Р132281
697

Alternative
natural
energy
sources

А. Дэвис Р. Шуберт

Альтернативные природные источники энергии в строительном проектировании

Москва
Стройиздат

Alternative natural energy sources

in building design

davis + schubert

Van Nostrand Reinhold Company
New York Cincinnati Toronto London Melbourne

Р132281
697

А. Дэвис Р. Шуберт

Экземпляр

Альтернативные природные источники энергии в строительном проектировании

Р 134679

Перевод с английского
А.С. Гусева

Под редакцией
Э.В. Сарнацкого

Государственная Республиканская научно-техническая библиотека № 2

Москва Стройиздат 1983

ББК 38.113
Д 94
УДК 697.1

Рекомендовано к изданию д-ром техн. наук проф. В.В. Ермоловым (МархИ).

Рецензент д-р техн. наук проф. В.Н. Богословский (МИСИ им. В.В. Куйбышева).

Дэвис А., Шуберт Р.

Д 94 Альтернативные природные источники энергии в строительном проектировании/Пер. с англ. А.С. Гусева; Под ред. Э.В. Сарнацкого. — М.: Стройиздат, 1983. — 190 с., ил.

Рассматривается проблема использования в малоэтажном строительстве естественных источников энергии: солнца, ветра, воды, отходов, которые могут заменить электроэнергию, ископаемое твердое и жидкое топливо. Анализируются расход энергии в зданиях и методы аккумуляции и реализации излишков тепловой энергии, сокращения теплопотерь. Приведены способы естественной вентиляции зданий. Наибольшее внимание уделено использованию солнечной энергии, проектированию и конструктивным решениям "солнечных домов".

Для инженерно-технических работников проектных и научно-исследовательских организаций.

Д $\frac{3202000000-693}{047\,(01)-83}$ 32–83

ББК 38.113
6С1

© 1974 by Albert J. Davis and Robert P. Schubert

© Перевод на русский язык, Стройиздат, 1983

ПРЕДИСЛОВИЕ

Со времени предыдущего издания книги "Альтернативные природные источники энергии в строительном проектировании" (октябрь 1974 г.) опубликовано много работ об использовании солнечной энергии для отопления и охлаждения зданий. Одни из предлагаемых способов слишком сложны, другие несовершенны. В настоящем, третьем, издании сделана попытка обобщить те варианты проектов, в которых сохранение энергии и использование альтернативных источников являются составной частью проектных решений.

Мы не старались дать глубокий анализ химических или механических принципов работы приводимых систем — рассмотрены лишь их основные элементы. Но чтобы читатель мог получить достаточно полную информацию, в каждом разделе книги приводится список литературы по интересующим его вопросам.

Прошло три года с возникновения так называемого энергетического кризиса, когда интерес к новым источникам энергии достиг своего пика. В настоящее время ажиотаж вокруг этого вопроса стихает, видимо, потому, что стал очевидным не столь критический характер развития данной проблемы. Будущие изменения в этой области зависят не только от реалистичности подхода к решению проблемы и правильного планирования, но и от совершенства применяемых механизмов и технологии. Без соответствующей модели никакие технологические схемы не обеспечат решения энергетических вопросов.

В настоящей работе приводится лишь обзор существующих решений, но не рассматриваются перспективы в области создания механического оборудования, а также техники его использования. Большое внимание уделяется вопросам сохранения энергии, так как без понимания их любая попытка использовать альтернативные источники энергии окажется бесполезной. В одних случаях для удовлетворения энергетических потребностей здания достаточно одного источника энергии, а в других случаях необходимо применение нескольких источников. (Примеры использования нескольких источников энергии рассмотрены в последней главе.)

Мы рады предоставить читателю имеющуюся у нас информацию и хотели бы, чтобы эта книга стала для него "рабочей".

Блэксбург, Вирджиния.
Октябрь 1976 г.

1. ВВЕДЕНИЕ

Существующий в мире энергетический кризис представляет для человеческого общества гораздо более серьезную проблему, чем просто недостаток ископаемых топлив. Этот кризис обусловлен расточительностью человечества. Целью технического прогресса всегда было улучшение среды обитания и создание комфортных условий для человека. Однако когда развитие технологии начинает отрицательно сказываться на состоянии окружающей среды, возникает сомнение в его целесообразности.

Использование альтернативных источников энергии и применение принципов максимального сохранения ее приобретают все большее значение при существующем характере потребления энергии, который привел нас к проблеме, ставшей столь острой в настоящее время. Более того, использование таких источников позволяет лучше проследить взаимосвязь человека с окружающей природой. Попытаемся показать взаимосвязь между потреблением энергии и характером застройки при современном уровне технологии и возможные альтернативные решения.

1.1. ЭНЕРГИЯ И ЕЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ХАРАКТЕРОМ ЗАСТРОЙКИ

Термин энергия происходит от греческого слова "энергос", что значит "действие, деятельность". Словари объясняют это слово как "способность производить работу". При определении величины расхода энергии обычно употребляют термин "мощность". Энергия существует в нескольких формах: кинетическая — энергия движения, тепловая, представляющая собой разницу температур двух сред, и потенциальная, или скрытая энергия.

В последнее время способность производить работу стали оценивать в зависимости от времени. С учетом каждого конкретного случая определяют вероятный период времени, в течение которого запасы энергии могут истощиться при нелимитированном их потреблении. Достаточно достоверные данные получить трудно, однако в ряде случаев фактор времени не имеет решающего значения. Могут быть другие соображения: моральный вакуум, созданный технологией, большие капитальные и общественные затраты, быстрый рост уровней загрязнения окружающей среды.

Во многих развитых странах потребление энергии значительно больше, чем в развивающихся странах. Возьмем в качестве примера Соединенные Штаты. На их долю приходится 35% мирового потребления энергии, в то время как население США составляет только 6% от населения планеты. Это означает, что на душу населения приходится более 9 т угля, или в 6 раз больше, чем в среднем в мире.

В табл. 1.1 показана структура потребления энергии в США в 1968 г. Побороть этот устрашающий рост потребления энергии нелегко. В 60-х годах потребление бензина здесь составило половину мирового производства. В США 95% энергии производится за счет ископаемых топлив, причем по видам топлива это выглядит следующим образом: уголь 20%, нефть около 40%, природный газ около 30%, сжиженный природный газ и гидроэлектроэнергия около 4%. В середине 1973 г. было установлено, что потери электроэнергии при ее передаче, а также за счет

Таблица 1.1. **Потребление энергии конечными потребителями в США в 1968 г.**

Сектор	Процент от национального потребления энергии
Жилищный:	
отопление	11
горячее водоснабжение	2,9
пищеприготовление	1,1
сушка одежды	0,3
холодильники	1,1
кондиционирование	0,7
прочие	2,1
Итого	19,2
Коммерческий:	
отопление	6,9
горячее водоснабжение	1,1
пищеприготовление	0,2
холодильники	1,1
кондиционирование	1,8
склады продуктов	1,6
прочие	1,7
Итого	14,4
Промышленность:	
технологический пар	16,7
электроприводы	7,9
электролитические процессы	1,2
теплоснабжение	11,5
склады	3,6
прочие	0,3
Итого	41,2
Транспорт:	
топливо	24,9
сырые материалы	0,3
Итого	25,2
Всего	100

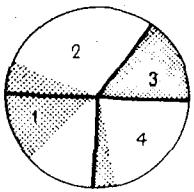


Рис. 1.1. Зависимость потребления энергии от архитектурных решений (заштрихованные площади характеризуют степень влияния архитектурных решений)
1 — выработка электроэнергии 25%; 2 — промышленность (за исключением энергетики) 30%; 3 — отопление, пищеприготовление и горячее водоснабжение, осуществляемое с помощью ископаемых топлив 20%; 4 — транспорт 25%

низкой эффективности электрических устройств составляют 17,6%. Только в строительстве наблюдается малоэффективное расходование энергии в течение десятилетий.

На диаграмме представлен характер потребления энергии в зависимости от архитектурных решений. Вследствие особенностей технологии строительство непосредственно оказывает отрицательное влияние на *количество запасов ископаемых топлив*, состояние окружающей среды и неестественные процессы. Термин "неестественные" применен здесь для того, чтобы выделить процессы, не являющиеся составной частью *процессов, протекающих* в биосфере. В эту категорию включены все виды сжигания ископаемых топлив, которые, будучи по своему происхождению естественными, при сгорании наносят ущерб состоянию биосферы, нарушая естественные циклы и ухудшая условия жизни человека.

Энергетический цикл, изображенный на рис. 1.2, позволяет представить процесс образования ископаемых топлив и объем потребления их промышленностью. Существуют и другие источники энергии, которые исключают потребление ископаемых топлив; они дают возможность непосредственно использовать энергию солнца и исключить многие стадии, на которых происходят потери энергии. Эти источники позволяют исключить побочные процессы энергетического цикла. Благодаря прямому использованию различных форм солнечной энергии (солнечного тепла и фотоэлектрического эффекта, энергии ветра и процесса фотосинтеза) можно избежать теплового загрязнения, твердых и газообразных выбросов в атмосферу и существенно уменьшить потребление ископаемых топлив.

Все альтернативные источники энергии, рассматриваемые в этой работе, не имеют каких-либо временных ограничений, которые распространяются *на ископаемые топлива. Развитие альтернативной* технологии тормозят современные экономические предпосылки и искусственно создаваемые ограничения. Эта проблема будет рассмотрена в *следующем разделе.*

В книге "Границы роста" приводятся временные границы использования ископаемых топлив. При сохранении сегодняшних темпов роста потребления запасы природного газа будут исчерпаны через 38 лет. Если удастся разведать новые запасы газа, в 5 раз превышающие существующие, то их хватит только на 49 лет. Для нефти при разведанных запасах эта цифра составляет 31 год, а при открытии новых *запасов*, в 5 раз превышающих известные, время полного их использования составит 50 лет. Разведанных запасов угля должно хватить на 2300 лет. Однако в случае полного истощения запасов других ископаемых топлив потребление угля резко возрастет и его запасов может хватить только на 111 лет.

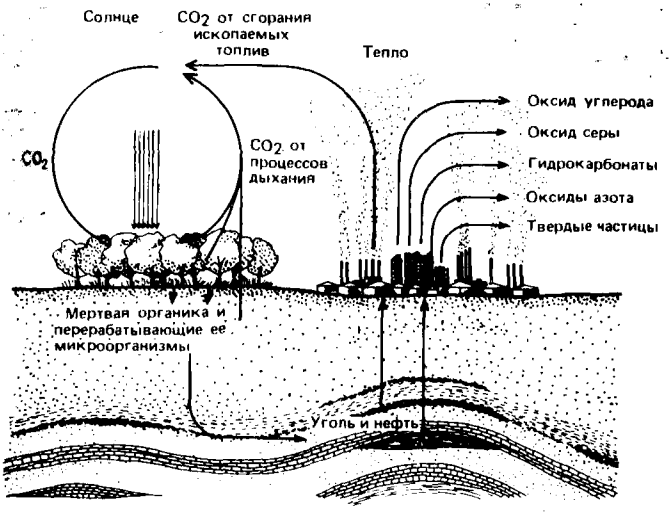


Рис. 1.2. Из работы Фреда С. Сингера "Производство человеком энергии как процесс в биосфере"

Использование ископаемых топлив ведет к возрастающему ухудшению состояния окружающей среды из-за производства горнодобывающих работ и наличия большого количества выбросов. Даже если предположить, что приведенные цифры не очень точны, остается серьезный факт, который нельзя не принимать во внимание: получение энергии из ископаемых топлив загрязняет окружающую среду, ограничено во времени, требует больших затрат на разведку новых источников и в значительной степени подвержено колебанию цен на рынке.

"Большой бизнес" и клиенты архитекторов и инженеров крайне неохотно идут на некоторые дополнительные затраты, позволяющие экономить энергию и в дальнейшем использовать альтернативные источники энергии. В этом случае не принимаются во внимание эксплуатационные затраты. Вместе с тем очевидно, что затраты на строительство энергосберегающих зданий дают возможность получить значительную экономию в результате уменьшения потребления топлива, цены на которое непрерывно растут. Кроме того, это позволит сохранить окружающую среду, о чем можно говорить только в общих чертах, и денежные оценки здесь неприменимы. При определении эксплуатационных затрат нельзя не учитывать капитальные вложения и стоимость материалов.

После того как промышленность освоит выпуск оборудования, позволяющего использовать альтернативные источники энергии (или системы пассивного использования энергии), трудности, обусловленные высокими капитальными затратами, исчезнут. Уже сейчас во многих случаях низкие эксплуатационные расходы делают эти системы конкурентоспособными.

Если рассматривать строительную сферу с точки зрения потребления энергии, то станет очевидным, что сегодня большое количество энергии расходуется бесполезно, так как знания в области техники повторного

Таблица 1.2. **Прогноз возможных сроков истощения ископаемых топлив (по данным "Футуриста")**

Год проведения подсчетов	Период использования, лет	Год истощения запасов	Год проведения подсчетов	Период использования, лет	Год истощения запасов
	Нефть			Природный газ	
1920	81	2001	1952	84	2036
1920	57	1977	1972	48	2010
1933	19	1952	1969	48	2017
1935	12	1947	1970	38	2008
1935	18	1953	1971	20	1991
1937	26	1953			
1948	22—160	1970—2108		Уголь	
1950	30	1980	1913	5940	7853
1951	25	1976	1913	5820	7733
1952	100	2052	1937	3730	5667
1952	1923	2075	1937	217	2154
1952	136	2088	1948	2200	4148
1952	159	2111	1948	3420	5368
1953	23	1976	1948	3600	5548
1955	25	1980	1949	4948	6728
1957	118	2075	1949	3780	5728
1959	38	1997	1952	500	2452
1960	38	1998	1952	258	2210
1960	40	2000	1953	3850	5803
1961	33	1994	1955	3846	5801
1962	36	1998	1957	700—843	2657—2800
1963	32	1995	1961	1270	3231
1963	35	1998	1968	3300	5268
1964	31	1995	1969	3700	5669
1965	30	1995			
1966	35	2001			
1968	35	2003			
1969	35	2004			
1971	30	2001			

использования тепла, устройства теплоизоляции, правильной ориентации зданий и других основных принципов рационального использования энергии не находят достаточного применения. Очевидно, настало время, когда проектировщики больше не могут не принимать во внимание влияние застройки не экосферу.

Освещение и отопление — наиболее крупные и очевидные потребители энергии, которым проектировщик должен уделять особое внимание. К категории наиболее крупных потребителей энергии, используемой для освещения, относятся школы. Большинство зданий такого типа имеет незначительную площадь остекления, а окна конструктивно выполнены герметичными. В основном энергия расходуется на освещение вестибюлей и фасадов. В качестве исключительного примера бесполезных трат энергии можно привести недавно построенные здания Центра мировой торговли. Эти два небоскреба потребляют столько же энергии, сколько требуется для города с населением 100 тыс. человек. Из-за процессов теплообмена, больших теплопоступлений от солнечной радиации и системы освещения потребовалось устройство непрерывно действующей системы кондиционирования воздуха. Здания имеют полностью

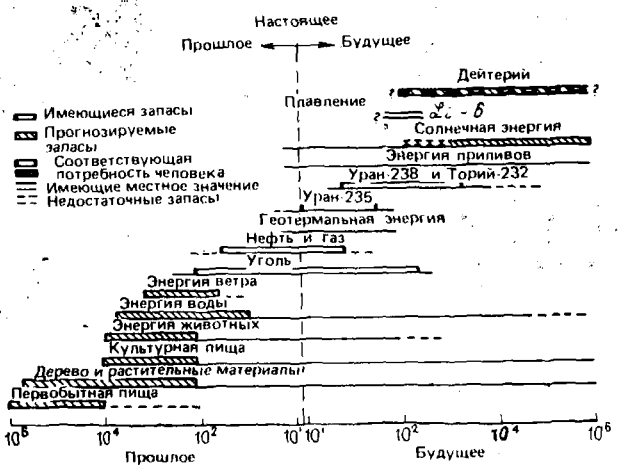


Рис. 1.3. Использование человеком энергии в течение тысячелетий

герметичную конструкцию и оборудованы механической системой поддержания микроклимата, работающей на ископаемых топливах.

Используемые в строительстве материалы и характер их применения составляют основную проблему с точки зрения сохранения энергии. Широкое применение в строительстве пластиков и алюминия, производство которых само по себе весьма энергоемко, требует достаточно тщательного анализа. Согласно прогнозам геологического управления, запасов алюминия должно хватить на 100 лет, а с учетом роста потребления — на 31 год. Для меди предполагаемый период истощения составляет 36 лет, а с учетом роста потребления — только 21 год. Оба этих материала находят широкое применение при изготовлении оборудования, позволяющего использовать альтернативные источники энергии. Можно надеяться, что в результате дальнейших исследований применение этих материалов сократится.

Уже в начальной стадии проектирования необходимо учитывать факторы, которые дают возможность получить экономию энергии до 50% от обычно потребляемой. К ним следует отнести:

- ориентацию здания;
- биоклиматические факторы;
- климат;
- рельеф участка;
- выбор материалов;
- технологию производства работ;
- возможность использования пассивных источников энергии.

Правильный учет этих факторов находится в прямой зависимости от биоклиматических условий, которые сами по себе служат основанием для выбора критериев, используемых при проектировании отопления, охлаждения и освещения. Если все это принять во внимание, можно правильно определить взаимоотношение между характером застройки и природой.

Большие потери энергии иногда объясняют улучшением условий жизни, но верно ли это? Необходимо просто исключить из анализа дешевые дома, например передвижные и легкие, которые строят в настоящее время в достаточно большом количестве, при этом используют дешевые материалы, которые вызывают повышенный удельный расход энергии, быстро стареют и требуют больших объемов ремонтных работ. К этому же результату приводит и строительство разбросанных, плохо организованных пригородных поселков.

При этих и прочих условиях возникает вопрос: что проще и дешевле — строить новые здания или реконструировать старые? Строительство нового здания весьма сложно, и прежде чем принять решение, заказчик и проектировщик должны тщательно все проанализировать.

В начальной стадии проектирования крупные проектные организации обычно поручают разработку отдельных частей проекта разным подразделениям. Может случиться, что взаимосвязь между архитекторами, конструкторами и разработчиками механического оборудования окажется весьма слабой, и в этом случае уже не удастся получить решение, отвечающее требованиям сохранения энергии. Такая концепция в проектировании обусловлена тем, что существует мнение, будто бы здание состоит из набора различных элементов. На самом деле основная функция любого здания заключается в максимальной взаимосвязи с окружающей средой, не должно быть никаких иллюзий относительно независимости внутренней среды от внешней, от солнца, от формы здания, от применяемых материалов, механического и электрического оборудования и биоклиматических потребностей людей, эксплуатирующих здание.

1.2. СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ

Индустриально развитые нации увлекаются технологией и подчиняются ей. В своей одержимости создать комфортные условия общество забыло о таких важных аспектах своего существования, как психологический, социальный и политический. Вопрос заключается не в том, должна ли существовать технология, а в том, что должна быть пересмотрена политика ее применения. К технологии нельзя относиться как к чему-то незыблемому, не подлежащему пересмотру в случае необходимости.

Проблемы, связанные с современной технологией, уже были рассмотрены ранее, поэтому для удобства дальнейших рассуждений приведем лишь их краткий обзор.

Все ископаемые топлива сильно загрязняют окружающую среду, использование их энергетических характеристик находится на крайне низком уровне, а стоимость остается весьма высокой. Существует тесная взаимосвязь между политиками и технической "элитой", которая определяет направление развития технологии. Лишь в малой степени эта взаимосвязь отражает интересы "среднего" жителя города. Его недовольство вызвано широким развитием централизованных систем производства энергии, так как оно ограничивает возможность "среднего" жителя города контролировать потребление энергии. Однако имеются существенные аргументы против децентрализованных систем произ-

водства энергии, тогда как широкое развитие централизованных систем имеет свои преимущества. В отличие от развития технологии развитие централизованных систем энергоснабжения может создать предпосылки для взаимозависимости различных стран и таким образом привести к объединению их усилий в этой области. Сегодня такая взаимозависимость нередко приводит к различного рода злоупотреблениям.

При решении энергетической проблемы иногда приходится встречаться с очень интересной дилеммой. Суть ее заключается в том, что упомянутая выше взаимосвязь приводит к дальнейшему развитию технологии вместо того, чтобы ограничить его или вызвать переориентацию в развитии. Смысл сказанного можно пояснить двумя примерами.

Рассмотрим автомобильное устройство для уменьшения выбросов в атмосферу. Оно действительно значительно уменьшает количество выбросов от автомобилей, но в то же время приводит к повышенному расходу топлива. В результате промышленность вынуждена увеличивать производство бензина, что увеличивает загрязнение атмосферы уже промышленными отходами и приводит к уменьшению запасов ископаемого топлива. Таким образом, устройство для уменьшения автомобильных выбросов в атмосферу на самом деле не уменьшает их количество, а перемещает очаги их образования. Можно сказать, что "система В" предназначена для улучшения "системы А". Такой "прогресс" может быть бесконечным.

Рассмотрим другой пример — область ядерной энергетики. Когда стало очевидным, что сохранение нынешнего образа жизни потребует создания новых источников энергии, то ядерная энергия представлялась нам тем источником, который, возможно, позволит решить все проблемы. Образ жизни, сам по себе, никогда не подвергался критическому анализу так же, как не оценивались некоторые альтернативные решения, которые могли бы уменьшить загрязнение окружающей среды и экономить невозобновляемые запасы ископаемых источников энергии.

