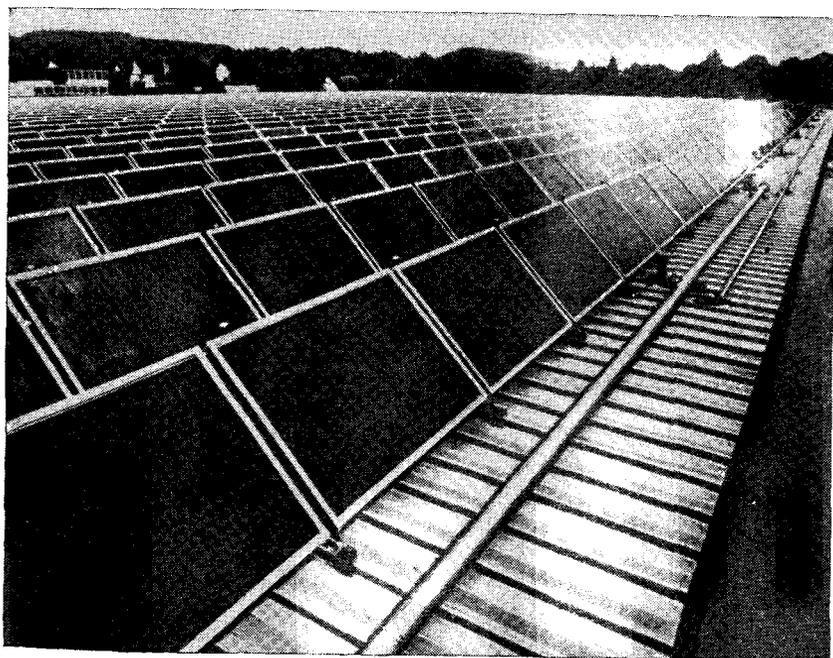


Рис. 19. Опытная установка в Вайле — солнечный коллектор для подогрева воды в плавательном бассейне. Коллектор размещен на крыше Вайльского рекреационного центра. Площадь 1500 м². С октября по май бассейн используется как каток. В самые холодные месяцы, с ноября по март, излишки энергии, необходимой для катка, используются для отопления зала

Несколько больших проектов осуществляется и в настоящее время. Так, солнечная печь в Ереване, где каждый 10-метровый в диаметре параболический коллектор производит 50 кВт электроэнергии, сможет обеспечить работу различных видов солнечного оборудования (установка для нагревания воды и приготовления пищи, рефрижираторы, опреснительные кубы и т. д.) для бытовых целей. Производство подобного оборудования уже налажено, и оно выпускается в довольно больших количествах (25 тыс. наименований в 1974 г.).

По сведениям, полученным из ЮНЕСКО, советские ученые уверены в том, что XXI в. будет веком солнечной энергии.

4.8. ШВЕЙЦАРИЯ

В июне 1974 г. в Берне была образована Швейцарская ассоциация по солнечной энергии (SSES). В нее вошло более тысячи представителей промышленных и научных кругов и частного сектора. Рене Шэрер из Гренхена, Брунто Шнейдер из Клотена и Дж. Винклер из Берна разработали и внедрили водяные и воздушные солнечные обогревательные системы. В 1975 г. ассоциация предложила местным и государственным органам управления национальный план экономии нефти. Он предполагает снабдить все дома в Швейцарии солнечными коллекторами (1,2 м² для каждого домовладельца), что сохранит около 1 млн. т нефти в год. Первое швейцарское административное здание на солнечном обогреве — это «Микафил-Проект» П. Р. Сабади (см. 9.11). Несколько проектов солнечных домов находится в процессе разработки: «Дельта Штадт» (город Дельта), проектируемый около Берна (Г. Вирт, архитектор ETH/SIA, и доктор Т. П. Вудман ETH), «Пленэр-Проект» (группа «Пленэр») и др.

4.9. ДРУГИЕ СТРАНЫ

Проекты «солнечных домов» делаются и в других странах, например, в Швеции (солнечный дом в Университетском городке в Лунде, архит. С. Х. Ульсен), в Голландии («солнечный дом» в Оссе, архитекторы Элеманс и Ван Коппен), в Дании (дом на солнечной энергии, архитекторы Корсгаард, Харбоэ, Черуле-Йенсен), в Италии (шведский «солнечный дом» на Капри, архитекторы Т. Плейель и Б. Линдструм) и проект Солнечного города (архит. Г. Франсиа).

В Греции, Турции, Израиле, на Кипре, в Ираке, Индии, Марокко, Испании, Португалии, Чили, Иране, Мексике, Венесуэле и Аргентине используются солнечные установки для нагревания воды. Во многих странах эти установки приобрели такое же значение, как и другие изделия строительной промышленности.

5. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ ДЛЯ БЫТОВЫХ ЦЕЛЕЙ

Все уголки земли получают солнечную энергию. Количество этой энергии, получаемой ежедневно, зависит от географического положения и климатических условий, но ее практическое использование возможно повсюду. Естественно, на Красном море, где число солнечных часов в год доходит до 4000, легче и дешевле извлечь из солнца пользу, чем, скажем, в Скандинавии, где солнце светит только 1200 ч в год при довольно низкой интенсивности.

Среди видов использования солнечной энергии для бытовых целей наиболее важны следующие: горячее водоснабжение, отопление помещений, охлаждение помещений и воздушное кондиционирование, подогрев плавательных бассейнов.

5.1. СИСТЕМА СОЛНЕЧНОГО НАГРЕВАНИЯ ВОДЫ

Когда солнечные лучи падают на какую-нибудь поверхность, ее температура повышается по сравнению с окружающим воздухом. Это повышение температуры есть результат накопления тепла на этой поверхности благодаря поглощению энергии солнечной радиации. Если под нагревающейся поверхностью мы устроим емкость, в которой будет циркулировать вода, то вода будет нагреваться.

Время повышения температуры до нужного уровня зависит от того количества калорий, которое вода получит от солнца, а также от устройства поглощающих элементов (солнечные коллекторы) и аккумуляторов (цистерна, бак).

Д-р С. Г. Абботт, пионер в исследовании солнечной энергии, в своей книге «Как использовать тепло Солнца» описывает примитивный, но тем не менее удобный генератор теплой воды так: «Я купил 6 м длинного черного садового шланга, обмотал 4,5 м вокруг деревянной рамы и поднял эту конструкцию по лестнице на южную сторону крыши моего дома. Остальные 1,5 м я привязал к крану во дворе и к крану в ванной. Благодаря этому простому устройству в солнечный день мы имели 22 л очень теплой воды каждые полчаса».

Конечно, установки, коммерчески выгодные, сегодня не так просты. Однако они устроены по тому же принципу, хотя и имеют гораздо большую эффективность.

Современный солнечный генератор теплой воды состоит из двух основных частей: солнечного коллектора и резервуара с теплой водой. Поверхность коллектора может нагреть воду от 50°С до 80°С. В вакуумных коллекторах с идеальными поверхностями температура достигает 300—350°С. Использование параболических радиационных концентраторов позволяет достигнуть еще более высокой температуры. Различные типы солнечных коллекторов анализируются в гл. 6.

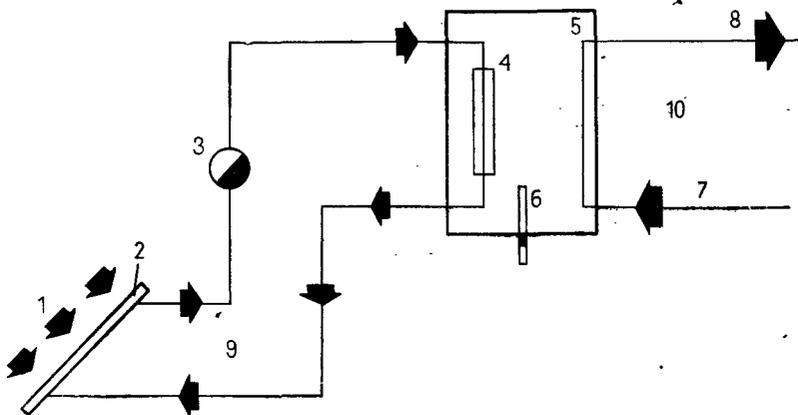


Рис. 20. Система горячего водоснабжения, термосифонный тип

1 — солнечные лучи; 2 — водяной солнечный коллектор; 3 — термостат; 4 — теплообменник; 5 — двухкорпусный солнечный бойлер; 6 — электроотопительный прибор; 7 — холодная вода; 8 — горячая вода; 9 — циркуляция воды, нагретой солнцем; 10 — циркуляция теплоносителя используемой воды

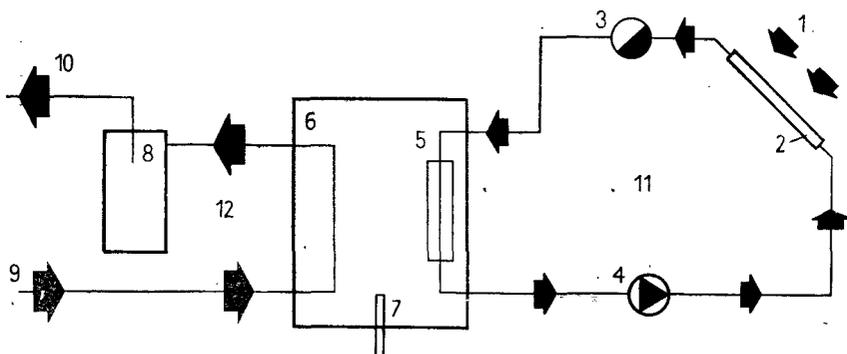


Рис. 21. Водяная солнечно-отопительная система — принудительно циркуляционный тип

1 — солнечные лучи; 2 — водяной солнечный коллектор; 3 — термостат; 4 — циркуляционный насос; 5 — теплообменник; 6 — двухкорпусная емкость; 7 — электронагревательный прибор; 8 — запасной бойлер для теплоносителя; 9 — холодная вода; 10 — горячая вода; 11 — циркуляция воды, нагретой солнцем; 12 — циркуляция используемой воды

Нагретая солнцем вода из коллектора ($55\text{--}56^\circ\text{C}$) поступает в теплообменник солнечного бака (цистерны), в котором нагревается нужное для употребления количество воды (150—500 л). Это нагревание может быть различным в зависимости от продолжительности и интенсивности солнечного света. Циркуляция нагретой воды может происходить по термосифонному принципу (рис. 20) или с помощью насоса (рис. 21), который контролируется термостатом, установленным в самом верхнем коллекторе.

Баки (цистерны) могут быть сделаны из металла или пластика и должны иметь термическую изоляцию. Для промышлен-

ных нужд, когда требуется много воды, используют баки массового производства вместимостью несколько тысяч литров. Такие баки пригодны для больниц, казарм, бань, кемпингов, отелей, школ-интернатов и т. д.

Коллекторы могут быть объединены в серии, и дневная норма нагретой солнцем воды, таким образом, будет увеличена. В Северной Африке и на Среднем Востоке существуют установки, которые дают в день 50—100 тыс. л горячей воды.

Большие установки такого рода существуют и в Европе. Например, французская фирма «Софэ» построила высокопродуктивную установку при гостинице на 35 номеров и кемпинге. В Берне, в Швейцарии, действует установка, которая производит 9 тыс. л горячей воды с помощью 40 м² поверхности коллектора.

В некоторых японских установках солнечные коллекторы и баки-аккумуляторы составляют единую систему. Чтобы обеспечить естественную термосифонную циркуляцию, баки должны быть по меньшей мере на 600 мм выше, чем самый верхний коллектор; если это невозможно, нужно использовать циркуляционный насос. Связь с домом осуществляется посредством тонких усиленных медных трубок диаметром 30 мм, применение которых позволяет избежать теплопотери. Для пасмурных дней предусмотрен электронагревательный элемент мощностью 0,5—2 кВт·ч, регулируемый термостатом. Баки и система труб работают под давлением приблизительно 6 атм., а контрольное давление во многих случаях равно 10—12 атм.

Баки с теплой водой устанавливаются на крыше или в подвале. Французская фирма «Эксенерсоль» разработала систему, в которой накопительные баки проектируются как кухонная мебель и расставляются на кухне так же, как плита или холодильник (рис. 22).

Французская фирма «Софэ», о которой уже упоминалось, серийно выпускает бойлеры на двойном источнике питания: солнечно-электрические, солнечно-газовые или солнечно-нефтяные, использующиеся во Франции и Испании. Для разных климатических зон и географического положения существует оптимальное отношение между поверхностью коллектора и объемом бака. Как среднюю величину «Софэ» предлагает 35 л/м²·ч.

Путем объединения солнечного бойлера с уже существующим нефтяным, газовым или электрическим можно сократить затраты энергии за счет предварительного нагрева холодной воды посредством радиации даже в пасмурную погоду. Когда нужное количество воды нагревается солнцем, традиционное отопление автоматически отключается. Из-за постоянно увеличивающейся потребности в горячей воде использование солнечного нагрева становится все более важным средством экономии топлива и денежных средств. В 1940 г. в день на человека приходилось 25—30 л горячей воды; в 1960 г. — 40—60 л, а в 1980 г. эта цифра возрастет до 70—90 л в день. Эта цифра уже превы-

шена в США. С помощью солнечной энергии можно удовлетворить значительную часть потребностей в горячей воде и в результате сохранить другие виды энергии.

В солнечных районах можно в течение 9 мес в году получать горячую воду с температурой по меньшей мере 50°C с помощью коллекторов с обычной поверхностью. Даже около Лондона можно каждый день в течение пяти летних месяцев получать 50 л горячей воды с температурой 55°C с 1 м^2 поверхности коллектора.

Потребность в горячей воде зависит от размера дома, количества людей, проживающих в нем, от уровня жизни, рода занятий, возраста, времени года и других условий. Требуемая температура колеблется между 30 и 90°C , но если возможно, не следует превышать 60°C , чтобы избежать коррозии и накипи.

Температура воды в водоразборном кране обычно составляет $35\text{--}40^{\circ}\text{C}$ — в ванной; $55\text{--}60^{\circ}\text{C}$ — на кухне и $90\text{--}95^{\circ}\text{C}$ — для стирки (фактически температура используемой воды равна примерно 45°C).

Для наполнения ванны требуется около 150 л воды при 40°C , это означает затраты 4500 ккал и требует расхода приблизительно 0,75 л нефти. Сегодня в Швейцарии ежедневно на человека в среднем расходуется 60 л горячей воды (3 тыс. ккал, 0,5 л

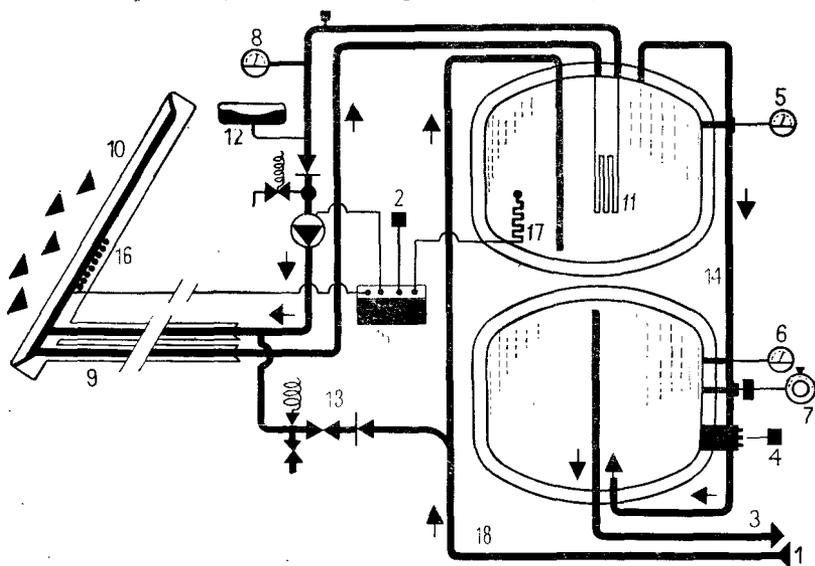


Рис. 22. Система горячего водоснабжения — система «Эксенерсол»

1 — холодная вода; 2, 4 — электрический переключатель со световым индикатором; 3 — горячая вода; 5, 6 — термометры; 7 — регулятор; 8 — манометр; 9 — циркуляция воды, нагретой солнцем; 10 — водяной солнечный коллектор; 11 — теплообменник; 12 — расширительный бак для циркуляции воды, нагретой солнцем; 13 — предохранительный клапан; 14 — горячая вода для водоснабжения; 15 — «Optimasol» — электронный контроль; 16 — термостат для регуляционного насоса; 17 — термостат для двухкорпусной емкости; 18 — холодная вода

нефти). Это составляет ежегодно 2200 л на человека (1,1 млн. ккал, или около 200 л нефти).

Многие сооруженные в Швейцарии установки для солнечного горячего водоснабжения доказали, что даже при средних климатических условиях (например, Цюрих — $47^{\circ}30'$ с. ш., интенсивность солнечного излучения $1160 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^2$ в год; продолжительность — 1693 ч в год) много горячей воды можно получить посредством использования солнечной энергии. Солнечный коллектор, который превращает примерно 70% солнечного излучения в тепло, нагревающее воду, может в Центральной Швейцарии производить в год в среднем более 7 тыс. л горячей воды $t = 50^{\circ} \text{C}$. В Альпах или в Тессине производительность повышается до 10 тыс. л/м² в год.

Шэрер из Гренхена (Швейцария) спроектировал солнечную установку для горячего водоснабжения с поверхностью коллектора $10,5 \text{ м}^2$ и таким образом сэкономил около 1187 л нефти в течение летних месяцев (апрель — сентябрь). В это время даже обычные комбинированные обогревательные системы работают с малой производительностью: 10—20% вместо 60—80%. В солнечные дни нефтяные нагреватели полностью отключались, и среднедневной расход нефти в год сократился с 16,73 до 10,24 л, таким образом, в день экономилось около 6,5 л нефти.

В июле и августе в Цюрихе можно получить максимальное количество горячей воды, около 42 л/м^2 в день, минимальное — в декабре — около 4 л/м^2 в день, в конце февраля — около 20 л/м^2 в день, то же в середине октября. Интенсивность солнечного излучения также достигает своего максимума и минимума в эти месяцы (в августе — около $4,4 \text{ кВт/м}^2$ в день; в декабре — около $0,8 \text{ кВт/м}^2$ в день). Эти цифры предполагают среднюю производительность коллектора для Цюриха 45%. При температуре поступающей воды $+10^{\circ} \text{C}$ это позволяет получить горячую воду с $t = 50^{\circ} \text{C}$. Для центральной Англии (52° с. ш.) больше всего горячей воды производится в июне и июле — около 45 л/м^2 в день, меньше всего в декабре — около 2 л/м^2 в день. Если мы суммируем эти цифры по всей стране, например по Швейцарии, мы увидим, как много импортируемой нефти можно сэкономить, получая горячую воду с помощью солнечной энергии.

В Швейцарии ежедневная потребность в теплой воде на одного человека, составляющая 40 л при $t = 60^{\circ} \text{C}$, может легко быть получена летом с 1 м^2 поверхности коллектора. Если каждый домовладелец имел бы 1—2 м² коллекторов на крыше (всего 6 млн. м²), Швейцария могла бы, согласно расчетам Швейцарской ассоциации по солнечной энергии (SSES), сэкономить около 1 млн. т нефти в год. Это составит 10% импорта нефти, или $\frac{1}{3}$ всех потребностей в электричестве.

Согласно расчетам, проведенным во Франции, обычный дом площадью примерно 100 м^2 будет потреблять в 2000 г. около

4 тыс. кВт·ч энергии в год (12,5 кВт·ч в день), из них в среднем 2 тыс. кВт·ч в год может производиться за счет солнца. Строительство 1 млн. водяных солнечных нагревательных установок сэкономит стране около 2 млрд. кВт·ч энергии ежегодно.

Такие же расчеты (И. Ф. Р. Дикинсом, «Е. М. А. Лимитед»), проведенные в Великобритании, показали, что дом на четырех человек потребляет 150 л горячей воды ($t=60^{\circ}\text{C}$) в день, что составляет 9 кВт·ч в день, т. е. 3300 кВт·ч в год. В юго-восточной Англии можно получить 1000 кВт·ч/м² солнечной энергии в год. При средней производительности 30% коллектор площадью 8 м² удовлетворят $\frac{2}{3}$ всех потребностей в горячей воде в частном доме. Это составит 2000 кВт·ч в год, и, таким образом, как и во Франции, 1 млн. таких установок обеспечит общую ежегодную экономию в 2 млрд. кВт·ч.

На втором симпозиуме Швейцарской ассоциации по солнечной энергии в Лозаннском университете (июнь 1975 г.) были приведены некоторые цифры, демонстрирующие экономию нефти путем использования солнечной энергии. Например, для отеля в Перпиньяне (примерно на 35 номеров) цифры, определяющие эту экономию в течение семи лет, следующие: с мая по август — 200 л нефти на м²; с ноября по февраль — 50 л нефти на м²; с сентября по октябрь и с марта по апрель — 70 л нефти на м².

Это означает ежегодную экономию нефти 320 л на м² поверхности коллектора. В Перпиньяне 2500 солнечных часов в году, 150 теплых дней (см. прил. 1).

Неудивительно, что в 1951 г. 50 тыс. водяных солнечно-нагревательных установок уже существовало во Флориде. Экономия электроэнергии исчислялась 150 тыс. кВт·ч каждый день.

Низкие цены на нефть и электричество в 60-е годы сделали эти установки сравнительно менее экономичными, но сегодня несколько миллионов солнечных обогревателей построено во всем мире, 3,5 млн. — только в Японии. Европейские фирмы также проявляют большой интерес к этой новой технологии, так что можно надеяться, что такие установки получат еще более широкое распространение.

5.2. СИСТЕМА СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Почти половина всей производимой энергии используется для обогрева воздуха (например, в Швейцарии около 46%). Солнце светит и зимой, но это рассеянное и прямое излучение обычно недооценивается.

Декабрьским днем недалеко от Цюриха физик А. Фишер генерировал пар; это было, когда солнце находилось в своей самой низкой точке, а температура воздуха была 3°С. Днем позже солнечный коллектор площадью 0,7 м² нагрел 30 л холодной воды из садового водопровода до +60°С.

Солнечная энергия зимой может легко использоваться для обогрева воздуха. Весной и осенью, когда часто бывает солнечно, но холодно, солнечный обогрев помещений позволит не включать нефтяное отопление. Это дает возможность сэкономить часть энергии для работы всей системы. Для домов, которыми редко пользуются, или для сезонного жилища (дачи, бунгало, кемпинги), обогрев на солнечной энергии особенно полезен зимой, что исключает чрезмерное охлаждение стен, предотвращая разрушение от конденсации влаги и плесени. Таким образом, ежегодные эксплуатационные расходы в основном снижаются. Чтобы согреть дом зимой, не требуется большой поверхности коллектора, но та же установка снабжает дом горячей водой летом, когда дачи и кемпинги в основном и используются.

Хотя греческий писатель Ксенофонт описал около 2400 лет назад возможное использование солнечной энергии, первые дома, в которых пытались использовать солнечную энергию, были построены только между 1930 и 1945 г. Но первые попытки потерпели неудачу из-за низких теплоизоляционных качеств этих домов: в них было слишком много окон. Эксплуатация «солнечного дома» MJT 1 (рис. 23), построенного в 1939 г., дала интересные результаты (Массачусетский технологический институт, Х. С. Хоттел, Б. Б. Воертс). Это экспериментальное здание площадью примерно 46 м^2 с солнечными коллекторами площадью 37 м^2 , установленными на солнечной стороне крыши под углом 30° . Коллекторы работают на воде, поглощающие поверхности и трубы из меди, остекление тройное, аккумуляторы — на 62 тыс. л воды, которая к концу лета нагревалась до 75°С . Горячая вода нагревала воздух в помещении. Этот дом определил первые проблемы, связанные с использованием солнечного обогрева, например: течь водяных баков, поломка коллекторов при термальном расширении, недостаточное утепление и дороговизна секций накопительных аккумуляторов. На рис. 24, 29, 30 показаны системы других отопительных систем на воде.

В этот период уже были обоснованы основные составные части солнечной отопительной установки: солнечный коллектор (водяного или воздушного типа, концентрирующий или нет); теплоноситель для аккумулятора (вода, камень, бетон или химические материалы, сохраняющие тепло); теплоноситель для отопления помещений (вода, воздух или химикалии); нагревательные приборы (радиаторы, трубы, проложенные под полом, и т. п.). В зависимости от требований они могут комбинироваться в различных вариантах. Детально эти компоненты анализируются в гл. 6.

Поиски технически и экономически удовлетворительных решений привели к появлению сотен патентов в разных частях света, многие из них были осуществлены и испробованы. Некоторые из наиболее известных описаны ниже.