Степень термического загрязнения атмосферы и объем радиоактивных отходов изменяются. Если принять, что к 2000 г. 70% потребностей в энергии будет покрываться за счет атомной, то количество радиоактивных отходов составит 13,5 тыс. т [7]. Эти вещества имеют период полураспада 2500 лет, а сегодня еще не созданы материалы, которые могли бы полностью изолировать окружающую среду от радиоактивных излучений. Любые попытки решить проблему загрязнения окружающей среды с помощью "системы В" представляются смехотворными. В качестве одного из вариантов, например, предлагается реактор на быстрых нейтронах. Однако надо иметь в виду, что как бы ни был эффективен этот реактор, он не может обеспечить достаточное количество подверженного распаду материала без обновления того металла, который служит исходным материалом.

Имеющиеся сегодня решения в области сохранения энергии не затрагивают суть проблемы. И если эти решения получат дальнейшее развитие, то кризис повторится в более сложной и опасной форме.

1.3. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

Создавшееся положение требует развития новой альтернативной технологии, которая не загрязняет окружающей среды, отличается

принципиально простым решением, доступна для реконструкции (может использоваться и для общественных, и для индивидуальных нужд) и безопасна даже при неправильном обращении.

Обычно развитие альтернативной технологии увязывают с возрастающими трудностями и опасностями для человеческой жизни. При этом не принимают во внимание ни истощения источников пассивной энергии, ни двухсотлетнего научного опыта. Кроме того, не изучают и не используют архитектурных решений, характерных для каждого конкретного региона. Между тем это позволило бы создавать здания, максимально приближенные к условиям природной среды. Такая архитектура свидетельствует о культуре использования Земли, являющейся средой обитания человека. Для людей, осуществляющих на практике эту политику, плохое отношение к Земле следует расценивать как плохое отношение к матери. Поэтому осуществление решений, использующих альтернативные источники энергии, должно быть классифицировано как дальнейшее развитие цивилизации.

Мы рассмотрим четыре альтернативных решения и их характеристики, причем использование воды следует считать более лимитированным из-за неравномерного распределения ее на планете.

Преимущества использования солнечной энергии почти очевидны. Во-первых, исключается тепловое загрязнение среды, потому что не выделяется дополнительная тепловая энергия. Единственным источником тепловой энергии служит солнце. Во-вторых, при использовании солнечной энергии исключается возникновение побочных продуктов или каких-либо отходов. Использование солнечной энергии доступно как в городах, так и в сельских населенных пунктах, что позволяет лучше использовать природную среду.

Неравномерное распределение солнечной энергии по земной поверхности создает различные ветровые условия. Хотя распределение ветровой энергии менее равномерно, а ее накопление более сложно, чем накопление других видов энергии, тем не менее возможности ее использования уже достаточно хорошо обоснованы. Ветровая энергия также не загрязняет окружающую среду. Количество солнечной и ветровой энергии не ограничено во времени, по крайней мере, до тех пор, пока светит солнце.

При анаэробном разложении органических веществ выделяется метан, теплотворная способность которого ниже, чем у других природных газов; его источники относятся к категории возобновляемых. Использование метана связано с выделением загрязнений, однако их количество невелико.

Информации, которая обобщает, анализирует и развивает основные направления в области использования этих трех альтернативных источников, накопилось сравнительно немного. Опыт использования этих источников довольно небольшой и относится, главным образом, к сельским территориям, что не позволяет сделать каких-либо выводов об использовании этих источников в условиях городской застройки.

Было высказано несколько предложений об использовании солнечной энергии для нужд нации или континента. Их необходимо тщательно изучить с точки зрения возможного воздействия такой боль-

шой поверхности коллекторов на экосистемы и климатические условия региона. В других предложениях рассматривается возможность создания искусственного спутника Земли, который бы вырабатывал электроэнергию за счет фотоэлектрического эффекта, а затем передавал ее на Землю. Их осуществление также связано с возможностью возникновения различных осложнений, которые должны быть тщательно изучены.

Много предложений было высказано и применительно к условиям городской застройки, реализация их может существенным образом повлиять на характер архитектурных решений и привести к уменьшению этажности зданий и созданию более спокойной застройки.

Использование различных альтернативных решений приводит нас к так называемой миниатюризации застройки, т.е. к уменьшению размеров и упрощению ее конфигурации, что следует рассматривать как поворот к более разумным решениям, как поворот от бессистемности к порядку.

В 1973 г. появилось новое понятие — "чистая энергия"; основой для этого определения послужила следующая концепция: "для получения энергии необходимо затратить энергию". Например, при проектировании системы охлаждения или отопления следует учитывать все затраты энергии: на получение сырья, изготовление материалов и изделий, транспортировку и т.д. По-видимому, следует дать энергетический анализ системы в целом.

Использование такого мощного источника энергии, как ядерная, требует огромных энергетических затрат на добычу сырья и изготовление необходимых материалов и изделий, однако с точки зрения природных ресурсов ее применение может быть рациональным. Вместе с тем использование рассеянных источников энергии может быть неоправданным, например, солнечной энергии.

Можно привести много примеров, когда изготовление оборудования для использования солнечной энергии требует энергетических затрат, значительно превышающих производительность самой системы. Многие альтернативные системы не производят чистой энергии, а тем не менее требуют непроизводительных энергетических затрат, поэтому проектировщик обязан произвести тщательный энергетический анализ, прежде чем сделает выбор источника. Причем необходимо, чтобы каждая система и каждый источник энергии были оптимально увязаны между собой.

Мы хотим еще раз подчеркнуть, что все изменения в технологии, о которых упоминалось здесь, проявляются только на уровне, определяющем техническую политику. Альтернативная технология может служить катализатором, ускоряющим развитие взаимоотношений между политиками и технической "элитой", а также способствовать решению социологических и психологических проблем. В то же время следует избегать излишней специализации, которая может привести к противоречиям и раздробленности при решении проблемы в целом.

Список литературы

1. Anderson Bruce. Solar Energy and Shelter Design, M. I. T. Thesis, January 1973, p. 6.

2. Schurr S.H. and B.C. Netschert. Energy in the American Economy 1850–1975, Johns Hopkins Press, Baltimore, Md., 1960, p. 1.

3. Op. cit. Anderson, p. 6.

4. Meadows Dennis, et. al. Limits to Growth, Cambridge, Mass., M.I.T. Press, 1972.

5. Stein Richard. "Architecture and Energy", Architectural Forum, July–August 1973, p. 46.

6. Clark Robin. "The Pressing Need for Alternative Technology", Impact of Science on Technology, vol. 23, no. 4, 1973.

7. Op. cit. Anderson, p. 6.

8. Soleri Paolo. Matter Becoming Spirit, Anchor Press, Garden City, New York, 1973.

"The Biosphere", Scientific American, vol. 223, no. 3, September 1970.

Bender Tom. Environmental Design Primer, Schocker Books, New York, 1973.

Citizen's Advisory Committee on Environmental Quality, Citizen Action Guide to Energy Conservation, Washington, D.C., September 1973.

Cook Earl. "Energy Sources for the Future", The Futurist, August 1972, pp. 142–152.

Dubin Fred. "Energy for Architects", Architecture Plus, July 1973, pp. 39–49, 74–75.

Harper Peter. "In Search of Allies for the Soft Technologies", Impact of Science on Technology, vol. 23, no. 4, 1973, pp. 287–301.

Landsberg H.H. and Schurr S.H. Energy in the United States, Random House, New York, 1968.

Odum Howard T. Environment, Power and Society, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1971.

Odum H.T. Energy Basis for Man and Nature, McGrawHill Co., New York, 1976.

Schumacher E.F. Small Is Beautiful, Harper & Row, New York, 1973.

Southwest Florida Planning Team, Department of Architecture, University of Florida.

2. УЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

При разработке любого проекта приходится учитывать определенные климатические факторы, которые оказывают непосредственное влияние на решение фасада и интерьера здания. Попробуем установить природу этих факторов, их взаимосвязь с микроклиматом и влияние на условия комфортности для человека. Более подробная информация может быть получена из литературных источников, посвященных вопросам климатологии. В данной книге в качестве источников использовались работы В. Гивони "Человек, климат и архитектура" и "Солнечная энергия в жилищном строительстве", опубликованные в журнале "Архитектурное проектирование" в октябре 1973 г., а также работа "Проектирование с учетом климатических условий" Виктора Олгиая.

2.1. ВЗАИМОСВЯЗЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОРГАНИЗМА С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Комфортные условия для человеческого организма, которые должны приниматься во внимание при проектировании, складываются из двух элементов: внешних климатических условий и внутреннего микроклимата здания, определяемого характером деятельности людей. Взаимодействие между внешними климатическими условиями и микроклиматом помещения сказывается, главным образом, на ограждающих конструкциях. В этих поверхностях происходит соприкосновение двух встречных энергетических потоков, поэтому очевидно, что именно здесь должен осуществляться контроль за энергетическими процессами.

Ограждающие конструкции могут быть решены таким образом, что станут реагировать на любые изменения внешних климатических условий и внутреннего микроклимата или же останутся стабильными, если известно, что климатические условия изменяться не будут. Вследствие того, что эти поверхности регулируют количество теплопотерь и теплопоступлений, они иногда предоставляют возможности для использования условий окружающей среды, а иногда позволяют полностью исключить ее влияние на микроклимат помещения.

Непроизводительные траты энергии чаще всего возникают тогда, когда требуется поддерживать постоянный микроклимат в помещении, для чего приходится устанавливать системы охлаждения, отопления, кондиционирования и вентиляции. Современное проектирование не в состоянии учесть те биологические факторы, которые окружающая среда предоставляет человеку.

Н.К. Ли подразделил все теплопотери человеческого организма на семь категорий в зависимости от четырех типов теплообмена: радиации, проводимости, конвекции и испарения.

Установлено, что на долю радиации приходится около 2/5 теплопотерь человеческого тела, на долю конвекции — 2/5 и на долю испарения — 1/5, хотя эти значения могут изменяться в зависимости от температурных условий окружающей среды.

Рассмотрим эти семь категорий теплопотерь и подразделим их по типам теплопередачи в условиях суточного цикла жизнедеятельности человека:

Госуд[illegible]
Республ[illegible] учно-
техническая библиотека
№ 2

Теплопоступления

1. Тепло вырабатывается за счет:
   - основных биологических процессов;
   - активности;
   - обмена веществ и других процессов;
   - мышечных усилий.
2. Накопление лучистой энергии происходит:
   - от прямого и отраженного солнечного света;
   - от нагретых отопительных приборов;
   - от прочих нагретых предметов.
3. Теплопередача человеческому телу:
   - от воздуха с температурой, превышающей температуру человеческого тела;
   - при контакте с предметами, имеющими температуру выше температуры человеческого тела.
4. Конденсация атмосферной влаги (*иногда*).

Теплопотери

1. Теплоизлучение:
   - в пространство
   - передача тепла холодным поверхностям.
2. Теплопередача от тела человека:
   - в воздух с температурой ниже температуры человеческого тела;
   - при контакте с более холодными поверхностями.
3. Испарение:
   - через дыхательные пути;
   - через кожу.

Показатели внутреннего микроклимата помещения изменяются в зависимости от климатических условий и деятельности людей в помещении (основным параметрам микроклимата, которые должны учитываться при проектировании, посвящено достаточно много публикаций). От проектировщика зависит создание среды, максимально комфортабельной для человека, позволяющей разумно использовать механизм регулирования температуры человеческого тела.

2.2. ВИДЫ ТЕПЛА

Скрытое тепло — это тепловая энергия, высвобождающаяся при изменении состояния вещества, например при плавлении или парообразовании. Данный вид энергии обычно участвует в процессе испарения или в любых других процессах, при которых газ конденсируется в жидкость либо, наоборот, происходит возгонка паров.

Ощутимое тепло — энергетическая характеристика материала, которая определяет его температуру, обусловленную молекулярным движением вещества.

Если различным материалам с одинаковой температурой передать некоторое дополнительное количество энергии, а затем замерить температуру, то можно определить *удельную теплоемкость* данных материалов.

Явление *теплопроводности* наблюдается при передаче молекулярной энергии от одной массы вещества с более высокой температурой другой массе вещества, имеющей более низкую температуру. *Конвекция* происходит в газах и жидкостях, когда их плотность при увеличении температуры снижается, вследствие чего происходит передвижение потоков вещества. Это явление лежит в основе естественной вентиляции, естественного охлаждения и позволяет использовать энергию ветра.

Тепловая радиация (лучистая энергия) — это энергия в движении. Известно, что тепловая энергия распределяется по прямой со скоростью света. Важно помнить, что волны меньшей длины несут больше энергии. Это явление используется при создании систем солнечного отопления.

Черное тело наиболее эффективно воспринимает и отдает лучистую энергию. Длина волн, излучаемых телом, обратно пропорциональна температуре тела (К). Радиация может передаваться в том случае, когда она проходит через материал, отражаться, если материал преломляет ее, или поглощаться материалом. Уникальным свойством обладают стекло и некоторые пластики, которые могут по отношению к радиации осуществлять все три процесса одновременно или при некоторых условиях каждый отдельно.

2.3. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ

Количество солнечной радиации измеряют единицей, называемой лэнгли в мин, что соответствует 1 кал излученной энергии на 1 $см^2$ поверхности. В зависимости от географического положения, времени суток и года и атмосферных условий интенсивность солнечной радиации, достигающей земной поверхности, составляет 0—1,5 лэнгли/мин.

Солнечная радиация представляет собой электромагнитное излучение солнца. Обычно спектр солнечного излучения по длине волны подразделяется на три области: ультрафиолетовую, видимого света и инфракрасную. Максимальная интенсивность солнечного излучения приходится на видимую область спектра, а остальная часть — на инфракрасную. Поглощение, рассеивание и отражение света атмосферой значительно уменьшают интенсивность солнечной радиации (рис. 2.1).

Бóльшая часть коротковолнового излучения рассеивается водяными парами, находящимися в атмосфере.

Среднее количество солнечной радиации, достигающей земной атмосферы, составляет 1,9 кал/($см^2$·мин). Количество солнечной радиации, достигающей земной поверхности, меньше, и оно зависит от состояния атмосферы [3]. Интенсивность солнечной радиации, получаемой земной поверхностью, зависит и от высоты над уровнем моря: чем она больше, тем больше количество солнечной радиации.

Согласно данным В. Олгиая, приводимым в работе "Проектирование с учетом климатических условий", лучистую тепловую энергию для Земли подразделяют на пять основных типов [4]:

- непосредственное коротковолновое излучение от Солнца;
- отраженное коротковолновое излучение от околоземной атмосферы;
- коротковолновое излучение, отраженное от окружающей поверхности;
- коротковолновое излучение от нагретой поверхности Земли и окружающих объектов;
- отраженное длинноволновое излучение — обратный теплообмен между зданиями и небосводом.

Грубо говоря, горизонтальные поверхности получают почти в 2 раза больше энергии, чем вертикальные [5]; большое количество этой энергии отражается внутрь зданий (табл. 2.1).

Таблица 2.1. **Количество солнечной радиации, отражаемой различными поверхностями**

Тип поверхности	Процент отражаемой радиации
Голая земля сухая	10–25
Голая земля влажная	8–9
Песок сухой	18–30
Песок влажный	9–18
Чернозем сухой	14
Сухая трава	32
Зеленые поля	3–15
Зеленые листья	25–32
Хвойный лес	5
Пустыня	34–28
Солончаки	42
Кирпич в зависимости от цвета	23–48
Асфальт	15
Городская территория	10

Важность значения этой таблицы для проектировщиков состоит в том, что с ее помощью можно достаточно точно определить все энергетические достоинства и недостатки выбранного участка.

Длинноволновое тепловое излучение испускается земной поверхностью в атмосферу и окружающее пространство. Количество тепла зависит от разницы температур между земной поверхностью и атмосферой. Облачный покров — это очень важный фактор для определения количества длинноволнового излучения. Длинноволновая радиация в облачную погоду, отражаясь от облаков, способствует нагреву атмосферного воздуха. Водяные пары имеют огромное значение для процесса поглощения и излучения длинноволновой радиации. В ясную погоду поверхность земли холоднее, потому что длинноволновая радиация может беспрепятственно уходить в пространство.

Определение влажности — ответственный момент проектирования системы отопления и охлаждения, а также конструкции стен. Ошибки в определении влажности воздуха могут привести к "влажным стенам" — к явлению, которое обусловлено конденсацией водяных паров на холодных поверхностях, что вызывает быстрое разрушение конструкции и создает дискомфортные условия для человека. Влажность воздуха может изменяться в зависимости от характера деятельности людей в помещении и климатических условий.

В случае когда поверхность земли охлаждается до температуры, меньшей, чем температура воздуха в нижних слоях атмосферы, а температура более высоких слоев атмосферы выше, возможно возникновение "поверхностной инверсии". При понижении температуры нижних слоев воздуха, насыщенных водяными парами, происходит конденсация влаги. Температура, при которой начинается процесс конденсации, называется "температурой точки росы". Всякое дальнейшее понижение температуры вызывает конденсацию влаги на более холодных поверхностях. Если такой поверхностью является земля, происходит выпадение всем известной росы. Если при этом конденсированная влага перемешивается с холодным воздухом, то в результате образуется туман.

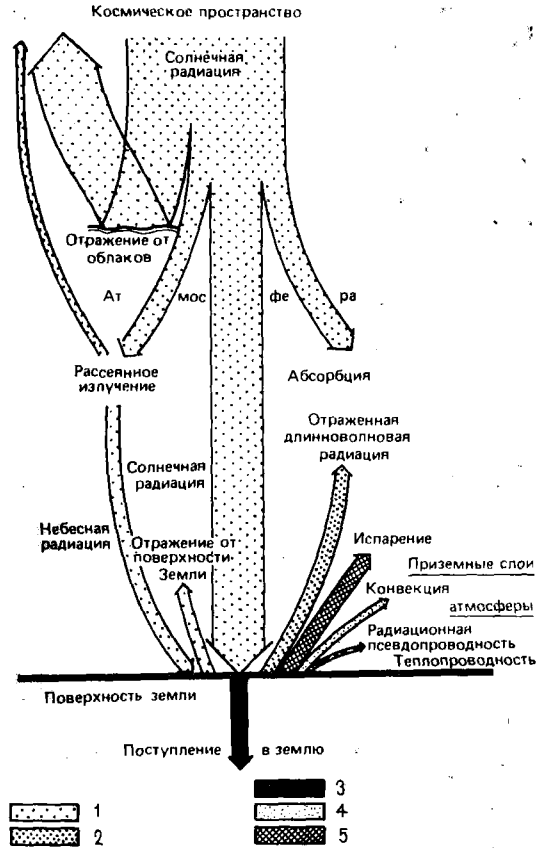


Рис. 2.1. Процесс теплообмена в летний полдень
1 — тепло, передаваемое путем коротковолновой радиации; 2 — то же, длинноволновой радиации; 3 — то же, молекулярной теплопроводности; 4 — то же, конвекции; 5 — то же, изменений агрегатного состояния воды

Поднимаемый восходящими потоками холодный воздух охлаждает верхние слои атмосферы, что приводит к выпадению осадков.

Холодный воздух обычно скапливается в пониженных участках рельефа и создает условия для формирования тумана. Потери тепла за счет длинноволновой радиации, которые охлаждают поверхность земли, также создают предпосылки для формирования тумана, росы, а также для промерзания почвы.

Солнечная радиация не оказывает прямого воздействия на температуру воздуха. Он слишком прозрачен для солнечной радиации. Основными факторами, непосредственно влияющими на изменение температуры воздуха, являются охлаждение и нагрев поверхности Земли, которая находится под прямым воздействием солнечной радиации.

Нижние слои воздуха нагреваются от земной поверхности и поднимаются за счет конвекции вверх, формируя бризы и более сильные ветры. Зимой и в ночное время, если небо безоблачно, потери коротковолновой радиации в атмосферу охлаждают поверхность земли, соответственно охлаждая близлежащие слои воздуха. Когда влага формируется в капли, создается своего рода изолирующий слой, и остаточное тепло начинает нагревать воздух, уменьшая процесс охлаждения земной

поверхности. Это и другие явления стимулируют образование горных и морских бризов и формирование осадков (они будут рассмотрены в гл. 2.5).

Инсоляцией называется количество солнечной энергии, получаемой единицей площади горизонтальной поверхности. Расчет инсоляции исключительно важен для проектировщика, потому что он служит основой для определения эффекта затенения, расчета тепловой изоляции, определения характера расположения остекления, ориентации и конфигурации здания, а также для расчета механических систем.

Таблицы, в которых приводятся средние значения солнечной радиации, получаемой земной поверхностью, очень удобны для выполнения стандартных расчетов. В тех случаях, когда требуется получить более точные данные, например для расчета солнечных коллекторов, эти таблицы не могут быть использованы, так как в них не учтены возможные изменения микроклимата.

2.4. УГЛЫ СТОЯНИЯ СОЛНЦА НАД ГОРИЗОНТОМ И СОЛНЕЧНЫЕ ЧАСЫ

Диаграмма углов стояния солнца над горизонтом позволяет при проектировании определять истинное положение солнца над горизонтом в любое время. Она представляет собой проекцию углов стояния солнца над горизонтом на горизонтальную поверхность, при этом местонахождение наблюдателя подразумевается в центре сферы лицом к югу для северного полушария и лицом к северу для южного полушария.

Многие диаграммы для северного полушария представлены в "Графических стандартах". Положение солнца в любой день, в любое время может быть рассчитано. Углы стояния приводятся через 10°: от 0 южной долготы до 180° северной долготы. На рис. 2.2 показан пример такой диаграммы.

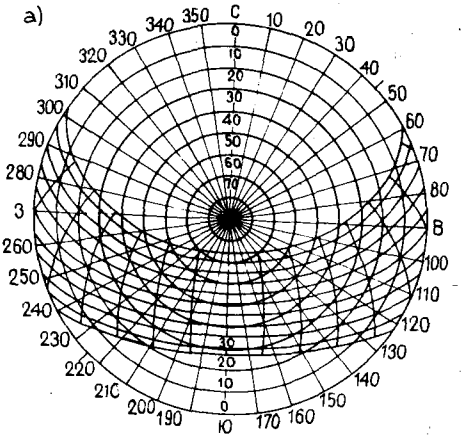
Угол наклона земной оси составляет 23° 27′, а угловая скорость вращения Земли по орбите вокруг Солнца — 15° в час [7]. Угол наклона Солнца ограничен в пределах высот зимнего и летнего солнцестояния. Если отсутствуют точные данные, для определения высоты стояния и углов наклона могут быть исключительно полезны солнечные часы. Кроме того, ими можно пользоваться и для определения углов затенения здания.