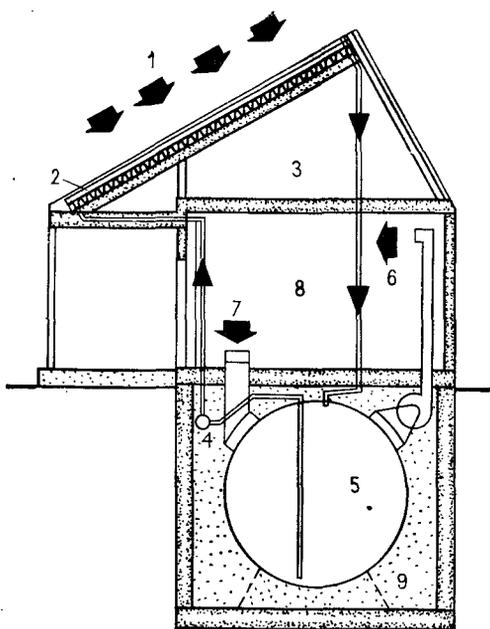
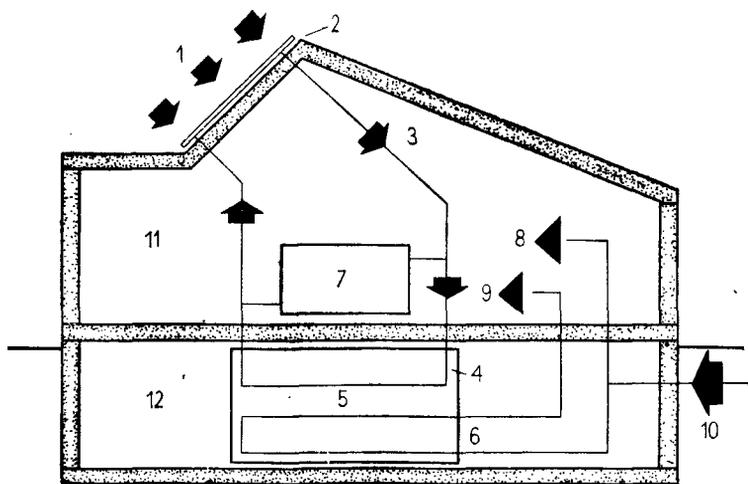


Рис. 23. Солнечная отопительная система MIT-1

1 — радиация; 2 — водяной солнечный коллектор; 3 — промежуточная зона; 4 — циркуляционный насос; 5 — накопительный бак для горячей воды; 6 — теплый воздух, обогревающий жилое пространство; 7 — канал для возврата воздуха; 8 — жилое пространство; 9 — утеплитель

Рис. 24. Водяная солнечно-отопительная система (основной принцип работы)

1 — радиация; 2 — водяной солнечный коллектор; 3 — горячая вода, направляемая в накопительный бак; 4 — циркуляция нагретой солнцем воды; 5 — накопительный бак для горячей воды; 6 — циркуляция воды для отопления; 7 — нагревательный прибор; 8 — холодная вода; 9 — горячая вода; 10 — ввод холодной воды; 11 — жилое пространство; 12 — подвал



5.2.1. Система MJT. Самый первый «солнечный дом», построенный между 1939 и 1959 г., в Массачусетском технологическом институте архитекторами Х. С. Хоттелом, Б. Б. Воертсом, А. Г. Диетсом, С. Д. Энгбретсоном, имел водяную отопительную систему, ставшую с тех пор классической (рис. 23). Вода, наполняющая солнечные коллекторы (с одинарным, двойным

и тройным остеклением), поглощала солнечное тепло. Эта теплая вода накачивалась в аккумуляторы, расположенные в подвале. Горячая вода в аккумуляторах нагревала воздух, который нагнетался в жилые помещения.

Типичный пример системы MJT дает «солнечный дом» № 3 (архитекторы, Х. С. Хоттел и С. Д. Энгебретсон, 1949 г.). Экспериментальное здание одноэтажное, однокомнатное. Площадь пола 55,7 м². Площадь поверхности солнечного коллектора водяного типа 37,2 м², наклон в южную сторону 57°, двойное остекление, цилиндрические аккумуляторы 91 см в диаметре, 9,1 м высоты, емкостью 6750 л. 30% энергии радиации поступает в аккумуляторы. В среднем 90% всех потребностей в отоплении дома удовлетворялись за счет солнечной энергии (в самые холодные месяцы 75—85%). Энергетическая автономия здания (независимость от внешних источников энергии) составляет два дня.

5.2.2. Система Телкеса—Раймонда. В этой системе были впервые установлены в 1948 г. солнечные коллекторы воздушного типа с аккумуляторами, использующими глауберову соль ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) (рис. 25).

В солнечных коллекторах нагревался воздух, который поступал в химические аккумуляторы. Теплый воздух по каналам направлялся из аккумуляторов в жилые помещения.

Типичный пример — Дом Пибоди в Довер-Масс (США; архитекторы М. Телкес и Е. Раймонд, 1948 г.). Двухэтажный дом, однако второй этаж не отапливается. Солнечные коллекторы воздушного типа площадью 66,9 м² установлены вертикально с южной стороны. Аккумуляторы тепла емкостью 13,3 м³, наполненные глауберовой солью ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Общий объем аккумулятора — 28,3 м³; 80% всех потребностей в отоплении дома удовлетворялись за счет солнечной энергии. Запасное обогревание — электрическое. Энергетическая автономия здания — шесть дней.

5.2.3. Система Блисса — Денована. Дом, оборудованный такой системой с аккумулятором, заполненным гравием, был построен в 1945 г. Нагретый воздух из солнечного коллектора поступал в аккумулятор, а оттуда уже в жилое помещение через вторую циркуляционную систему (рис. 26).

Типичный пример — Дом Блисса в Амадо, Аризона (США; архитекторы Р. В. Блисс и М. К. Денован, 1954 г.). Это был первый дом, в котором обогревание и кондиционирование осуществлялось целиком за счет солнечной энергии. Одноэтажный дом площадью 65 м². Площадь поверхности солнечного коллектора воздушного типа 29,2 м², одинарное стекло, аккумулятор вместимостью 65 т с галькой (емкость 35 м³), в подвале было предусмотрено запасное электрическое обогревание, но оно не используется. Летом кондиционирование осуществлялось при помощи той же системы.

Эстетические и архитектурные проблемы не были решены, но правильность всей системы была доказана. Эта система также стала классической и с тех пор часто использовалась во многих зданиях с некоторыми изменениями, иногда усовершенствованиями.

5.2.4. Система Лёфа.

Первая система с воздушными коллекторами и аккумуляторами с гравием была использована в Булдер-Хаус, построенном в 1945 г. Обогревание осуществлялось распределением горячего воздуха. Аккумулятор тепла мог устанавливаться как горизонтально, так и вертикально (рис. 27).

Типичный пример — дом Лёфа в Денвер Колорадо (США, 1959 г.). Жилая площадь около 186 м². Площадь поверхности коллекторов воздушного типа 55,7 м². Они установлены на южной стороне кровли под углом 45°. Воздух, нагреваемый в кол-

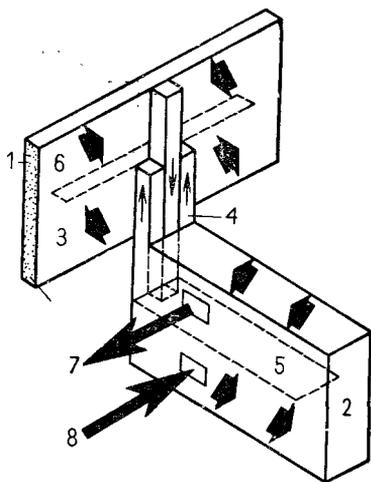


Рис. 25. Солнечно-отопительная система Телкеса—Раймонда

1 — солнечный коллектор воздушного типа; 2 — химический аккумулятор тепла; 3 — направление движения воздуха для отопления; 4 — воздушный канал; 5 — сепаратор; 6 — прокладка; 7 — теплый воздух для жилого пространства; 8 — канал для возврата воздуха

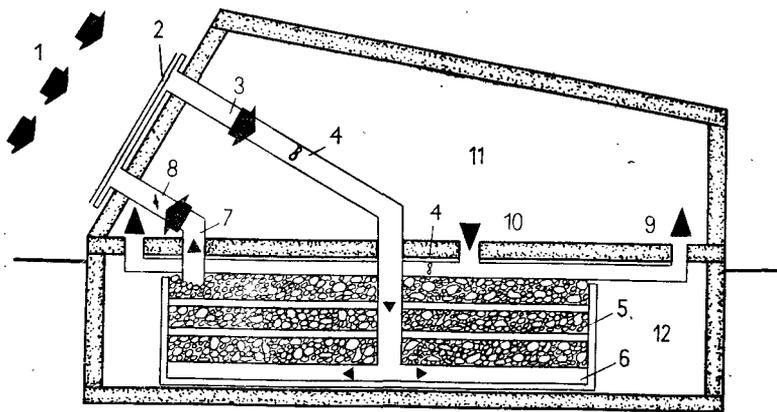


Рис. 26. Воздушная солнечно-отопительная система (основной принцип работы)

1 — радиация; 2 — солнечный коллектор воздушного типа; 3 — теплый воздух, направляемый в аккумулятор; 4 — вентилятор; 5 — слой гравия; 6 — воздушное пространство; 7 — возврат холодного воздуха; 8 — регулирующий клапан; 9 — теплый воздух, направляемый в жилое помещение; 10 — возврат холодного воздуха; 11 — жилое пространство; 12 — подвал

Рис. 27. Солнечно-отопительная система Лёфа

1 — солнечный коллектор воздушного типа; 2 — движение теплого воздуха (каналы); 3 — движение воздуха для обогрева; 4 — тепловой аккумулятор с гравием

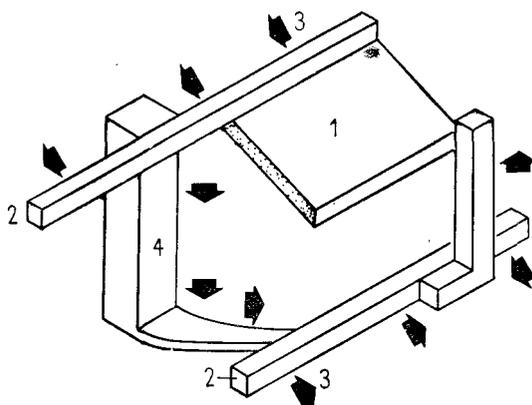
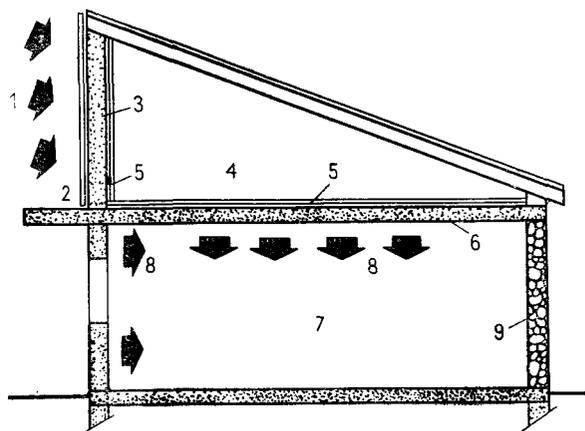


Рис. 28. Солнечно-отопительная система Лефевра

1 — радиация; 2 — стекло; 3 — теплонакопительная стена с наружной поверхностью черного цвета; 4 — промежуточное пространство; 5 — утеплитель; 6 — потолок-теплонакопитель; 7 — жилая комната; 8 — отдача тепла; 9 — утепленная стена с северной стороны



лекторах, подается с помощью мотора в 1 л. с. в аккумулятор, который состоит из двух вертикальных цилиндров (91 см в диаметре, 5,5 м в высоту), заполненных 6 т гравия. Воздух проходит через горячий гравий и поступает в жилое помещение. Зимой около 25—30% необходимой отопительной энергии и часть потребностей в горячей воде удовлетворяются солнечной энергией. Летом специальные коллекторы с одинарным остеклением дают энергию для кондиционирования, а коллекторы с двойным остеклением снабжают горячей водой.

5.2.5. Система Лефевра. Эта очень интересная и простая система была впервые использована в 1954 г. Стены здания обогреваются посредством вертикально установленных коллекторов и служат аккумуляторами (рис. 28). Таким образом, обычно очень дорогой аккумулятор тепла устраняется, и вся обогревательная система становится дешевле.

Типичный пример — дом Лефевра в Стоверстоне (Пенсильвания, США; архит. Х. Р. Лефевра, 1954 г.). Двухэтажный дом,

в котором отапливается только нижний этаж (общая полезная площадь 116 м^2). Солнечный коллектор воздушного типа с двойным остеклением (площадь поверхности $41,8 \text{ м}^2$) устанавливается вертикально на втором этаже с южной стороны. Никаких специальных аккумуляторов, они устроены в стенах. Жилые помещения обогреваются циркуляцией теплого воздуха. Около 40—50% всех потребностей в обогреве дома осуществляется за счет солнечной энергии. Запасное отопление газовое.

5.2.6. Система Моргана. Эта первая европейская система была построена в 1961 г. около Ливерпуля в Англии. Здание обогревается только солнечной энергией и некоторыми незначительными источниками (человеческое тепло, лампы). Там нет солнечных коллекторов в обычном смысле этого слова и нет аккумуляторов, так как тепло накапливается в стенах и потолке здания (см. рис. 63).

Типичный пример — школа святого Георгия в Валласей (Ливерпуль, Англия; архит. А. Е. Морган, 1961 г.). Двухэтажное здание школы, рассчитанной на 320 учеников, имеет 67 м в длину. Южная сторона на 90% состоит из стекла, за которым помещается окрашенная в черный цвет бетонная стена. Бетонный потолок и кирпичные стены сделаны такого размера, чтобы они могли поглотить как можно больше тепла, сохранить его, а затем отдать. Там нет запасного обогрева, а потребность в дополнительном отоплении осуществляется за счет человеческого тепла, электрического света. Энергетическая автономия здания 7 дней. Измерения, сделанные Ливерпульским университетом (М. Г. Давис) показывают, что такая обогревательная система действует удовлетворительно (см. также гл. 9, § 9.2).

5.2.7. Система Тромба—Мишеля. Эта французская система солнечных домов (патент CRNS Тромба, 1956 г.) основана на принципе накопления солнечной энергии только в массе здания (см. рис. 65) и напоминает систему Лефевра. Солнечная радиация поглощается вертикальными, обращенными на юг поверхностями с тройным остеклением, которые устанавливаются на черной бетонной стене (30 — 40 см). Поверхность стекла занимает 10% всей поверхности здания. Теплый воздух поступает через маленькие отверстия в жилое помещение и распределяется посредством естественной конвекции. Первый экспериментальный дом, в котором использован этот метод, был построен в Пиренеях в 1962 г.

Типичный пример — «Солнечное шале» в Одеило (архитекторы Ф. Тромб и Дж. Мишель, 1968 г.) (рис. 29). Шале имеет жилую площадь 80 м^2 (в одном уровне). Вся южная сторона (кроме двойной двери) покрыта солнечными коллекторами. Так как климатические условия в Одеило очень благоприятны (2750 солнечных часов, 360 теплых дней в году) $0,5 \text{ м}^2$ поверхности коллектора достаточно для каждых 10 м^3 здания (в Париже 1 м^2 на 10 м^3 , Шовенси-дэ-Шато $1,3 \text{ м}^2$ на 10 м^3). Потребности дома в теп-

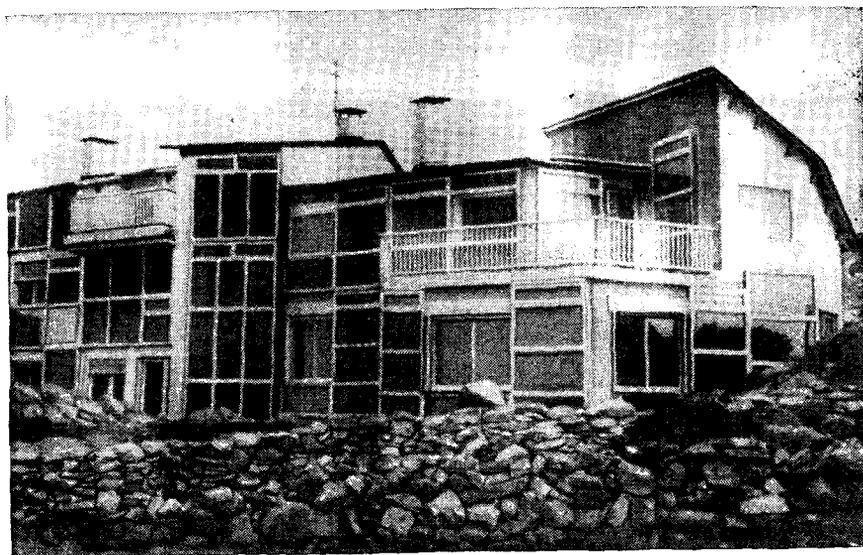


Рис. 29. «Солнечный дом» в Одейло с вертикальными коллекторами

ле исчисляются 32 тыс. кВт·ч в год, 65% удовлетворяются за счет солнечной энергии. Запасное отопление электрическое. Энергетическая автономия здания рассчитана на два дня.

5.2.8. Sky-therm-система (Хэй-Джеллот). В этой системе, основанной на принципе попеременного нагревания и испарения и примененной впервые в 1967 г., нет солнечных коллекторов и аккумуляторов тепла в обычном смысле этого слова. Поглощение и аккумулирование солнечной энергии осуществляется лотком с водой глубиной 21 см, установленным на плоской кровле. Лоток сделан из черных полиэтиленовых секций, которые покрываются тяжелыми полиуретановыми пластинами толщиной 4,5 см. Зимней ночью лоток накрыт и дом обогревается через потолок. Летом лоток оставляют открытым ночью и накрывают днем, осуществляя таким образом кондиционирование воздуха в помещении (см. рис. 34).

Типичный пример — дом в Финиксе (США, 1967 г.). Экспериментальный дом с одной комнатой, одноэтажный. Жилая площадь 11 м². Площадь водного лотка 15,8 м². Здание испытывалось два года и результаты оказались удовлетворительными. Дом, больший по величине, оборудованный такой системой, строится в Атаседеро, в Калифорнии (США).

5.2.9. Система Байера. Основное в этой системе — размещение в южной стене дома 90 баков, каждый вместимостью 200 л (всего 18 тыс. л воды). Когда светит солнце, окрашенные в черный цвет внешние поверхности открыты, и солнечная радиация, по-

падающая на них через стеклянную пластину, нагревает воду (см. рис. 41). Ночью или в плохую погоду эти поверхности закрываются с внешней стороны движущимися покрытиями (щиты из тяжелого утеплителя) и отдают жилому помещению тепло, полученное в течение дня.

Типичный пример — дом Байера в Нью-Мексико (США, 1972 г.). Жилая площадь 185 м² (один этаж), полезная площадь коллектора — 24,1 м². На 90% дом обогревается за счет солнечной энергии, остальные 10% восполняются двумя каминами на древесном топливе. Летом «водяные стены» охлаждаются ночным воздухом и в течение дня используются для воздушного кондиционирования. Движущаяся внешняя плита имеет 35 см в толщину, весит всего 6,75 кг/м² и играет важную роль в качестве утеплителя. Запасное отопление (два камина) используется не более 10 раз в год.

5.2.10 Система Бриджера — Пакстона. Эта система, разработанная в 1956 г., была одной из первых, где распределение тепла было достигнуто обогреванием пола. Тепло принимается водяными коллекторами. Теплоаккумулятор и теплоноситель — вода. Эта система используется сегодня почти исключительно европейскими изготовителями.

Типичный пример — конторское здание Бриджера—Пакстона в Альбюкере (Нью-Мексико, США). Отопление здания и конди-

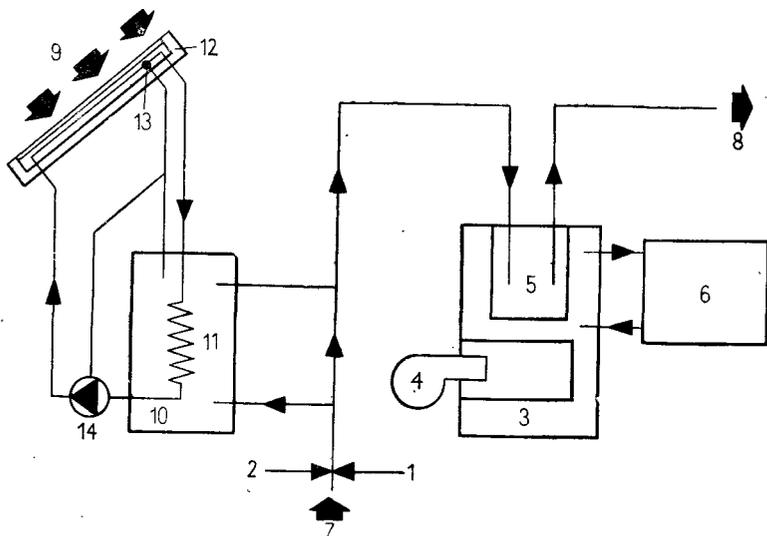


Рис. 30. Система солнечного отопления как дублер системы отопления на жидком топливе (Х. Рюеш)

1 — существующая система отопления на жидком топливе; 2 — дополнительное оборудование; 3 — двухцелевой бойлер; 4 — газовая горелка; 5 — бойлер с горячей водой; 6 — радиатор и теплый пол; 7 — холодная вода; 8 — горячая вода; 9 — радиация; 10 — двухкорпусный солнечный бойлер; 11 — теплообменник; 12 — солнечный коллектор водяного типа; 13 — термостат для регулировочного насоса; 14 — циркуляционный насос

ционирование осуществляется за счет солнечной энергии. Полезная площадь составляет около 410 м^2 . Солнечные коллекторы, поглощающие воду, делаются из алюминия и имеют площадь поглощающей поверхности 71 м^2 . Аккумулятор тепла вмещает 23 тыс. л воды. Теплоотдача осуществляется с помощью наполненных водой труб, которые проходят по потолку и полу. Установка снабжена также тепловыми насосами. Эта система удовлетворительно функционирует с 1956 г.

5.2.11. Система Вагнера, или пассивное использование солнечной энергии. В зданиях, оборудованных системой такого рода, солнечная радиация непосредственно конвертируется в обогревание воздуха. Там нет солнечных коллекторов, но дом частично или полностью имеет покрытие из прозрачного стекла. Воздух между стеной дома и наружным стеклом нагревается вследствие парникового эффекта. Само здание обычно служит частью аккумулятора.