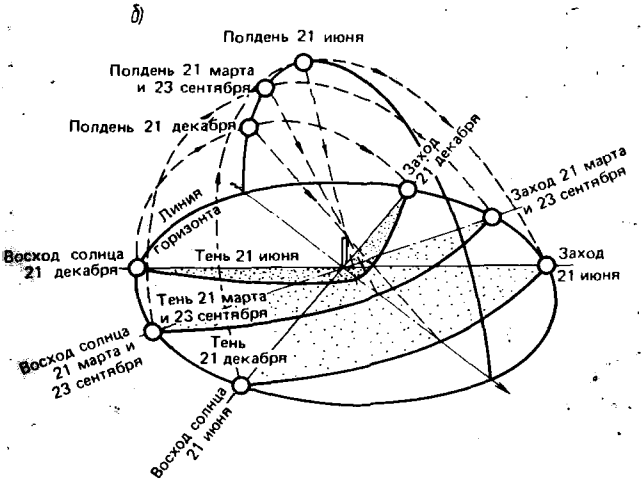
2.5. МИКРОКЛИМАТ

Возможно, вам приходилось замечать, что весной снег на одном из склонов холма сходит раньше, чем на других, а если приходилось подниматься на гору рано утром, то могли заметить, что ветер дует на склоне, освещенном солнцем. Эти явления — результат условий микроклимата, которые могут изменяться в значительной степени на очень небольшом расстоянии вследствие влияния топографии, высоты над уровнем моря, типа грунта, характера осадков и многих других факторов. При выборе участка для здания исключительно важно иметь точные данные о параметрах микроклимата.

Мы обычно занимаем довольно тонкий слой атмосферы, который подвержен колебаниям температуры, влажности, осадков и ветровых условий под воздействием топографических условий, наличия водоемов, лесов, благоустроенных территорий, парков, зданий и сооружений. Правильный учет условий микроклимата может дать значительную экономию при устройстве систем отопления, охлаждения, освещения и вентиляции здания.

Рис. 2.2. Диаграмма углов стояния солнца над горизонтом
а — углы стояния солнца и азимуты для некоторых суток года на широте 40° северного полушария; б — диаграмма углов стояния солнца для 40° северной широты





Для правильного понимания воздействия микроклимата на взаимоотношения между застройкой и природной средой следует иметь в виду, что реальные климатические условия могут выйти за пределы принятых максимальных и минимальных значений.

Высота над уровнем моря — один из наиболее важных факторов для определения температуры воздуха. В мировой практике встречаются случаи, когда метеорологи дают прогноз погоды в зависимости от высоты над уровнем моря, потому что она определяет характер растительности. Иногда наблюдаются так называемые холодные ямы, возникновение которых обусловлено проникание ночью в пониженные участки местности холодного воздуха, вызывающего в данном месте снижение температуры до 11 °С, а влажности до 20% по сравнению с окружающей территорией. Во все времена года наличие более холодного воздуха часто сопровождается образованием тонкого слоя тумана.

Вершина холма больше открыта для ветров, чем окружающая территория. Это иногда может служить преимуществом, но в большинстве случаев расположение здания на вершине холма приводит к увеличению слоя изоляции, требует более тщательного распределения окон по фасадам и выбора такой конфигурации здания, при которой оно имело бы минимальную поверхность с целью уменьшения теплопотерь в холодный период года. Решения, позволяющие использовать ветер для естественной вентиляции и охлаждения зданий, будут рассмотрены в гл. 4. На наветренном склоне могут быть совсем иные природные условия, чем на подветренном. На вершине скорость ветра максимальная как по горизонтальной, так и по вертикальной составляющей. Высокая скорость наблюдается также ниже вершины и на боковых гребнях, а самая низкая – у подошвы подветренного склона.

В районах, где преобладают низкие температуры, наиболее предпочтительно расположение зданий на южном или юго-восточном склоне между подошвой и вершиной [9]. Необходимо иметь в виду, что на склоне, получающем на 40% больше солнечной радиации в зимнее время, таяние снега и прогрев почвы могут наступить на 3,5 недели раньше, чем на других склонах.

Бризы обычно наблюдаются на южном и юго-восточном склонах. Солнечная радиация поглощается землей и нагревает близлежащие слои воздуха, который начинает подниматься вверх по склону, создавая бризы. Эти бризы представляют собой движение небольшого слоя воздуха вверх вдоль поверхности склона в течение дня, изменяясь в зависимости от ориентации склона, и вниз ночью, когда холодный воздух опускается вдоль склона (рис. 2.3).

Бризы также формируются между сушей и морем. В течение дня воздух над сушей нагревается больше, чем над морем и, поднимаясь вверх, эжектирует холодный воздух, находящийся над поверхностью моря (рис. 2.4). Ночью процесс идет в обратном направлении, но так как разница температур в дневное время больше, то дневные бризы сильнее.

Глобальное атмосферное давление или ветровые процессы могут оказывать влияние на регулярность и силу этих бризов.

Осадки непосредственно связаны с ветровыми условиями и относительной влажностью. Характер переменных ветров изменяется от месяца к месяцу и от сезона к сезону, то же самое происходит и с характером осадков. Продолжительность выпадения осадков, их интенсивность и частота выпадения влияют на выбор конструктивных решений здания и его посадку.

Один из основных принципов, который объясняет взаимосвязь между климатом и осадками, иллюстрируется феноменом поднимающегося воздуха. Когда воздух по тем или иным причинам поднимается вверх, создаются предпосылки для формирования трех типов осадков: конвективных, конвергентных и орографических [11].

Конвективные осадки вызываются восходящими влажными воздушными массами, которые нагрелись при контакте с более теплыми поверхностями. С началом процесса конденсации избыточное тепло из воздушных масс отбирается, что замедляет процесс охлаждения и способствует созданию восходящих потоков. Конвективные дожди характеризуются большой интенсивностью и кратковременностью. Во многих горных районах с их высокой влажностью конвективные дожди могут формироваться при лучших условиях почти ежедневно.

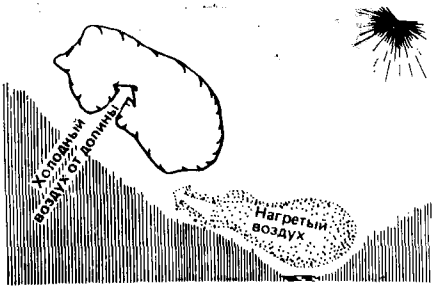


Рис. 2.3. Горные бризы

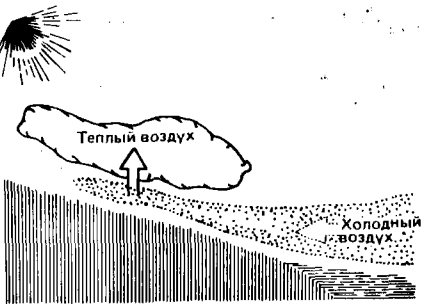


Рис. 2.4. Береговые и морские бризы

Конвергентные осадки выпадают в случаях, когда восходящие потоки воздуха встречаются с зонами или фронтами низкого давления. В этом случае в восходящем потоке начинается процесс конденсации и формирования облаков, а затем и выпадения осадков.

Орографические осадки формируются при движении воздушных масс вдоль горных склонов под действием разности давлений. При соприкосновении этих потоков с неподвижными воздушными массами, находящимися в предгорьях, возможно выпадение орографических осадков. Характер этих осадков может изменяться с высотой. Наиболее сильные дожди обычно выпадают на наветренной стороне, а на подветренной стороне их иногда не бывает совсем. Такое явление приводит к формированию ландшафта различного характера на противоположных склонах. С точки зрения микроклимата можно сказать, что характер осадков подвержен изменениям в зависимости от топографических условий. Осадки могут быть перенесены ветром через холмы или небольшие горы и могут выпасть и на подветренных склонах.

Характер земной поверхности влияет на температуру воздуха. Согласно работам Гельмута Ландсберга [12], колебания температур воздуха летом в солнечный день в 30 см от поверхности Земли могут составлять от 8 до 10°F на пониженных участках. Над повышенными участками поверхности в зависимости от цвета почвы и наличия травы температура воздуха может отличаться на 10—14° F, причем при наличии травы температура воздуха бывает ниже. На затененных участках наблюдаются различные температуры воздуха над почвами разных типов: колебания составляют около 5°F на высоте 1,8 м от поверхности земли.

Достаточно крупные водоемы также способны оказывать влияние на микроклимат. Расположение сооружений вблизи водоемов может иметь свои преимущества, но если не будут правильно учтены ветровые условия, эти преимущества могут быть потеряны. Территории, расположенные на подветренной стороне водоема, обычно отличаются более ровными климатическими условиями, чем на наветренной. Наличие водоема, кроме того, повышает влажность воздуха на прилегающих территориях. Чем больше водоем, тем более ровным становится климат, как это было показано уже при описании взаимовлияния между океаном и сушей. В районе Великих озер средняя температура января на 5°F выше, а средняя температура июля на 3° F ниже, чем на соседних территориях [13].

Чтобы учесть колебания микроклимата, нет необходимости применять особо точную аппаратуру. Природа сама по себе является очень чувствительным индикатором к резким колебаниям микроклимата. Она предоставляет уникальную возможность для непрерывных наблюдений за характером влияния изменений микроклимата на окружающую среду региона.

Согласно данным Линча [14], преобладание в растительности таких пород деревьев, как красный клен, ольха, ива и тсуга, указывает на влажные, плохо дренирующие грунты. Растущие вместе дуб и орешник свидетельствуют о наличии теплой, сухой почвы. Растущие вместе ель и пихта характерны для влажных, холодных почв. Сосна и мелкий дубняк произрастают на очень сухих, хорошо дренирующих почвах, а красные кедры — на бедных почвах. Характер расположения растительности зависит от дренирующих свойств почвы, кислотности, содержания гумуса, температуры, солнечного освещения, влажности и характера ветров.

В случаях когда необходимо сохранить существующую растительность, должен быть проведен тщательный анализ размещения различных машин и дорог. При уплотнении грунта машинами резко ухудшатся условия развития корневой системы растительности, что в итоге приведет к серьезным изменениям в микроклимате района: начнется понижение уровня воды, что усилит процессы ее загрязнения.

Микроклимат строительной среды имеет совсем другую природу. Естественный грунт имеет тенденцию стабилизировать и уравновешивать температуры, а также сглаживать их экстремальные значения, тогда как искусственная среда почти всегда увеличивает эти значения. Растительность излучает несравненно меньше тепла, чем неорганические материалы, и обладает более холодной поверхностью, что обусловлено процессом испарения через собственную поверхность. Ландсберг приводит пример, когда температура воздуха на метеоплощадке составляет 36,7 °С, а в то же самое время температура асфальта была около 50 °С. Конечно, это сказывается на микроклимате зоны человеческой активности (приблизительно на высоте 120 см от поверхности Земли) : температура повышается до 40 °С. Бетонная поверхность имела температуру на 7 °С ниже, чем асфальтированная. Тот же эффект был обнаружен, когда замеряли не температуру воздуха, а температуру излучения.

Что же касается отражения света, то бетон отражает от 25 до 35% падающего света, тогда как поверхность, поросшая травой, — только 10—15% падающего на нее света. Зеленое дерево может поглотить 25—30% света, падающего на горизонтальную незатененную поверхность.

Микроклимат городских территорий сильно отличается от микроклимата окружающих территорий. Лишь несколько городов было запроектировано с учетом обеспечения благоприятного микроклимата. Небольшие изменения микроклимата медленно накапливаются при быстром и интенсивном росте городов. Если при разработке планировки города не были учтены естественные ветры, то при его застройке влияние строительной среды может в конце концов привести к формированию вместо естественных мягких бризов, сильных ветровых потоков. Очень большое влияние на микроклимат оказывают небоскребы, если они решены без учета всех климатических факторов. Метеорологи утверждают, что изменяются не только ветровые условия, но и характер осадков и внутреннего микроклимата городской территории.

Строительство очень высоких зданий значительно возрастает. В

этих условиях пренебрежение климатическими факторами вместо их учета может привести к крайне неприятным последствиям. Последней жертвой такого конфликта стало полностью остекленное здание Джон Хенкон Тауэр в Бостоне стоимостью 100 млн. дол. В результате воздействия сильного ветра, который характерен для района Бостона, 5000 термоизолирующих стеклянных панелей, каждая размером 1,4х3,6 м, общей площадью 64 752 м^2, отвалились [15]. Их пришлось временно заменить фанерой, которой хватило бы для строительства 30 домов, до тех пор, пока не было установлено новое остекление стоимостью 6 млн. дол. Легко представить себе, чем вызвано это печальное происшествие, хотя официальные данные еще не опубликованы. Можно с достаточно большой точностью констатировать, что сильный ветер вызвал с одной из наружных сторон ограждающих конструкций сильное давление, а с внутренней стороны, таким образом, возникло сильное разрежение, что и привело к отрыву стеклянных панелей от рам, в которых они крепились. Столь дорого с экономической и экологической точек зрения обошлась попытка противостоять Природе.

Эффект образования сильных воздушных потоков может возникнуть под воздействием сильного нагрева больших поверхностей зданий, обращенных к солнцу. Эти потоки могут быть очень полезны в случае использования естественной вентиляции зданий, но в то же время они могут усилить охлаждающее влияние бризов на улицах. Температура воздуха городских территорий с плотной застройкой может быть на 12 °С выше, чем на пригородных территориях. Это объясняется поглощением тепла конструкциями зданий и сооружений, а также тепловыделениями от транспорта, людей, механизмов и освещения и теплопотерями.

Смог оказывает существенное воздействие на микроклимат и, кроме того, серьезно влияет на биологические процессы человеческого организма. Он может привести к повышению температуры воздуха на городской территории, так как препятствует процессу теплоотдачи. Кроме того, он на 30% уменьшает поступление солнечной радиации и на 50% снижает поступление биологически важного ультрафиолетового излучения [16]. Когда накопление избыточного тепла сопровождается высокой влажностью, это создает значительный дискомфорт для человеческого организма.

Осадки — менее важный компонент городского микроклимата, однако и они должны учитываться при проектировании. Асфальт, бетон и кирпич обладают малой гигроскопичностью и поэтому способствуют формированию больших количеств дождевых стоков. Эти поверхности не усиливают процесс охлаждения за счет испарения, однако некоторое количество тепла от них уносится потоками дождевых вод, в основном эти поверхности способствуют дополнительным тепловыделениям в теплое время. Единственное преимущество избыточного количества тепла, формирующегося на городских территориях, заключается в создании предпосылок для образования осадков в зимнее время. Поднимающееся тепловое излучение может привести к изменению температуры облачного покрова и выпадению осадков, если скорость движения облаков невелика.

В северном полушарии почти всегда приходится считаться с дефицитом солнечного освещения. Городская застройка препятствует прониканию солнечного света. Отношение ширины улиц к высоте зданий

определяет количество солнечного света, попадающего в пределы застройки. Конечно, в первую очередь, количество солнечного света определяется углами стояния солнца над горизонтом, но можно сказать, что в зависимости от характера затенения количество поступающего солнечного света уменьшается в геометрической прогрессии. На поверхность, расположенную на последнем этаже здания, может через окно попасть не более 50% возможного количества солнечного света. На высоте, равной половине ширины улицы, затенение от крыши здания, расположенного на соседней южной стороне улицы, уменьшит количество солнечного света в помещении до 35%, а на уровне ниже, чем ширина улицы, это количество уменьшится до 25%; при уровне ниже, чем две ширины улицы, до 15%, а на уровне ниже, чем три ширины улицы, составит только 8% [17]. Эта закономерность приводит к необходимости устройства соответствующего искусственного освещения.

Стекло может быть собирателем солнечной радиации, поэтому расположение световых фонарей и окон имеет исключительно большое значение в случаях, когда необходимо принимать во внимание большое количество прямой или отраженной солнечной радиации (более подробно эта проблема будет рассмотрена в гл. 7). Чтобы избежать избыточных теплопоступлений, целесообразно применять экраны или убирающиеся затеняющие устройства, помещаемые снаружи здания. Это необходимо иметь в виду, когда большие поступления солнечной радиации нежелательны. Применение таких устройств или штор позволяет регулировать температуру внутри здания. Уже в начальной стадии проектирования необходимо точно определить потребность каждого помещения в естественном освещении.

2.6. ОРИЕНТАЦИЯ

Выбор правильной ориентации здания — один из важнейших способов сохранения энергии. Влияние ориентации на внутренний микроклимат здания исключительно велико для правильного определения энергетических затрат, необходимых для поддержания микроклимата, соответствующего характеру деятельности людей, эксплуатирующих это здание.

Уже на начальной стадии проектирования необходим тщательный анализ условий микроклимата и всех тех факторов, которые рассматриваются в данной главе.

Существуют два климатических параметра, которые оказывают заметное влияние на внутренний микроклимат помещения:

солнечная радиация и обусловленный ею эффект нагрева стен и помещений;

естественная вентиляция, которая непосредственно зависит от ориентации здания и преобладающих ветров.

Изменение обоих параметров тесно взаимосвязано с изменениями микроклимата. Окончательный выбор ориентации здания может быть сделан только после оценки, с физиологической точки зрения, всех преимуществ каждого элемента. Этот выбор будет зависеть от функционального назначения каждого здания.

Если при выборе ориентации здания климатический фактор не был определяющим, все равно необходимо иметь полное представление

о его влиянии на конструкцию и планировку здания с тем, чтобы смягчить воздействие температурных и ветровых условий.

Стены, покрытие и полы являются критическими конструктивными элементами, разграничивающими внутреннюю и наружную среды. Характер изменения температуры наружной поверхности этих конструктивных элементов непосредственно влияет на выбор материалов, конструкцию, долговечность и устойчивость к изменению погодных условий внутренних поверхностей.

Количественная характеристика воздействия солнечной радиации на поверхности зависит от двух факторов: цвета наружной поверхности и скорости движения воздуха вдоль наружной поверхности [18]. Скорость движения воздуха вдоль наружной поверхности приходится учитывать только тогда, когда требуется точный теплотехнический расчет. В общем случае обычно достаточно знать температуру поверхностей, которая зависит от температуры окружающего воздуха, и угол падения солнечной радиации. Цвет наружных поверхностей непосредственно влияет на температуру воздуха в помещении. Если наружная поверхность имеет светлый цвет, ее поглощающая способность невелика и тепловой эффект определяется, главным образом, температурой наружного воздуха, а не углом падения солнечной радиации, в то время как при темной окраске поверхностей доминирует характер их освещения [19].

Величина теплового потока через стены, покрытия и пол зависит от применяемых материалов. В табл. 2.2 приведены показатели отражения и эмиссии различных поверхностей. Эти данные могут иметь существенное значение при выборе материалов и их окраски в соответствии с преобладающими климатическими условиями района. Например, на 40° северной широты южный фасад здания получает зимой в 3 раза больше солнечного света, чем восточный и западный [20]. В более низких широтах эта разница может быть еще значительнее.

Ориентировочно температура наружной поверхности может быть определена по формулам*:

для горизонтальной поверхности $t_s = t_a + \frac{aI}{12} - 5$;

для вертикальной поверхности $t_s = t_a + \frac{aI}{12} - 2$,

где t_s — температура наружной поверхности; t_a — температура наружного воздуха; a — поглощающая способность поверхности (зависит от цвета); I — интенсивность солнечной радиации.

Повышение температуры поверхности относительно температур окружающего воздуха происходит в зависимости от скорости ветра. Там, где преобладают западные ветры, нагрев восточной стены будет выше, чем западной, хотя падающее на них количество солнечной радиации почти одинаково.

Ориентация стены имеет значительно меньшее значение, если термическое сопротивление ее велико. Существуют два метода уменьшения нагрева поверхностей: придание им светлой окраски и увеличение термического сопротивления стены. Придание поверхностям светлой окраски уменьшает поглощающую способность стены, уменьшая тем самым воздействие солнечной радиации на температуру воздуха внутри помещения. Кровля белого или другого светлого цвета может отразить

---

*Эти формулы приводятся из книги Гивони "Человек, климат и архитектура".

до 70% солнечного тепла. За счет применения алюминиевой фольги в качестве верхнего слоя кровли можно добиться отражения 95% тепла [21].

Увеличение термического сопротивления стены позволяет уменьшить передачу тепла в направлении внутреннего пространства, снизить максимум разницы температур и увеличить минимум за счет уменьшения передачи тепла из помещения наружу.

Ориентация и расположение окон оказывают критическое воздействие на температуру внутри помещения. Расположение окон диктуется требованиями к внутренним помещениям, которые, в свою очередь, определяются характером деятельности людей в этих помещениях. Очень часто при проектировании возникает противоречие, которое обусловлено необходимостью обеспечения естественной вентиляции и ограничением доступа солнечной радиации в помещение. Большую роль в успешном решении этой проблемы играет правильное применение затеняющих устройств. Наружные затеняющие устройства уменьшают теплопоступления и увеличивают эффективность системы на 35% [22].

Проходя через стекло, тепло солнечной энергии усиливается, так как стекло непроницаемо ни для длинноволновой радиации, ни для передаваемой конвективным путем. В периоды избыточного поступления тепла остекленные поверхности необходимо тщательно затенять. Как уже говорилось выше, лучше всего это делать путем устройства различных затеняющих устройств снаружи здания. Пользуясь приведенными диаграммами углов стояния солнца над горизонтом или солнечными часами, можно определять углы стояния солнца в любое время года.