Типичный пример — «Растущий дом» (архит. М. Вагнер). Это здание, спроектированное в 1931 г., имеет площадь около 94 м^2 . Гостиная находится в центре здания, а другие комнаты расположены вокруг нее. Дом окружен стеклянным покрытием на расстоянии 1,5 м от конструкций. Эта воздушная подушка позволяет

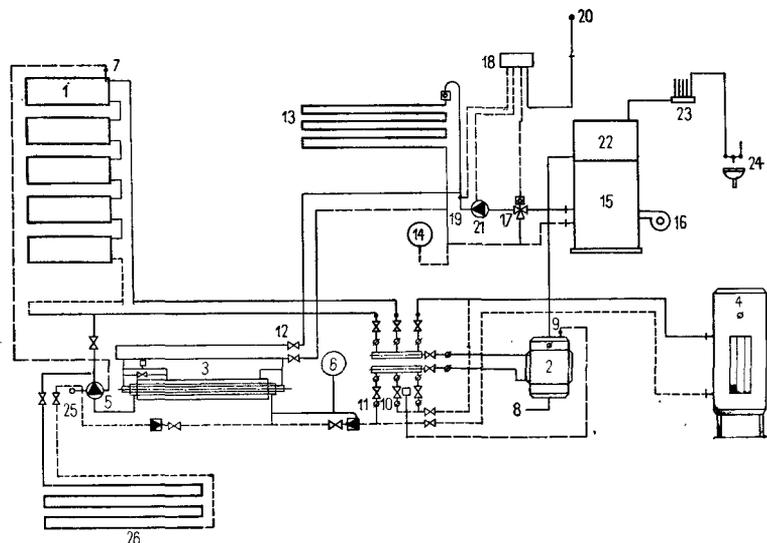


Рис. 31. Солнечно-отопительная система (Р. Шерер)

1 — солнечный коллектор; 2 — двухкорпусный солнечный бойлер; 3 — теплообменник; 4 — аккумулятор лишнего тепла; 5 — насос для циркуляции используемого теплоносителя; 6 — расширитель для используемого теплоносителя; 7 — термостат для регуляционного насоса; 8 — используемая холодная вода; 9 — термостат; 10 — магнитный клапан переключения; 11 — выпускной клапан переполненной емкости; 12 — запорный клапан; 13 — теплый пол; 14 — расширительная камера; 15 — двухцелевой бойлер для различного топлива; 16 — горелка для жидкого топлива; 17 — смесительный клапан; 18 — регуляция наружной температуры; 19 — выпускной датчик; 20 — наружный датчик; 21 — циркуляционный насос отопления; 22 — двухкорпусный двухцелевой бойлер; 23 — распределитель горячей воды; 24 — горячая вода; 25 — щиток; 26 — установка для таяния снега

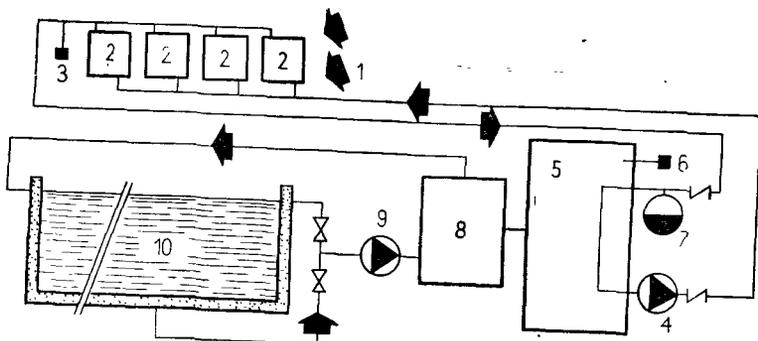


Рис. 32. Схематическая диаграмма системы солнечного водонагревания плавательного бассейна

1 — радиация; 2 — солнечный коллектор водяного типа; 3 — термостат для регуляционного насоса; 4 — циркуляционный насос; 5 — солнечный двухкорпусный бойлер; 6 — теплообменник; 7 — расширитель; 8 — фильтр; 9 — насос фильтра; 10 — плавательный бассейн

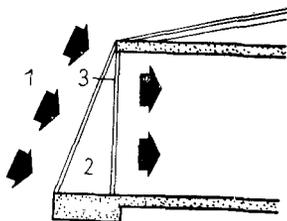


Рис. 33. Система пассивного солнечного обогрева (Вагнер)

1 — радиация; 2 — пространство, нагреваемое с помощью парникового эффекта; 3 — стена дома

достичь парникового эффекта. Эта идея также используется в автономном «солнечном доме», который исследуется в Кэмбридже. О нем уже говорилось выше.

5.2.12. Другие системы. Кроме описанных выше существует много других систем. Во многих патентных бюро во всем мире зарегистрированы тысячи наименований. Современная солнечная обогревательная система часто бывает снабжена тепловым насосом и иногда солнечными элементами, которые еще увеличивают число возможных комбинаций. Во многих случаях

принципы и основные элементы остаются такими же, как и в системах, о которых говорилось выше.

Возможность использования солнечной энергии с целью отопления очень оптимистично оценивается в некоторых странах. По прогнозам Г. Гейяна, французского инженера-электрика, Франция сможет сэкономить около 5 тыс. кВт·ч электроэнергии на каждый дом в 2000 г., если будет построено миллион «солнечных домов». Это даст ежегодную экономию примерно 5 млрд. кВт·ч, а учитывая горячее водоснабжение и отопление, — 7 млрд. (10⁹) кВт·ч (7 тыс. кВт·ч на 1 дом). Это означает 0,7% всех потребностей Франции в электроэнергии в 2000 г. Фактические возможности еще более значительны. Р. Шерри и М. Морс, авторы книги «Солнечная панель», предполагают, что 35% обогрева и воздушного кондиционирования зданий в США к 2035 г. будет производиться за счет солнечной энергии. К 1985 г. 2 млн.

баррелей нефти может быть сэкономлено ежедневно за счет солнечного обогрева.

Эксперименты в Туркмении (СССР) показали, что дополнительная стоимость зданий, оборудованных такими системами (отопление, 300 л горячей воды на семью в день и кондиционирование летом), составит не более 4—6% всей стоимости здания. Это может окупиться в сравнительно короткий срок за счет экономии электроэнергии и нефти.

К сожалению, очень важные вопросы пропорций между стоимостью зданий и солнечной энергии еще не обсуждались в деталях. Основная проблема состоит в том, что для каждого здания и разных климатических условий существуют свои оптимальные цифры. Ученые и инженеры до сих пор не пришли к единому мнению по поводу оптимальных методов использования солнечной энергии.

Институт Батей в Женеве (Ж. К. Курвуазье и Ж. Фурнье) опубликовал интересные расчеты для района Женевского озера, касающиеся использования солнечной энергии для обогрева. В Женеве, Лозанне и Невшателе ежегодные потребности в нефти для отопления жилищ исчисляются в 3043 л (в Лейсане — 5650 л). Расчеты показывают, что даже при средней интенсивности излучения (число солнечных часов в год в Женеве — 1979, в Лозанне — 1971, Невшателе — 1699, Лейсане — 1808) возможна довольно большая экономия нефти.

Для дома с жилой площадью 120 м² и поверхностью коллектора 50 м² (эффективность 70%) 48% ежегодно потребляемой нефти может быть сэкономлено в Женеве (1463 л), 52% в Лозанне (1583 л), 41% в Невшателе (1245 л), 47% в Лейсане (2650 л). Таким образом, использование солнечной энергии для обогрева домов в Швейцарии приведет к значительной экономии нефти, будут сэкономлены большие средства, а кроме того, меньше будет загрязняться окружающая среда.

5.3. ОХЛАЖДЕНИЕ ПОСРЕДСТВОМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

На первый взгляд может показаться парадоксальным получение холода из солнечного тепла. Однако посредством использования солнечной энергии можно получить множество нужных для человека благ — от кондиционирования помещений до изготовления льда.

Если здание нуждается летом в кондиционировании при нормальных европейских условиях, то это результат непродуманного решения его конструкций. Даже в жарких странах, например в Северной Африке или на Среднем Востоке, дома могут быть построены таким образом, что в них без специального оборудования будет сохраняться естественная прохлада. В традиционной архитектуре существует много примеров подобных решений. Однако если воздушный кондиционер необходим, то можно ис-

пользовать энергию солнца, поскольку в жаркие дни, когда нужно охлаждение, энергия солнечного излучения максимально доступна и таким образом полностью отпадает забота об аккумулировании энергии. Воздух в комнатах может охлаждаться посредством солнечного тепла, с использованием простых естественных процессов, например испарения жидкостей.

5.3.1. Охлаждение помещений (эффект охлаждения путем испарения воды). Известный физический принцип гласит, что при испарении жидкостей тепло (скрытая теплота испарения) аккумулируется из окружающего воздуха и таким образом возникает эффект охлаждения. Хей и Джеллотт в своей ранее упомянутой системе использовали этот эффект для кондиционирования зданий.

На плоской кровле слой воды в 21 см летом за ночь охлаждается благодаря радиации и испарению (рис. 34). Днем вода накрывается тяжелой полиуретановой плитой толщиной 4,5 см, которая не пропускает прямую солнечную радиацию. Холодная вода на крыше охлаждает жилые помещения через потолок. Среди домов, построенных на этом принципе, «Sky-therm» — дом в Финиксе (США; архитекторы Хей и Джеллотт, 1967 г.); «Солнечный дом» в Атаседеро (Калифорния, США; архит. Хей, 1975 г.). Дом в Финиксе был испытан и получил хорошую оценку.

Основная проблема состоит в том, что во многих жарких странах, где воздушный кондиционер действительно необходим, вода редка и дорога. Это значительно повышает эксплуатационную стоимость сооружения.

5.3.2. Охлаждение помещений посредством обратного парникового эффекта. В солнечных коллекторах, действующих по принципу парникового эффекта, все направлено на то, чтобы увеличить поглощение и уменьшить потерю тепла, отражения и обратной радиации. Для охлаждения, т. е. уменьшения поглощения тепла, можно принять различные меры. В их числе:

уменьшение прямой радиации путем ориентации здания;

увеличение естественной обратной радиации;

использование прозрачных поверхностей для термической радиации (например, полиэтиленовых пленок);

подбор отражающих поверхностей на кровле и стенах (алюминий, стекло, вода, пластиковые пленки, белая отделка);
термоизоляция.

Эти меры могут комбинироваться, например внешние стены — окрашиваться белой краской, а внутренние поверхности — облицовываться алюминием. Эксперименты показали, что подобными методами можно достигнуть внутренней температуры, которая будет на 10—20° ниже, чем внешняя.

5.3.3. Солнечная энергия для естественных процессов, связанных с охлаждением. Процессы конвекции делают возможным охлаждение путем испарения жидкостей под давлением. Аммиак

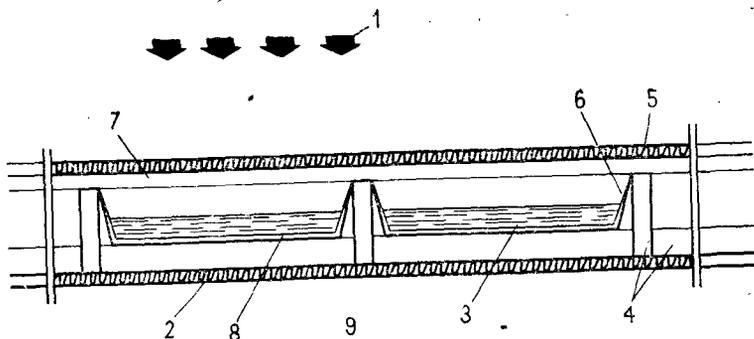


Рис. 34. Система естественного солнечного кондиционирования (Хэй-Джеллотт)

1 — радиация; 2 — утеплитель; 3 — пластиковые корыта; 4 — конструкция кровли; 5 — съемные пластиковые щиты; 6 — черный пластиковый контейнер; 7 — металлический профиль; 8 — холодная вода; 9 — жилое помещение

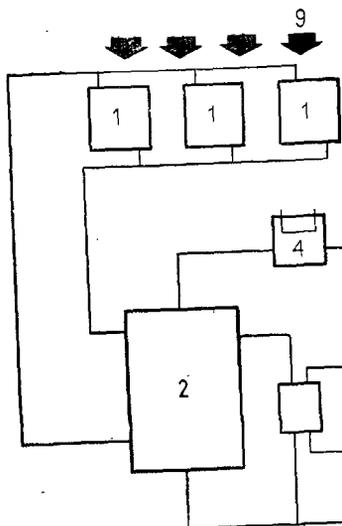


Рис. 35. Стандартный солнечный кондиционер (Л. В. Батс)

1 — солнечные коллекторы; 2 — основной аккумулятор; 3 — бойлер; 4 — запасной нагреватель; 5 — воздушные каналы; 6 — вход воздуха; 7 — абсорбер; 8 — охладитель; 9 — радиация

(раствор), отличающийся очень низкой точкой кипения, часто используется как жидкая среда. Этот процесс требует энергии, которая при определенных условиях может получаться от солнца (см. рис. 34 и 35).

Французский исследовательский институт (CNRS) построил в Пиренеях экспериментальную установку, где используется фокусирующий коллектор производительностью 25—50 кг льда в день.

Эта установка также способна преобразовать солнечную энергию в электрическую энергию, и, используя ее, приводить в действие стандартное оборудование для охлаждения.

В Советском Союзе Ариф Шодиев построил солнечный рефрижератор, в котором жидкость заменена твердым веществом. Под действием солнечной радиации это вещество, не превращаясь в жидкость, принимает форму кристаллов, что сопровождается охлаждением. Этот солнечный рефрижератор работает без компрессора. С повышением температуры окружающей среды автоматически производится больше льда.

Специалисты считают, что широкое внедрение солнечных охлаждающих установок произойдет быстрее, чем обогревательных установок, потому что максимум радиации приходится именно на те районы, где действительно нуждаются в охлаждении, и, таким образом, проблема дорогостоящего аккумулирования устраняется.

В США строятся два очень больших здания, снабженных кондиционированием на солнечной энергии. В Рокфеллеровском центре в Нью-Йорке фирма RCA строит двенадцатиэтажное административное здание, которое на 100% обогревается и частично кондиционируется за счет солнечной энергии. В Виргинии, согласно исследовательской программе NASA, строится здание площадью 18 000 м² с коллектором площадью 5000 м². Вся необходимая энергия для воздушного кондиционера в этом здании будет получаться за счет солнечной энергии.

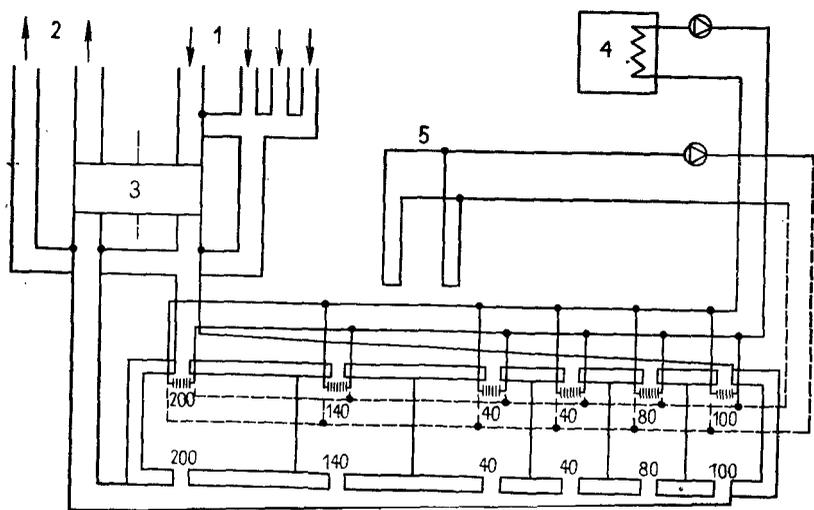


Рис. 36. Принцип солнечного кондиционирования (Филипс)

1 — пористая стена, пропускающая воздух; 2 — выход воздуха; 3 — двойной воздушный клапан с простым теплообменником, устроенным таким образом, что тепло, проходя мимо, нагревает входящий воздух; 4 — емкость для хранения горячей циркуляционной воды; 5 — подземный теплообменник

5.4. ПОДОГРЕВ ВОДЫ В ПЛАВАТЕЛЬНОМ БАССЕЙНЕ С ПОМОЩЬЮ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Владельцам плавательных бассейнов особенно выгодно использовать солнечную энергию, так как нужное оборудование лучше всего работает в жаркую погоду. В США, где частные плавательные бассейны — обычное явление, использование солнечной энергии в этом случае также нередко. В настоящее время уже свыше миллиона плавательных бассейнов оборудовано солнечными нагревательными устройствами.

А. Е. Фарбер, директор энергетической лаборатории университета во Флориде, провел сравнительные эксперименты с традиционным и солнечным источниками для подогрева воды в плавательном бассейне. Эксперименты показали, что солнечный подогрев эффективнее, особенно в тех случаях, когда система связана с солнечной отопительной системой всего дома. В этом случае температура воды может подняться на 22°C выше температуры окружающего воздуха.

Среди многих систем, предлагаемых промышленностью в США, наиболее известна система Бюрке Раббер Ко (Сан Хосе, Калифорния). Солнечные коллекторы этой системы состоят из плоских черных пластиковых контейнеров (Дюпон-Хайплон), обычно устанавливаемых на крыше. Насос качает воду из бассейна в коллекторы и после ее нагрева направляет обратно благодаря естественной термической циркуляции. Элементы коллекторов имеют стандартные размеры ($2,4 \times 2,5$; $2,4 \times 3,6$ м).

Одна американская фирма предлагает нагревательные устройства «сделай сам» для подогрева воды в плавательном бассейне, которые при нормальных условиях могут нагревать 45 тыс. л воды.

Самая большая проблема подогрева плавательного бассейна с помощью солнца — это большие потери тепла с поверхности воды. С 1955 г. Брукс, Лёф, Рут, Чернецки и другие специалисты пытались отыскать возможности сокращения потерь тепла. Один из способов — закрывать бассейн в то время, когда он не эксплуатируется, большим пластиковым щитом, изготовленным из тонкого поливинилхлорида (Чернецки). Этот щит пропускает солнечную радиацию и в то же время действует как утеплитель, сохраняющий тепло. В том случае, когда требуется вода средней температуры, тот метод позволяет продлить купальный сезон без добавления солнечных коллекторов и в то же время помогает сохранить воду чистой.

Первое в Европе солнечное нагревательное устройство для плавательного бассейна было изготовлено Брауном Бовери (Мангейм, ФРГ) (см. рис. 18). Купание на открытом воздухе в Вайле осуществлялось главным образом за счет электрического нагревания и требовал примерно 700 тыс. кВт·ч в сезон (с мая по сентябрь). Это устройство было заменено солнечной нагрева-

тельной системой, которая нагревала воду до 24° С. Электрическая энергия (для подкачки воды)¹ потребовала 70 тыс. кВт·ч за сезон (т. е. 10% от прежних расходов электроэнергии). Площадь, необходимая для установки солнечных коллекторов, — около 1500 м². Для того чтобы помещение можно было использовать в других целях, коллекторы устанавливаются по периметру его стен. Дополнительное тепло, требуемое при суровых погодных условиях, используется одновременно в охлаждающей системе катка, который заливается в этом помещении.

Таким образом, с мая по октябрь помещение используется как каток; в холодные месяцы, с ноября-декабря по февраль-март, энергия, получаемая при охлаждении катка, с помощью теплового насоса отапливает помещение плавательного бассейна. В переходные периоды (апрель-май и сентябрь-октябрь) обогрев помещения не требуется и тепло идет на нагревание бассейна, что позволяет увеличить купальный сезон (с апреля по октябрь). Ежегодная потребность в энергии катка и бассейна вместе не выше, чем раньше требовалось энергии для одного бассейна.

6. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СОЛНЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Основные функции солнечной тепловой системы — поглощение, передача, хранение и отдача тепла — выполняются множеством различных устройств (водопроводом, паровыми котлами, регулировочными приборами и т. д.). Но главными элементами, характеризующими систему использования солнечного тепла, служат коллектор и тепловой аккумулятор. Эти два элемента составляют главное звено солнечной тепловой системы, и можно сказать, что качество солнечного устройства непосредственно зависит от высокого качества его коллектора и аккумулятора. Вспомогательные функции в солнечной тепловой системе выполняет тепловой насос.

6.1. СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ

Задача солнечных коллекторов — аккумуляция солнечной радиации с максимально возможной эффективностью. Существуют различные типы коллекторов, отличающихся внешней формой наружных поверхностей, устройством поглощающих поверхностей и аккумулирующих средств.

Для отопления помещения зимой при неблагоприятной погоде солнечные коллекторы должны преобразовывать значительное количество поступающей солнечной радиации в полезное тепло. Они должны повышать рабочую температуру до 60—90° С при очень низких температурах наружного воздуха. При таких температурах коллекторы используют около 70% поступающей солнечной радиации на нагревание жидкости (или газа), посредством

которых отапливается помещение. Тип коллекторов выбирается в зависимости от задач, которым они служат. Коллекторы могут быть плоскими, поглощающими солнечные лучи, не концентрируя, а направляя или рассеивая их, а также трубчатыми, полосовыми, листовыми или полыми, преобразующими в тепло прямую солнечную радиацию, концентрируемую оптическими или другими приспособлениями.

Плоские коллекторы, будучи открытыми для солнечных лучей, что особенно важно в условиях европейского климата, представляют собой тепловой источник большой площади и низкой энергетической плотности. Для того чтобы коллектор работал правильно, он должен быть тщательно изолирован с обеих сторон.

Две фирмы, «Браун Бовери К°» (Маннгейм) и «Филипс А. Г.» (Аахен), опубликовали результаты годового эксперимента. Для нескольких местностей, включая Брегенц (Ворарльберг) и Гейдельберг, фирма «Браун Бовери» определила объем энергии, которую нужно получить. Экспериментальные устройства были снабжены поверхностными коллекторами площадью 1,5 м². Согласно средним полученным параметрам, подсчитано, что в ФРГ количество солнечной энергии может обеспечить нагрев 80% горячей воды, требуемой летом, около 20% — в зимний период и 65% — в межсезонье. Приведенные данные, естественно, зависят от климатических и технических условий (общей поверхности коллектора, объема аккумуляторов, изоляции, КПД системы и т. д.).

Фирма «Браун Бовери» впервые использовала поверхностные коллекторы для подогрева воды в открытом плавательном бассейне в Вейле — коллектор площадью в 3 тыс. м² нагревает воду до 24° С. Этот бассейн, проект которого выполнен под руководством Министерства исследований и технологии, является первым примером использования солнечной радиации в качестве энергетического источника в Западной Европе. Извлеченный из этого опыт может представлять значительный интерес при обеспечении энергией частных плавательных бассейнов (см. гл. 5).

Научно-исследовательская лаборатория фирмы «Филипс ГтвН» достигла высокой эффективности в использовании фокусирующих коллекторов, которые применялись первое время на большой площади в экспериментальном доме в Аахене.

В Англии, США, Франции и ФРГ уже применяются различные типы солнечных коллекторов.

6.1.1. Фокусирующие коллекторы (концентраторы радиации). Эти коллекторы имеют вогнутую поверхность. Типичный пример таких коллекторов показан на рис. 39. Они концентрируют солнечные лучи зеркалами или эффективными линзами. Температура от 200° С до 500° С может быть получена путем слабой концентрации (1 : 10). При более высокой концентрации лучей может быть достигнута t до 4000° С.

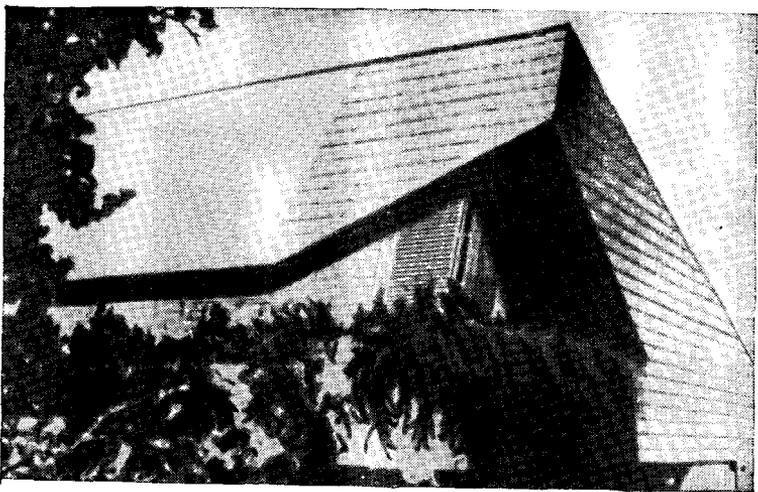


Рис. 37. Сплошная солнечная крыша (Цинко)

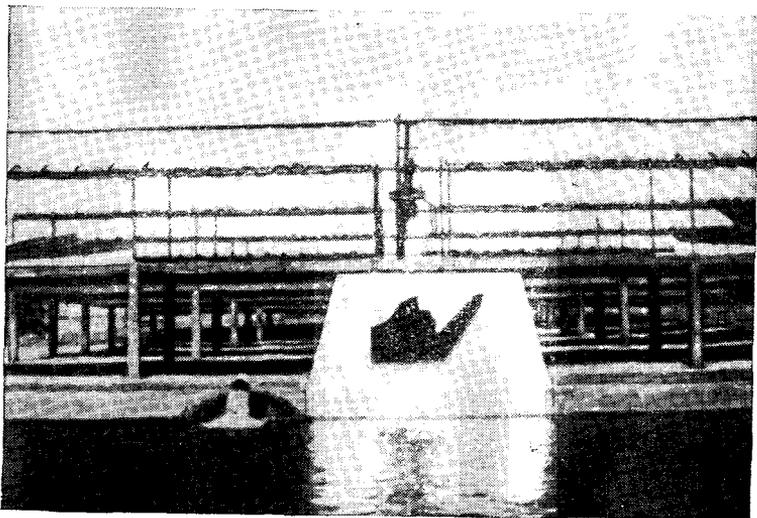


Рис. 38. Солнечная крыша в Мехико

В тяжелой индустрии или в исследовательских работах солнечные концентраторы составляют часть солнечных топков или солнечных силовых станций.

Солнечная топка в Одейло-фон-Ромё (Французские Пиренеи) имеет систему параболических зеркал 40 м высоты и 54 м ширины (фокусная длина 18,4 м). При этом достигается $t=4000^{\circ}\text{C}$ (максимальная термическая мощность установки 1000 кВт), которая используется для экспериментов по плавке.

Большие концентраторы радиации построены также в США, Японии, Австрии, Алжире, Греции, Советском Союзе и других странах.

Концентрирующие коллекторы, или, как их называют, зеркальные коллекторы, должны находиться под постоянным контролем. Они очень чувствительны к загрязнению пылью и мусором, которые снижают их оптические качества. Зеркала можно защитить от воздействия погодных условий стеклянным покрытием, но стекло в отличие от поверхностных коллекторов должно часто очищаться, чтобы не ослабить прямую радиацию добавочным рассеиванием.

Радиационные концентраторы обычно используют только прямую радиацию. Но исследования последних лет показывают, что, несмотря на это свойство, такие коллекторы могут использоваться в средневропейских климатических условиях для бытовых целей.

Солнечные коллекторы, построенные научно-исследовательской лабораторией фирмы «Филипс ГмбН», снабжены тепловым отражающим фильтром с окисью индия (Sn_2O_3), который имеет

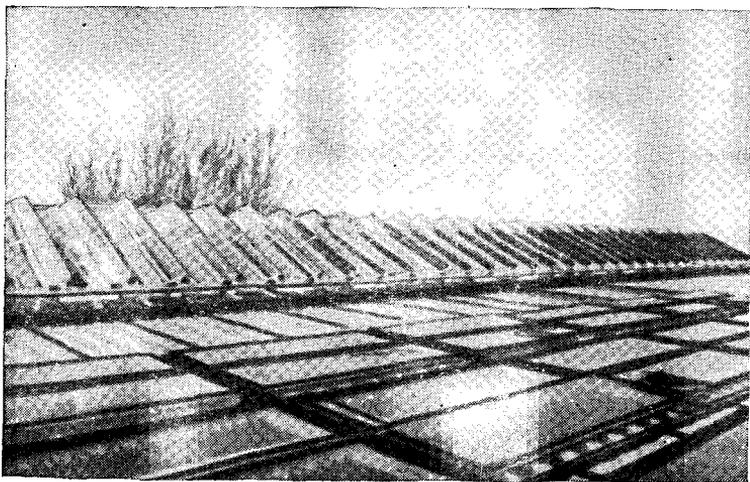


Рис. 39. Солнечная тепловая установка с фокусирующими и плоскими солнечными панелями

трансмиссию для солнечного света $T=85\%$ и отражатель для тепловой радиации $R=90\%$. Коллектор обладает поглощающей способностью солнечной радиации, равной 95% . Некоторые показатели, характерные для коллектора фирмы «Филипс» с дополнительным покрытием, приводятся в табл. 8. Эти показатели были получены экспериментально при нагреве воды в летних условиях.

ТАБЛИЦА 8. ПОКАЗАТЕЛИ КОЛЛЕКТОРОВ ФИРМЫ «ФИЛИПС»

Погодные условия	Общая радиация, Вт/м ²	КПД, %
Безоблачное небо, ясно	800	61
Слабая облачность, туман	600	58
Средняя облачность	300	45
Сплошная облачность	150	20

Фирма «Лайби, Нойеншвандер и К°» (Берн, Швейцария) также выпускает фокусирующие солнечные коллекторы, которые состоят из многочисленных параболических зеркал. Прямая радиация, поглощаемая зеркалами, концентрируется в трубе, направленной по фокусирующим линиям, проходя через которую поток жидкости нагревается. Для избежания тепловых потерь при передаче концентрируемая энергия должна попадать непосредственно внутрь трубы, которая для этой цели делается прозрачной. Внутри нее имеется черный поглотитель, который передает полученную энергию на нагревательные средства с помощью конвекции.

В Великобритании компания «Силовые системы» использует параболические фокусирующие солнечные коллекторы, в которых цилиндрические параболические рефлекторы вращаются вокруг трубы по фокусирующим направлениям, следуя солнцу. Труба с циркулирующей жидкостью зачернена для поглощения радиации и покрыта концентрической стеклянной трубкой для уменьшения тепловых потерь.

Дальнейшая эксплуатация покажет, какой тип коллектора наиболее экономичен.

6.1.2. Плоские коллекторы. Этот тип коллекторов имеет плоскую поглощающую поверхность, его работа основана на парниковом эффекте. Плоские коллекторы состоят из каркаса (пластикового, стеклянного или деревянного), прозрачного покрытия (одинарного, двойного, тройного, стеклянного или пластикового), поглощающих поверхностей (избирательных или неизбирательных), изоляции и средств передачи тепла (воздух, вода, масло, бензин и т. д.).

Характерные особенности избирательных наружных поверхностей в современных солнечных коллекторах были экспериментально изучены проф. Табором, который определил оптимальную комбинацию двух тонких слоев прозрачного покрытия, которая обеспечивает 94% поглощения солнечной радиации при 6% соответствующей эмиссии. Все элементы плоского коллектора образуют вместе устройство для поглощения солнечной радиации, которое охлаждается средствами теплопередачи. Однако получаемая солнечная энергия может быть использована лишь частично, так как часть ее теряется при отражении, поглощении или утечке через конструктивные элементы.

Оптимальный по КПД плоский коллектор с температурной шкалой до 100°С должен обладать следующими качествами: прочными конструкциями; при потребности в средней температуре эффективностью не ниже 50—60%; при низких температурах — 70—80%, высоких температурах — 20—30%.

Материалы, используемые для изоляции, а также облицовки плоского коллектора должны обладать возможно более низкой теплопроводностью. При коротком периоде солнечной радиации рабочая температура коллектора должна достигаться в минимальные сроки. Наружная поверхность теплоизоляции должна быть устойчива при любых атмосферных условиях.

Главные теплотери коллекторов происходят вследствие загрязнения, затенения от стоек и перемычек каркаса, отражения от стеклянных покрытий, а также при передаче тепла сквозь стекло. Кроме того, существуют потери радиации, передаваемой стеклянными покрытиями, возникающие в результате теплопотерь через водосточные желоба в поглощающих поверхностях (они пропорциональны разности в температурах наружных и поглощающих слоев и, следовательно, могут быть представлены значением K для коллектора), а также потери тепла от поглощения холодной воды, конвекции в воздушных слоях между поверхностью коллектора и стеклянным покрытием, потери тепла, проводимого через стойки или изоляцию стеклянного покрытия и через воздух между коллектором и стеклянным покрытием.

Соотношение между энергией поступающей радиации и полезной тепловой производительностью определяет эффективность коллектора. Самая высокая температура, которая может быть получена коллектором, достигается тогда, когда добавочное полезное тепло не уходит через средства теплопередачи, т. е. когда полученная энергия радиации равна потерям коллектора плюс извлеченное полезное тепло. Это называется непроеизводительной, или уравновешенной, температурой.

Различные непроеизводительные температуры соответствуют проекту и качеству коллектора, интенсивности радиации и окружающим условиям. Например, в средней Европе солнечная радиация в 800 ккал/ч может считаться нормальной величиной. При такой радиации коллектор с одинарным остеклением может

выработать температуру до 100°C , в то время как коллектор с тройным остеклением может дать температуру до 190°C , а обычный коллектор с плоским покрытием обеспечивает нагрев лишь до $70\text{--}80^{\circ}\text{C}$.

Эффективность коллектора может быть увеличена специальной обработкой стеклянного покрытия, панелей, листового материала и поглощающих поверхностей. Коллектор с эффективностью 70% может рассматриваться как нормальный в случае обычного низкого уровня тепла.

Размеры поглощающих поверхностей установки зависят от того, как много требуется тепла, как спроектированы дом и коллектор, от географических и климатических условий. Для горячего ($t = 80\text{--}100^{\circ}\text{C}$) водоснабжения дома в средней Европе достаточно коллектора площадью $7\text{--}10\text{ м}^2$ в том слу-

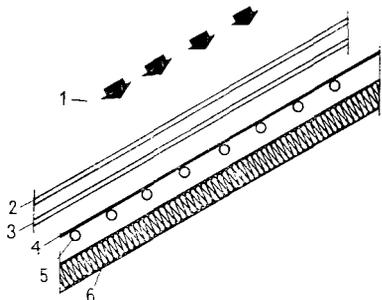


Рис. 40. Солнечный водяной коллектор (тип MIT)

1 — радиация; 2 — стеклянное листовое покрытие; 3 — второе стеклянное покрытие; 4 — черная металлическая поверхность; 5 — медные водопроводные трубы; 6 — изоляция

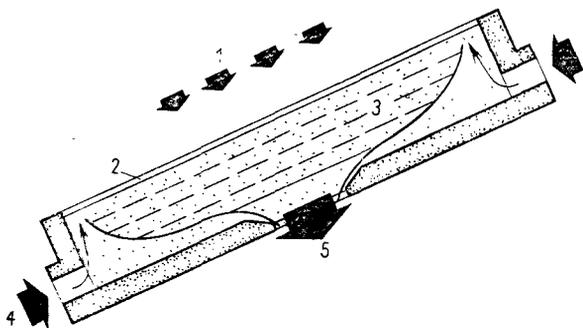


Рис. 41. Солнечный воздушный коллектор (Де-нован-Блисс)

1 — радиация; 2 — двойное остекление; 3 — поглощающая поверхность металлической конструкции; 4 — холодный воздух; 5 — выпуск теплого воздуха в аккумулятор

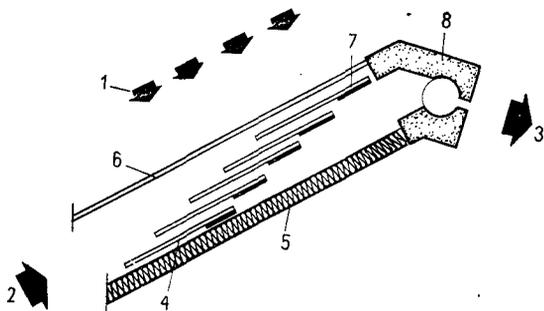


Рис. 42. Солнечный воздушный коллектор (Лёф)

1 — радиация; 2 — холодный воздух; 3 — выпуск теплого воздуха в аккумулятор; 4 — пластинки из темного стекла; 5 — изоляция; 6 — покрытие; 7 — пластины с зачерненной поверхностью; 8 — каркасная конструкция

чае, если возможно хранение соответствующего количества энергии. Для обогрева комнаты площадью от 30 до 150 м² требуется при соответствующей инсоляции и климатических условиях добавочная мощность теплового возмещения, получаемая от аккумулятора. Наклон коллекторов определяется обычно для зимних условий (см. рис. 46 и 47).

Величины, полученные экспериментально, следующие:

наклон — от +10° до +15° (по отношению к горизонту);

если коллектор используется только в летнее время, то наклон — 15°.

Наиболее известными «классическими» коллекторами считаются: водяной тип — МИТ (рис. 40); воздушный тип — Денован-Блисс (рис. 41); воздушный тип — Лёф (рис. 42); масляный тип — Александров (рис. 43); воздушный тип — Франция (рис. 44).

Не считая этих ставших уже классическими коллекторов, в сегодняшней практике используются и другие модели, снабженные интересными усовершенствованиями. Солнечные коллекторы, работающие летом и зимой в суровых климатических и тепловых режимах, подвергаются различным опасностям, которые могут быть учтены в проекте.

Основные проблемы, встречающиеся при эксплуатации солнечных коллекторов, следующие: перегрев, опасность замерзания, коррозия, загрязнение, повреждение, тепловое расширение (сужение), утечка тепла.

Эти проблемы могут изменяться в зависимости от климатических условий, средства их устранения меняются от одной модели к другой. Фирма-изготовитель гарантирует работу коллекторов, обеспечивает такие технические характеристики, как эффективность, тепловые величины и т. д., в соответствии со стандартом.

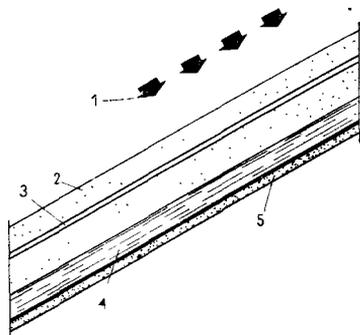


Рис. 43. Масляный тип солнечного коллектора (Александров)

1 — радиация; 2 — конструкция крыши; 3 — прозрачное покрытие; 4 — масло; 5 — черная поглощающая металлическая поверхность

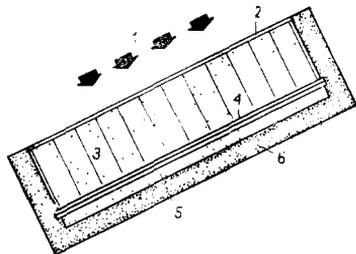


Рис. 44. Воздушный тип солнечного коллектора (Франция)

1 — радиация; 2 — прозрачное покрытие; 3 — шестиугольные призмы из тонкого пластика; 4 — поглощающая поверхность; 5 — изоляционный слой; 6 — каркасная конструкция

6.2. СИСТЕМА АККУМУЛЯТОРОВ

Одна из основных проблем использования солнечной энергии для центрального отопления состоит в том, что солнечного тепла достаточно в тот сезон, когда меньше всего требуется отопление. Наоборот, отопление требуется тогда, когда дневное солнечное излучение составляет всего несколько часов. Таким образом, чтобы использовать солнечную энергию тогда, когда она действительно нужна, она должна быть не только собрана, но и сохранена. Совершенная система сохранения солнечной энергии должна работать днем и ночью, летом и зимой.

Тепло, полученное от солнца, может быть использовано также и без аккумулятора, если полученная сумма этого тепла достаточна. Если же потребность в тепле больше, чем может дать солнце, то к солнечному теплу можно добавить энергию от других источников, например нефти (масла). «Краткосрочное» хранилище энергии должно сохранять ее от нескольких часов до нескольких дней, но в этом случае потребуются значительное вспомогательное нагревание.

Использование системы солнечного отопления с кратковременным хранением энергии означает, что около 50—70% этой энергии может быть сэкономлено в зависимости от климатических условий и инженерных конструкций. При долгосрочном хранении энергии излишек тепла, полученного за лето, должен сохраниться для зимы. Аккумулятор может удерживать энергию благодаря увеличению накапливаемого тепла, что является следствием повышения температуры теплоносителя. Полезное тепло, будучи результатом особого рода тепла, в свою очередь, изменяет массу и температуру.

В результате утилизации полезного тепла жидкого или твердого содержимого резервуара внутренняя энергия системы изменяется путем увеличения кинетической и потенциальной энергии молекул вещества, заполняющего резервуар. Увеличение внутренней энергии может быть результатом изменения состояния субстанции, например перехода от жидкого состояния к твердо-

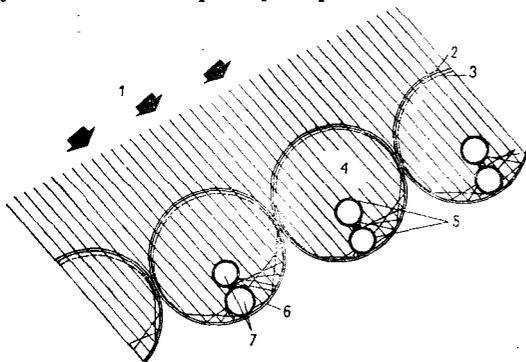


Рис. 45. Водяной тип фокусирующего концентратора радиации («Филипс»)

1 — радиация; 2 — стеклянные трубы; 3 — фильтр теплового отражения; 4 — вакуум; 5 — трубы, покрытые поглощающей черной стекловидной эмалью; 6 — серебряное зеркало (поверхность), 7 — циркуляция горячей воды

му. В этом случае внутренняя энергия аккумулятора изменяется при помощи эквивалента «скрытого» тепла, который соответствует изменению его состояния (например, скрытое тепло плавления или испарения). Таким образом, тепловые аккумуляторы подразделяются на два типа: открытого и скрытого тепла.

В большинстве стран наиболее дешевым средством аккумуляции тепла является вода. Это дает возможность получить для самый высокий уровень тепла. Табл. 9 содержит показатели для

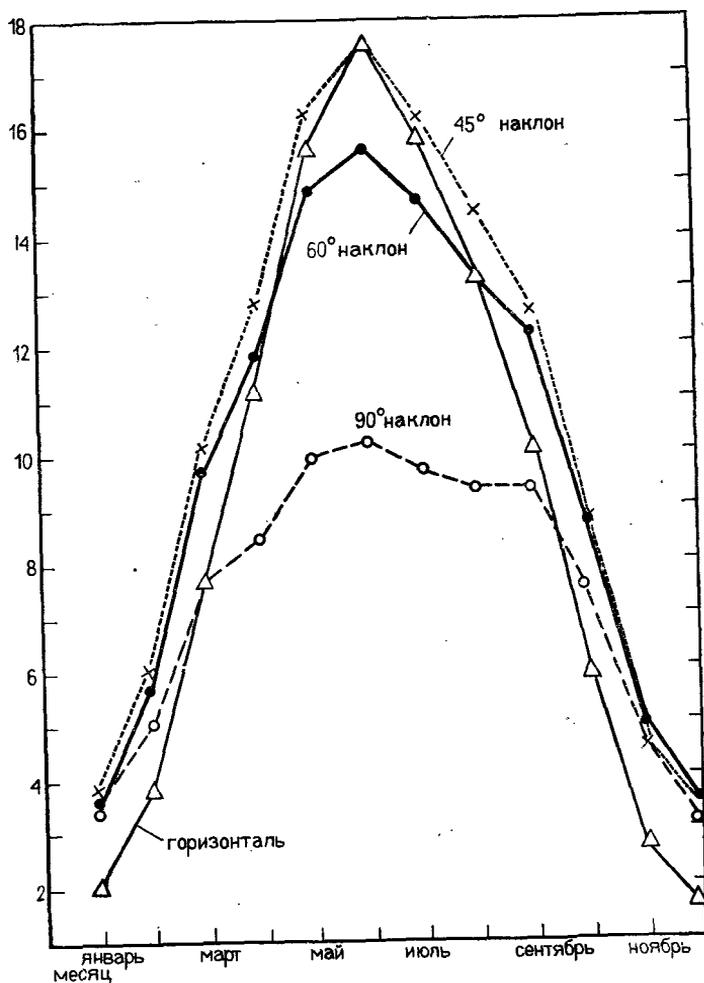


Рис. 46. Средние ежемесячные величины полного излучения при уклоне поверхности 45°, 60° и 90° относительно горизонтальной плоскости. Рассчитаны от горизонтальной плоскости. 1957—1971 гг. (с разрешения ИК — ISES) (В MJ/m² в день)

различных материалов, заполняющих аккумуляторы, выраженные как специальное тепло, измеренное в ккал/(м³·°C).

Наиболее важными критериями качества в выборе соответствующего типа аккумулятора являются следующие показатели: сколько тепла, когда и какой температуры должен отдавать аккумулятор;

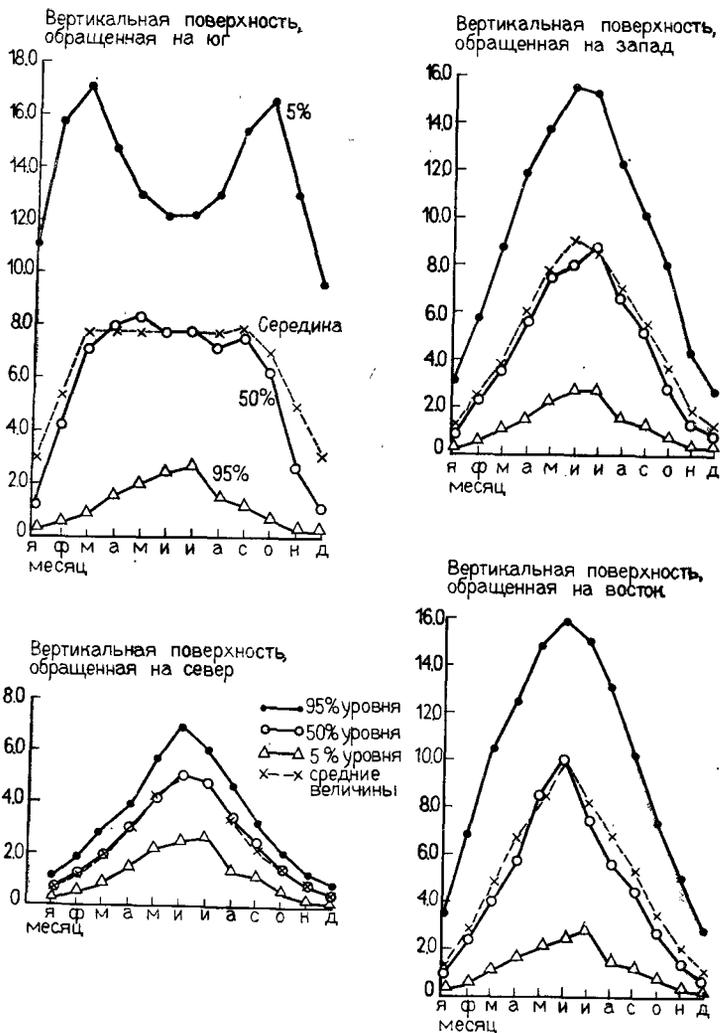


Рис. 47. Среднемесячные значения ежедневного излучения на вертикальную поверхность по Брэнселлу; превышающие 5% дней — нижняя сплошная кривая, в течение 5% дней — верхняя сплошная кривая, в течение 50% дней — средняя сплошная кривая; верхние пределы средних ежемесячных значений показаны пунктирной линией. Земная отраженная радиация исключается использованием соответствующих экранных приспособлений (с разрешения УК—ISES) (В MJ/м² в день)

ТАБЛИЦА 9. ПОКАЗАТЕЛИ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ АККУМУЛЯТОРОВ

	ккал/(м ³ ·°С)
Кирпичная кладка	320—360
Бетон	450—600
Песок	308
Камень	475—588
Вода	1000

какие тепловые потери имеют место в период хранения;
какая площадь необходима аккумулятору;

в каких конструкциях должен быть решен аккумулятор для того, чтобы его стоимость была минимальна при данной мощности;

каково соотношение между накопленной и вводимой извне энергией.

Для того чтобы решать проблемы хранения энергии наиболее экономичным способом, что в принципе не так сложно, но пока еще очень дорого, во всем мире ведутся исследования. Примером служит хорошо инсолируемый дом в Швейцарии (400 м над уровнем моря), который требует около 15—22 Гкал энергии в год.

Часть этой энергии может быть запасена зимой с помощью тепловых насосов. Таким образом, согласно расчетам П. Кесселринга, в летний период необходимо запастись для зимы только около 6 Гкал солнечной энергии. Однако специалисты до сих пор не достигли соглашения относительно необходимого объема энергетического резервуара. Работа системы, обеспечивающая ее независимость в период плохой погоды, связана с преобладающими климатическими условиями и изменяется от 6 часов до 10 дней. Естественно, труднее и дороже дожидаться двух удовлетворительных дней в Дании, чем десяти таких же на Канарских островах. Тепловые системы, основанные на использовании солнца, дают несколько вариантов хранения тепла. Например, можно использовать воду или насыпную гальку (камень); иногда в качестве средства хранения тепла используют окружающий грунт.

Хранение тепла — всегда относительно дорого стоит.

Для решения проблемы предложены системы, где изолированный объем аккумулятора необязателен. Так, в системах Лефевра, Моргана и Тромба — Мишеля сами конструкции здания сохраняют тепло, благодаря чему стоимость всей солнечной установки существенно снижается. В Японии применяются солнечные установки для горячего водоснабжения, в которых коллекторы сочетаются с аккумуляторами.

6.2.1. Резервуары горячей воды. Резервуары горячей воды наиболее распространены для накопления энергии. Многие специа-

листы рассматривают горячую воду как лучшую форму хранения тепла, хотя проблемы коррозии представляют некоторые трудности. Для того чтобы избежать тепловых потерь, водяные резервуары должны быть хорошо изолированы. Иногда используются в качестве хранителя тепла вода и галька (камень) в комбинации. 1 м³ чистой воды сохраняет 1000 ккал/°С.

Температура, при которой вода может быть использована для обогрева, начинается от 70—80°С и кончается при использовании тепловых насосов около 4°С. Согласно исследованиям Фишера, хорошо изолированный односемейный дом с объемом резервуара горячей воды в 200 м³ может сохранить достаточно энергии, накопленной за лето, до зимы, имея в виду непрерывный ввод мощностей осенью, зимой и весной. Используемое тепловое содержание аккумулятора меньше, чем его объем, поскольку между хранением и использованием происходят тепловые потери в окружающую среду. Постоянное время потерь зависит от контролируемых геометрических и материальных параметров, в частности следующих:

- объема хранилища и площади поверхности слоя;
- толщины изоляции;
- определенной температуры жидкости, заполняющей аккумулятор;
- теплопроводности изоляционных материалов.