"Солнечно-воздушная" температура [23] позволяет оценить количество тепла, поступающего к наружной поверхности здания за счет солнечной радиации и температуры воздуха. Солнечно-воздушая температура включает в себя три компонента: температуру наружного воздуха, количество солнечной радиации, абсорбированное поверхностью, и чистое количество длинноволнового теплового излучения, участвующего в теплообмене между поверхностью и окружающей средой. Таким образом, можно говорить о теоретической температуре наружного воздуха, которая помогает при расчете процесса теплопередачи.

"Солнечно-воздушная" температура может быть определена по следующей упрощенной формуле [24]:

$$t_{sa} = t_o + \alpha(I) r_o + Qr,$$

где t_{sa} — "солнечно-воздушная" температура; α — характеристика абсорбирующей способности стены; I — общая величина интенсивности солнечной радиации на поверхности; r_o — общий коэффициент термического сопротивления наружной поверхности; t_o — температура наружного воздуха, °С; $Qr = 10{,}4$ ккал/(м·ч) для горизонтальных поверхностей; $Qr = 0$ для вертикальных поверхностей.

Количественная оценка солнечной радиации, достигающей внутреннего пространства, базируется на термических характеристиках конструкционных материалов. Для полной оценки должны быть учтены вентиляция и затенение. В табл. 2.2 приведены значения температуры воздуха в помещении в зависимости от характера затенения и вентиляции.

Таблица 2.2. **Значения температур воздуха в помещении (приведена разница между максимальными температурами наружного и внутреннего воздуха)**

Характер затенения	Тип вентиляции	Ориентация				Среднее значение	
		восток	запад	север	юг	восток—запад	север—юг
Отсутствует	Окна и неплотности закрыты	5,9	11,3	3,5	3,5	8,6	3,5
	Окна открыты, имеются неплотности	0,0	0,9	—0,4	0,4	0,45	0,45
	Окна закрыты, имеются неплотности	4,0	7,7	2,2	5,7	5,85	3,95
Плотное наружное	Окна и неплотности закрыты	0,0	0,5	—0,3	0,0	—0,15	0,25
	Окна открыты, имеются щели	0,3	0,45	0,25	0,65	0,45	0,38
Внутреннее легкое	Окна и неплотности закрыты	—0,3	0,3	—0,3	—0,1	0	—0,05
	Окна открыты, имеются щели	0,1	0,3	—0,2	0	0,2	—0,1
Внутреннее плотное	Окна и неплотности закрыты	2,6	8	1,6	3	5,3	2,3
Внутреннее легкое	То же	1,7	6,5	0,6	1,5	4,1	1,05

Основные факторы, влияющие на проектирование остекления, подробно изложены в гл. 4, однако здесь мы рассмотрим некоторые аспекты, связанные с ориентацией. Для лучшего осуществления естественной вентиляции желательно располагать окна на наветренном фасаде (здесь создается высокое давление) и на подветренном фасаде (в зоне низкого давления). Решение внутренних перегородок и их размещение имеет решающее значение для распределения воздушных потоков.

Различные местные условия, влияющие на выбор ориентации здания, приведены на рис. 2.5. Согласно работам Олгиая, количество теплопоступлений солнечной радиации следует определять путем наблюдений в течение года. В районах Нью-Йорка (шт. Нью-Джерси) максимум инсоляции приходится на поверхности, ориентированные на юг. Однако в период с малым количеством теплопоступлений их максимум приходится на поверхности, имеющие ориентацию от восточной до южной. Летом или в период наибольших теплопоступлений их максимум наблюдается на поверхностях с юго-западной ориентацией.

Средняя величина ориентации, позволяющая получить оптимальное количество естественного тепла, составляет 17,5° от востока к югу. В этом регионе наилучшей может считаться посадка здания на юго-западном склоне, желательно с вечнозеленой растительностью с северной и северо-западной стороны и с лиственными деревьями на юго-западной стороне, расположенными таким образом, чтобы они не препятствовали летним бризам, но затеняли от избыточного поступления солнечной радиации.

Аналогичные исследования, проведенные для Феникса (штат Ари-

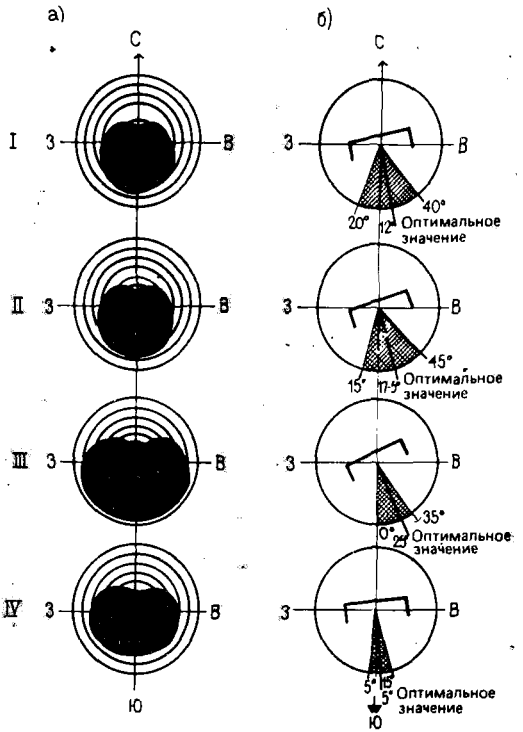


Рис. 2.5. Региональная диаграмма ориентаций
I — холодный регион (Миннеаполис, Миннесота); II — умеренный регион (Нью-Йорк, Нью-Джерси); III — жаркий сухой регион (Феникс, Аризона); IV — жаркий влажный регион (Майами, Флорида); а — годовое количество солнечной радиации, соответствующее очень теплым и очень холодным периодам; б — односторонняя ориентация

зона), дали совсем иные результаты. В этом случае оптимальная "солнечно-воздушная" ориентация была определена в 25° с востока на юг. На рис. 2.5 приведены углы ориентации как для холодных, так и для теплых влажных районов. На территориях, где преобладают периоды с дефицитом тепла, желательно использовать материалы с малым коэффициентом отражения (см. табл. 2.2).

Важно помнить, что когда участок выбран, вступает в силу взаимосвязь многих факторов. К ним следует отнести высоту над уровнем моря, топографию участка, грунт, количество солнечной радиации, ветровые характеристики, осадки, водоемы и растительность. Эти факторы вступают во взаимодействие с такими факторами, как дороги, система энергоснабжения, водоотведения, строительными нормами и др. Внутренний микроклимат является функцией всех указанных факторов, включая типы используемых отделочных материалов, а также окраски наружных поверхностей и ориентации здания.

Список литературы

1. Lee D.H.K. Physiological Objectives in Hot Weather Housing, U.S. Housing and Home Finance Agency, Washington, D.C., 1953, p. 2.

2. Givoni B. Man, Climate and Architecture, Elsevier Publishing Co., New York and London, p. 1.

3. Olgyay Victor. Design with Climate, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1963, p. 32.

4. Ibid, p. 33.

5. Ibid, p. 33.

6. Op. cit. Givoni B., p. 6.

7. American Institute of Architects. Graphics Standards, John Wiley & Sons, New York, p. 71.

8. Landsberg Helmut. "Microclimate Research in Relation to Building Construction", Architectural Forum, March 1947, pp. 114–119.

9. Op. cit. Olgyay, p. 155.

10. Op. cit. Givoni, p. 17.

11. Ibid.

12. Op. cit. Landsberg, p. 116.

13. Op. cit. Olgyay, p. 51.

14. Lynch Kevin. Site Planning, M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1965, p. 81.

15. "Scraping the Sky", Washington Post, May 7, 1974.

16. Op. cit. Landsberg, p. 118.

17. Ibid., p. 119.

18. Op. cit. Givoni, p. 192.

19. Ibid., p. 193.

20. Op. cit. Olgyay, p. 53.

21. Pratt Institute, Investigation of the Small House, School of Architecture, Brooklyn, 1957.

22. Op. cit. Olgyay, p. 70.

23. Mackey C.O. "Summer Weather Data and Sol–Air Temperature", ASHVE Transactions (50) 1945, p. 75.

24. Hoskins Edward. Solar Energy and the Natural House (Preliminary Draft), Cogswell/Hausler Assoc., Chapel Hill, North Carolina.

Angus T.C. The Control of the Indoor Climate, Pergamon Press, England, 1968.

Aronin J.E. Climate and Architecture, Reinhold, New York, 1953.

Geiger Rudolph. The Climate Near the Ground, Harvard University Press, Cambridge, 1950.

Leckie J., et. al. Other Homes and Garbage, Sierra Club Books, San Francisco, 1975.

"The Climate", Architectural Forum, March 1951, pp. 180–193.

3. СОХРАНЕНИЕ ЭНЕРГИИ

Наступило время новой технической политики, которая базируется на концепции выживания в условиях истощения ресурсов нашей планеты. Мы должны строго контролировать единственный природный процесс, который подвластен человеку, — потребление энергии.

3.1. ВВЕДЕНИЕ

На нас, архитекторах, лежит ответственность за потребление 1/3 общего количества энергии, потребляемой США; при этом известно, что более 50% ее расходуется неэффективно. Пришло время разработать новую энергетическую политику, направленную на использование в строительстве минимального количества энергии.

Строительство должно рассматриваться как процесс потребления энергии и материалов. Мы обязаны осознавать, что потребление энергии зданием начинается с процесса проектирования и продолжается в течение всего срока его существования. Меры по сохранению энергии направлены не только на снижение потребности в энергии, но и на уменьшение загрязнения окружающей среды и на продление периода использования невозобновляемых природных ресурсов.

Прежде мы подразделяли весь процесс проектирования на несколько самостоятельных этапов; например, проектирование механических систем осуществлялось независимо от разработки строительных конструкций, что приводило к перерасходу энергии. Сегодня мы можем сказать, что строительство может оказать большое положительное влияние на потребление энергии в современном обществе.

Реконструкция здания — один из способов сохранения энергии, так как очень часто она бывает значительно менее энергоемкой, чем строительство нового здания. Если предполагается реконструкция здания, то необходим тщательный экономический и энергетический анализ.

3.1.1. Эксплуатационные расходы. Большое потребление энергии в строительстве тесно связано со стремлением к уменьшению капитальных затрат. Заказчики заинтересованы в системах, имеющих малый срок окупаемости и низкую стоимость монтажа. Системы, позволяющие экономить энергию, обычно дорого стоят. Однако если провести сравнительный анализ стоимости за расчетный срок эксплуатации, то общая стоимость мероприятий, позволяющих экономить энергию, окажется ниже.

3.1.2. Экономия энергии путем выбора материалов. Можно сказать, что расход материала для большинства сооружений превышает количество, необходимое для обеспечения устойчивости и безопасности. Строительные нормы предусматривают такой расход материалов, чтобы он отвечал самым различным требованиям. В результате возникают ситуации, когда расход материалов больше, чем он необходим для данного сооружения. "Более серьезный анализ конструктивных решений часто опровергает теорию и нормативы, а подбор конструктивных элементов, строго отвечающих предъявляемым к ним требованиям, сразу же дает существенную экономию энергии" [1].

Перерасход материалов обычно происходит из-за стремления уменьшить трудозатраты за счет некоторого увеличения стоимости материалов. Необходимость применения материалов, имеющихся в наличии, —

еще один фактор, ведущий к избыточному потреблению энергии. Следование принципу "запланированного устаревания" приводит к колоссальному перерасходу энергии и трудозатрат. Более того, энергию следует расходовать на производство более долговечной продукции, что позволит получить дополнительную экономию.

Необходимо поощрять изготовление менее энергоемких материалов. В частности, затраты электроэнергии на производство 1 т алюминия в 6 раз превышают затраты на производство 1 т стали. Применение каждого вида материалов должно сопровождаться анализом энергозатрат, что позволит выбрать наименее энергоемкие материалы.

Восстановление материалов требует меньших энергозатрат, чем производство новых. Например, для восстановления алюминия необходимо только 5% того количества энергии, которое расходуется на производство "нового" алюминия.

Строительные материалы следует выбирать таким образом, чтобы они выполняли сразу несколько функций, например, рационально применять панели с высокими тепловыми, акустическими, электрическими и конструктивными характеристиками.

3.1.3. Учет условий окружающей среды. Существуют две противоположные точки зрения относительно проблемы сохранения энергии и взаимосвязи здания с окружающей средой. Первая рассматривает здание как оболочку, изолирующую внутреннее пространство от различных природных процессов. В этом случае задача заключается в том, чтобы создать пространство с минимальной теплопередачей, причем воздух рассматривается как потребитель энергии, который прежде чем будет использован, должен быть очищен и либо подогрет, либо охлажден. Если при этом обеспечивается достаточная герметизация помещения, то возникает необходимость применения дезодорирующих устройств и обеспечения эффективной фильтрации воздуха. В этом случае условия для жизнедеятельности создаются путем широкого использования различных механических систем. При нарушении электроснабжения использование такого замкнутого пространства становится крайне затруднительным.

Согласно второй точке зрения, окружающая среда рассматривается как положительный фактор, связанный со многими полезными явлениями (солнечным теплом, естественной вентиляцией, естественным освещением и т.д.). Эти внешние процессы могут быть использованы вместо соответствующих механических систем. В этом случае основная задача заключается в том, чтобы создать такое здание, которое позволяло бы максимально использовать природные явления для обеспечения комфортных условий, а роль механических систем свести к минимуму.

3.2. УСТРОЙСТВО ОКОН

Окна — один из важнейших факторов, влияющих на потребление энергии зданием, и поэтому они обладают большим потенциалом для сохранения энергии. Излишнее остекление может привести к увеличению потребления энергии для отопления или охлаждения жилищ на 20—30%. Архитектор может запроектировать эффективное использование и расположение окон, а также наружных и внутренних затеняющих устройств, что позволит уменьшить площадь остекления и применить стекло с селективными свойствами.

3.2.1. Естественное освещение. При уменьшении площади остекления необходимо особенно тщательно продумать расположение окон, чтобы обеспечить наиболее эффективное естественное освещение, поскольку чем выше эффективность естественного освещения, тем меньше теплопотери. Использование естественного освещения вместо искусственного там, где это возможно, приводит к сохранению энергии за счет уменьшения потребностей в отоплении и охлаждении.

Чтобы эффективно использовать естественное освещение, необходимо тщательно проанализировать его основные принципы, а также динамику движения солнца. Тщательный анализ углов стояния солнца над горизонтом, географического положения участка, сезонного изменения солнечного освещения и суточного движения солнца позволит правильно определить количественные и качественные характеристики проектируемого естественного освещения помещений.

Одним из устройств, которые наглядно демонстрируют характер изменения солнечного освещения, могут быть солнечные часы. Установив солнечные часы на макете здания и участка, можно, поворачивая его перед источником света, смоделировать условия освещения в различное время суток и в разное время года.

Существуют три основных типа освещения:

- прямой солнечный свет, максимальное количество которого приходится на юго-западное и юго-восточное направления (при высоких углах стояния солнца) и на восточное—западное направление (при низких углах стояния солнца);
- отраженный свет представляет собой вторичный световой поток, отраженный от земной поверхности, и его интенсивность изменяется в зависимости от характера земной поверхности, угла падения солнечного света и угла земной поверхности;
- рассеянный свет представляет собой прямой солнечный свет, рассеянный различными частицами, находящимися в атмосфере.

Каждый из рассматриваемых видов света имеет свои характеристики и свойства. Интенсивность, фокальные точки и воздействие на человека зависят от проникания света в помещение. Типы освещения помещений выбирают с учетом применяемого вида остекления. Световые фонари дают рассеянное освещение. Обычные окна, подробно рассмотренные в гл. 4, создают комбинацию всех трех видов света.

Преобладающий вид света, который будет попадать в помещение, зависит от ориентации окон. Низко расположенные окна обеспечивают доступ, главным образом, отраженного света, тогда как высокие и узкие создают весьма концентрированное освещение (рис. 3.1).

В условиях холодного климата северного полушария желательно не устраивать окна на северной стороне здания, а сконцентрировать их на южной; это позволит улучшить естественное освещение и свести к минимуму потери тепла. Если желательно получить некоторое количество "северного" освещения, то соответствующее устройство и регулирование южных окон вполне может выполнить эту задачу, исключить потери тепла, которые могли бы возникнуть при устройстве окон на северной стене.

Путем выбора соответствующего типа и расположения окон, формы здания и применения затеняющих устройств можно обеспечить в помещении любой характер освещения.

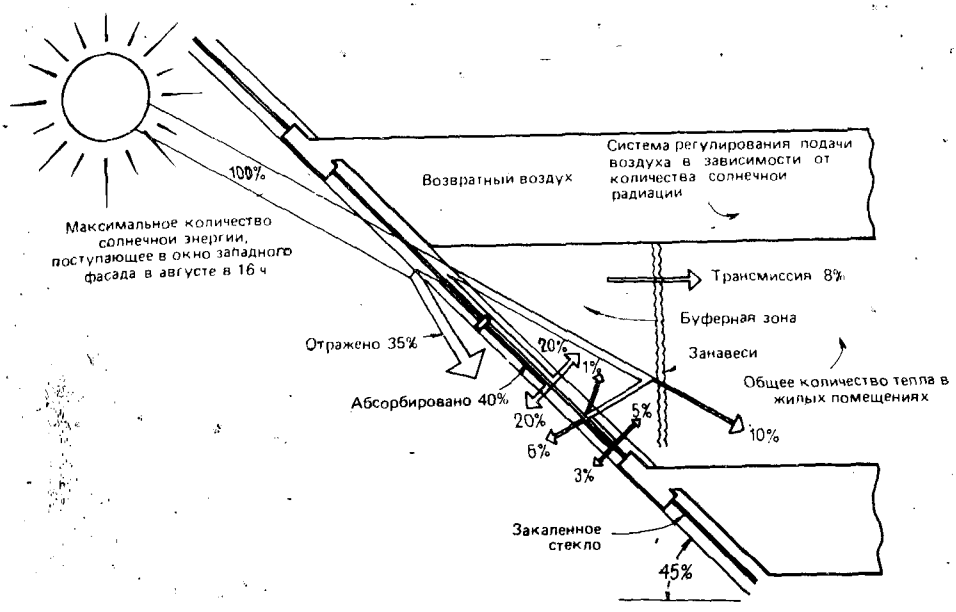


Рис. 3.1. Выбор угла установки окон, позволяющего уменьшить теплопоступления

3.2.2. Регулирование освещенности путем устройства наружного затенения. Установка различных наружных затеняющих устройств считается наиболее оптимальным способом регулирования теплопоступлений. Если поток солнечной радиации можно уменьшить до того, как он попадет внутрь помещения, это позволит значительно сократить потребление энергии.

Одним из эффективных средств затенения может быть растительность. Выбирая тип высаживаемой растительности, следует учитывать форму и вид деревьев, поскольку они определяют характер затенения. Молодые деревья создадут оптимальное затенение не ранее, чем через 5 лет. Неплохое затенение достигается применением вьющихся растений, если в качестве основы для них использовать нависающие конструкции.

Использование растительности позволяет не только уменьшать теплопоступления к поверхности ограждающих конструкций (путем ослабления потока солнечной радиации), но и создавать лучший микроклимат (фильтруя и охлаждая воздух), снижать интенсивность шума и изменять воздушные потоки.

В качестве другого способа затенения используют экраны различной конфигурации, позволяющие регулировать теплопоступления и естественное освещение. Экраны можно подразделить на три основные группы:

- навесы или горизонтальные экраны, которые используют для уменьшения теплопоступлений от солнца в летнее время. Они могут быть жесткими (типа жалюзи) или мягкими на каркасе.

Применение их наиболее целесообразно на южной стороне здания;

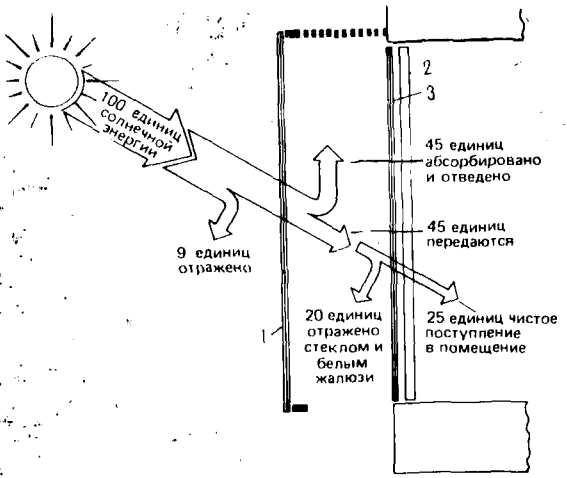


Рис. 3.2. Использование естественной вентиляции для отвода вторичного тепла, излучаемого теплоабсорбирующим стеклом
1 — абсорбирующее затененное стекло толщиной 9,5 мм; 2 — вертикальные жалюзи; 3 — обычное стекло толщиной 9,5 мм

- вертикальные экраны, которые применяют для уменьшения теплопоступлений на восточном и западном фасадах;
- экраны комбинированной конструкции по типу решетки для упаковки яиц (это наиболее эффективная конструкция).

Для обеспечения наибольшей эффективности экраны не следует делать стационарными. Конструкция должна быть такой, чтобы ее можно было приспосабливать к различным условиям.

3.2.3. Типы остекления, применяемые с целью уменьшения потребления энергии. Теплопоглощающее или дымчатое стекло может поглотить 4,5% тепла, падающего на него. Поглощенное стеклом тепло затем излучается. Для управления этим процессом могут быть приняты следующие меры: применена механическая система, потребляющая эту энергию, либо остекление установлено таким образом, чтобы естественная вентиляция уносила это излучаемое тепло.

Эффективная система для отбора тепла с помощью воздушного потока была разработана для Гражданского центра Вирджинии в Норфолке (рис. 3.2). Тепло, абсорбированное теплопоглощающим стеклом и затем отраженное, подхватывается воздухом, циркулирующим между зданием и экраном. Эта система позволяет уменьшить теплопоступление в здание до 25%.