Если определенная сумма тепла достаточна на данный отрезок времени, то возможны различные методы его хранения. Можно использовать небольшой, но хорошо изолированный резервуар или большой аккумулятор с более коротким постоянным временем нагрева, т. е. с более высокими тепловыми потерями. Вопрос состоит в том, какое решение оптимально. Оптимальность решения проблемы определяется стоимостью самого аккумулятора, а также стоимостью его содержания. Наиболее важны следующие факторы:

- стоимость 1 м³ конструкций аккумулятора;
- стоимость 1 м³ изоляции;
- минимальная допустимая температура;
- температурные различия между аккумулятором и окружающей средой;
- продолжительность периода работы аккумулятора;
- количество тепла, пригодного для использования по истечении определенного отрезка времени.

Исходя из перечисленных условий параметры аккумулятора могут быть рассчитаны так, чтобы максимально снизить стоимость установки. По возможности тепло, отдаваемое окружающей среде (потери хранения), должно быть полезным для дома, т. е. сохраняться внутри дома. Также полезно наслаивать хранящееся тепло в трех различных температурных уровнях, которые вместе можно использовать для трех различных целей. Например, бытовая вода ($t = 50—80^{\circ}\text{C}$), вода для отопления дома в пе-

рекрытии пола ($t=30-50^{\circ}\text{C}$) и вода ($t>30^{\circ}\text{C}$) как вводимая в солнечные коллекторы мощность. В конце осени все три камеры должны нагревать вместе воду до 80°C , чтобы с началом зимнего сезона использовать вместимость аккумулятора целиком для максимального обеспечения теплом.

Первый «солнечный дом», MIT 1, построенный в Кембридже, США, в 1939 г., накапливал солнечную энергию для зимы. Дом имел жилую площадь $46,5\text{ м}^2$ и водяной резервуар объемом 62 м^3 (см. гл. 5, рис. 23). На рис. 48—51 показаны различные варианты водяных нагревательных резервуаров.

6.2.2. Аккумуляторы с каменным наполнителем. Такие дешевые материалы, как камень, крупнозернистый гравий или галька (бетонная или кирпичная), являются хорошими аккумуляторами тепла. Однако эти материалы нуждаются в больших емкостях вследствие незначительного температурного диапазона, который пригоден для обычных плоских солнечных коллекторов или который желателен для высокой эффективности. Хотя стоимость материала незначительна, сам контейнер, пространство, требуемое для хранилища, а также загрузочные и разгрузочные устройства достаточно дороги. Передача тепла при этом обычно очень проста. В аккумуляторы с «твердым материалом» воздух попадает прямо через слои камня или через трубопровод в бетонном хранилище и нагревается или охлаждается (см. гл. 5, рис. 28). Загрузка или разгрузка этих аккумуляторов с постоянно изменяющейся температурой требует устройства автоматического контроля, который мог бы регулировать эту постоянно колеблющуюся систему. Эти аккумуляторы уже исследованы теоретически и экспериментально во всем мире (рис. 52—55).

Обладая 30%-ной пористостью при трехслойной загрузке, камень в отличие от воды заполняет лишь треть объема аккумулятора. Часто аккумуляторы с каменным наполнением требуют в четыре раза большего объема, чем водяные резервуары той же мощности. Камни обычно имеют диаметр 5 см и менее. 1 м^3 камней может сохранить около $400\text{ ккал}\cdot^{\circ}\text{C}$.

В 1945 г. Джорж Д. Лёф построил первый «солнечный дом» («Валунный дом» в Колорадо), в котором тепловой запас обеспечивался 8 т гравия объемом около 5 м^3 .

6.2.3. Химические аккумуляторы. В 1944 г. проф. Мария Теллес из Делаварского университета создала систему солнечного аккумулятора, используя глауберову соль ($\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$). При повышении температуры с 27 до 38°C соль способна аккумулировать по крайней мере в восемь раз больше тепла, чем тот же самый объем воды выше той же температурной шкалы. Глауберова соль плавится при температуре 38°C , и поглощенное тепло вновь уходит на ее отверждение.

Стоимость такого аккумулятора выше, чем водяного, но экономия достигается за счет объема и изоляционных материалов. Глауберова соль не изменяется в объеме и не нуждается в обнов-

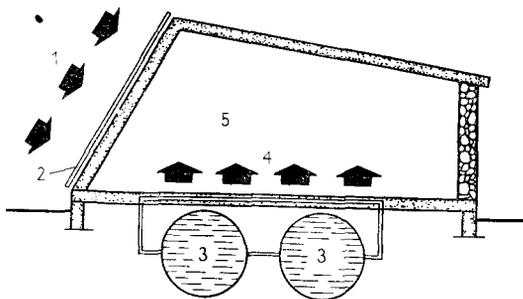


Рис. 48. Система теплового аккумулятора (водяной резервуар)

1 — радиация; 2 — солнечный коллектор водяного типа; 3 — подземный изолированный резервуар воды; 4 — теплоотдача через змеевик, расположенный под полом, или через радиаторы; 5 — жилое пространство

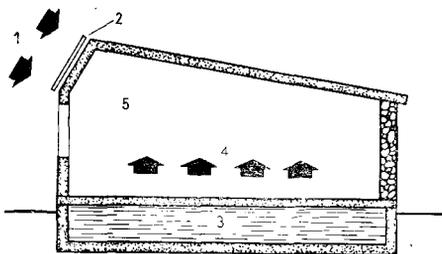


Рис. 49. Система теплового аккумулятора. Резервуар горячей воды под полом

1 — радиация; 2 — солнечный коллектор водяного типа; 3 — вода в изолированном бетонном резервуаре; 4 — теплоотдача; 5 — жилое пространство

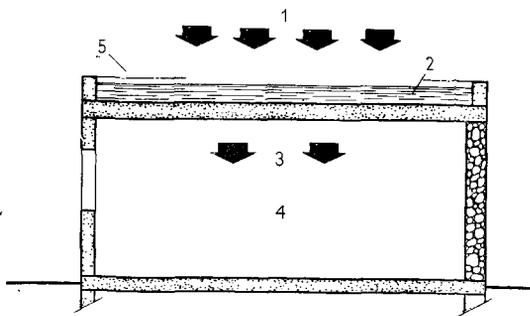


Рис. 50. Система теплового аккумулятора. Резервуар с водой на плоскости крыши (Хей-Джеллотт)

1 — радиация; 2 — слой воды в черных пластиковых желобах; 3 — теплоотдача; 4 — жилое пространство; 5 — подвижные покрытия

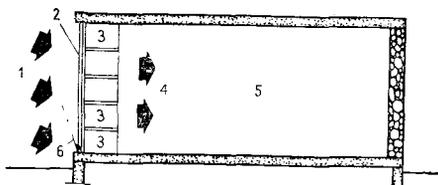


Рис. 51. Система теплового аккумулятора. «Водяная стена» как аккумулятор тепла (С. Бэйер)

1 — радиация; 2 — стеклянные панели; 3 — 20 контейнеров с 200 л воды в каждом (наружная сторона зачернена); 4 — теплоотдача; 5 — жилое пространство; 6 — подвижные покрытия

Рис. 52. Система теплового аккумулятора (резервуар с каменным заполнением) находится под полом

1 — радиация; 2 — солнечный коллектор; 3 — жилое пространство; 4 — теплоотдача; 5 — каменный наполнитель в изолированном пространстве

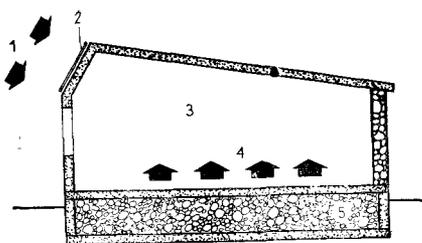


Рис. 53. Тепловой аккумулятор с каменным наполнителем, работающий как «центральный очаг» (система «горного солнца»)

1 — радиация; 2 — солнечный коллектор; 3 — изолированное пространство с каменным наполнителем; 4 — теплоотдача; 5 — жилое пространство

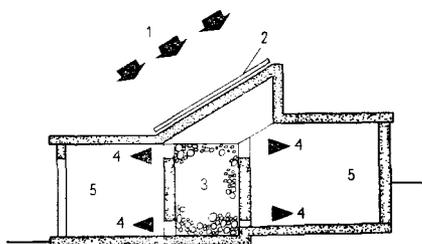


Рис. 54. Тепловой аккумулятор с бетонными, сохраняющими тепло стенами (Тромб—Мишель)

1 — радиация; 2 — стеклянные панели; 3 — толстые бетонные стены, служащие аккумуляторами (черные снаружи); 4 — движение теплого воздуха в жилое помещение; 5 — движение холодного воздуха в коллектор; 6 — жилое пространство; 7 — выпуск воздуха; 8 — воздушная прослойка

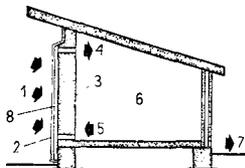
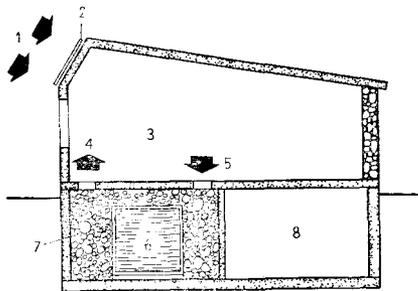


Рис. 55. Смешанный аккумулятор с каменным наполнителем и водой (Томасон)

1 — радиация; 2 — солнечный коллектор; 3 — жилое пространство; 4 — движение теплого воздуха в жилое помещение; 5 — возврат холодного воздуха; 6 — резервуар с горячей водой; 7 — каменный наполнитель; 8 — погреб



лении. Дом Пибоди в Довере (США), построенный между 1944 и 1948 г., с аккумуляторами на глауберовой соли, нагреется за 6—10 дней, аккумулируя солнечную энергию.

В 1961 г. Мария Телкес провела экономические расчеты для среднего дома с 75 600 ккал накопленного тепла. Данные приведены в табл. 10.

ТАБЛИЦА 10. СРАВНИТЕЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ С ВОДЯНЫМ, КАМЕННЫМ И ХИМИЧЕСКИМ ЗАПОЛНИТЕЛЯМИ (НАКОПЛЕННОЕ ТЕПЛО СОСТАВЛЯЕТ 75 600 ККАЛ)

Показатель	Вода	Камень	Химические элементы
Необходимый объем, м ³	4,53	7,93	0,71
Масса, кг	4536	22680	998
Стоимость контейнера 28,25/м ³ , долл.	128	0	20
Объем конструкции 42,38/м ³ , долл.	192	336	30
Стоимость материалов, долл.	0	25	20
Общая стоимость, долл.	320	361	70

Эти результаты, однако, слишком оптимистичны, так как стоимость единицы объема резервуара для скрытого теплового накопления и для скрытой химической аккумуляции тепла берется одинаковой. Существует еще целый ряд трудностей, которые нужно преодолеть в этой системе, и много других химикатов, которые нужно исследовать. Например, «Филипс» в Аахене отобрал для изучения четырехокисный фтористый калий.

Важнейшими критериями качества в отборе пригодных химикатов служат:

большая величина теплового запаса на единицу объема;
хорошая теплопроводность в загрузочном и разгрузочном состоянии;

небольшие изменения объема;

химическая устойчивость;

низкая коррозионность;

низкая стоимость.

Для аккумуляторов, которые используют скрытое тепло, применяют гидрированные соли, которые растворяются в воде при кристаллизации и могут при этом брать много тепла. Многие из них имеют низкую стоимость и пригодны частично как «добавки» (см. прил. 1). В качестве аккумулирующих скрытое тепло материалов могут быть использованы различные органические соединения, особенно парафин.

Химические аккумуляторы могут поглощать значительно больше энергии на единицу объема при более низкой температурной шкале, чем просто резервуары. Химические аккумуляторы могут накопить тепла в пять раз больше, чем резервуары с горя-

чей водой того же объема. По сравнению с аккумуляторами с каменным наполнением химические аккумуляторы мощнее в девять раз.

Многие специалисты склонны считать, что будущее за химическими аккумуляторами, но какая система аккумуляции солнечного тепла является лучшей, покажет время. На протяжении нескольких лет уже работает много установок, которые помогут решить эту проблему.

6.3. СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛА

Тепло, поглощенное солнечным коллектором, должно быть передано в аккумулятор, а оттуда в жилое помещение. Вода и воздух — основные транспортные средства передачи тепла.

6.3.1. Вода. Вода течет по трубам, отапливая помещение посредством змеевиков под полом или с помощью специальных радиаторов. Главная проблема водяной системы — коррозия, однако эта система используется чаще, чем воздушная, так как термически более эффективна.

Приблизительно от 10 до 40 л воды в час на 1 м² поверхности коллектора циркулирует между коллектором и аккумулятором.

6.3.2. Воздух. Главное преимущество воздушной системы состоит в отсутствии проблемы коррозии, но температуры коллекторов должны быть выше, а объемы резервуаров больше, поэтому стоимость системы возрастает. Воздухообмен между коллектором и резервуаром насчитывает приблизительно 0,3 м³/мин на 1 м². В особом случае, когда отдельного резервуара не требуется (например, в системах Лефевра, Моргана и Тромба — Мишеля), воздушная система может быть экономически выгодной.

6.4. ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ

Во многих «солнечных домах» к солнечной тепловой системе добавляется важный вспомогательный элемент — тепловой насос.

Тепловой насос, используя свободные источники тепла и другие возможности, уменьшает нагрузку на солнечную тепловую систему.

Принцип теплового насоса описан английским физиком лордом Кельвином в 1852 г.

Насосная установка берет тепло из окружающей воды при низких температурах. Источником могут быть грунтовые воды, реки, ручьи, озера, почва, воздух и дренажные воды. Это свободное тепло превращается в тепло с высокой температурой и таким образом может использоваться для отопления и подогрева воды. В пасмурные дни эта система помогает солнечной установке. Тепловые насосы делают солнечные дома более независимыми в холодные периоды года, хотя нельзя забывать, что они требуют внешнего энергетического снабжения.

Первый «солнечный дом» с тепловыми насосами был построен в Новой Гаване (США) в 1950 г. «Солнечный дом» в Альбюкерке (США, 1956) также обогревается с помощью тепловых насосов. Сейчас многие современные «солнечные дома», такие, как экспериментальный «солнечный дом» (Делавер, США), снабжены системами насосов.

Однако многие специалисты выражают сомнения в целесообразности применения тепловых насосов для солнечных установок.

7. ПРОЕКТЫ И ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТЫ «СОЛНЕЧНЫХ ДОМОВ»

Хотя солнечная энергия доступна в неограниченном количестве, ее использование создает много трудностей вследствие неравномерного распределения (только 60 Вт/м² зимой) и нерегулярности радиации (день — ночь, лето — зима).

Использование энергии и ее хранение требуют относительно больших капитальных затрат; таким образом, солнечная энергия, так же как газ и электричество, должна рассматриваться как энергия, стоимость которой может быть выражена в определенных цифрах.

7.1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ «СОЛНЕЧНЫХ ДОМОВ»

При детальном проектировании зданий (ориентация, инсоляция и т. д.) должны также учитываться по возможности энергетические требования. «Солнечные дома» необходимо проектировать очень тщательно, и этот принцип должен соблюдаться в мельчайших деталях.

Ниже перечисляются основные правила, которых следует всегда придерживаться.

1. Строить с учетом климата и изучать естественные условия.
2. Проект, не учитывающий сохранение энергии, в большинстве случаев не имеет успеха и всегда неэкономичен.
3. Хорошая инсоляция всего здания обеспечивает снижение его энергетических потребностей.
4. Значение K для стен и крыши не должно превышать 0,5.
5. Уменьшать площадь окон до минимума и применять по крайней мере двойное, а если возможно, тройное остекление.
6. Располагать отверстия и солнечные коллекторы с южной стороны и правильно ориентировать здание.
7. Избегать затенения южного фасада здания.
8. Учитывать взаимосвязь эстетических и технических сторон при проектировании солнечных коллекторов и аккумуляторов тепла.
9. Учитывать, что технически и конструктивно многократное использование энергии всегда находит применение в доме (отработанная вода, освещение и т. д.).

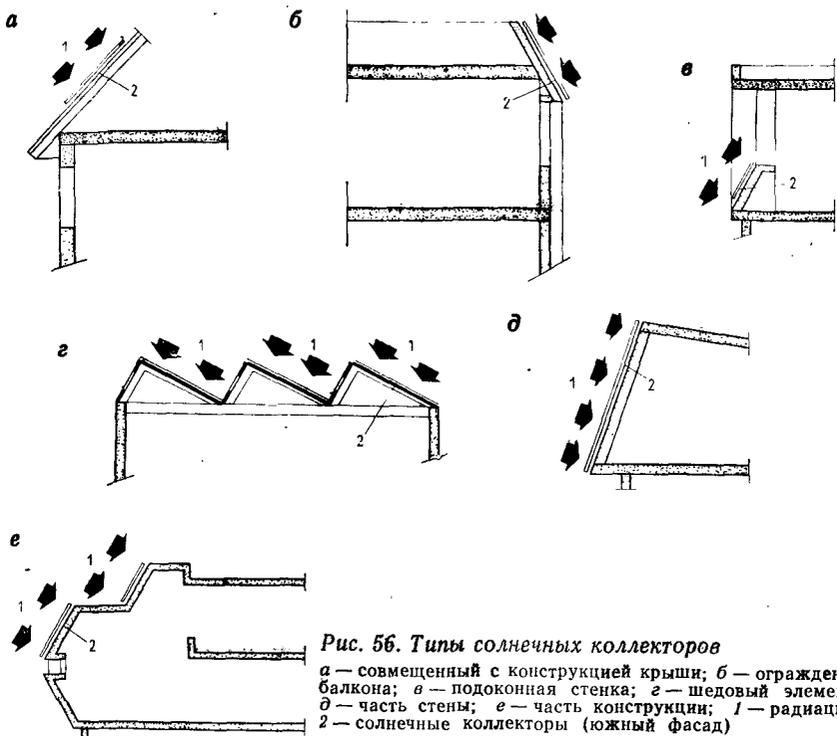


Рис. 56. Типы солнечных коллекторов

а — совмещенный с конструкцией крыши; б — ограждение балкона; в — подоконная стенка; г — шедовый элемент; д — часть стены; е — часть конструкции; 1 — радиация; 2 — солнечные коллекторы (южный фасад)

10. Предусматривать защиту дома от холодного ветра (деревьями, склонами, тепловыми буферными зонами и т. д.).

11. В ветреных районах широко использовать мощность ветряных генераторов.

12. Тщательно рассчитывать оптимальное соотношение между объемом здания и наружной поверхностью (максимально возможный объем при наименьшей поверхности).

13. Предусматривать проектирование тепловой буферной зоны (т. е. двойные двери, крытые террасы и др.).

14. Использовать редкое физическое явление экзотермии (теплоотдачи).

15. Использовать термические свойства аккумуляторов здания с точки зрения оптимального решения резервуара для возмещения дневных (ночных) теплопотерь и удовлетворения сезонных тепловых энергетических требований.

16. Учитывать оптимальное соотношение комфортной, автономной и наружной энергий.

17. Уменьшать теплопотери через окна, увеличивая величину *K*. (Окно днем обеспечивает нас меньшим количеством калорий, чем теряет их ночью. Если окна ночью изолировать, положительный тепловой баланс можно получить через окна южного фасада дома.)

18. Включать в тепловой баланс всю пригодную энергию, такую, как радиация через окна, освещение, человеческое и животное тепло.

19. Использовать тепло, получаемое в кухне, при помощи специальной печи, обладающей большой аккумулялирующей способностью, и других конструктивных мероприятий.

20. Избегать затенения здания другими строениями.

21. Располагать ванные комнаты и кухни в северной стороне дома и рассматривать их как буферную зону.

22. Частично использовать подвальные помещения в качестве тепловых резервуаров, имея в виду способность земли сохранять тепло.

Если по возможности следовать всем этим правилам, то приток энергии в энергетическом балансе будет относительно больше, а потери меньше. Эти и подобные мероприятия могут уменьшить энергетические потребности жилых помещений до 50%.

7.2. ПЕРЕЧЕНЬ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К «СОЛНЕЧНЫМ ДОМАМ»

Последовательность работ при проектировании солнечных домов принимается следующая:

1. Проектировать фундамент и объем здания таким образом, чтобы наибольшее внутреннее пространство получить при минимальной площади наружных стен. Обеспечить максимальную ориентацию здания на юг, определить наиболее выгодное положение солнечных коллекторов, применить надежную изоляцию для стен, крыш и окон. При этом метеорологические условия и интенсивность инсоляции должны быть наиболее благоприятны для возможно больших площадей здания.

2. Расчет тепловых потерь для пространства, требующего тепла.

Наиболее значительные тепловые потери происходят через наружные поверхности, через вентиляцию, при хранении тепла.

3. С помощью понятия «комфортность» (см. прил. 1) определяются месячные тепловые потребности, зависящие от наружной температуры, т. е.

«комфортность» \times наружную поверхность \times величину $K =$ $=$ потребностям в тепле.

4. Расчет необходимой ежемесячной энергетической мощности для обеспечения горячего водоснабжения (нагрев 200 л/сут от 10° С до 60° С требует 280—310 Мкал/мес).

5. Составление списка энергоприемных сооружений и определение доступных в течение месяца энергетических источников, в том числе:

общей радиации, воспринимаемой коллекторами;

радиации через окна, расположенные на южном фасаде здания;

человеческого тепла (около 130 Мкал/мес);
тепла от приготовления пищи (около 120 Мкал/мес);
тепла от освещения (около 80 Мкал/мес);

вспомогательного тепла от тепловых насосов, от дров, огня, электрических средств и т. д.

6. Определить необходимый тепловой комфорт, внешнюю энергетическую стратегию и установить экономические отношения между этими факторами для того, чтобы определить размеры коллекторов и аккумуляторов.

7. Определить окончательные объемы суммарной энергии, требуемой ежемесячно от солнечной радиации и других источников.

8. Установить ежемесячный энергетический баланс для энергопотребностей здания, определить величину внешней энергии для декабря — января, стараясь при этом использовать излишки летней солнечной энергии. Это может быть осуществлено строительством теплых плавательных бассейнов с горячей водой или

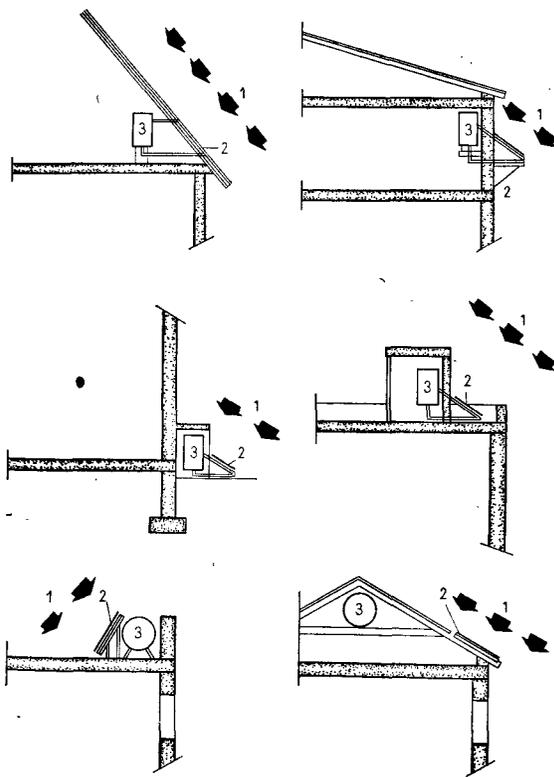


Рис. 57. Варианты расположения солнечных коллекторов

1 — радиация; 2 — солнечные коллекторы (южный фасад); 3 — солнечный бойлер (с двойной обшивкой)

экономичных тепловых аккумуляторов для использования сохраненного тепла в зимний период.

Основная проблема — размеры поверхностей коллектора и объема аккумулятора, так как эти два элемента определяют независимость дома от наружных источников энергии. Эта независимость, рассчитанная на самые холодные зимние месяцы, может исчисляться временем от нескольких часов до нескольких недель. Споры об экономичности использования солнечной энергии начинаются тогда, когда в строительство коллектора и аккумулятора уже сделаны капитальные вложения и затрачены деньги. В настоящее время между экспертами нет согласия в оценке стоимости солнечной энергии. Научно рассчитанные показатели колеблются в пропорции 1:5 в зависимости от позиции каждого эксперта.

8. ПЛАНИРОВКА «СОЛНЕЧНЫХ ГОРОДОВ» И ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ ТРЕБОВАНИЯ

«Главными задачами архитектора при проектировании города является удовлетворение постоянной нужды человека в солнце, жилом пространстве и зелени, главная цель — сделать эти источники человеческого счастья доступными для всех», — так писал Ле Корбюзье в 1933 г. после Конгресса CIAM, на котором эти идеи подробно излагались как доктрина современной архитектуры (Афинская хартия).