Существует более новая система, разработанная Эрнстом Уайлдом и называемая "Протекта-Сол", которая аналогична системе, установленной в Гражданском центре Норфолка. Она представляет собой напорную систему, в которой вытяжной воздух поступает через отверстия в стене на уровне потока в пространство между двойным остеклением окон и затем отводится через решетки в нижней части окон. В результате создается воздушный поток, который, омывая поверхность стены в летнее время, уносит избыточное тепло, не давая ему возможности излучиться внутрь здания. Зимой эта система работает точно так же, согревая поверхность стены [2].

Стекло с металлизированным отражающим покрытием может значительно уменьшить интенсивность солнечной радиации. Количество отражаемой и проникающей радиации зависит от толщины покрытия.

Стекло выпускается с коэффициентом светопропускания от 8 до 26%. Либбей Оунс-Форд провел детальный компьютерный анализ, сопоставив двойное остекление с хромовым покрытием и обычное одинарное остекление толщиной 6 мм. Анализ показал, что применение остекления с металлизированным покрытием позволило бы уменьшить мощность системы охлаждения на 64,7%, распределительной системы на 67,7%, а отопительного оборудования на 53,2%.

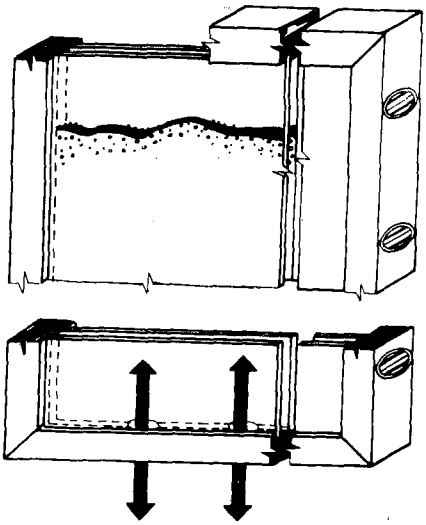


Рис. 3.3. "Шариковая стена"

3.2.4. Регулируемые тепловые барьеры в остеклении. При изменении погодных условий физические характеристики регулируемых тепловых барьеров также изменяются. Шторы могут быть опущены или подняты для того, чтобы прекратить или открыть доступ солнечному свету (шторы, кроме того, служат тепловым барьером, который предотвращает потери тепла в ночное время). Применение автоматических штор может значительно уменьшить нагрузки на механическое оборудование.

В последнее время разработкой остекления, которое может изменять свои тепловые характеристики в соответствии с изменениями наружных условий, занимается фирма "Зомворкс инкорпорейтед", находящаяся в Нью-Мехико. Одно из решений представляет собой оконную раму с двойным остеклением, между которым помещается загрузка из гранулированного стирофома, предотвращающая теплопотери в ночное время или теплопоступления в летний период. Заполнение окна загрузкой и ее удаление производятся обычным пылесосом. Загрузка позволяет снизить теплопотери в 10 раз. При толщине слоя загрузки 7,5 см коэффициент теплопередачи окна составляет приблизительно 0,1 Вт/ (м^2·°С) (рис. 3.3).

"Скайлид" — другая разработка фирмы "Зомворкс" — представляет собой изолированную жалюзийную решетку, которую можно устанавливать в световых фонарях или в больших окнах. Эти жалюзи работают автоматически при нарушении теплового баланса. Они бывают закрыты в ночное время или во время холодной погоды, чтобы избежать теплопотерь. Система работает следующим образом. Два цилидра, заполненных фреоном, установлены так, что один работает в условиях комнатной температуры, а другой в условиях температуры наружного воздуха. Например, ночью нагретый воздух, удаляясь из помещения, по пути нагревает внутренний цилиндр. Фреон начинает испаряться и переходить в наружный цилиндр, где конденсируется, увеличивая массу этого цилиндра. За счет этой разницы в массе жалюзи закрываются. Днем процесс идет в обратном направлении, и жалюзи открываются. Такая система может найти применение в ряде случаев (рис. 3.4).

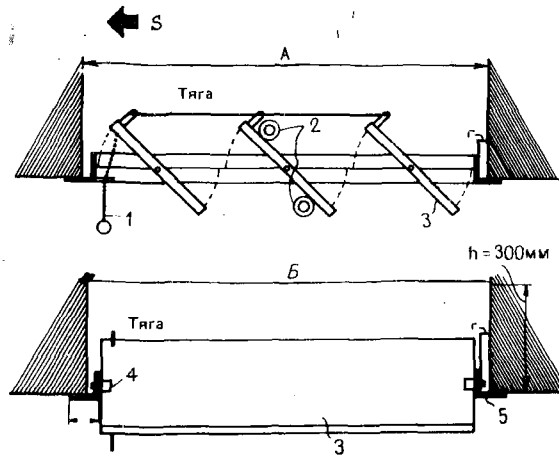


Рис. 3.4. "Скайлид"
1 — запорная цепь; 2 — цилиндр с фреоном; 3 — изолированные створки (с алюминиевым покрытием); 4 — шариковый подшипник; 5 — монтажная рама

3.3. ОТБОР И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО ТЕПЛА

Большое количество тепла безвозвратно теряется при работе обычных энергетических систем. Эти потери образуются вследствие низкой эффективности процессов потребления и производства энергии. Однако существуют такие устройства и процессы, которые позволяют использовать это вторичное тепло. При производстве и транспортировке энергии наибольшие потери наблюдаются в системах разводящих трубопроводов. В местах потребления наибольшие потери происходят в разводящих трубопроводах, циркуляционных и спиральных теплообменниках.

3.3.1. Групповые энергетические системы вырабатывают электроэнергию для одного здания или для группы зданий. Отходящее при выработке электроэнергии тепло используется либо в виде горячей воды, либо пара для создания микроклимата. Представляется вероятным возможное уменьшение потребления топлива в этой системе на 25–50% [3]. При проектировании групповых энергетических станций необходимо учитывать три основных условия:

- достаточно большую и равномерную потребность в электроэнергии в течение суток и всего года;
- нагрузки на системы отопления и охлаждения должны быть постоянными и по величине возможно близкими к электросиловым и осветительным нагрузкам;
- количество газообразного и жидкого топлива, имеющегося в наличии, должно соответствовать потребностям станции [4].

Групповые (местные) теплоэлектростанции находят широкое применение, хотя температура сжигания топлива на них ниже, чем на теплоэлектроцентралях. Применение теплоэлектроцентралей, имеющих более эффективное оборудование, в комбинации с тепловыми насосами, работающими на вторичном тепле, дает возможность добиться большей эффективности использования топлива, чем при применении местных групповых источников энергии.

3.3.2. Подземные тепловые сети прокладывают в студенческих го-

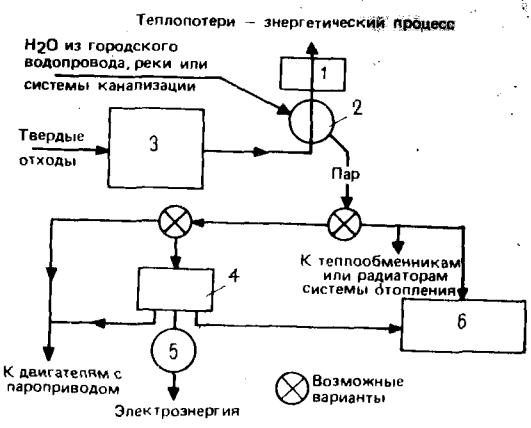


Рис. 3.5. Схема энергетического процесса
1 – прибор контроля загрязнения воздуха; 2 – теплообменник повторного использования отходящего тепла; 3 – топка; 4 – паровая турбина; 5 – электрогенератор; 6 – абсорбционная холодильная установка

родках, на военных базах и в небольших населенных пунктах, но в городском строительстве они пока не нашли применения. Принцип работы этих систем заключается в том, что отходящее тепло электростанций и тепло, вырабатываемое на мусоросжигательных заводах, собирается и доставляется потребителям по подземным сетям.

3.3.3. Повышение эффективности использования тепла в зданиях. В лампах накаливания 90% энергии переходят в тепловую и только 10% в полезную световую. Эффективность газоразрядных ламп выше, но и у этих ламп достаточно большое количество энергии переходит в бесполезную теплоту. Зимой тепло, выделяемое осветительными приборами, может уменьшить нагрузки на систему отопления, а летом это же тепло увеличит нагрузки на систему охлаждения. Вторичное тепло может быть весьма полезным, если его удастся утилизировать. Вместо выброса этого тепла в помещение его можно использовать в качестве вторичного источника тепла в системе кондиционирования или летом организованно отводить от помещения, тем самым уменьшая нагрузку на систему охлаждения.

Существует другая система, в которой для охлаждения осветительной арматуры используется вода. Нагретая вода через теплообменник направляется к холодильнику и одновременно подогревает воздух, подаваемый в межоконное пространство (рис. 3.6, 3.7 и 3.8). Кроме того, при этой системе увеличивается продолжительность службы осветительных приборов и повышается их эффективность. Стандартная газоразрядная лампа мощностью 400 Вт, работающая при температуре 30 °С, создает световой поток на 12% меньше, чем лампа, работающая при температуре 25 °С.

3.3.4. Тепловые трубы можно применять для аккумуляции и передачи отходящего тепла, принцип работы их аналогичен принципу работы рекуперационной системы "воздух–воздух". Тепловая труба представляет собой противоточную систему: нагреваемый воздух и теплоноситель, которым служит отходящее тепло, движутся в противоположных направлениях. Причем она герметически закрыта (в ней могут находиться аммиак, ацетон или вода). Один конец трубы нагревается отходящим теплом, что вызывает испарение жидкости. Противоположный конец, находящийся в трубе системы отопления, имеет более

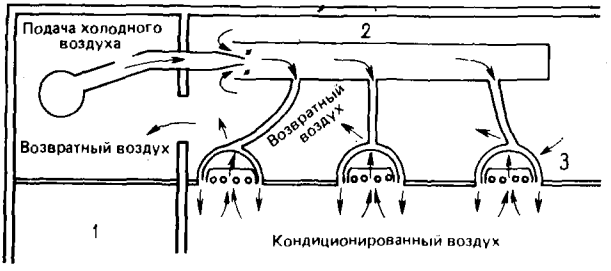


Рис. 3.6. Схема теплопоступления от системы освещения
1 — коридор; 2 — система; 3 — люминесцентные светильники

низкую температуру, что вызывает конденсацию паров жидкости, сопровождающуюся выделением тепла.

Для нормального функционирования такой системы необходимо, чтобы тепловая труба и система отопления были расположены как можно ближе друг к другу. Практическое осуществление такого решения возможно с использованием змеевиков, которые должны быть

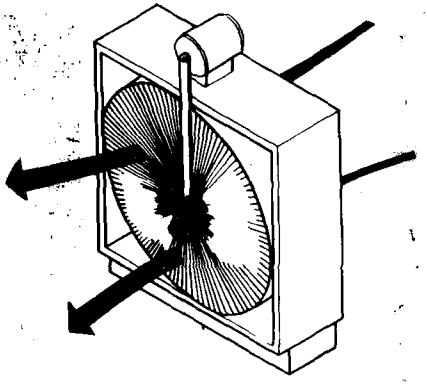


Рис. 3.7. Ротационный теплообменник

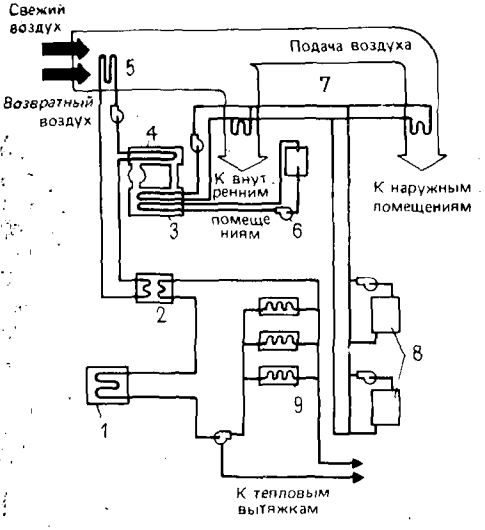


Рис. 3.8. Система охлаждения светильников
1 — охладитель выпара; 2 — теплообменник; 3 — конденсатор; 4 — испаритель; 5 — охлаждающий змеевик; 6 — градирня; 7 — рекуператоры; 8 — тепловые вытяжки; 9 — светильники

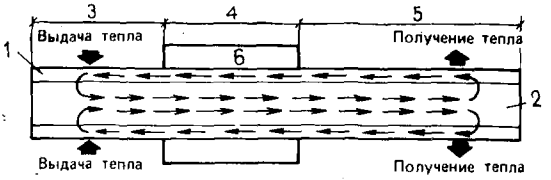


Рис. 3.9. Схема тепловой трубы
1 — капиллярная труба (запаянная); 2 — испарительный объем; 3 — испаритель; 4 — теплопередающая секция; 5 — конденсатор; 6 — адиабатическая секция

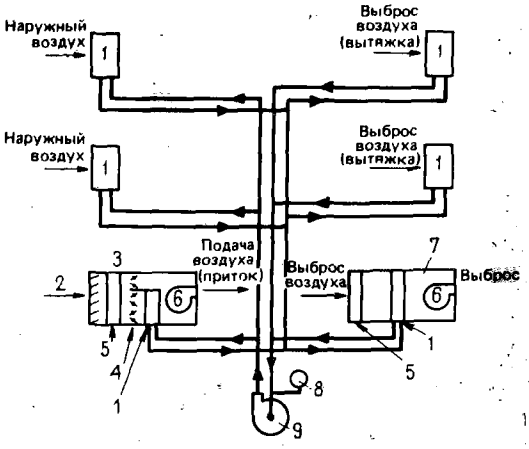


Рис. 3.10. Система рекуперации тепла
1 — теплообменник; 2 — воздухозаборник; 3 — обычная воздухозаборная установка; 4 — прямой и обратный регуляторы тяги; 5 — фильтр; 6 — вентилятор; 7 — обычная вытяжная установка; 8 — расширительная емкость; 9 — циркуляционный объем

установлены непосредственно в воздухопроводах и связаны между собой системой трубопроводов, оборудованной насосами для перекачки теплоносителя. Прокладка таких трубопроводов легко осуществима в любом здании, и с их помощью можно объединить любое число приточных и вытяжных воздухопроводов в одну систему. Применение теплообменников змеевикового типа наиболее экономично либо для небольших установок, либо только для отопительных установок, а также при реконструкции существующих зданий.

Во многих зданиях установлены системы кондиционирования, которые работают следующим образом: воздух в кондиционерах сначала охлаждается до температуры 13 °С, а затем вновь нагревается до температуры, необходимой для каждого конкретного помещения. Такой режим работы приводит к большим энергозатратам как на охлаждение, так и на повторный нагрев воздуха. Для зоны здания, которая требует наименьшего охлаждения, затраты энергии будут наибольшими.

Применение оборудования для рекуперации тепла позволит значительно уменьшить потребление энергии. С помощью рекуперационных установок можно полностью осуществлять предварительный подогрев воздуха зимой и значительно уменьшить расход энергии на кондиционирование летом. Рекуперационная установка, использующая тепло отходящих топочных газов, может значительно повысить эффективность топки. Известно, что в большинстве случаев температура отходящих топочных газов составляет 230—290 °С. Уменьшение

температуры отходящих газов до 60 °С позволяет экономить до 13% топлива.

Фирма "Изотермик инкорпорейтед" производит тепловые трубы, поступающие на рынок под названием "Эйр-о-спейс", которые предназначены для рекуперации тепла отходящих топочных газов. Ребристые тепловые трубы устанавливают в газоходе топки так, чтобы они частично находились в потоке отходящих газов. Небольшой вентилятор служит побудителем циркуляции теплоносителя.

Затраты энергии на горячее водоснабжение составляют приблизительно 4% общего расхода энергии в здании. Это тепло обычно безвозвратно теряется, уходя в систему канализации. Рекуперация тепла сточных вод от кухонь, стирки и туалетов весьма целесообразна, а полученное тепло может быть использовано для первичного подогрева в системе горячего водоснабжения.

3.4. ОСВЕЩЕНИЕ В ЗДАНИЯХ

На освещение жилых и общественных зданий приходится 1,5% общенационального потребления энергии. Расход энергии на освещение административных зданий в США в 2 раза больше, чем в Европе [6].

В результате многих исследований, проведенных в последнее время, установлено, что уровень освещенности 10—40 фут-свечей вполне достаточен с точки зрения зрительной активности и физиологических потребностей человека, в то время как сейчас этот уровень в большинстве случаев составляет 60—150 фут-свечей [7]. Представляется необходимым провести серьезные научные исследования для определения необходимого снижения уровней освещенности в зданиях.

Избыточное освещение приводит к двукратному увеличению затрат энергии. Очевидно, что высокие уровни освещенности повышают расход электроэнергии. Кроме того, тепло, выделяемое осветительными приборами, увеличивает нагрузки на систему кондиционирования воздуха — каждые излишние 2 Вт мощности осветительных приборов требуют повышения расхода энергии на охлаждение на 1 Вт.

"Уменьшение потребления электроэнергии для освещения на 50% позволяет уменьшить общенациональное потребление энергии на 3%. В масштабах страны это равноценно работе более чем 30 теплоэлектростанций мощностью 1000 МВт каждая" [8].

Модернизация существующих систем освещения может быть осуществлена значительно проще, чем других систем: отопления, охлаждения и вентиляции.

Ричард Стейн в статье "Архитектура и энергия" предлагает следующую характеристику гибкой системы освещения с минимальным расходом энергии:

"Более эффективный источник освещения; осветительные приборы должны быть легкозаменяемы при изменении условий; система освещения должна обеспечивать возможность регулирования уровней освещенности; должна быть легкоуправляемой; снабженная фотоэлементом система должна автоматически выключаться, если уровень естественной освещенности достиг оптимального значения; система должна допускать применение затеняющих устройств".

Он рекомендует конструкцию потолка, которая позволяла бы легко

устанавливать и демонтировать осветительные приборы, чтобы создавать необходимые уровни освещенности для любого вида деятельности [9].

Рассмотренная система представляет возможность регулировать освещение в соответствии с нуждами людей, причем за основу принята распространенная в настоящее время система, при которой любые помещения освещаются большим количеством света. Прихожие и кладовые наших квартир освещаются точно так же, как рабочие места. Избирательное или программированное освещение — это один из способов создания освещения, соответствующего характеру деятельности людей. Уровни освещенности мест, где находится небольшое количество людей, должны быть ниже, чем в местах наибольшего скопления или активности людей.

В результате научных исследований общество инженеров-светотехников (ОИС) предложило 12 рекомендаций по сохранению энергии в системах освещения без ухудшения условий освещенности [10]:

1) решайте освещение для каждого конкретного случая с учетом предполагаемого характера деятельности людей, ее продолжительности и места проведения. Освещение должно быть запроектировано так, чтобы в нерабочих помещениях (кладовых, коридорах и пр.) оно было минимальным. Необходимо предусмотреть также возможность переустройства системы освещения или установки дополнительных приборов в случае изменения требований к освещению;

2) предусматривайте установку более эффективных светильников и наилучшее расположение окон. Выбирайте такие типы светильников и такое остекление, чтобы можно было приспособить освещение к новым требованиям, если они возникнут. Это значит, что следует применять светильники прямого света, не создающие бликов, и отдавать предпочтение такой конструкции окон, которая позволяла бы регулировать поступление естественного света;

3) применяйте эффективные источники света. Существующие лампы имеют различные характеристики, в том числе количество излучаемого света на 1 Вт мощности. Этот показатель изменяется от 10 до более чем 100 лм/Вт. Предпочтение следует отдавать наиболее эффективному в каждом конкретном случае источнику (учитывая также его световые характеристики, долговечность и размеры);

4) применяйте наиболее эффективные светильники, так как они создают более сильный световой поток на единицу потребляемой мощности. Целесообразно пользоваться светильниками, не создающими отражения на потолке и не слепящими, но легкодоступными для обслуживания и замены ламп;

5) применяйте светильники с терморегулированием. Определите тепловыделения от источников света. При расчете систем отопления и охлаждения учитывайте тепловыделения от источников света, чтобы уменьшить количество энергии, расходуемой на отопление и охлаждение;

6) при выборе отделочных материалов и мебели помните, что темные поверхности поглощают свет, а слишком светлые могут создавать блики. Пользуйтесь рекомендациями ОИС по отражающей способности материалов;

7) применяйте газоразрядные лампы, так как они дают более сильный световой поток на единицу мощности и поэтому позволяют эконо-

мить энергию. Менее эффективны долговечные лампы, потребляющие больше энергии, чем обычные лампы той же мощности;

8) предусматривайте максимальную гибкость системы регулирования освещения. Применяйте отдельные выключатели для каждого помещения, а для помещений с различной активностью используйте устройства для регулировки освещения. Желательно применение там, где это возможно, фотоэлектрических регуляторов освещения. Предусматривайте выключение света в тех случаях, когда нет необходимости в искусственном освещении. Разработайте программу, которая напоминала бы людям о необходимости выключать свет, покидая помещение, или при достаточном естественном освещении;

9) проектируйте оконные проемы так, чтобы можно было регулировать теплопоступления в помещение. Это позволит уменьшить нагрузки на охлаждение и одновременно обеспечить достаточное естественное освещение;

10) проектируйте оконные проемы с таким расчетом, чтобы можно было обеспечить в здании наилучшее естественное освещение, в том числе совместно с искусственным;

11) выбирайте такие светильники, которые можно легко очищать от загрязнений, а лампы с хорошими световыми характеристиками. Выбирайте такую схему управления светом, чтобы свести к минимуму потери света во время работы системы освещения; лучшим решением в этом случае может быть уменьшение числа светильников. Содержите осветительное оборудование в чистоте, поддерживайте систему в рабочем состоянии в соответствии с графиком очистки оборудования, замены ламп и профилактического обслуживания;

12) составьте инструкции по управлению и обслуживанию системы. Они должны быть разработаны на основе проектных решений, но затем могут быть откорректированы, если в систему в период эксплуатации внесены какие-либо изменения. При изменении характера деятельности людей в помещении вносите изменения в систему освещения и инструкцию по эксплуатации.

3.5. ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ИЗОЛЯЦИЯ ЗДАНИЯ

Основные потребители энергии в зданиях — это системы отопления, кондиционирования и горячего водоснабжения. Расход энергии на отопление жилых зданий составляет 11% общего потребления энергии страной, на отопление коммерческих зданий приходится еще 6,9%, а на кондиционирование коммерческих зданий — 2,5% общего потребления энергии в стране [11].

Расход энергии определяется потерями и поступлением тепла в здание. Избыточные теплопотери и теплопоступления происходят из-за неправильно выполненной изоляции, избыточной вентиляции, большой инфильтрации и излишнего остекления [11]. Из-за того что только немногие здания сооружены с учетом всех требований теплоизоляции, можно смело сказать, что подавляющее большинство зданий потребляет на 40% энергии больше, чем если бы они были изолированы и герметизированы с соблюдением всех существующих стандартов [12].

Назначение теплоизоляции состоит в том, чтобы препятствовать тепловому потоку, направленному как внутрь здания, так и изнутри. Эффективность изоляции зависит от используемого материала, его

характеристик, толщины и типа изолируемых конструкций, площади открытой поверхности стены и разницы температур внутреннего и наружного воздуха.

В качестве теплоизоляции могут быть использованы воздушные прослойки и отражающие поверхности. Минимальная толщина воздушной прослойки должна быть 20 мм, причем ее эффективность возрастает только после увеличения толщины прослойки свыше 100 мм. Эффективность воздушной прослойки можно увеличить в 3,5 раза путем оклейки одной из поверхностей стены фольгой.

Фольга уменьшает поток теплового излучения через воздушную прослойку, отражает тепловой поток в направлении внутреннего пространства и уменьшает потери тепла через поверхность ограждающих конструкций. Кроме того, фольга выполняет роль пароизоляции, которая предназначена для того, чтобы избежать конденсации влаги на внутренней поверхности наружных стен. Рефлективная изоляция представляет собой слой алюминиевой фольги, нанесенный на поверхность стены или на слой теплоизоляции. Существует специальный вид рефлективной изоляции, которую укладывают между деревянными балками и стойками.

Теплоизоляцию можно выполнять самым различным способом: в виде жесткой обшивки из дерева, рулонной, обмазочной, набрызговой, вспененной. Считается технически возможным и экономически целесообразным путем применения изоляции уменьшить теплопотери здания на 62,3 ккал/м^3 ежедневно. Если эта цифра верна, то общее потребление энергии зданием за счет устройства соответствующей изоляции и тщательного регулирования вентиляции можно уменьшить на 50%.

Инфильтрация в помещение наружного воздуха увеличивает расход энергии для отопления и охлаждения на 25—50%. Инфильтрацию следует рассматривать как причину значительных теплопотерь, но в то же время некоторая инфильтрация наружного воздуха необходима для вентиляции и поступления "свежего воздуха" к поточным устройствам.

Едва ли кто-то захочет создать полностью герметическое здание, но правильное применение остекления, позволяющего регулировать поступление воздуха, и соответствующей изоляции позволяет уменьшить инфильтрацию до приемлемого значения. Общее потребление энергии, необходимой для отопления и кондиционирования, можно уменьшить путем регулирования вентиляции в критических точках (санузлах и кухнях) таким образом, чтобы максимальные объемы воздуха подавались только тогда, когда в этом есть необходимость.

Инфильтрация в большой степени зависит от скорости ветра. В. Олгиай в работе "Проектирование с учетом климатических условий" указывает, что при скорости ветра 32 км/ч нагрузка на систему отопления здания в 2 раза больше, чем при обычной скорости 8 км/ч. Деревья, которые уменьшают силу ветра, можно рассматривать как эффективное средство уменьшения теплопотерь здания. Заглубление здания или обсыпка стен землей также значительно уменьшает теплопотери.

3.6. КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

Главная задача, которая стоит перед проектировщиком при определении величины теплопередачи, — создание комфортных условий для человека. В связи с этим Сивилл и Феллоуз [13] рекомендуют учитывать следующие основные факторы:

- процессы тепловыделения и терморегуляции человеческого организма;
- тепло- и влагопотери человеческого организма;
- эффект ощущения горячих и холодных поверхностей;
- расслоение воздуха;
- эффективную температуру, учитывающую температуру воздуха, влажность и скорость движения воздуха.

Эти факторы зависят от материалов, разграничивающих внутреннюю и наружную среду и смягчающих изменение климатических условий.

Ограждающие конструкции здания могут быть подразделены на два типа: непроницаемые поверхности (стены, крыша и пол) и проницаемые (остекление).

Непроницаемые поверхности охлаждаются и нагреваются послойно. Каждый слой получает меньше тепла и имеет более низкую температуру, чем предыдущий. В результате внутренние поверхности имеют меньшую амплитуду собственных колебаний, чем наружные, а это приводит к замедлению процесса теплопередачи от наружной поверхности к внутренней. Кроме того, конструктивные и тепловые характеристики каждого слоя, их цвет влияют на абсорбирующую способность наружной поверхности.

Таблица 3.1. **Время реакции различных материалов**

Материал	Толщина, мм	Время реакции, ч
Камень	200	5,5
	300	8
	400	10,5
	600	15,5
Плотный бетон	50	1,1
	100	2,5
	150	3,8
	200	5,1
	300	7,8
	400	10,2
Кирпич	100	2,3
	200	5,5
	300	8,5
	400	12
Кирпич лицевой	100	2,4
Дерево	12,5	0,17
	25	0,45
	50	1,3
Изоляционная доска	12,5	0,08
	50	0,23
	100	0,77
	200	2,7
	300	5

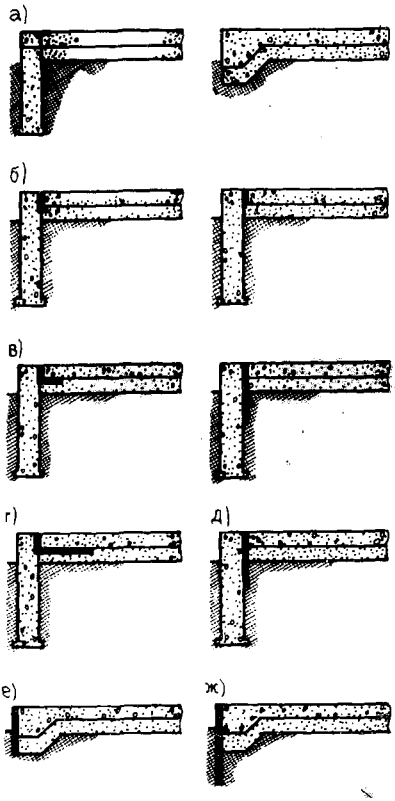


Рис. 3.11. Варианты теплоизоляции пола
а — теплоизолированный пол; б — теплоизоляция отсутствует; в — изолирован только вертикальный стык; г — 30 см вертикальной и горизонтальной изоляции; д — 30 см вертикальной изоляции; е — 60 см вертикальной и горизонтальной изоляции; ж — 60 см вертикальной изоляции

Проектировщик может предусмотреть такой цвет поверхности, который будет способствовать отоплению здания в ночное время. Это достигается путем окраски наружной стены зданий в черный цвет. Тогда тепло, абсорбированное в течение дня, за счет запаздывания реакции конструкций будет в течение ночи излучаться внутрь здания. Материалы с большой отражательной способностью испускают большое количество длинноволнового излучения, что приводит к понижению температуры внутри здания. Характеристика абсорбционной способности различных материалов приведена в табл. 3.2.

Подобно тому как тепло днем накапливается, а в прохладное время

Таблица 3.2. Абсорбционная способность (эммитивность) различных материалов

Материал или цвет	Поглощение	
	коротковолновое	длинноволновое
Алюминиевая фольга:		
блестящая	0,05	0,05
окисленная	0,15	0,12
Сталь с гальванопокрытием блестящая	0,25	0,25
Серебристая краска	0,50	0,50
Побелка свежая	0,12	0,90
Белая масляная краска	0,20	0,90
Цвет:		
светло-серый	0,40	0,90
темно-серый	0,70	0,90
светло-зеленый	0,40	0,90
темно-зеленый	0,70	0,90
черный	0,85	0,90

ночью, излучается, ночная прохлада может накапливаться и излучаться днем. Это явление происходит за счет теплового баланса.

Для южной стены определить время реакции очень трудно. Оно зависит от ее ориентации. Для жарких сухих районов время реакции горизонтальной поверхности, через которую происходит передача тепла изнутри наружу, составляет 12 ч. Восточная стена имеет минимальное время реакции и, следовательно, малую теплопередачу. Западная стена, имеющая теплопоступления в вечернее время, характеризуется длительностью реакции 5—10 ч, а у южной, которая летом получает наименьшее количество тепла из-за высоких углов стояния солнца над горизонтом, время реакции 7—10 ч [14]. Время реакции может быть различным в зависимости от климатических условий региона или микроклимата конкретного района.

Чтобы читатель составил более полное представление о характеристиках процесса теплопередачи, приведем их определения согласно "Общему руководству" ASHRAE:

БТЕ — *британская тепловая единица; она характеризует действительные потери тепла через конструкции или материалы.* БТЕ — это количество тепла, которое необходимо, чтобы поднять температуру 1 фута воды на 1°F ;

U — полный коэффициент теплопередачи; он обычно применяется для характеристики комбинации материалов или однородного материала (например, стекла) и представляет собой величину теплового потока через единицу площади в единицу времени. Выражается в БТЕ/(ч·м^2) (перепад температуры в 10°F между наружным и внутренним воздухом или стеной, полом, потолком) ;

K — коэффициент теплопроводности, характеризующей способность *однородного материала передавать тепло (при постоянных условиях) на единицу площади* при разности температур, равной 1°F. Выражается в БТЕ/(ч·фут^2) при $\Delta t = 1^{\circ}$F и толщине 1 дюйм;

C — теплопроводность. Она аналогична *K*, но выражает тепловой поток через материал данной толщины. Если коэффициент теплопроводности *K* известен, то теплопроводность *C* определяется делением *K* на толщину материала. Чем ниже значение *K* или *C*, тем лучше теплоизоляционные свойства материала;

f — пленка или поверхность проводимости, выражаемая временем теплообмена с окружающей средой, в которой должен быть воздух или другая среда, допускающая радиационный теплообмен и конвекцию;

R — коэффициент термического сопротивления, мера способности материала препятствовать тепловому потоку. Она может быть выражена через значения теплопроводности и коэффициента теплопередачи; $R = 1/C = 1/U$ зависит от теплового сопротивления изоляции или толщины стены. Для расчета полных коэффициентов применяют ряд формул. Для однородных материалов

$$R_o = R_1 + R_2 + \ldots + R_n , \qquad (3.1)$$

где R_o — общий коэффициент термического сопротивления, равный сумме коэффициентов каждого из материалов.

Коэффициент термического сопротивления для каждого однородного материала может быть определен по формуле

$$R_o = 1/f_i + x/k + 1/f_o , \qquad (3.2)$$

где k — удельная теплопроводность материала толщиной x ; f_i и f_o — теплопроводность внутренней и наружной поверхностей в БТЕ/(ч·фут^2·$^{\circ}$F).

При наличии в стене пустот для расчета применяют следующую формулу:

$$R_o = 1/f_i + x_1/k_1 + 1/C + x_2/k_2 + \ldots + x_n/k_n + 1/f_o , \qquad (3.3)$$

где C — теплопроводность воздушной прослойки

В этом случае общий коэффициент теплопередачи определяют по

формуле

$$U = 1/R_o. \qquad (3.4)$$

Для строительных материалов, имеющих неоднородное сечение (например, глиняная черепица или бетонные блоки), следует принимать не коэффициент теплопроводности K, а теплопроводность C, значение которой определяется изготовителем.

Во многих случаях стена составлена из компонентов, имеющих параллельные теплопотоки, которые в результате взаимодействия создают различную теплопроводность. Общую теплопередачу в час вычисляют по формуле

$$H_o = U(t_i - t_o), \qquad (3.5)$$

где H_o — общая теплопередача, БТЕ/(ч·фут^2); t_i — температура внутреннего воздуха, обычно принимаемая 65° F; t_o — температура наружного воздуха, °F

Теплопередачу крыши, потолка определяют по формуле

$$U = \frac{U_к U_п}{U_к + (U_и/N)}, \qquad (3.6)$$

где $U_к$ — значение коэффициента теплопередачи для крыши, БТЕ/(ч·фут^2 °F); $U_п$ — значение коэффициента теплопередачи для потолка, БТЕ/(ч·фут^2·° F).

Методика полного расчета коэффициентов теплопередачи рекомендуется следующая [15]:

- выбирают материалы и их комбинации в конструкциях данных стен, кровли, потолка или пола;
- определяют значения и направления тепловых потоков;
- выбирают значение коэффициента термического сопротивления воздуха (см. табл. 3.3);
- выбирают теплопроводность или коэффициент термического сопротивления для каждого материала;
- вычисляют коэффициент термического сопротивления по формуле (3.3);
- вычисляют коэффициент теплопроводности по формуле (3.4).

Лучшими способами уменьшения теплопотерь через ограждающие конструкции следует признать устройство мощной теплоизоляции, отказ от одинарного остекления, зашторивание окон и использование, где это возможно, в качестве теплоизоляции земляной засыпки.

Избыточное теплопоступление в здание можно предотвратить, применяя затеняющие устройства с высокими отражательными характеристиками.

Мощность теплового потока, поступающего через непрозрачные материалы, зависит от следующих параметров:

- интенсивности воздействия солнечной радиации на поверхности здания;
- температуры окружающего воздуха;
- температуры наружных поверхностей;
- теплоемкости материалов;
- расчетной температуры наружного воздуха [16].

Таблица 3.3. **Коэффициент термического сопротивления и теплопроводность воздуха** (ASHRAS)

Расположение поверхности	Направление теплового потока	Эмиссионная характеристика поверхности					
		неотражающая, равная 0,90		отражающая, равная 0,20		отражающая, равная 0,05	
		f_i/f_o	R	f_i/f_o	R	f_i/f_o	R
Неподвижный воздух							
Горизонтальное	Вверх	1,63/–	0,61	0,91/–	1,10	0,76/–	1,32
Уклон 45°	"	1,60/–	0,62	0,88/–	1,14	0,73/–	1,37
Вертикальное	Горизонтальное	1,46/–	0,68	0,74/–	1,35	0,59/–	1,70
Уклон 45°	Вниз	1,32/–	0,76	0,60/–	1,67	0,45/–	2,22
Горизонтальное	"	1,08/–	0,92	0,37/–	2,70	0,22/–	4,55
Движущийся воздух со скоростью 24 км/ч:							
зимой	Любое	–/6	0,17				
летом	"	–/4	0,25				

Таблица 3.4. **Коэффициент теплопередачи U окон** ASHRAE. **Вертикальное ограждение (окна, двери, стены и т.д.) — листовое стекло, стеклоблоки и пластики**

Тип остекления	Наружное		Внутреннее
	зимой	летом	
Одинарное	1,13	1,06	0,73
Двойное[1] при толщине воздушной прослойки:			
5 мм	0,69	0,64	0,51
6 мм	0,65	0,61	0,49
13 мм	0,58	0,56	0,46
стекло затемненное[2] 13 мм при показателе эмиссивности, равном:			
0,20	0,38	0,36	0,32
0,40	0,45	0,44	0,38
0,60	0,52	0,50	0,42
Трехслойное при воздушной прослойке:			
6 мм	0,47	0,45	0,38
13 мм	0,36	0,35	0,30
Ставни:			
при воздушной прослойке 25–100 мм	0,56	0,54	0,44
при стеклянных блоках[3]:			
150x150x100 мм	0,60	0,57	0,46
200x200x100 мм	0,56	0,54	0,44
То же, с внутренними перегородками	0,48	0,46	0,38
300x300x100 мм	0,52	0,50	0,41
То же, с внутренними перегородками	0,44	0,42	0,36
300x300x50 мм	0,60	0,57	0,46
Однослойный пластик	1,09	1	0,70

[1] Указано число слоев стекла.
[2] Затемняющее покрытие нанесено только на наружную поверхность наружного остекления.
[3] Указаны номинальные размеры.

Примечания:
1. Приведены данные для восходящего потока воздуха.
2. Приведены данные для нисходящего потока воздуха.
3. Приведено только для открытой поверхности, а не для всей площади.
4. Относится к окнам с малой площадью непрозрачных элементов.

3.7. РАСЧЕТ ОТОПИТЕЛЬНЫХ И ОХЛАДИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

Приведенную ниже методику расчета отопительных и охладительных нагрузок нельзя считать совершенной, однако она позволяет составить достаточно четкое представление о факторах, влияющих на проектные решения. Вслед за проектными проработками должны быть проведены детальные расчеты. Более подробно о методике см. "Общее руководство", ASHRAE, 1972.

Потери тепла в здании происходят вследствие двух причин: теплопередачи через стены, окна, пол, потолок и крышу и инфильтрационных потерь через щели и неплотности дверей и окон, а также через открытые двери и окна (табл. 3.5). В последнем случае для уменьшения инфильтрации используют ставни на окнах и двойные двери.

Таблица 3.5. **Теплопотери здания вследствие инфильтрации** (ASHRAE)

Тип здания или помещения	Число стен, имеющих окна	Разность температур, °F			
		25	50	75	100
A	Нет	0,23	0,45	0,68	0,90
	1	0,34	0,68	1,02	1,36
	2	0,68	1,35	2,02	2,70
	3 (или 4)	0,98	1,80	2,70	3,60
B	Любое	1,35	2,70	4,05	5,40
C	—	0,90–1,35	1,80–2,70	2,70–4,05	3,60–5,40
D	—	0,45–0,68	0,90–1,35	1,35–2,02	1,80–2,70
E	—	0,68–1,35	1,35–2,70	2,03–4,05	2,70–5,40

Условные обозначения: *A* — административные здания, гостиницы и другие многоэтажные здания; *B* — холлы или вестибюли; *C* — промышленные здания; *D* — жилые здания всех типов, все помещения, кроме вестибюлей; *E* — общественные здания.

Примечание. Табличные данные, умноженные на объем помещения или здания (фут^3), дадут теплопотери (БТЕ/ч) вследствие инфильтрации без учета тепла, необходимого для нагрева приточного воздуха.

Рекомендуется следующая методика расчета постоянного теплового режима здания.

1. Соберите данные о расчетной температуре наружного воздуха, направлении и скорости господствующих ветров в зимнее и летнее время и необходимой потребности в отоплении и охлаждении для стандартных и критических погодных условий, включая колебания, микроклиматические условия. Помните, что информация о погоде в каждом районе не всегда достоверна.

2. В зависимости от характера деятельности людей в помещении и необходимых комфортных условий определите желательную температуру воздуха в помещении в зимнее и летнее время.

3. Определите температуру воздуха в прилегающих помещениях (подвал, чердак), температуру земли и прочих неотапливаемых пространств.

4. Определите инфильтрацию, реальные теплопотери (т.е. количество тепла, необходимое для нагрева воздуха, проникающего в помещение, до комнатной температуры) и скрытые теплопотери (т.е. эквивалентное количество тепла, необходимого для предотвращения точки росы при изменении влажности). Реальные потери тепла можно вычислить по формуле

$$H_р = 0{,}018\, Q\, (t_в - t_н),$$

где $H_р$ — количество тепла, необходимого, чтобы значение $t_н$ поднять до $t_в$, БТЕ/ч; Q — количество воздуха, поступающего в помещение, фут^3/ч; $t_в$ и $t_н$ — расчетная температура соответственно внутреннего и наружного воздуха.

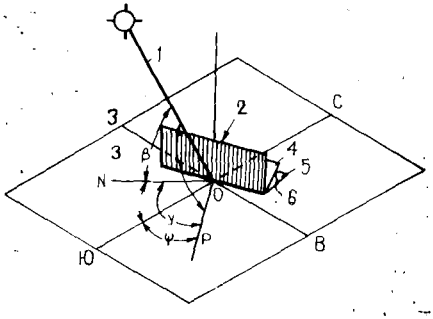


Рис. 3.12. Углы стояния солнца по отношению к вертикальной и горизонтальной поверхностям
1 — прямой луч; 2 — вертикальная поверхность; 3 — угол стояния солнца над горизонтом; 4 — наклонная поверхность; 5 — горизонтальная поверхность; 6 — угол наклона наклонной поверхности

Скрытые потери тепла можно рассчитать по формуле

$$H_c = 79{,}5\ Q\ (W_в - W_н),$$

где H_C — количество тепла, необходимого для увеличения влажности воздуха с $W_в$ до $W_н$, БТЕ/ч; $W_в$ — относительная влажность внутреннего воздуха в фунтах на 1 фунт сухого воздуха; $W_н$ — относительная влажность наружного воздуха в фунтах на 1 фунт сухого воздуха.

Значение Q лучше всего определять через кратность воздухообмена. В табл. 3.6 приведена кратность воздухообмена для жилых зданий.

Для прочих зданий следует руководствоваться нормативными требованиями к вентиляции. Для большинства общественных и промышленных зданий, где находится более 50 человек, и требуется механическая вентиляция, рекомендуется кратный воздухообмен в течение часа.

5. Определите коэффициент теплопередачи всех ограждающих конструкций (см. табл. 3.6).

6. Вычислите площадь наружных стен, окон и крыши, ограждающих отапливаемые помещения, а также стен, полов и потолков неотапливаемых помещений. Это можно сделать, используя чертеж плана здания.

7. Определите теплопередачу через пол, крышу (теплопотери и теплопоступления) и потолок, если они ограждают неотапливаемые помещения.