К несчастью, эти идеи, которые возникли как реакция на нездоровые жилищные условия больших индустриальных городов, часто игнорируются. Результаты новой архитектуры были, к сожалению, прямым противопоставлением предположениям первопроходца. Вместо логичных и открытых природе зданий с естественным и хорошим солнечным освещением были построены бетонные и стеклянные коробки с большими и неконтролируемыми энергетическими потребностями.

Было бы просто, конечно, возложить всю ответственность за создавшуюся ситуацию на архитекторов и инженеров, но они лишь строили то, что от них требовали. Архитектура всегда была и будет зеркалом своей эпохи, поэтому наши здания похожи на нас. Здесь существует проблема: если мы хотим иметь лучшую архитектуру, мы должны прежде всего изменить наше собственное мышление. Архитектура, зависящая от него, непременно следует за этими изменениями. После многих десятилетий строительная индустрия сегодня имеет возможность предложить целый ряд новшеств. Благодаря «солнечной архитектуре» мы можем вернуться к здоровым, свободным от загрязнения и более экономичным методам строительства, которые могли бы принести неоценимую пользу всему человечеству.

Планировка города есть выражение существующих законов.

Планирование «солнечных городов» требует новых правил, которые имеют отношение к новым техническим гипотезам.

Строительные нормы, касающиеся использования пространства, стиля здания, размера окон, безопасности и т. д., должны быть изменены для того, чтобы послужить основой для нового закона о солнечной архитектуре. Такие узаконенные правила уже существуют в Великобритании, США; во Флориде, например, закон гласит, что все новые установки горячего водоснабжения должны приводиться в действие солнечной энергией.

8.1. ЭСТЕТИЧЕСКИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Вопросы эстетики солнечных домов являются объектом многочисленных дискуссий. Но уже сегодня можно вполне реально создавать прекрасные дома и с черными солнечными коллекторами. Миллионы зданий, воздвигнутые из бетона, стекла и металла, далеко не прекрасны. Даже наихудшая по эстетическим качествам «солнечная архитектура» удовлетворяет с технической точки зрения, а это преимущество за последние десятилетия может быть продемонстрировано лишь в нескольких обычных зданиях. Солнечные коллекторы и тепловые аккумуляторы могут быть эстетизированы природным окружением. Но это нельзя поручать не архитектору, так как уже существует множество примеров неудачных импровизированных решений. Эти работы должны выполняться как для новых зданий, так и при реконструкции старых, поскольку 80% зданий, которые стоят сегодня, будет стоять и в 2000 г.

Люди всегда были консервативны по сравнению с новаторами, которые хотят сделать что-то необычное. Для того чтобы победить сомнения, необходимо попытаться предложить что-то новое, хотя бы в условной форме. Первый создатель автомобиля работал на этом принципе с большим успехом!

8.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Солнечные коллекторы могут проектироваться невидимыми или строиться на крыше, и это не более «агрессивная» конструкция крыши, чем крыша с телевизионными антеннами, дымоходами и вентиляторами. Мы можем надеяться, однако, что общественность и законодатели не будут возражать против этих новых строительных элементов. На рис. 56—62 даны примеры того, как солнечные компоненты могут составлять целое с конструкцией здания. Правительства должны поощрять использование солнечной энергии в строительстве домов специальными законами, как это уже сделано в США, Германии и Франции.

Экономия энергетических ресурсов может стать достоянием целой нации — и не только для уменьшения расходов, но и для

сохранения чистоты окружающей среды. Использование солнечной энергии поможет избежать «термического потолка», т. е. перегрева атмосферы, который может возникнуть при использовании других форм энергии.

Если температура на земном шаре поднимется лишь на несколько градусов, наш привычный климат может быть уничтожен. За этим могут последовать неисчислимые катастрофы, например такие, как сокращение воздушных потоков (без ветра большие города немедленно задохнутся!), возврат ледников, подъем уровня моря, передвижение континентов и другие. Законодатели всегда должны использовать общественность, не теряя времени на эстетические и другие менее важные проблемы, когда нужно сосредоточить усилия на борьбе с такими реальными и грозными опасностями.

8.3. «СОЛНЕЧНЫЕ ГОРОДА»

В настоящее время существует несколько относительно новых проектов «солнечных городов». Наиболее известны из них два — проф. Джованни Франчия (Генуя) и проф. Ги Ротье (Ницца). В проекте «солнечного города» на 100 тыс. жителей, созданного авторским коллективом под руководством проф. Франчия в составе Американа, Бергалотта, Мареско, Пагано, все энергетические потребности, такие, как горячее водоснабжение, отопление помещений и кондиционирование воздуха, должны осуществляться с помощью солнечной энергии. Солнечные лучи отражаются системой зеркал во внутренние помещения, которые таким образом освещаются. Размеры предлагаемых аккумуляторов обеспечивают независимость здания от любой формы внешней энергии, даже при отсутствии солнца в пасмурные дни.

Проект «Экополис» Ги Ротье, осуществленный с помощью проф. Мориса Туше и инженера по солнечной энергии Анри Бутье, впервые был представлен в 1971 г. конгрессу Средиземноморской кооперации по солнечной энергии. Проектируемый город состоит из расположенных на холме террас, внутренние пространства освещаются через «световые коридоры». Фокусирующие солнечные коллекторы, расположенные в наружных концах коридоров, направляют солнечные лучи внутрь зданий, где они используются для освещения и отопления помещений. «Экополис» — город, где внутренние пространства освещаются направленными солнечными лучами. Жилье, которое занимает треть объема сооружения, расположено на наружной поверхности холма. Внутри зданий размещены сады, общественные и рабочие помещения, торговые предприятия, магазины, службы и транспортные коммуникации. Эти два проекта содержат немало фантазии, но они заслуживают серьезного обсуждения среди архитекторов, так как демонстрируют возможности и проблемы, которые существуют в строительстве «солнечных городов».

Для того чтобы разработать планы строительства городов для следующего столетия, необходимо содружество ученых, инженеров, архитекторов, политиков, законодателей, подрядчиков и общественности. Задача трудная, но решение должно быть и будет найдено.

9. МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПРОЕКТЫ «СОЛНЕЧНЫХ ЗДАНИЙ»

9.1. КОНТОРСКОЕ ЗДАНИЕ БРИДЖЕРС-ПАКСТОН, НЬЮ-МЕКСИКО (США)

Архитекторы Миллер, Стенли, Райт.
Инженеры Бриджерс, Пакстон и Хейнс.
Построено в 1956 г.

Первое в мире конторское здание с тепловым и воздушным кондиционированием (рис. 58). Установка, снабженная тепловыми насосами, действует еще и сегодня и практически обеспечивает 100% требуемой энергии. Полезная площадь здания 410 м², общая площадь солнечного коллектора 71 м². Коллекторы выполнены из алюминия («Ролл-Бонд»), а трубы обладают поглощающей поверхностью. Окна имеют одинарное остекление, а их поглощающие поверхности избирательны. Поверхность коллектора сделана из 55 секций, соединенных вместе с уклоном 60° к югу. Средство теплопередачи — вода, теплоотдача производится через

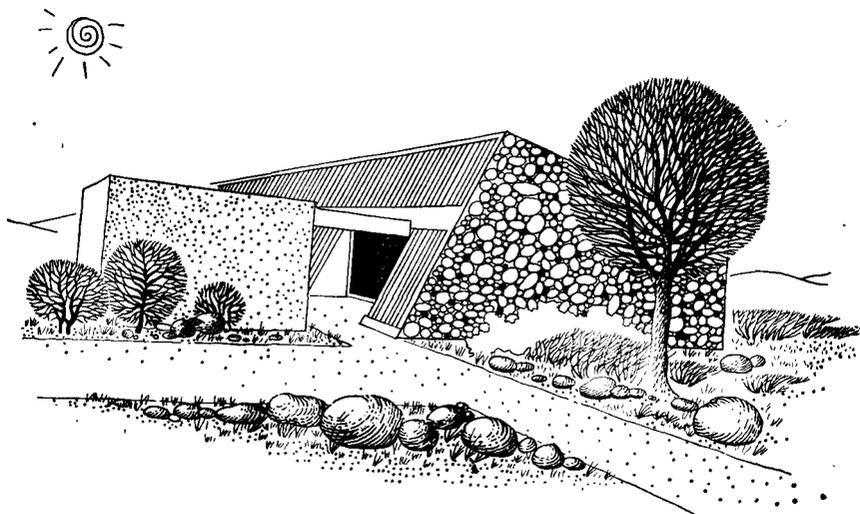


Рис. 58. Конторское здание «Бриджерс-Пакстон», Альбюкерк, США, 35°05' с. ш. Общая площадь 410 м²; площадь солнечного коллектора 71 м²; объем резервуара горячей воды 23 м³

отопление в полу и на потолке. Тепло сберегается в подземном водяном резервуаре (1,5 м в диаметре) на 23 тыс. л. Автономия аккумулятора рассчитана на 3 дня. В установке смонтированы четыре тепловых насоса, которые работают также и для охлаждения воды в летнее время (количество холодной воды 7,5 т). Высокая стоимость здания была обусловлена стоимостью воздушного кондиционирования здания. Эта система работает вполне удовлетворительно уже более 20 лет. Технические расчеты проделаны Пенсильванским государственным университетом.

9.2. ШКОЛА СВ. ГЕОРГИЯ, ВАЛЛАСЕЙ (АНГЛИЯ)

Архитектор А. Е. Морган.

Построена в 1961 г.

Школьное здание, упомянутое в гл. 5,— одно из старейших и лучших «солнечных зданий» в Европе (рис. 59). Это «солнечное здание», которое поглощает и сохраняет солнечную энергию в прекрасно спроектированных конструкциях, действует более 15 лет и, несмотря на крайне неблагоприятные климатические условия, практически не требует никакой внешней энергии для обогрева.

Сумма солнечной энергии в летний период составляет 120 Вт/м²/сут. Теплоотдача человека — 21,5 Вт/м²/сут, освещение дает 38 Вт/м²/сут. Парадоксально, что главная трудность заключается в том, что часто возникает избыток солнечной энергии, которая не может быть использована в полном объеме.

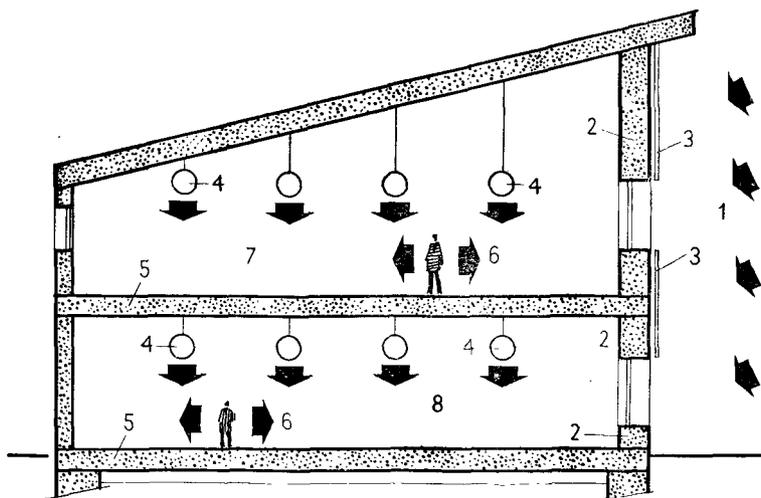


Рис. 59. Школа Св. Георгия, Валласей. Англия, 53°26' с. ш.

1 — радиация; 2 — бетонные стены аккумулятора (снаружи черные); 3 — стеклянные панели (500 м²); 4 — тепло от светильников; 5 — аккумуляторы тепла (бетонный пол); 6 — тепло от человека; 7 — лаборатория; 8 — классы общей площадью 1367 м²

Вначале была установлена дополнительная тепловая система, но она не потребовалась и впоследствии была устранена. Относительно просто построенное здание (без отдельных коллекторов или аккумуляторов) показывает, что вполне возможно использовать солнечную энергию и для больших зданий в сравнительно неблагоприятных климатических условиях.

9.3. «СОЛНЕЧНЫЙ ДОМ» В ШОВЕНСИ-ЛЕ-ШАТО (ФРАНЦИЯ)

Архитекторы Ж. Мишель, Ф. Тромб.

Построен в 1972 г.

Этот «солнечный дом» был построен в Лотарингии, где насчитывается 1700 ч солнечной радиации в год. Жилая площадь дома 106 м², объем 275 м³ (рис. 60 и 61).

Солнечные коллекторы системы Тромб — Мишель (Анвар) устроены вертикально и имеют общую площадь 45 м². Не полностью изолированный дом имеет среднее значение величины $K = 0,9$. В дополнение к солнечному отоплению устроена добавочная электрическая тепловая система. Комнаты нагреваются до $t = +18 - 20^{\circ}\text{C}$, что требует 18 тыс. кВт·ч солнечной энергии в год, из них действительно используются лишь 10 тыс. кВт·ч. Электрическое добавочное отопление требует ежегодно 7 тыс. кВт·ч.

Дом был построен в соответствии со стандартами, принятыми в жилищном строительстве Франции. Конструктивная основа здания — стальной трубчатый каркас со стандартными секциями 3,6×3,6 м. Черная стена аккумулятора, монтирующаяся с вертикальными коллекторами, образует южный фасад дома. Стеклопленочные поверхности системы «тривер». Расчеты показали, что использование солнечной энергии для обогрева этого здания дает экономию в два или три раза по сравнению с обычным отоплением. Теплопередача осуществляется естественной циркуляцией тепла.

Самая большая сторона дома с солнечным коллектором обращена на юг. С северной стороны расположен резервуар с отработанной водой, который служит тепловым изоляционным буфером. Конструкция аккумулятора включена в несущие конструкции самого здания. Стены аккумулятора толщиной около 35 см могут сохранять почти половину поступающей солнечной радиации и обеспечивают циркуляцию в жилых помещениях теплого воздуха, который сохраняется до следующего утра. Эти «солнечные стены» экономичны, так как стоимость их конструкции едва ли превышает стоимость обычных стен.

Мишель и Тромб придерживаются мнения, что тепловая автономия дома более чем на одни сутки не дает дальнейшей экономии. Отношение между поверхностью коллектора и объемом зда-

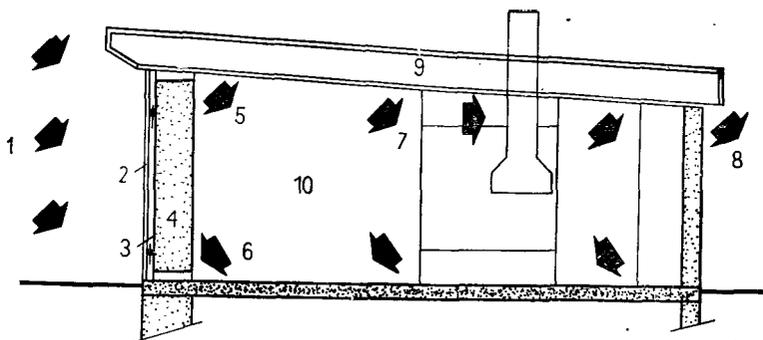


Рис. 60. Солнечный дом в Шовенси-ле-Шато, Франция, 49°10' с. ш.

1 — радиация; 2 — стекло («тривер») 45 м²; 3 — воздушная прослойка; 4 — бетонные стены, аккумулирующие тепло (снаружи черные); 5 — движение теплого воздуха в жилое помещение; 6 — холодный воздух; 7 — циркуляция теплого воздуха в комнате; 8 — выпуск воздуха; 9 — стальная трубчатая конструкция крыши; 10 — жилое пространство (106 м², 275 м³)

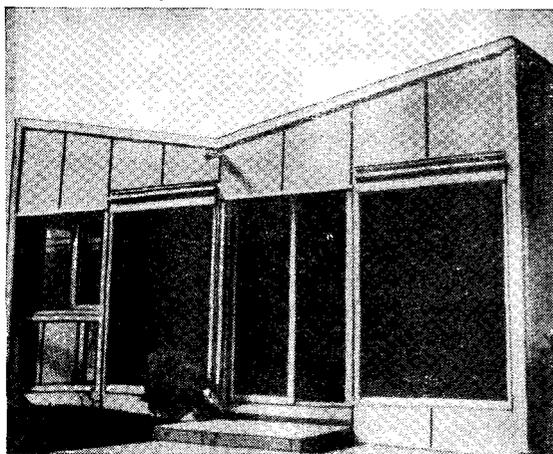


Рис. 61. «Солнечный дом» в Шовенси-ле-Шато с вертикальными солнечными панелями, обеспечивающими половину тепловых потребностей здания (Г. Мишель и Ф. Тромб)

ния должно составлять около 0,16 для обычного дома ($K = 0,9-1$). Если дом хорошо изолирован (т. е. $K=0,5$), это отношение может быть уменьшено до 0,1, т. е. 1 м³ вертикального коллектора Тромба — Мишеля может отопить 10 м³ строительного объема здания. Для дома в Шовенси-ле-Шато это отношение составляет $45:275=0,163$. Эти цифры, конечно, зависят также от климатических условий.

Эксперименты показали, что неэкономично пробовать отапливать дом Тромба — Мишеля исключительно солнечной энергией. Оптимум составляет $\frac{2}{3}-\frac{3}{4}$ общих энергетических потребностей здания.

9.4. «СОЛНЕЧНЫЙ ДОМ» НА ПАРИЖСКОЙ ЯРМАРКЕ 1975 Г. (ФРАНЦИЯ)

Архит. Г. Мишель.

Построен в 1975 г.

С 1973 г. на Парижской ярмарке представлялись различные типы домов с солнечным отоплением. «Солнечный дом-1975», построенный архит. Мишелем, может считаться новацией в области, которая так важна для нашей будущей энергетической экономики (рис. 62). Этот частный дом — первый в Европе, где энергетические потребности обеспечиваются главным образом за счет энергии солнца и ветра.

Полезная площадь дома 160 м², объем 485 м³. Здание построено в деревянных конструкциях, стены выполнены из хорошо изолированного материала [$K=0,35$ ккал/(м²·ч·°С)]. Солнечная радиация поглощается коллектором площадью 45 м². Коллекторы, которые во Франции производятся в изобилии, занимают южную сторону здания и заполняются водой. Нагретая солнцем вода из коллекторов накачивается в резервуар (объем 3 тыс. л), где с помощью теплообменника нагревает солнечный бойлер, заполненный водой, предназначенной для домашних целей. Горячая вода в этом втором кругообороте циркулирует через радиаторы. В случае недостаточности солнечного излучения автоматически приво-

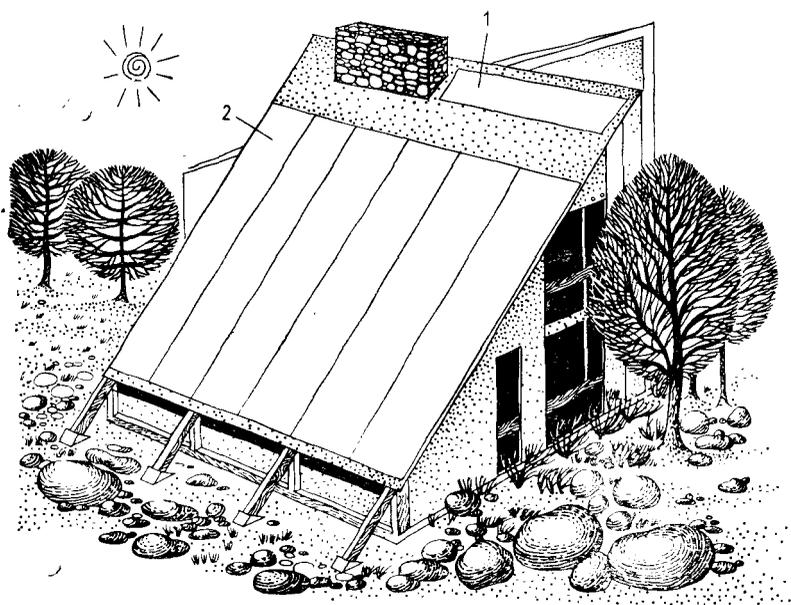


Рис. 62. «Солнечный дом» на Парижской ярмарке 1975 г., Франция, 48°52' с. ш.

1 — солнечные ячейки; 2 — солнечные коллекторы водяного типа (45 м²)

дится в действие электрическая тепловая система. Свет и энергетическая мощность передаются 14 солнечными ячейками и ветровым генератором. Согласно данным строителей, солнечные ячейки дают 14 кВт·ч, электрический генератор — 11 кВт·ч энергии.

9.5. «СОЛНЕЧНЫЙ ДОМ» ФИЛИПСА, ААХЕН (ФРГ)

Проектировщик — Научно-исследовательская лаборатория «Филипс ГтвН».

Построен в 1975 г.

5 июня 1975 г. на суд общественности научно-исследовательской лабораторией «Филипс ГтвН» в Аахене был представлен первый «солнечный дом» в ФРГ (рис. 63 и 64). Он был построен совместными усилиями государственных и частных научно-исследовательских учреждений. Дом имеет полезную площадь 116 м² (объем жилого пространства 290 м³) и в 4 или 5 раз лучше изолирован, чем обычный дом ($K_{\text{наружных стен}} = 0,17$ ккал/(м²·°С),

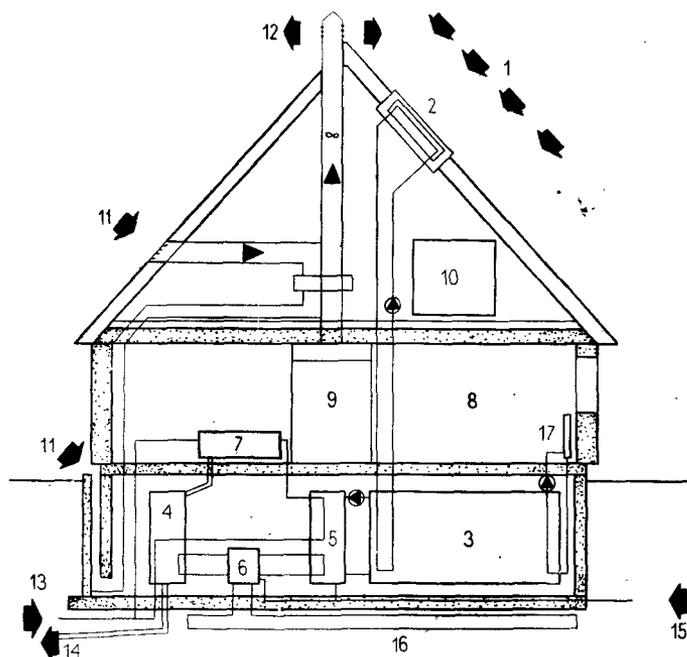


Рис. 63. «Солнечный дом» Филиппса в Аахене, ФРГ, 50°30' с. ш.

1 — радиация; 2 — солнечные коллекторы типа «Филипс» (20 м²); 3 — аккумулятор большой емкости (42 м³, 95°С); 4 — дренажный водяной бак (1 м³); 5 — резервуар горячей воды для бытовых нужд (4 м³, 45–55°С); 6 — тепловой насос (входная мощность 1,2 кВт·ч, отношение выходной мощности к входной 3,5 : 1); 7 — выпуск горячей воды; 8 — жилое пространство 116 м², 290 м³; 9 — коридор; 10 — контрольные приборы; 11 — воздухоприемник (300–600 м³/ч); 12 — выпуск воздуха (300–600 м³/ч); 13 — вода городского водопровода; 14 — отработанная вода; 15 — электроснабжение; 16 — грунтовой тепловой насос (мощность 1,2 кВт·ч, отношение входной мощности к выходной 3,5 : 1); 17 — радиатор

$K_{\text{окон}} = 1,9 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$. При такой хорошей изоляции тепловые потребности дома очень незначительны, а потери теплопроводности составляют около 6300 кВт·ч в год; вентиляционные потери около 2000 кВт·ч в год (приблизительно на $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{6}$ меньше, чем в обычных домах).

Фокусирующие солнечные коллекторы Филипса имеют площадь 20 м² и состоят из 324 элементов. Они повышают температуру до 95°С. Эта энергия нагревает водяной резервуар объемом 42 м³, который может сохранить около 10—12 тыс. кВт на длительный срок, обеспечив общие тепловые потребности дома. Тепловой резервуар изолирован слоем минеральной ваты толщиной 25 см, и его температурная шкала колеблется от 5 до 95°С. Две другие составные части аккумулятора (резервуар с горячей водой и бак с отработанной водой) имеют объем соответственно 4 м³ и 1 м³.

Электрическая мощность, подводимая к тепловому насосу, составляет 1,2 кВт, а теплоотдача при температурном диапазоне от 15 до 50°С равна 3,5—4 кВт.

Основные функции установки следующие: охлаждение с помощью грунта (в летнее время); отопление с помощью солнечной энергии; горячее водоснабжение от солнечной энергии; горячее водоснабжение от отработанной воды с помощью теплового насоса; вентиляция, компенсирующая тепло; отопление с помощью грунтового теплового насоса.

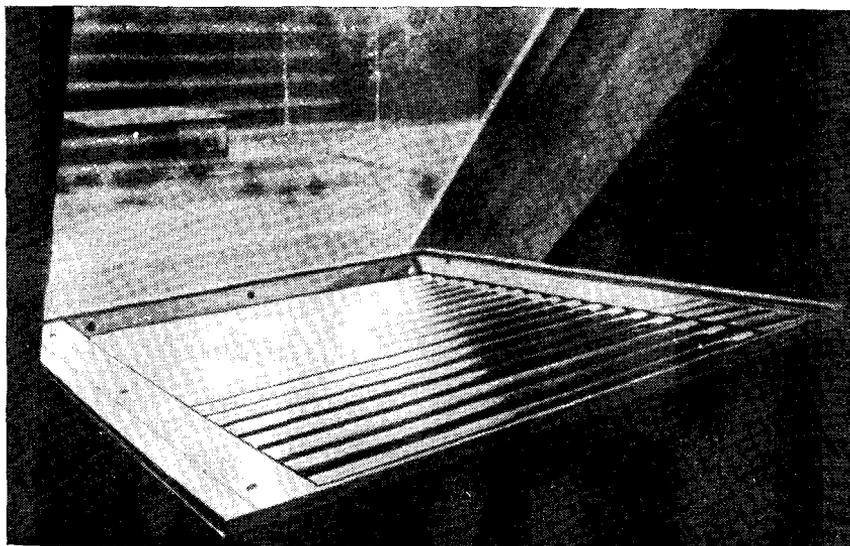


Рис. 64. В экспериментальном «солнечном доме» Филипса 18 солнечных панелей составлены из 18 трубчатых элементов

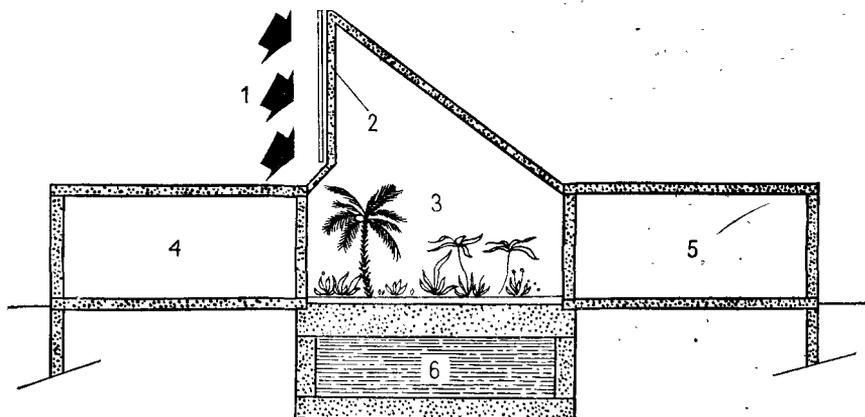


Рис. 65. Дом в Копенгагене, полностью обеспеченный солнечной энергией, Дания, 55°43' с. ш.

1 — радиация; 2 — солнечный коллектор водяного типа (42 м²); 3 — зимний сад; 4 — спальня; 5 — жилые комнаты (общая площадь 120 м²); 6 — резервуар с горячей водой (объем 33 м³)

На крыше дома размещены два прибора модели «Филиппс» (Р 855) для контроля за энергетической системой, расходом энергии в жилых помещениях и для записи всех измерительных данных на магнитную ленту.

Публикация результатов всех измерений в этом экспериментальном доме будет иметь большое влияние на будущие проекты «солнечных домов» в ФРГ.

9.6. ДОМ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТРЕБНОСТИ КОТОРОГО ПОЛНОСТЬЮ ОБЕСПЕЧИВАЮТСЯ СОЛНЦЕМ, КОПЕНГАГЕН (ДАНИЯ)

Проектировщики Ван Корсгаард, Торбен В. Эсбенсон.
Построен в 1975 г.

Дом, целиком работающий на солнечной энергии, использует приблизительно 1680 ч солнечной радиации в год (рис. 65). Годовые энергетические потребности хорошо изолированного дома составляют 5350 кВт·ч (отопление помещений 2300 кВт·ч, горячее водоснабжение 3050 кВт·ч). Жилая площадь дома 120 м², объем 300 м³, в доме 6 комнат. Поверхность солнечного коллектора 42 м² накапливает ежегодно 9017 кВт·ч и отдает их в аккумулятор объемом 30 м³.

25% энергии используется на отопление, 34% на горячее водоснабжение и остальные 41% возмещают потери при хранении тепла. Вода для хозяйственных нужд нагревается в баке объемом 3 м³. В качестве изоляционного материала в доме используется минеральная вата толщиной 30 см [0,14 Вт/(м²·°С)]. Еже-

годные тепловые потребности дома обеспечиваются внутренним теплом человека (2372 кВт·ч), освещением (2387 кВт·ч), радиацией через окна (2831 кВт·ч) и солнечной энергией.

9.7. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ «СОЛНЕЧНЫЙ ДОМ», ДЕЛАВАР (США)

Проектировщики К. Боер, М. Телкес, К. О' Коннор.
Построен в 1973 г.

«Солнечный дом» Института энергетики Делаварского университета — первый в мире дом, где солнечная радиация наряду с превращением в тепло преобразовывается непосредственно в электрическую энергию (рис. 66).

Здание финансировалось коллективно восемью исследовательскими институтами и предприятиями электроснабжения.

Общая жилая площадь дома 132 м². Жилые комнаты расположены в двух уровнях. Солнечные коллекторы воздушного типа установлены с наклоном 45° на крыше, обращенной на юг. Эти солнечные коллекторы общей площадью 82 м² имеют двойное плексигласовое покрытие. Часть солнечных коллекторов сочетается с солнечными ячейками (ячейка изготовлена из сульфида кадмия и сульфида меди), максимальная мощность которых 19 мА/см² при напряжении 0,37 В. Эффективность прямого пре-

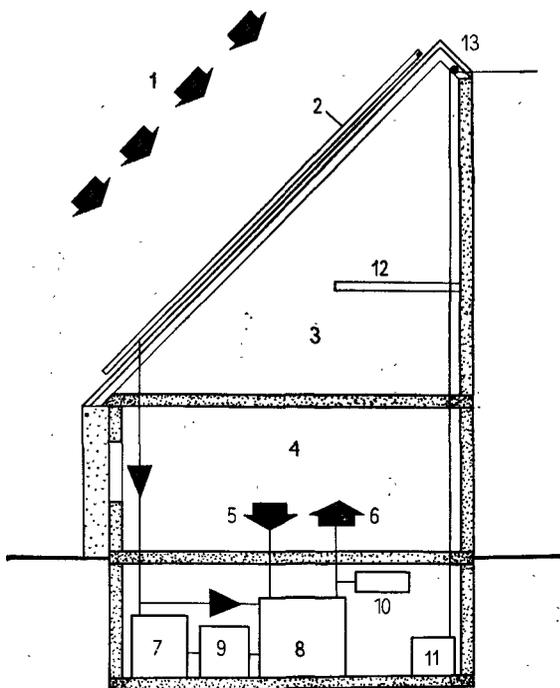


Рис. 66. «Солнечный дом» в Делавере, США, 39°35' с. ш.

1 — радиация; 2 — солнечные коллекторы (общая площадь 82 м²); 3 — тепловая буферная зона; 4 — жилое пространство (объем 132 м³); 5 — возврат воздуха; 6 — движение теплого воздуха в жилое помещение; 7 — дополнительная химическая емкость (Na₂S₂O₃ · 5H₂O); 8 — основная химическая емкость (Na₂S₂O₃ · 5H₂O) 3600 кг; 49°C; 235 кВт·ч; 9 — тепловой насос; 10 — дополнительное электрическое отопление; 11 — аккумулятор 180 А/ч; 12 — опора; 13 — ввод электроэнергии

вращения энергии составляет 6—7%. Солнечные ячейки функционируют в течение 10 лет.

КПД коллектора 50%, из которых 45% преобразуется в тепло, а 5% — в электрическую энергию. Дом получает 80% требуемой энергии от солнца и остающиеся 20% с помощью электричества. Аккумулятор работает на основе химического взаимодействия трех различных солевых растворов, которые имеют низкую точку плавления — между +24 и +49° С. Теплопередача от коллектора к аккумулятору и от него в жилые комнаты осуществляется воздухом, приводящимся в движение вентилятором. В работе системы участвует также тепловой насос. Свинцово-кислотные аккумуляторы с электрической емкостью имеют мощность около 20 кВт·ч. Летом солнечная установка обеспечивает охлаждение здания.

С. Бэйер убежден, что к 1980 г. отопление помещений с помощью комбинированных солнечных ячеек-коллекторов будет успешно конкурировать с другими тепловыми системами.

9.8. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПУСТЫНИ, УНИВЕРСИТЕТ В НЕВАДЕ (США)

Проектировщик — ассоциация Д. Миллера.

Инженеры — компания «Артур Д. Литтл» и «Ассоциация Джонсон — Джокел», Бартли.

Построен в 1975 г.

Новая биологическая лаборатория университета в Неваде получает 50% требуемой для отопления и охлаждения энергии от солнца. На первом уровне здания помещаются поверхностные коллекторы площадью 371,6 м² с поглощающей поверхностью и двойным остеклением.

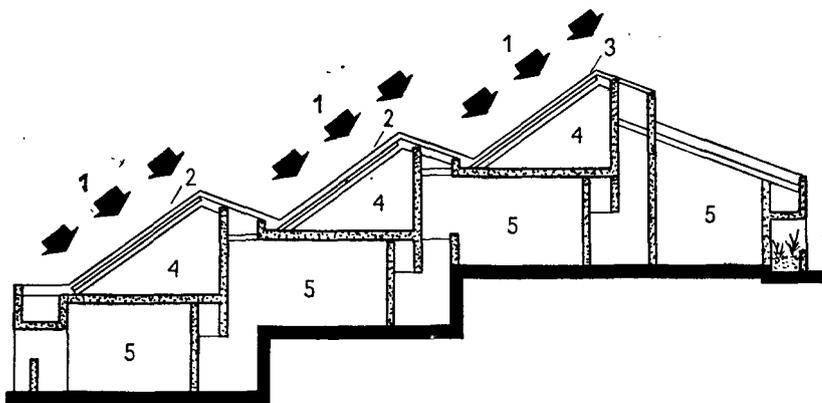


Рис. 67. Исследовательский институт пустыни в Неваде, США, 39°16' с. ш.
1 — радиация; 2 — солнечные коллекторы; 3 — перспективные коллекторы; 4 — буферная зона; 5 — лаборатория

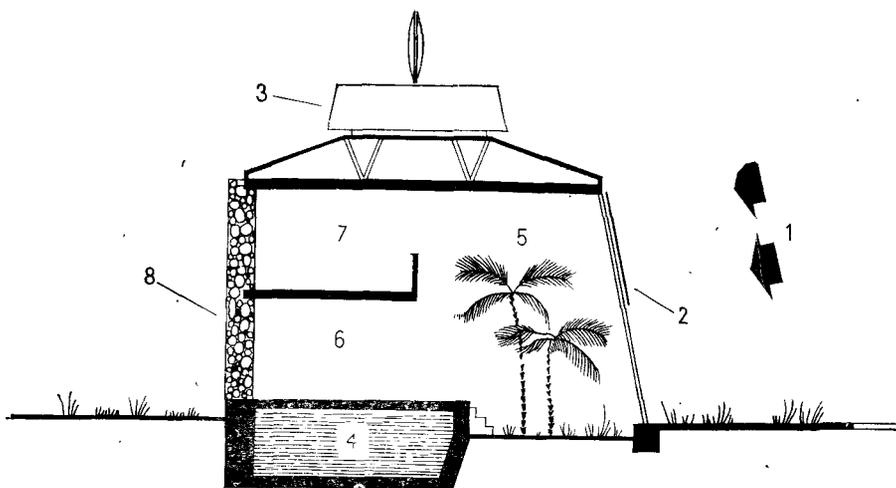


Рис. 68. Автономный «солнечный дом» в Кембридже, Англия, $52^{\circ}12'$ с. ш.

1 — радиация; 2 — солнечные коллекторы (40 м^2); 3 — ветряной генератор; 4 — резервуар с горячей водой (около 10 м^3); 5 — зимний сад; 6 — жилое пространство (общий объем 111 м^3); 7 — спальня; 8 — утепленная северная стена дома

Охлаждающая система имеет поглощающую установку, которая функционирует на основе действия бромистого соединения лития. Уклон здания позволяет найти хорошее архитектурное решение солнечных коллекторов (рис. 67).

9.9. АВТОНОМНЫЙ «СОЛНЕЧНЫЙ ДОМ» КЕМБРИДЖ (АНГЛИЯ)

Архитекторы А. Пайк, Д. Тринг.

Инженеры Г. Смит, Д. Литлер, С. Фриман, Р. Томас.

Этот проект «солнечного дома» разработан группой проектировщиков Кембриджского университета.

Результатом трехгодичной исследовательской работы (1971—1974 гг.) было то, что в настоящее время автономный дом может быть построен, он будет вполне экономичным и отвечает требованиям современного комфорта.

В этом проекте используются все местные пригодные источники энергии. Солнечные коллекторы производят тепло, очищают воду для питья; ветряной генератор обеспечивает электрическую энергию для кухни, освещения и работы тепловых насосов; система удаления сточных вод работает на метане.

Зимний сад, расположенный за южным фасадом дома, производит кислород и пищу и может использоваться большую часть года как открытое пространство.

Дом имеет массивный пол площадью около 111 м^2 . Жилые помещения расположены в двух уровнях, и сад простирается до крыши (рис. 68).

Отопление комнат требует 61—75% всей энергии и использует мощность установки в 50—100 Вт/м² для того, чтобы нагреть воздух до 15—30°С. Солнечная радиация достигает такой же мощности (100—150 Вт/м²). Площадь солнечных коллекторов поверхностного типа 40 м².

Средством теплопередачи и хранения тепла является вода. Аккумулятор находится в погребе и, по расчетам, его оптимальный объем равен 10 м³. В ноябре 1974 г. была создана модель такого дома в масштабе 1/10, и расчеты компьютера дали возможность определить оптимальные размеры строительных конструктивных элементов.

9.10. ЖИЛОЙ ДОМ, БЕРН (ШВЕЙЦАРИЯ)

Архит. Д. Уинклер.

Построен в 1974 г.

В жилом районе Берна программа реконструкции предусматривала строительство трехэтажного здания оригинального объема.

Тепловая установка, питающаяся солнечной энергией, размещена наверху. Площадь солнечного коллектора 40 м². В ясный день около 250 тыс. тепловых элементов передают тепло в резервуар (9 тыс. л). Солнечная энергия гарантирует недельное горячее водоснабжение объемом 1 тыс. л в день (45°С). Благодаря хорошей изоляции рабочая температура существующей масляной тепловой установки была снижена с 90°С до 60°С (при наружной температуре 15°С). Это позволяет лучше использовать полученную солнечную энергию. В летние месяцы и в межсезонье работа установки возможна без малоэффективных бойлеров.

9.11. ФАБРИКА С СОЛНЕЧНЫМ ОТОПЛЕНИЕМ, ЦЮРИХ (ШВЕЙЦАРИЯ)

Архит. Р. П. Сабади.

Инженеры Б. Уинклер, Х. Томани, Р. Аэрни, Д. Лео.

Строительство завершено в 1978 г.

Здание (130 м×23 м×25 м) представляет одно из наибольших сооружений в Европе, получающих энергетическое снабжение с помощью солнечной энергии. Оно вытянуто с востока на запад, в результате чего максимальное число окон обращено на юг (рис. 69—71). Такая ориентация обеспечивает оптимальную инсоляцию здания через южные окна зимой и в то же время защищает помещение от летнего перегрева с помощью выступающих конструкций.

Солнечные коллекторы могут также использоваться как наклонные оконные рамы, как плоскость крыши или балконы. В то

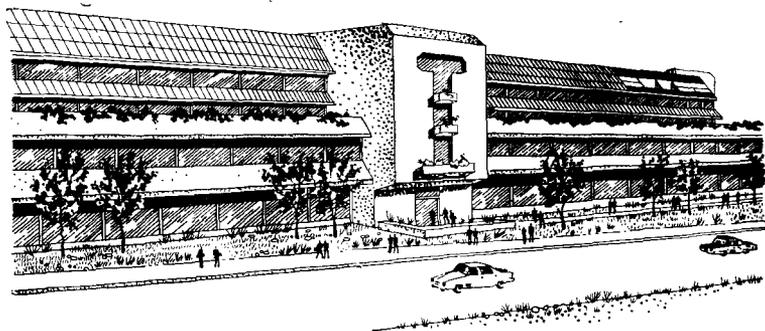


Рис. 69. Проект здания фабрики с солнечным отоплением в Цюрихе, разработанный П. Р. Сабади

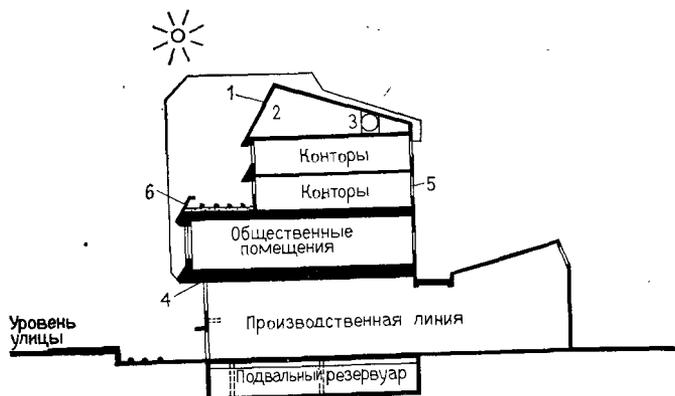


Рис. 70. Поперечный разрез здания фабрики

1 — солнечные панели; 2 — буферная зона (воздушная), 3 — теплоприемник; 4 — солнцезащитный козырек; 5 — окно с термозащитой; 6 — солнечные панели (перспективная стадия)

Грамм=калория

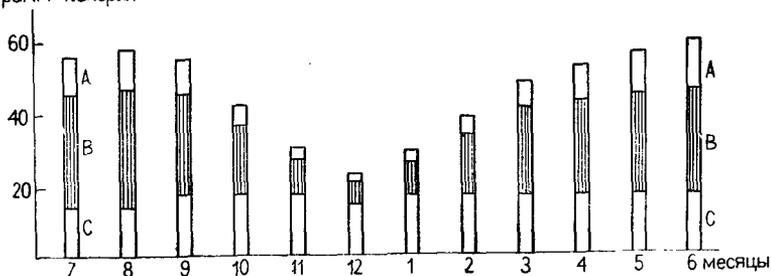


Рис. 71. Соотношение тепловой энергии (основанное на расчете То-манна, Азри и Лео)

А — южный фасад; В — солнечные панели; С — утилизация внутреннего тепла

же время они создают тень, необходимую летом, и поглощают максимум радиации зимой благодаря оптимальному наклону в 60° . Солнечная энергия от коллекторов и южных окон составляет приблизительно 260 тыс. Мкал в год и обеспечивает часть потребностей здания для отопления и горячего водоснабжения для умывальных комнат служащих. Для того чтобы получить высокую продуктивность коллектора, была выбрана тепловая система с низкой рабочей температурой. Принятие этих мер позволяет использовать часть излишков летней энергии, в результате чего утилизируется около 80% общей радиации.

Аккумулятор находится вне конструкций здания, баки с 75 тыс. л воды расположены на плоскости крыши. Для того чтобы уменьшить энергопотребности здания до минимума, вместо обычной плоской крыши устроена крыша со скатами, что дает возможность использовать чердачное помещение (где можно разместить архивы) как хорошо изолированную тепловую буферную зону, а также для установки аккумулятора. Окна имеют хорошо изолированное остекление и жалюзи, стены имеют величину $K=0,4$, дающую возможность как можно дольше сохранять поглощенное солнечное тепло. Архитектурное решение здания позволяет впоследствии увеличить площадь солнечного коллектора, когда его стоимость снизится, а потребность в дешевой энергии возрастет.

Солнечная тепловая установка, стоимость которой составляет 1,5% стоимости здания, обеспечивает ежегодно 100% требуемой горячей воды и значительную часть требуемой энергии на отопление помещений, посредством чего по крайней мере 230 тыс. кВт·ч энергии может быть сэкономлено ежегодно.

9.12. ДОМ С СОЛНЕЧНЫМ ОТОПЛЕНИЕМ В МИЛТОН КЕЙНЕСЕ (АНГЛИЯ)

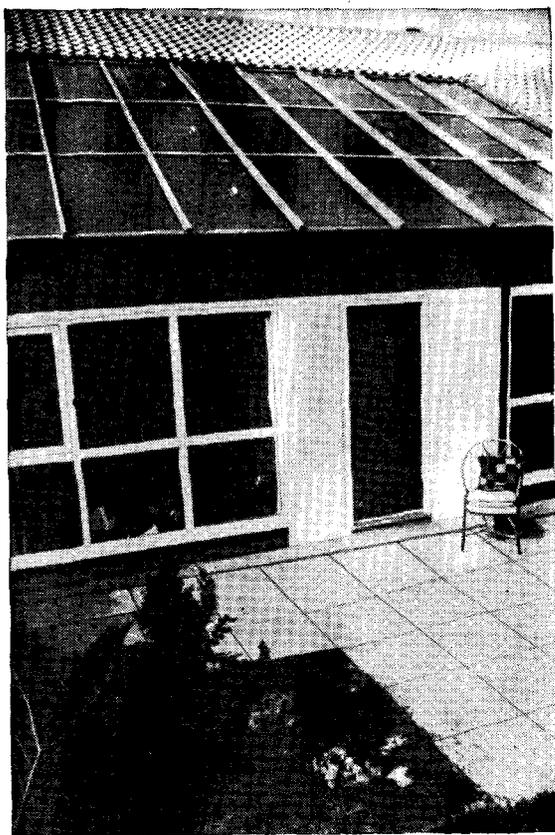
Проектировщики — С. Соколау и Научно-исследовательская строительная группа политехнического центра Лондона.

Построен в 1974 г.

Этот «солнечный дом» построен местными властями в новом городе Милтон Кейнесе, Букингемшир. Он предназначен для исследования экономичности применения таких домов в массовом строительстве. Дом построен в деревянных конструкциях с легким заполнением, со стеклянными солнечными панелями и алюминиевыми плитами коллектора. Хотя изоляция здания несовершенна, тепловая потребность его минимальна. Солнечная система запроектирована так, чтобы обеспечить большую часть энергии, требуемую для горячего водоснабжения и отопления. Остающаяся часть требуемой энергии обеспечивается обычными средствами.

Плоская плита солнечного коллектора была выбрана для того, чтобы собирать рассеянную радиацию, которая составляет при-

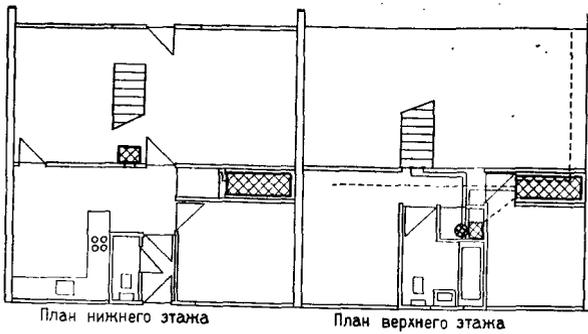
Рис. 72. «Солнечный дом» в Милтон Кейнасе, Букингемшир (Корпорация развития Милтон Кейнаса)



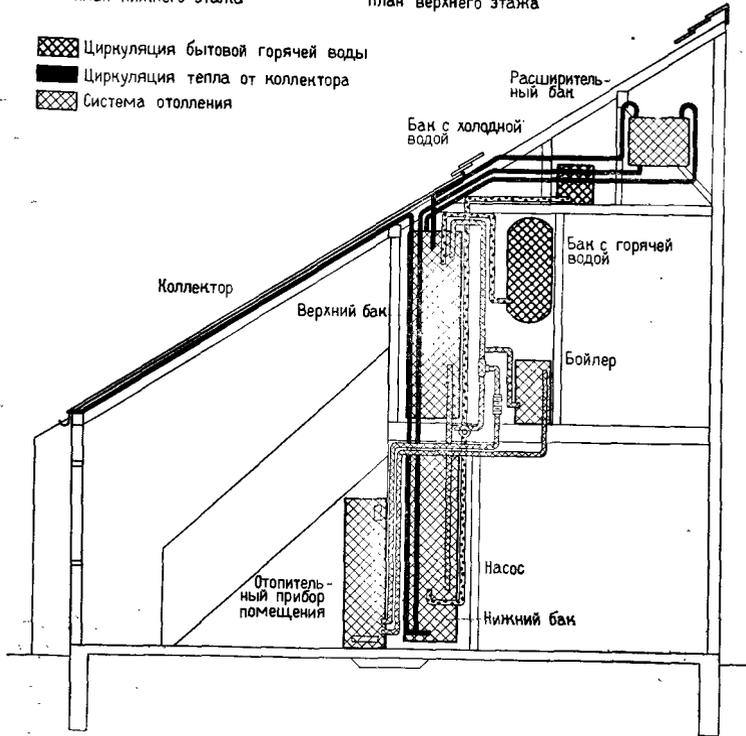
лизительно 50% всей радиации в этой местности. Дом имеет наклонную под 30° крышу, уклон которой приближается к оптимальному (34°), дающему максимальное накопление энергии.