8. Вычислите эквивалентную разность температур для крыши, стен, окон и дверей для летних теплопоступлений. Эти значения приведены в Общем руководстве (1972).

9. Вычислите потери тепла в зимний отопительный сезон для каждой стены, потолка, пола, окон и дверей путем умножения значения коэффициента теплопередачи U на площадь каждого из элементов и разницу температур наружного и внутреннего воздуха.

10. Определите внутренние тепловыделения от людей, механизмов, освещения и т.д. для предварительных расчетов системы охлаждения.

11. Общие теплопотери здания представляют собой сумму теплопотерь через ограждающие конструкции (см. пп. 7 и 9) и теплового эквивалента холодного воздуха, поступающего в помещение за счет инфильтрации. Общие теплопотери позволяют подсчитать нагрузки на охлаждение, которые могут быть выражены в тоннах: 1 т нагрузки на охлаждение эквивалентна 12 000 БТЕ.

Таблица 3.6. **Средняя кратность воздухообмена в жилых зданиях** (ASHRAE)

Вид помещения или здания	Кратность воздухообмена
Без окон или наружных дверей	1/2
С окнами или дверями, выходящими на одну сторону	1
С окнами или дверями на две стороны	1–1/2
С окнами или дверями на три стороны	2
Холлы	2

По определению ASHRAE, "нагрузка на охлаждение — это норма отведения тепла из помещения для того, чтобы температура воздуха в нем оставалась постоянной, на расчетном уровне". Помимо подразделения теплопоступлений на реальные и скрытые существует более подробная классификация:

- теплопоступления от солнечной радиации;
- теплопоступления за счет теплопроводности ограждающих конструкций;
- теплопоступления через внутренние перегородки;
- теплопоступления в результате тепловыделений в помещении;
- теплопоступления вследствие инфильтрации теплового воздуха.

Бóльшая часть информации, необходимой для расчета отопительных нагрузок, бывает нужна для расчета охладительных нагрузок. Приведем перечень данных, необходимых для расчета охладительных нагрузок:

1) характеристика здания: материалы, размеры формы, ориентация, расположение и характер затенения;

2) расчетные параметры внутренних и наружных условий, направления и скорости ветров, температура воздуха в помещении (по сухому и мокрому термометру) и кратность воздухообмена;

3) внутренние источники теплопоступления: люди, бытовые приборы, освещение и т.д.;

4) расчетное время суток; месяц и год для определения теплопоступлений;

5) одновременные теплопоступления за счет солнечной радиации, прилегающих помещений и поверхностей, инфильтрации и вентиляции.

Список литературы

1. Stein Richard. "Architecture and Energy", Architectural Forum, July/August 1973, p. 47.

2. Vincent Richard. "Oil Saving Invention Foils Energy Gobbler", Catalyst, vol. 4, no. 1, p. 13.

3. Berg Charles A. "Energy Conservation through Effective Utilization", Science, July 13, 1973, p. 133.

4. Progressive Architecture. Life Support System tor a Dying Planet, Reinhold Publishing Corp.,. Reprinted from Progressive Architecture, October 1971, p. 18.

5. Op. cit. Berg, Charles A.

6. Ibid., p. 131.

7. Dubin Fred. "A Wiser Use of Electricity and Energy Conservation through Building Design", Building Systems Design, January 1973, p. 9.

8. Op. cit. Stein, Richard, p. 48.

9. Ibid., p. 49.

10. Fuchs John. "A Realistic Approach to Conserving Energy", Progressive Architecture, September 1973, p. 99.

11. Op. cit. Berg, Charles A., p. 129.

12. Ibid., p. 130.

13. Severns W.H. and Fellows J.R. Air Conditioning and Refrigeration, John Wiley and Sons, Inc., 1966.

14. Olgyay Victor. Design with Climate, Princeton University Press, p. 118.

15. Chiang R.N.S. Lecture on Environmental Physics, Virginia Polytechnic Institute and State University, College of Architecture 1969.

16. MacCurdy David W. "Calculating Solar Heat Loads", Progressive Architecture, December 1962, p. 124.

17. Op. cit. Chiang, R.N.S.

Achenbach P.R. and J.B. Cable. Site Analysis for the Application of Total Energy Systems to Housing Developments, National Bureau of Standards. Presented at the 17th Intersociety Energy Conservation Engineering Conference, San Diego, California. September 25–29, 1972.

Achenbach P.R. and J.B. Cable. "A Round Table on Energy Conservation through Higher Quality Building", Architectural Record, January 1972.

Barham R. The Architecture of the Well Tempered Environment, University of Chicago Press, 1969.

Berg Charles A. "Energy Conservation through Effective Utilization", IAT/NBS, NBSIR 73–102, February 1973.

Dubin Fred. "A Check–Off List on Energy Conservation with Regard to Power and Illumination", Electrical Consultant, vol. 89, no. 4, May 1973, p. 20.

Dubin Fred S. "Energy for Architects", Architecture Plus, vol. I, no. 6, July 1973, pp. 38–49.

Dubin Fred S. "Energy Conservation through Design", Professional Engineer, October 1973, pp. 21–24.

Dubin Fred S. "If You Want to Save Energy", AIA Journal, December 1972.

Dubin Fred S. "Total Energy Systems and the Environment", Actual Specifying Engineer, October 1972.

Dubin Fred S. "Total Energy Systems for Mass Housing — Why It Makes Sense", Actual Specifying Engineer, February 1973.

Eccli E. Low Cost Energy–Efficient Shelter, Rodde Press, Emmaus, Pa., 1975.

Eleven Ways to Reduce Energy Consumption and Increase Conservation in Household Cooling. U.S. Department of Commerce. NBS/IAT/BRO. Prepared in cooperation with the Office of Consumer Affairs.

Hammon Bruce. "Options for Energy Conservation", Energy Research Group at the Center for Abvanced Consumption in the University of Illinois. (NSF and EPP support).

Hittman Associates, Inc. "Residential Energy Consumption — Single Family Housing — Final Report", Department of Housing and Urban Development #HUD–HAI–2 with support from NSF/RANN (#HUD–PDR–29–2) March 1973.

Houghten F.C. and C.P. Yaglou. "Determination of the Comfort Zone", ASHRAE Transactions, vol. 29, 1973, p. 361.

Large David B. Hidden Waste Potentials for Energy Conservation, The Conservation Foundation, May 1973.

McGuinness W.J. and B. Stein. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, 5th ed., John Wiley & Sons, New York, 1971.

Robinette Gary O. Plants, People and Environment Quality: a study of plants and their environmental functions, Department of the Interior, National Park Services, 1972.

Rogers Tyler Stewart. Thermal Design of Buildings, New York, Wiley and Sons, Inc., 1964.

Seidet Margins R., Platkin Steven M. and Robert O. Beck. "Energy Conservation Strategies, May 1973, "Implementation Research Division, Office of Research and Monitoring, U. S. Environmental Protection Agency (EPA–R5–73–021).

"Seven Ways to Reduce Fuel Consumption in Household Heating — through Energy Conservation", Ad Hoc Committee on Fuel Conservation, Office of Consumer Affairs and the U.S. Dept. of Commerce, NBS/IAT/CBT, December 1972.

Steadman P. Energy, Environment and Building, Cambridge University Press, New York, 1975.

Stein Richard G., FAIA. "Energy and Architecture", Architectural Forum, vol. 139, no. I, July/August 1973, pp. 38–58.

Technical Options for Energy Conservation in Buildings.

National Bureau of Standards Technical Note 789, U.S. Government Printing Office, No. CI3.46:789, July 1973.

The Conservation Foundation, 1717 Massachusetts Avenue, N.W., Washington, D.C. 20036.

Villecco Marguerite, ed. Energy Conservation Opportunities in Building Design, A Report to the Ford Foundation Energy Policy Project, Washington, D.C., AIA Research Corp., October 1973.

4. ЕСТЕСТВЕННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

Можно сказать, что широкое применение систем искусственного охлаждения — это результат весьма слабых проектных решений. Начиная с 1952 г. искусственное охлаждение воздуха было признано самой быстрой и легкоосуществимой реакцией на перегрев помещений. Правильно оперируя сведениями о выборе ориентации, посадке здания на местности и возможных конструктивных решениях, проектировщик может избежать применения весьма энергоемкой и материалоемкой механической системы охлаждения. Следует признать, что существуют регионы, где механическое кондиционирование воздуха необходимо, но для этих территорий характерен избыток солнечной радиации, которую с успехом можно использовать для охлаждения*.

4.1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

Ощущение комфортности человеческим организмом в жаркие месяцы достигается за счет процесса обмена веществ (выработки или удаления избыточного тепла организмом). Количество выделяемого организмом тепла может изменяться от 100 ккал/ч (во время отдыха) до 350 ккал/ч (в процессе физической работы) [1].

Процесс выделения тепла человеческим организмом зависит не только от характера двигательной активности, но и от изменений условий окружающей среды и, в частности, значительно усиливается при тепловых стрессах. При более активном процессе обмена веществ организму требуется больше кислорода и большее количество тепла должно выделиться в окружающую среду, что создает дополнительную нагрузку на процесс охлаждения. С процессом обмена веществ тесно взаимосвязаны частота ударов сердца, внутренняя температура тела, выделение сахара и температура кожи.

Выбранный метод охлаждения должен учитывать все возможные виды активного состояния человека в здании, чтобы избежать теплового стресса организма.

При температуре окружающего воздуха 22 °С почти половина тепла, выделяемого телом, отводится за счет процесса испарения [2]. Проектировщики это часто учитывают, включая в расчеты 45 ккал скрытого тепла на человека. Если температура окружающего воздуха и температура кожи равны, то процессы конвекции и радиации не происходят, и естественным способом теплообмена остается испарение. Если температура влажного термометра равна или превышает температуру тела, начинается процесс испарения. Что произойдет, если 28 ккал, которые обычно рассеиваются в пространстве [3], станут поднимать температуру тела? Если температура тела на 7 °С превысит нормальную, наступит смерть. В районах с жарким и влажным климатом проектированию вентиляции должно уделяться особое внимание.

Значение влажности тоже является критическим параметром. Пока влажность воздуха не превышает 50%, процесс испарения проис-

---

*В гл. 7 рассматриваются некоторые естественные методы охлаждения воздуха: от наиболее простого (применение изоляции) до более сложных (естественная вентиляция). Более подробная информация содержится в гл. 3 и 7, кроме того, ее можно найти в литературе, приведенной в библиографическом указателе.

ходит беспрепятственно [4]. При повышении температуры воздуха до 32 °С влажность должна оставаться менее 50%, чтобы самочувствие человека было нормальным.

Во многих районах США более внимательное отношение к условиям теплового комфорта позволит значительно уменьшить потребность в механическом кондиционировании воздуха и экономить значительное количество энергии.

4.2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

Наиболее эффективными методами ослабления воздействия солнечной радиации следует считать ориентацию и затенение. Вопросы ориентации более подробно рассмотрены в разд. 2.6, а вопросы затенения в общих чертах — в разд. 3.7. В табл. 2.4 представлены различные направления ориентации, обеспечивающие наиболее выгодный тепловой режим здания.

Основной задачей проектирования затенения проемов, ориентированных на юго-запад, юг и юго-восток, следует считать уменьшение проникания солнечной радиации летом и обеспечение оптимальных условий для ее доступа в здание зимой. Такое затенение лучше всего можно осуществить путем применения различных навесов и других затеняющих конструкций окон как наружных, так и внутренних, а также путем использования растительности. Для зданий больших размеров могут быть рекомендованы экраны, шеды, а также использование конфигурации самого здания. Очень важно рассчитать углы стояния солнца над горизонтом для уточнения задач проектирования. Некоторые типы затеняющих устройств препятствуют естественной вентиляции (см. рис. 4.5 и 4.6). В случае, если предполагается наряду с затенением осуществить естественную вентиляцию, то затеняющие элементы должны быть выбраны так, чтобы они удовлетворяли обоим требованиям. Если охлаждению в проекте уделяется основное внимание, то наиболее рациональным решением следует признать комбинацию светлой окраски поверхностей с теплостойкими конструкциями.

Количество тепла, поглощаемого крышей, обычно весьма велико, потому что крыша в летнее время получает большой поток солнечной радиации. Следовательно, применение теплоизоляции может значительно повысить эффективность системы охлаждения. В любом районе континентальной части США температура крыши в ясный летний день может достигать 65 °С. Устройство усиленной тепловой изоляции позволяет не только ослабить процесс теплопередачи, но и замедляет теплоотдачу из здания и, значит, увеличивает время, необходимое для охлаждения. Устройство вентилируемой крыши позволяет теплому потоку воздуха подниматься вверх, что обеспечивает решение многих проблем.

Уклон крыши часто может оказать большое воздействие на процесс конвективного охлаждения. У маленьких зданий крышу можно охлаждать, используя наружный воздух.

Плоская кровля имеет теплопоступления на 50% больше, чем скатная [5]. Устройство скатной кровли с усиленной изоляцией может быть очень эффективно. Зимой такая усиленная изоляция позволяет избежать больших теплопотерь через кровлю. Применение фольги для ниж-

них слоев кровли эквивалентно использованию минераловатной изоляции толщиной 7,5 см [6]. Отражающая изоляция позволяет отвести до 90% солнечной радиации.

Окраска наружной поверхности кровли в белый цвет уменьшает влияние солнечной радиации и в то же время полностью утилизирует длинноволновое излучение неба. Если крыша имеет темную окраску, то температура нижней поверхности может быть на 30 °С выше, чем наружной поверхности [7]. Б. Гивони обнаружил, что увеличение высоты помещений свыше 2,7 м не оказывает существенного влияния на температуру внутреннего воздуха [8]. Это объясняется тем, что тепло, абсорбированное крышей, затем передается через потолок и излучается в помещение.

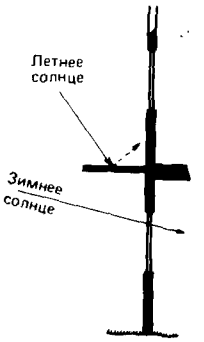


Рис. 4.1. Влияние навесок на затенение

Конвективный тепловой поток может быть весьма просто использован для охлаждения конструкций. В больших зданиях для этой цели можно применять вентиляционные стояки. В этом случае теплый воздух, уходя из здания по стояку, обеспечивает поступление более прохладного воздуха из подвального помещения, либо из специально для этой цели уложенных в земле керамических труб, либо воздуха, охлаждаемого с помощью бассейна-охладителя.

Обобщая сказанное, можно констатировать, что естественное охлаждение обеспечивается правильной ориентацией здания, правильной окраской поверхностей, затенением с использованием растительности или специальных затеняющих элементов, уменьшением конвекции.

4.3. ПРУДЫ-ОХЛАДИТЕЛИ

Первые эксперименты по устройству крыши с водяным охлаждением были проведены в конце 30-х годов. Они сразу же дали хорошие результаты: количество теплопоступлений от солнечной радиации снизилось почти на 80%. В те годы охлаждение кровли осуществлялось путем устройства на крыше "водоема" глубиной 100 мм. Поначалу возникло несколько проблем, в частности, проблемы развития водорослей и размножения комаров, однако уже в середине 40-х годов решения были найдены.

На рис. 4.2. представлены результаты научных исследований тепловых характеристик охлаждаемых крыш. Крыша, нагреваясь, может стать источником тепловыделений, а не барьером для передачи тепла. Устройство тепловой изоляции и вентиляционных стояков частично решает проблему, но эффективность резервуара-охладителя выше, потому что он не позволяет солнечной радиации проникать глубоко. Одно из преимуществ систем водяного охлаждения крыш заключается в том, что их легко устраивать на любой плоской кровле, как старой, так и новой. Работа системы основана на принципах отражения и испарения, позволяющих уменьшить воздействие солнца. Был проделан такой эксперимент. Две модели зданий, одно с резервуаром на крыше, а другое с сухой крышей, освещались четырьмя сильными

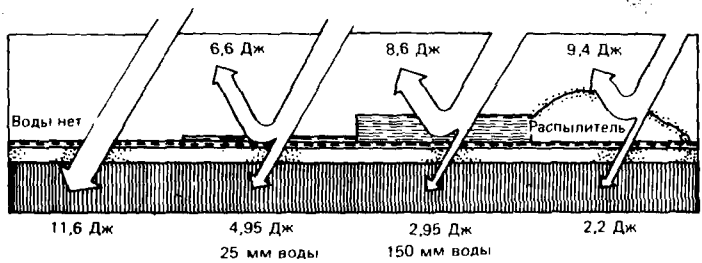


Рис. 4.2. Отражательный эффект резервуара, расположенного на крыше, и распылительного устройства

лампами. В модели с сухой крышей температура воздуха в течение получаса поднялась с 21 до 43 °С. При тех же условиях температура в макете, имевшем на крыше резервуар-охладитель, поднялась только с 21 до 29 °С. Разница температур составила 14 °С. Исследования, проведенные в 1942 г., показали, что "мокрая" крыша в 18 раз эффективнее сухой и уменьшает воздействие солнечной радиации [9].

Систему охлаждения распределительного типа легко установить на скатной крыше. В качестве простейшей конструкции можно использовать перфорированную трубу, уложенную по коньку крыши. Вода, сбегая по скатам, обеспечивает охлаждение поверхности кровли. Эту систему можно включать в часы наибольших теплопоступлений, а по истечении надобности отключать. Охлаждение кровли, кроме того, увеличивает срок ее службы, так как позволяет сгладить тепловые нагрузки на конструкции. Этот метод не лишен и своих недостатков. Пожалуй, самый серьезный — это большие потери воды. Во многих местах, где требуется применение экстенсивных методов охлаждения, отсутствует достаточное количество воды, чтобы ее можно было просто испарять в атмосферу. В такой ситуации нагретую воду необходимо накапливать, охлаждать и пускать в оборот.

Гарольдом Р. Хейем и Джоном И. Йеллотом разработана новая система солнечного отопления и охлаждения, в которой применяются крышные пруды-охладители и съемная теплоизоляция [10]. Испытания показали высокую эффективность этой системы для районов с очень жарким сухим и жарким влажным климатом. В этой системе используется шесть способов регулирования температуры воздуха в помещении: солнечное отопление, изменение теплоемкости, изменение радиации тепла в ночное время, испарение воды, радиация, испарение с использованием спиральных теплообменников и резервуаров-охладителей.

Первый солнечный дом, запроектированный Хейем, был построен в Фениксе, штат Оризона. Затем Хей принимал участие в разработке проекта дома в Атаскадеро, штат Калифорния. Эти дома построены в различных климатических районах, что позволяет провести сравнительный анализ. Хей дал следующую характеристику первого дома: "Потолок выполнен из листов волнистой стали . . . между балками, поддерживающими покрытие. По металлическим листам уложен слой черной пластиковой пленки, служащей гидроизоляцией. Между балками помещены пластиковые резервуары, заполненные водой. Толщина слоя

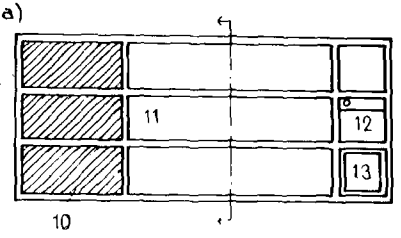
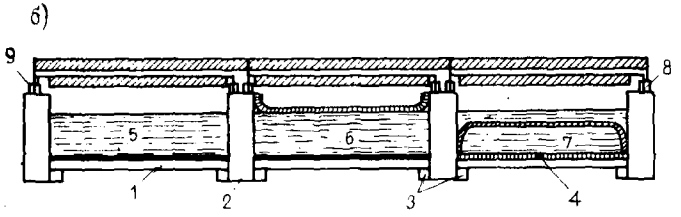


Рис. 4.3. Схема "солнечного дома" в Фениксе (а – план, б – разрез)
1 – металлический лист; 2 – балка; 3 – опорные элементы; 4 – покрывающий слой; 5 – открытый резервуар; 6 – прозрачное покрытие; 7 – затопленный резервуар; 8 – колесо; 9 – направляющая; 10 – уложенная изоляция; 11 – крышные резервуары; 12 – насос; 13 – сравнительный резервуар



воды от 15 до 17,5 см. Это количество воды имеет теплоемкость такую же, как 30 см бетона с массой, равной массе плиты, толщиной 7,5 см. Сверху уложены алюминиевые панели [11]. На рис. 4.3 представлены план и сечение крыши.

Для нагрева здания зимой резервуары открывают, чтобы обеспечить доступ к ним солнечной радиации, а ночью их укрывают изолирующими панелями, что приводит к излучению тепла в помещение. Такое излучение позволяет поддерживать температуру воздуха в здании 18–22 ° С при температуре наружного воздуха 0 °С. Применение этой системы невозможно в районах с большим уровнем солнечной радиации, но со снегопадами. Для охлаждения воздуха резервуары в дневное время закрывают изолирующими панелями, а на ночь панели убирают; в результате тепло, накопленное водой за день, излучается в атмосферу. Температура воздуха в помещении 23–25 °С при минимальной температуре наружного воздуха 38 °С и средней температуре 28 °С. Испарение в ночное время 3–6 см воды охлаждает резервуар ниже минимальной утренней температуры. "Испарение только 5 л воды из резервуара-охладителя эквивалентно действию 1 т хладагента" [12]. Для отвода теплого воздуха из помещения может применяться вентиляционное оборудование.

Дом, построенный в Калифорнии, будет более детально рассмотрен в разд. 7.6. К достоинствам этой системы следует отнести ее низкую стоимость, малые эксплуатационные затраты и малую потребность в электроэнергии. Все элементы системы просты в производстве.