Коллектор, составляя единое целое с конструкцией крыши, вызвал несколько конструктивных изменений. Для того чтобы понизить рабочую температуру плиты коллектора, была избрана система, при которой вода из резервуара поступает непосредственно через обе плиты коллектора в обогревательные приборы. Здесь применен вентиляторный конвектор с увеличенной ребристой поверхностью, который обеспечивает требуемую тепловую мощность для воды температурой приблизительно 40°C . Вода $t=25^\circ\text{C}$ может быть возвращена в резервуар через вентиляционный змеевик, пока выделяемый воздух не достигнет температуры 36°C .

Возвращение воды с $t=25^\circ\text{C}$ в резервуар помогает понизить рабочую температуру плиты коллектора, чем увеличивается его



-  Циркуляция бытовой горячей воды
-  Циркуляция тепла от коллектора
-  Система отопления



эффективность. Вместо обычного теплообменника используется система небольших резервуаров.

Циркуляция воды продолжается приблизительно 8 ч, что должно компенсироваться уменьшением площади теплообменника. Вода, поступающая в бак с бытовой горячей водой, нагревается обычным кипятыльником. Этой системе отдано предпочтение перед системой, использующей бак с обратной циркуляцией воды, обычно применяемой в жилых домах для того, чтобы контролировать его водоснабжение.

В принятой системе используется водяной резервуар общим объемом 4,5 м³ (4500 л) со 100-миллиметровыми стенами, имею-

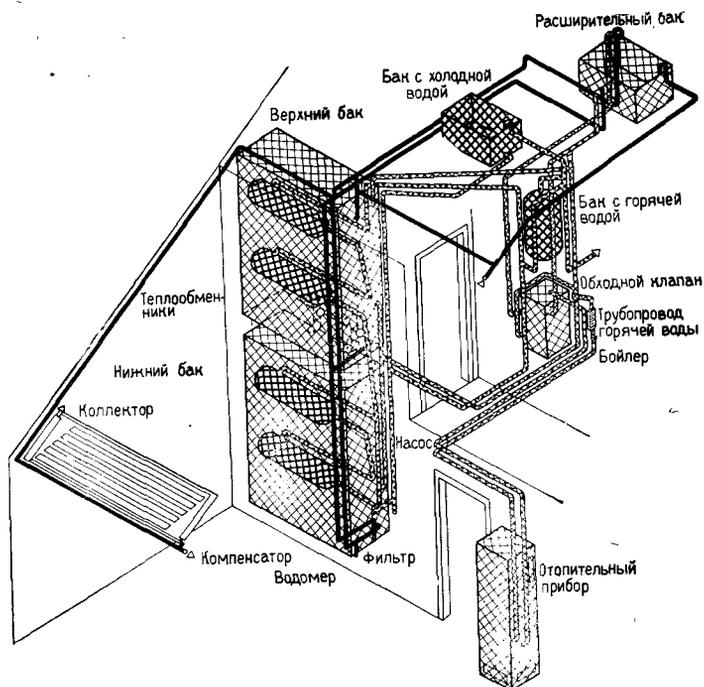


Рис. 73. Устройство коллектора бытового горячего водоснабжения и циркуляционного отопления в «солнечном доме» в Милтон Кейнасе (Корпорация развития Милтон Кейнаса). План, разрез, аксонометрия

щими со всех сторон стекловолнистую изоляцию. Это эквивалентно 120 л воды на 1 м² площади коллектора. Этот объем воды воспринимает запас тепла, достаточный для отопления одного дня во время зимнего солнцестояния или двух дней весной или осенью. Если пространство позволяет, цилиндрические баки могут быть использованы в половину своих емкостей.

10. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение хотелось бы процитировать слова проф. П. Форналлаза. В своей книге «Технология — за и против человека» он пишет:

«Солнечная энергия создала биологическую основу для человеческого существования. Техническое использование солнечной энергии, создающее возможности для реализации альтернативных идей, — это призыв к человеческому разуму.

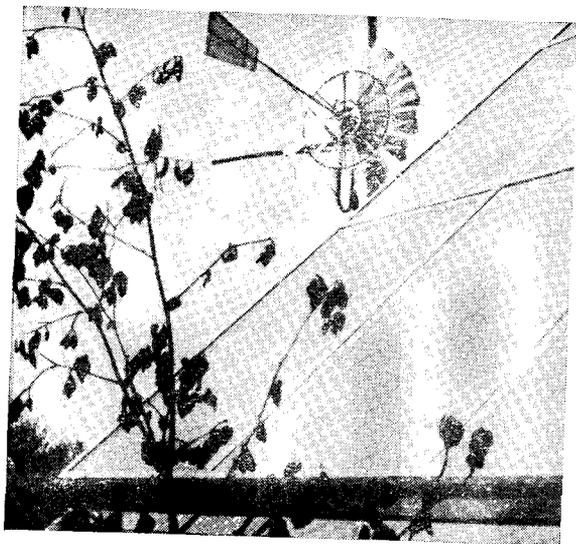


Рис. 74. Взгляд в будущее. Дом с солнечными панелями и ветряным генератором

Этот неисчерпаемый источник энергии имеет также и социальный аспект: он находится в распоряжении всего человечества и не нуждается в громадных превращающих установках, эксплуатация которых способствует злоупотреблениям, но побуждает каждого помочь самому себе и экономическому самообеспечению. Социально-этический аспект решения проблемы мировой энергии заключается в том, что только использование солнечной энергии может удовлетворить человечество технически, экономически, экологически, политически и социально».

Для того чтобы правильно встретить эти революционные технические призывы, нужно как можно шире распространять знания в этой области. «Солнечный век», как правильно назвал грядущее столетие Вернер фон Браун, может развиваться только при объединении всего человечества на планете.

ТЕРМИНОЛОГИЯ

Добавка. В системах химических аккумуляторов это вещество, которое можно добавлять к другим химикатам, чтобы поднять или понизить температуру, при которой происходит изменение их состояния.

Понятие «комфортность». Используется при расчете тепловых потребностей для поддержания в жилом помещении необходимой температуры при изменяющихся наружных окружающих условиях. Теплопотребности будут равны теплопотерям через стены в атмосферу, т. е. теплопотери = $K \times \text{площадь поверхности} \times \text{температурный градиент} \times \text{время}$, где K — фактор теплового потока на единицу толщины стены; температурный градиент — разница между внутренней (комнатной) температурой воздуха и средней наружной температурой воздуха для рассматриваемого периода.

При расчетах уровень средней наружной температуры принимается +21°С, ниже которой начинается отопление помещений, а выше — отопление дома не требуется. Дисконфортность (ДК) — такое состояние, когда средняя наружная температура воздуха ниже +12°С.

Если «время» в приведенном выше уравнении относится к периоду «дисконфортности», то для того чтобы найти теплопотери и, следовательно, потребности для отопления помещений в данный период, необходимо включить итоговый градиент средней дневной температуры данного периода. Таким образом, теплопотребности = $K \times \text{площадь поверхности} \times \sum_0 (t_b - t_n)$. Выражение $(t_b - t_n)$ называется «комфортностью» и представляет собой ежедневную разницу между комнатной температурой t_b и средней дневной наружной температурой t_n в течение всего отопительного периода.

Тепловой насос. Для того чтобы понять принцип работы теплового насоса, его надо рассматривать как холодильник, составляющие элементы которого меняются в зависимости от его размера и местоположения. Как холодильник извлекает тепло из своего содержимого, сохраняя пищу, так тепловой насос извлекает тепло из воздуха, воды или почвы вокруг дома. Холодильник излучает тепло, извлеченное из его содержимого, в комнату посредством радиатора, находящегося снаружи его футляра; тепловой насос излучает тепло, извлекаемое им из окружающего источника, в жилое пространство дома. Оба механизма используют охлаждающую систему, содержащую трубы, компрессор, охлаждающее вещество, клапаны и т. д.

Практически систему теплового насоса для того чтобы использовать всю наружную энергию, приводит в движение компрессор. При этом образуются три составные части тепловой энергии: одна получается от работы насоса в помещении, две другие добываются из наружных источников — воздуха, реки, пруда, грунта. Существенным свойством теплового насоса является то, что тепло, извлекаемое из источника с низкой температурой, передается с более высокой температурой.

Теплопроводность — передача тепла между частицами в твердых, жидких и газообразных материалах.

Тепловая конвекция — передача тепла движением частиц жидкостей или газов как результат изменения плотностей или циркуляции.

Тепловая радиация. Тепловые «лучи» являются электромагнитными волнами, которые передают тепло между поверхностями или между поверхностями и их окружением при разных температурах.

Фактор теплового потока K [ккал(м²·ч·°С)] — сумма тепла в ккал, которое проходит в течение 1 ч через 1 м² конструкции (например, стену) толщиной d (в м) в неподвижный воздух, где разница температур между воздушными пространствами с двух сторон (например, температура воздуха в комнате и температура наружного воздуха) составляет 1°С. (Тепловой поток перпендикулярен поверхностям).

Комнатная температура воздуха t_b (°С) — температура, измеренная на 0,75 м выше уровня пола в середине комнаты, но не дальше чем 2,5 м от наружных стен.

Теплоемкость аккумулятора (ккал) — сумма тепла, впитываемого и отапливаемую конструкцию или выделяемого охлаждающейся конструкцией.

Удельная теплоемкость аккумулятора = $C \cdot U$. [ккал/(м³·°С)] U — плотности (кг/м³)

Удельная теплоемкость C [ккал/кг·°С] — сумма тепла в ккал, которая необходима для того, чтобы поднять температуру 1 кг материала на 1°С.

Фактор теплопроводности λ [ккал/(м·ч·°С)] — сумма тепла в ккал, которое приходит через 1 м² поперечного сечения однородного материала толщиной 1 м при однородной температуре, когда разница температур поверхности составляет 1°С.

Фактор теплопередачи α [ккал/(м²·ч·°С)] — количество тепла (в ккал), которое обменивается за 1 ч между 1 м² поверхности и движущимся воздухом, когда разница температур между воздухом и поверхностью составляет 1°С.

Фактор запаса тепла S_u . Количество тепла в ккал, требуемое для того, чтобы нагреть 1 м³ массы тепла на 1°С.

Используемые эквиваленты

Чтобы растопить 1 кг льда, требуется	80 ккал
Чтобы испарился 1 » воды, »	540 ккал
» » 1 » спирта или растворителя, требуется	100—200 ккал
Чтобы нагреть 1 м ³ воздуха на 1°С, требуется	≈ 0,25 ккал
» » 1 » камня или бетона на 1°С, »	≈ 500 ккал
» » 1 » воды на 1°С, »	1000 ккал
» » 1 » кирпичной кладки на 1°С, »	300 ккал

Тепловые эквиваленты

1 кг масла (бензина)	10 000 ккал
1 л (подогретого) масла, тяжелого	9300 ккал
1 л (подогретого) масла, очень легкого	8200 ккал
1 кг каменного угля	6000—8000 ккал
1 кг кокса	7000—8000 ккал
1 кг брикетов	4000—5300 ккал
1 кг дерева	2400—3700 ккал
1 кВт·ч	860 ккал
1 м ³ метана (естественного газа)	около 9500 ккал
1 м ³ коксогаза	5000—5600 ккал

ПРИНЯТЫЕ ЕДИНИЦЫ

Величина	Единица измерения	Обозначение единиц измерения
Сила	Ньютон	$H = \text{кгм/с}^2$
Работа, энергия	Джоуль	$Dж = H \cdot m = \text{кгм}^2/\text{с}^2$
количество тепла	Ватт	$Вт = Dж/с = \text{кгм}^2/\text{с}^3$
Мощность		

Соотношение принятых единиц

1 ккал = 10 ³ кал;	1 Тч = 25 Мкал (1 therm);
1 Мкал = 10 ⁶ кал;	1 кВт/ч = 860 ккал;
1 Гкал = 10 ⁹ кал;	1 мВт/ч = 860 Мкал;
1 Ткал = 10 ¹² кал;	1 ГВт/ч = 860 Гкал;
	1 ТВт/ч = 860 Ткал.

Радиация

1 лэнгли = 1 кал/см² = 11.6 Вт·ч/м²;
1 МВт·ч/см² = 3.17 Б.Т.Е./кв. фут = кДж/м².

Длина

1 мм=0,039 дюйма;
1 м=3,28 фута=1,09 ярда.
Площадь
1 м²=1,196 кв. ярда.

Объем

1 м³=1,3079 куб. ярда;
1 л=0,21997 галлона

Масса

1 кг=0,0197 ц.

Температура

Цельсий °C=5/9 (°F-32);
Фаренгейт °F=9/5 (°C+32);
Кельвин K=°C+273,15.

Единица измерения мощности (кВт, ккал/с, л. с.)

1 кВт=0,239 ккал/с=1,36 л. с.;
1 ккал/с=4,1844 кВт=5,6908 л. с.=4186,8 Дж;
1 л. с.=0,17573 ккал/с=0,73526 кВт;
1 Б.Т.Е (Британская тепловая единица)=1055 Дж.

Единица измерения энергии (кВт·ч, ккал, л. с/ч)

1 кВт·ч=860,41 ккал=1,36 л. с/ч
1 ккал=0,00116 кВт·ч=0,00158 л. с/ч
1 л. с.=6,236 ккал=0,73526 кВт·ч

Условная единица топлива УЕТ

(энергетическая мощность 1 кг каменного угля)

Для того чтобы сравнить энергетическую мощность различных видов топлива со средней энергетической мощностью 1 кг каменного угля (7000 ккал), можно пользоваться следующими данными:

1 кг бурого угля	имеет 0,26 — 0,5 УЕТ;
1 » торфа	» 0,43 УЕТ;
1 » дров	» 0,5 УЕТ;
1 » нефти	» 1,45 УЕТ;
1 м ³ городского газа	» 0,57 УЕТ;
1 » естественного газа	» 1,1 УЕТ;
1 кВт·ч	» 0,123 УЕТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Abetti, G., *The Sun*, Macmillan, New York (1957)
- Architectural Forum: *Architecture and Energy*, New York (July/Aug 1973)
- Bliss, R. and Bliss, M., 'Design and performance of the Nation's only fully solar-heated house', *Air Conditioning, Heating & Ventilating*, 92, (Oct 1955)
- Böer, K. W., *A combined Solar thermal and electrical house system*, UNESCO Congress, Paris (1973)
- Boyle, Godfrey, *Living in the Sun*, Calder and Boyar, London (1975).
- Brinkworth, R. J., *Solar energy for Man*, Compton Press, London (1972)
- Burnet, F. Macfarlane, 'Winning power from the Sun', *Energy Digest* (Jan 1973)
- Churc, R., Grouch, G. and Vale, B., *'The autonomous servicing of dwellings'* Cambridge (1972)
- Curtis, E., 'Rickmansworth House', *Architectural Design* (Jan 1957)
- Daniels, F., *Direct use of the Sun's energy*, Yale University Press, USA (1964)
- Daniels, F. and Duffie, J. A., *Solar energy research*, University of Wisconsin Press, Madison (1955)
- Davies, G. M., 'Model studies of St. George's Wallasey', *Jour. Inst. HVE* 39, 77 (July 1971)
- Davies, G. M., Sturrock, N. S. and Benson, A. C., 'Some results of measurements in St. George's School, Wallasey' *Jour. Inst. HVE* 39 (1971)
- Davies, G. M., 'Heating buildings by winter sunshine', *Energy & Housing*, Pergamon Press (1975)
- Dietz, A. C. H., 'Large enclosures and solar energy', *Architectural Design* (April 1971)
- Dossiers, 'Maisons Solaires', *Techniques & Architecture* (Sept/Oct 1974)
- Halacy, D. S., *The coming age of solar energy*, Harper & Rowe, New York (1974)
- Hogan, J., 'Solar buildings in the Pyrenees', *Architectural Design* No. 1, London (1975)
- Hungerbühler, E., *Energie*, Ravensburger (1975)
- Karsgaard, V. and Esbenson, T., 'The Zero Energy house', *Meddelelse* No. 31 (1974)
- Kruger, K., *Ingenieure Bauen die Welt*, Safari Verlag (1969)
- Lalou, E., *The Sun*, Prentice-Hall, New York (1963)
- Loske, *Die Sonnenuhren*, Springer Verlag, Germany (1970)
- McLaughlin, T. P., *A House for the Future*, TV Times (1976)
- Meinel, A. B. and Meinel, W. B., *Solar energy warm air house heater: Build it Yourself!* Helio Assoc. Inc., Tucson, Arizona (1974).
- Michel, J., Vivent, M. and Diament, *Les Maisons Solaires*, Strasbourg (1974)
- Moorcraft, C., 'Solar Energy in Housing', *Architectural Design* (Oct 1973)
- Morgan, A., 'St. George Wallasey School', *Architectural Design* 10 (1973)
- Naegebi, W. N., *Energie*, WWF Switzerland (1974)
- Olgay, A., *Design and Climate*, Princeton University
- Olgay, A. and Telkes, M., 'Solar heating for houses', *Progressive Architecture* (March 1959)
- Pike, A., 'Autonomous house', *Architectural Design* (1974)
- 'Principles of solar house design', *Progressive Architecture* (May 1955)
- Rau, H., *Sonnenenergie*, Krausskopf, Wiesbaden (1961)
- SSES Handbook* (1974 and 1975)
- Sabady, P., *Wie kann ich mit Sonnenenergie heizen*, Zurich (1977)
- Sabady, P., *Solarbautechnik*, Blauen (1977)
- Scharer, R., 'Hallenbad-Becken und Raumheizung mit Sonnenenergie' *Elektrizitätserwertung* No. 3 (1975)
- Schriner, R. D. and Cohen, M., 'Bibliography on solar power', *Professional Engineer*. (Oct 1973)

- Shurcliff, W. A., *Solar heated buildings: A brief survey*, Cambridge University Press (1974).
- 'Solar air-conditioned house, Brisbane, Australia', *Architecture in Australia* (Aarch 1965)
- Solar Endrgy — A UK Assessment/Report of the UK Sector of the International Solar Energy Society. Published by the Royal Institution in conjunction with the Wolfenden Foundation, London (1975)
- 'Solar heated swimming pool at Westerham, *Architect & Building News* (6/12/67)
- 'Solar house', *Architectural Design* (Jan 1972)
- Steadmann, P., 'Energy Environment', *Building* (1975)
- 'St. Geogres School, Wallasey: An evaluation of a solar-heated building', *Architects' Journal* (25/6/69)
- Szokolay, S. V., *Solar energy and buildings*, Architectural Press, London (Halstead, USA) (1975)
- The Energy experimental house in Aachen', *Neue Zurcher Zeitung*, No. 150 (1975)
- 'The Sun in the service of man', *Architects' Journal* (19/8/73)
- Thekaekara, M. P., *The energy crisis energy for the Sun*, Inst. Envir. Sciences, Illinois (1974)
- Thomason, H. E. and Thomason, H. J. L., 'Solar house heating and air cooling: Progress report', *Solar Energy* 15 (1973)
- Thomason, H. E. and Thomason, H. J. L., *Solar house heating and air conditioning systems*, Edmund Scientific Co., USA (1974)
- Trombe, F., *Heating by solar radiation*, submitted from Solar Energy Laboratory, CNRS, France at 1973 UNESCO Conference, Paris
- Vale, Brenda and Robert, *The autonomous house*, Thames & Hudson, London (1975)
- Valko, P., *Meteoplan*, Hallwag Verlag, Berne (1975)
- Vassiliev, M., 'La Conquete de l'energie', Editions EM (1971)
- Villecco, M., 'Sunpower', *Architektur-Plus* (Sept-Oct 1974)
- Watson, D. R., and Barber, E. M (jr), 'Energy conservation in architecture; Alternative energy sources', *Con.-Arch*, USA (May-June 1974)
- Williams, J., Richard, *Solar technology and application*, Ann Arbor Science, London (1974)
- Zarem, A. M. and Enway, D. D., *Introduction to the utilisation of Solar energy*, McGraw-Hill, New York (1963)
- Zellatt, J. I., 'How materials react to Solar energy: 1 Roofs and walls; 2 characteristics of glass and glass shading', *Architectural Record* (May and June 1966)

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие к английскому изданию	5
Введение	6
1. Энергетическая проблема	6
1.1. Уголь	10
1.2. Атомная энергия	11
1.3. Другие виды энергии	11
2. Солнце как источник энергии	12
2.1. Прямое излучение	13
2.2. Рассеянное излучение	14
2.3. Полное излучение (всестороннее излучение)	14
2.4. Продолжительность солнечного излучения	14
2.5. Интенсивность излучения	17
2.6. Практическое значение солнечной энергии	17
3. История исследований в области солнечной энергии	22
3.1. Рождение солнечной энергии	23
3.2. Прогресс начала 1900-х годов	25
3.3. Развитие исследований в области солнечной энергии после 1945 г.	27
3.4. «Солнечные дома» в Европе	31
4. Аспекты экономической политики в области солнечной энергетики	32
4.1. США	34
4.2. Япония	36
4.3. Австралия	37
4.4. Великобритания	37
4.5. Франция	38
4.6. ФРГ	38
4.7. Советский Союз	41
4.8. Швейцария	42
4.9. Другие страны	42
5. Солнечная энергия для бытовых целей	43
5.1. Система солнечного нагревания воды	43
5.2. Система солнечного отопления	48
5.3. Охлаждение посредством солнечной энергии	59
5.4. Подогрев воды в плавательном бассейне с помощью солнечной энергии	63
6. Основные элементы солнечных конструкций	64
6.1. Солнечные коллекторы	64
6.2. Система аккумуляторов	72
6.3. Система передачи тепла	81
6.4. Тепловые насосы	81
7. Проекты и основные расчеты «солнечных домов»	82
7.1. Основы проектирования «солнечных домов»	82
7.2. Перечень требований, предъявляемых к «солнечным домам»	84

	Стр.
8. Плаиировка «солнечных городов» и предъявляемые к ним требования	86
8.1. Эстетические соображения	87
8.2. Проектирование солнечных коллекторов	87
8.3. «Солнечные города»	88
9. Международные проекты «солнечных зданий»	89
9.1. Коиторское здание Бриджерс-Пакстон, Нью-Мексико (США)	89
9.2. Школа Св. Георгия, Валласей (Англия)	90
9.3. «Солнечный дом» в Шовенси-ле-Шато (Франция)	91
9.4. «Солнечный дом» на Парижской ярмарке 1975 г. (Франция)	93
9.5. «Солнечный дом» Филиписа, Аахен (ФРГ)	94
9.6. Дом, энергетические потребности которого полностью обеспечиваются солнцем, Копенгаген (Дания)	96
9.7. Экспериментальный «солнечный дом», Делавар (США)	97
9.8. Научно-исследовательский институт пустыни, университет в Неваде (США)	98
9.9. Автономный «солнечный дом» Кембридж (Англия)	99
9.10. Жилой дом, Бери (Швейцария)	100
9.11. Фабрика с солнечным отоплением, Цюрнх (Швейцария)	100
9.12. Дом с солнечным отоплением в Милтон Кейнесе (Англия)	102
10. Заключение	105
Приложение	107
Список литературы	109

П. Р. Сабади

СОЛНЕЧНЫЙ ДОМ

Редакция переводных изданий
 Зав. редакцией М. В. Перевалюк
 Редактор Е. Е. Андреева
 Внешнее оформление художника Э. С. Филимонова
 Технический редактор В. Д. Павлова
 Корректор В. А. Быкова

ИБ № 2482

Сдано в набор 06.08.80 Подписано в печать 12.02.81
 Формат 60×90^{1/16} Бумага типографская № 1 Гарнитура «Литературная»
 Печать высокая Усл. печ. л. 7,0 Печ. л. 7,0 Уч.-изд. л. 7,20 Тираж 5.000 экз.
 Изд. № АVI-8437 Заказ № 2041 Цена 50 коп.
 Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
 при Государственном комитете СССР
 по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
 129041, Москва, Б. Переяславская ул., 46

З. 2