4.4. ЕСТЕСТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

Условия воздухообмена в здании оказывают непосредственное воздействие на здоровье людей, ощущение комфортности и жизненный тонус. С точки зрения физиологии человека наиболее важными в вентиляции являются чистота воздуха, характер его движения, а также косвенное влияние вентиляции на температуру и влажность. В жар-

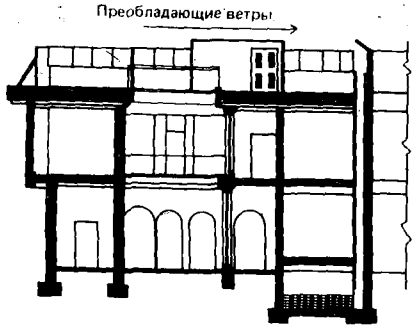


Рис. 4.4. Схема системы вентиляции пакистанского дома

кое время правильное использование естественной вентиляции создает комфортные условия в помещении, интенсифицируя процессы теплопередачи и испарения.

Хотя в центре внимания проектировщиков находится проблема создания комфортных условий для человека, другие факторы не следует упускать из вида. Наиболее примечательные из них — влияние строительных конструкций на микроклимат. Например, ориентация здания способна изменить характер ветров, а это, в свою очередь, иногда приводит к ухудшению условий роста растений и других условий вокруг остальных зданий.

Причиной движения воздуха внутри здания могут быть разница давлений наружного воздуха или разница температур наружного и внутреннего воздуха. Распределение зон различных давлений вокруг здания происходит под воздействием воздушных потоков как вокруг здания, так и проходящих через него. На наветренной стороне здания формируется зона высокого давления, а на подветренной стороне — зона низкого давления. Крыша почти всегда находится в зоне низкого давления. Разница давлений определяет скорость воздушного потока внутри здания. Важно размещать окна таким образом, чтобы создавались наилучшие условия для естественной вентиляции (рис. 4.4).

Разница температур вызывает наличие зон с различной плотностью воздуха, что также формирует воздушные потоки. Теплый, менее плотный воздух обычно поднимается вверх. Это приводит к созданию некоторого разряжения, вызывающего приток более холодного воздуха. Если в здании окна расположены на разных уровнях, то формируются конвективные воздушные потоки. Необходимо отметить, что в условиях сухого жаркого климата такая вентиляция не создает теплового комфорта.

4.5. ТРИ ФУНКЦИИ ВЕНТИЛЯЦИИ

Б. Гивони [13] подразделил вентиляцию по ее назначению на три типа:

- *вентиляция здоровья* поддерживает качество воздуха, замещает воздух внутри помещения свежим наружным воздухом;
- *вентиляция теплового комфорта* создает тепловой комфорт путем интенсификации процесса теплообмена между человеческим организмом и окружающей средой;

• *вентиляция охлаждения конструкций* охлаждает конструкции, когда температура воздуха в помещении становится выше температуры наружного воздуха.

В зданиях качество воздуха зависит от жизненных процессов (типа пищеприготовления, обогрева здания и т.д.) и характера деятельности людей. Назначение вентиляции здоровья заключается в удалении запахов, окиси углерода и других побочных продуктов жизнедеятельности человека.

В состав наружного воздуха обычно входят: кислорода 21%, двуокиси углерода 0,03—0,04%, азота 78%, инертных газов (преимущественно аргона) 1% и водяных паров от 5 до 25 г на 1 м^3 воздуха. Выделяемый человеком воздух обычно содержит около 16,3% кислорода, 4% двуокиси углерода, 79,7% азота и других газов, главным образом аммиака и 459 г/м^3 водяных паров [14]. Бактерии и органические соединения, имеющие запахи, выделяются человеческим организмом в зависимости от соблюдения личной гигиены, характера питания и других условий (например, курения). Надо помнить, что потребность организма в кислороде, в первую очередь, зависит от характера обмена веществ и может существенно влиять на количество и состав других газов, выделяемых организмом. В большинстве случаев содержание в воздухе помещения кислорода и двуокиси углерода изменяется в пределах 1%. Не следует допускать повышения уровня содержания двуокиси углерода более чем на 2—3% и снижения уровня содержания кислорода в воздухе более чем на 3—4%.

Определить кратность воздухообмена, необходимую для удаления запахов, очень сложно. Следует только иметь в виду, что кратность воздухообмена должна быть такой, чтобы она соответствовала любому возможному характеру деятельности людей и удаляла бы любой возможный запах. Помещения для курения и пищеприготовления, ванные комнаты и спортивные залы должны иметь бóльшую кратность воздухообмена, чем любые другие помещения.

Интенсивность запаха зависит от температуры воздуха. Исследователи, изучавшие нормы воздухообмена, установили, что понижение температуры с 31 до 22 °С значительно уменьшает силу запахов. Такое снижение температуры по воздействию на силу запахов эквивалентно увеличению объема вентиляции с 0,14 до 1,5 м^3/мин на одного человека. Содержание микроорганизмов при изменении нормы воздухообмена с 0,03 до 1,5 м^3/м на одного человека изменялось.

Для помещений, не имеющих проемов (в частности, окон), расчет вентиляции должен производиться особенно тщательно.

Окись углерода является продуктом неполного сгорания ископаемых топлив. Попадая через дыхательные пути в кровь, окись углерода начинает отбирать из организма кислород, что вызывает удушье. Вентиляция должна быть достаточной, чтобы удалить из воздуха возможное количество окиси углерода. При расчете в первую очередь необходимо учитывать потребность в кислороде топочных устройств. В этом случае основная проблема будет решена.

Задача "вентиляции теплового комфорта" заключается в устранении физиологического и психологического дискомфорта, вызываемого высокой температурой воздуха. Только в очень редких случаях, когда возможно создание и поддержание высоких скоростей воз-

душных потоков, можно обеспечить равномерную естественную вентиляцию. С точки зрения создания теплового комфорта, первостепенное значение имеет не кратность воздухообмена, а скорость воздушного потока. Важно иметь в виду, что когда речь идет об удалении запахов, то в первую очередь следует обращать внимание на кратность воздухообмена, а когда необходим отвод избыточного тепла, на первом плане должна быть скорость воздушного потока.

"Вентиляция теплового комфорта" может осуществляться и в холодное время. В этом случае задача заключается в подаче холодного воздуха в припотолочное пространство, откуда он сам опустится вниз, где находится теплый воздух. Такое решение может способствовать сохранению энергии. "Вентиляция теплового комфорта" более подробно будет рассмотрена ниже.

Как уже было сказано, температура воздуха, в основном, зависит от абсорбционной способности окружающих поверхностей, причем это положение относится и к наружному воздуху, и к воздуху внутри помещения. "Вентиляция охлаждения конструкций" предназначена, главным образом, для уменьшения температуры внутренних поверхностей, которые изменяются в зависимости от изменения средних температур наружных поверхностей. А температура наружных поверхностей, в свою очередь, зависит от их коэффициента термического сопротивления и ориентации.

В табл. 4.1, представлены результаты опытов, в которых изучалось влияние вентиляции на температуру внутреннего воздуха в зависимости от типа вентиляции и окраски наружных поверхностей. Эти температуры характеризовали отклонение от максимальной температуры наружного воздуха. Количественные характеристики вентиляции изменялись в зависимости от материала стен и их толщины, особенно когда наружные поверхности были серого цвета. Охлаждающий эффект непрерывной вентиляции оказался наибольшим при максимальной температуре и небольшой толщине стен. Был сделан вывод, что температура бетонных стен серого цвета больше зависит от вентиляции, чем температура стен той же толщины из легкого бетона.

В некоторых случаях вентиляция способствует повышению температур внутри здания. Такое явление наблюдается, когда светлая наружная поверхность и тепловое сопротивление стены препятствуют абсорбции солнечной радиации.

Большое внимание следует уделять выбору типа затенения и размера окон. Если стены имеют темный цвет, то вентиляция в дневное время уменьшает температуру внутренних поверхностей, что приводит к понижению температуры внутреннего воздуха. Все эти процессы, конечно, зависят от термического сопротивления стены и ее толщины, а также от тех изменений, которые может внести вентиляция.

Требования к вентиляции зависят от сезонных изменений климата и микроклимата. Характер этих изменений должен быть выяснен прежде, чем будет сделан выбор расположения окон, устройств, которыми окна могут быть оборудованы, а также до того, как будет выбрана планировка внутренних помещений.

В районах с холодным сухим климатом, где основная задача заключается в уменьшении поступления наружного воздуха в помещение, часто возникает потребность увлажнении воздуха. Вентиляция нужна лишь иногда в летние месяцы. Повышенная влажность в это вре-

Таблица 4.1. **Влияние вентиляции на температуру внутреннего воздуха**

Цвет наружной поверхности	Место изменения температуры	Характер вентиляции	Материал					Стены	
			бетон толщиной		пустотные бетонные блоки толщиной			оштукатуренные толщиной 7 см	изолированные толщиной 16 см
			12 см	22 см	20 см	12 см	22 см		
Серый	Снаружи помещения	Отсутствует	8	3,3	3,5	4,6	2,2	5,8	5,1
		В ночное время	7,2	1,9	1,7	3,4	0,2	4,8	3,7
		Непрерывная	1	−0,4	−0,3	0,5	−0,2	0,3	0,4
		Эффект от вентиляции:							
		в ночное время	−0,8	−1,4	−1,8	−1,2	−2	−1,8	−1,4
		от непрерывной	−7	−3,7	−3,8	−4,1	−2,4	−5,5	−4,7
Белый	Внутри помещения	Отсутствует	−1	−1,8	−2,3	1,8	−3,2	−1,1	−1,9
		В ночное время	−2,7	−2,5	−2,8	−2,7	−4,8	−0,5	−3,1
		Непрерывная	−1,1	−1,4	−1,4	−0,8	−2	0	−1
		Эффект от вентиляции:							
		в ночное время	−1,7	−0,7	−0,5	−0,9	−1,6	0,6	−1,2
		от непрерывной	−0,1	0,4	0,9	1	1,2	1,1	0,9

мя нежелательна, поэтому проемы должны быть расположены так, чтобы обеспечивалась сквозная вентиляция по направлению "северо-восток" — "юго-запад" и исключались южное и западное направления. Окна должны иметь двойное или тройное остекление в расчете на зимние условия.

В районах, где в зимние месяцы отмечается очень высокая влажность и не очень низкая температура воздуха, кратность воздухообмена должна быть уменьшена, чтобы не снизилась температура внутреннего воздуха. В районах с умеренным климатом в США окна должны обеспечивать проникание летних бризов (обычно юго-западных). Число окон, ориентированных на север и запад, должно быть минимальное.

В жарких районах вентиляция нужна для того, чтобы отвести влагу от кожи и способствовать процессу теплопередачи. Скорость имеет в этом случае значительно большее значение, чем объем воздуха, участвующий в процессе вентиляции. Проектирование вентиляции при этих условиях играет очень большую роль в проектировании всего здания. В жарких влажных районах скорость воздушного потока в самое жаркое время должна быть около 120 м/мин [15]. В жарких сухих районах рекомендуется уменьшать кратность вентиляции до минимума в дневное время. Ночью окна должны быть открыты, днем скорость воздушного потока может быть даже ниже, чем в районах с холодным климатом. Открытые окна создадут условия для естественной венти-

ляции, которая уменьшит температуру стен и, следовательно, температуру воздуха. Скорость воздушного потока в вечернее время может быть только 60 м/мин.

На расчет вентиляции прямо или косвенно влияют цвет наружных поверхностей стен и тепловое сопротивление стен, характер деятельности людей в здании и климатические условия. Скорость воздушного потока естественной вентиляции рассчитывают исходя из требований к температуре и влажности в помещении.

4.6. ОРИЕНТАЦИЯ ОКОН, ИХ РАЗМЕРЫ И ВОЗДУШНЫЕ ПОТОКИ

Ориентация окон имеет особенно важное значение для формирования воздушных потоков в здании. Очень часто при расположении входных и выходных проемов друг против друга и перпендикулярно направлению господствующих ветров воздушный поток проходит напрямую через помещение, в малой степени влияя на воздухообмен в других частях помещения.

В табл. 4,2 показано, что в том случае, когда окна расположены на противоположных стенах, а направление господствующих ветров находится под углом 45° к поверхности окон, то наибольшие скорости воздушного потока в помещении наблюдаются при следующем соотношении высоты окна к его ширине: 1:1, 2:1, 2:2, 2:3, 3:2, 3:3. Целесообразно иметь входные проемы больше, чем выходные.

Из табл. 4.2 видно, что если окна расположены на смежных стенах, наибольшая скорость потока наблюдается в случае, когда направление ветра перпендикулярно поверхности окон. Опыт был поставлен Гивони, который использовал модель, квадратную в плане.

Таблица 4.2. **Влияние размеров и расположение окон на среднюю скорость воздушных потоков при сквозной вентиляции, % (от скорости ветра)**

Отношение высоты к ширине окон		Окна расположены на противоположных стенах, направление ветра к окнам		Окна расположены на смежных стенах, направление ветра к окнам	
входных	выходных	перпендикулярное	под углом	перпендикулярное	под углом
1:3	1:3	35	42	45	37
1:3	2:3	39	40	39	40
2:3	1:3	34	43	51	36
2:3	2:3	37	51	—	—
1:3	3:3	44	44	51	45
3:3	1:3	32	41	50	37
2:3	3:3	35	59	—	—
3:3	2:3	36	62	—	—

Опыты на прямоугольной модели показали, что имеет место явление "затенения". Правильное размещение окон и внутренних стен позволяет избежать этого явления. Оказалось, что воздушный поток, попав в помещение, стремится следовать своему направлению, пока разница в давлении у выходного проема не заставит его изменить это направление. Этот вывод очень важен для районов, где в теплое время

года господствующими являются ветры восточного и западного направлений. В данном случае при выборе ориентации здания и необходимости посадки его перпендикулярно господствующим ветрам может возникнуть осложнение, которое достаточно просто устраняется, если сориентировать здание на северо-восток или юго-запад, что позволит обеспечить условия для необходимой естественной вентиляции.

Аронин [16] приводит в качестве примера фермеров провинции Квебек, которые ставят свои дома так, чтобы стена наименьшей площади была перпендикулярна направлению господствующих зимних ветров. Такая ориентация позволяет легко использовать все преимущества господствующих летних ветров.

Размер окон имеет большое значение для определения скорости воздушного потока при сквозной вентиляции. В комнатах, где окна расположены только по одной стене, естественная вентиляция либо очень мала, либо совсем отсутствует. Чтобы воздух мог войти в помещение, он должен иметь возможность из него выйти.

В табл. 4.3 представлены средние значения скорости воздушных потоков, которые определены при проведении эксперимента на модели с одним окном. При наличии сквозной вентиляции ее параметры изменялись при одновременном увеличении размеров входных и выходных окон. Необходимо отметить, что скорости воздушных потоков при увеличении размеров окон уменьшались. Изменение средней скорости воздушных потоков обусловлено изменением размеров меньшего проема, но максимальная скорость достигалась при изменении относительных размеров входных и выходных окон.

Таблица 4.3. **Влияние расположения окон и направление ветра на среднюю скорость воздушных потоков в помещении, % к скорости ветра**

Направление ветра	Отношение ширины окна к высоте		
	1/3	2/3	3/3
Перпендикулярно окну	13	13	16
Под углом к переднему фасаду	12	15	23
Под углом к заднему фасаду	14	17	17

Большинство жилых и рабочих помещений имеют только одну наружную стену и чаще всего одно окно. В этом случае вентиляция должна осуществляться иными методами, чем при сквозной планировке помещения. Скорость воздушного потока в этих помещениях составляет 1/3—1/4 скорости потока при сквозной вентиляции и одинаковой общей площади окон [17].

В помещениях с одним окном искусственно должна быть создана зона высокого давления. Это достигается с помощью вертикальных элементов стен. На рис. 4.6 представлены результаты опытов, которые проводились со зданием, имевшим навесы над окнами. В этом случае наблюдалось незначительное увеличение скорости воздушного потока. Бо́льшие скорости воздушных потоков отмечались, когда ветер имел направление под углом к плоскости окон. На это следует обращать внимание при проектировании помещений с двумя окнами, между которыми расположен какой-либо вертикальный элемент.

Искусственные зоны высокого и низкого давлений создавались путем впуска воздуха через окно, возле которого давление наружного воздуха было выше, и выпуска через окно, возле которого давление наружного воздуха было ниже (см. рис. 4.5). Если вертикальные элементы имелись с двух сторон, воздушные потоки внутри помещения не образовывались.

Сквозная планировка создает исключительно благоприятные условия для естественной вентиляции. Так как при устройстве естественной вентиляции прежде всего необходимо обеспечить охлаждение помещений, то воздушный поток должен быть направлен в зону деятельности людей, а не в припотолочную зону. Расположение выпуска воздуха и тип устройств, используемых для впуска воздуха, определяют характер воздушного потока. При проектировании очень важно учитывать, что в большинстве случаев максимальные скорости воздушных потоков наблюдаются, когда площадь выпускного проема больше площади впускного. Максимальный воздухообмен происходит, если впускной и выпускной проемы имеют одинаковую площадь, однако для охлаждения более важна большая скорость движения воздуха. Средняя скорость движения воздуха прямо пропорциональна общей площади окон.

Об ориентации можно сказать, что наибольшая скорость воздушного потока при проведении эксперимента на квадратной в плане модели наблюдалась, когда направление ветра было под углом к входному окну [18].

Доказано, что для создания в помещении воздушного потока входные и выходные проемы не обязательно должны располагаться на противоположных стенах. Характер воздушных потоков зависит от решения входного проема и горизонтального расположения выходного проема. Входной проем может выполнять роль сопла, формируя направление потока и обусловливая максимальный эффект охлаждения. Высота потолка непосредственно не влияет на характер воздушных потоков. Если потолок имеет уклон, то теплый воздух, поднимаясь вдоль него, является побудителем тяги и создает условия для подсоса свежего воздуха в помещение. Однако этот процесс недостаточно интенсивен для создания комфортных условий в теплое время года. Глубина помещения также не оказывает влияния на процесс естественной вентиляции [19]. При наличии коридора следует учитывать, что он может выполнять роль воздуховода, и выпускные проемы могут входить в него. Коридор иногда выполняет роль приточного воздуховода; в этом случае необходимо тщательно анализировать распределение воздушных потоков в помещении.

Небольшие входные проемы имеют тенденцию формировать воронкообразные потоки, создавая так называемый эффект Вентури. В этом есть и свои преимущества, и свои недостатки. В прямоугольных помещениях, где окна расположены на противоположных стенах, имеющих небольшую площадь, воздушный поток заполняет все помещение. В квадратных помещениях и помещениях, где окна расположены на противоположных стенах большей площади, эффект вентиляции будет сказываться только на охлаждении зон, находящихся между окнами, и в малой степени будет сказываться на остальных участках, где возможно формирование застойных зон.

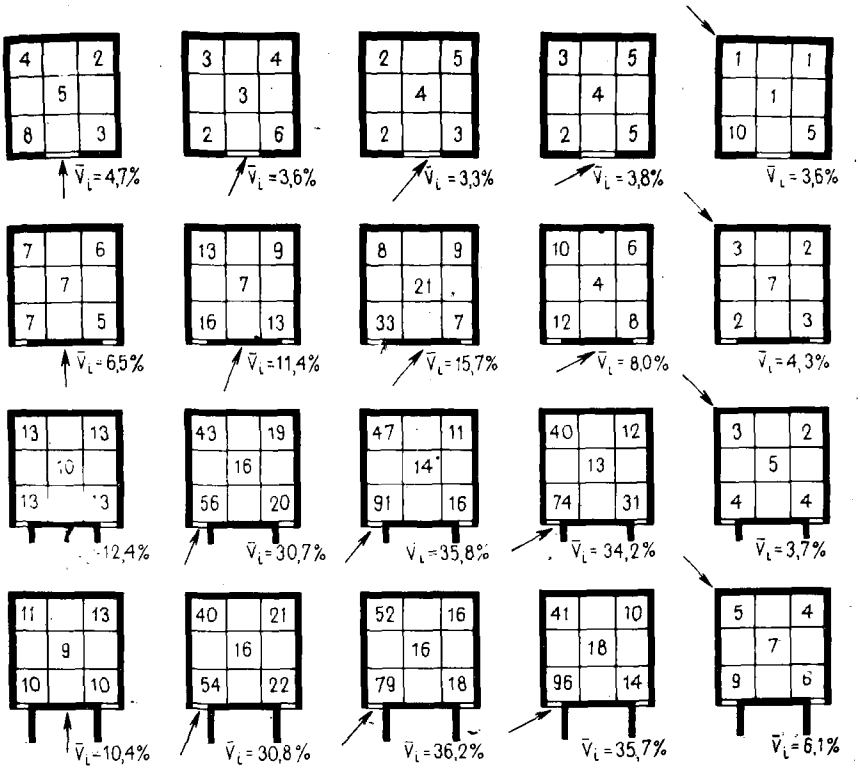


Рис. 4.5. Влияние вертикальных элементов

Объем воздуха, участвующего в процессе вентиляции, может быть подсчитан по формулам [20]:

при сквозной вентиляции $Q = KAv$,

где Q — количество воздуха, м^3/ч; A — площадь входного проема, м^2; v — скорость ветра, м/ч; K — коэффициент, зависящий от соотношения площадей входного $S_{вх}$ и выходного $S_{вых}$ проемов:

$S_{вых}/S_{вх}$	1:1	2:1	3:1	4:1	5:1	3:4	1:2	1:4
K . . .	3150	4000	4250	4350	4400	2700	2000	1100

при вентиляции, обусловленной разницей температур [14]:

$$Q = KA\sqrt{H(t_в - t_н)},$$

где H — разница в высоте между входными и выходными проемами, м; $t_в$ — средняя температура внутреннего воздуха на высоте H, °С; $t_н$ — температура наружного воздуха, °С; K — коэффициент, зависящий от соотношения:

$S_{вых}$: $S_{вх}$ . . .	5	**4**	3	2	1	3:4	1:2	1:4
K . . .	745	**740**	720	680	540	455	340	185

На рис. 4.6 показано формирование воздушных потоков при разных условиях. Можно видеть, что потребление энергии воздушного

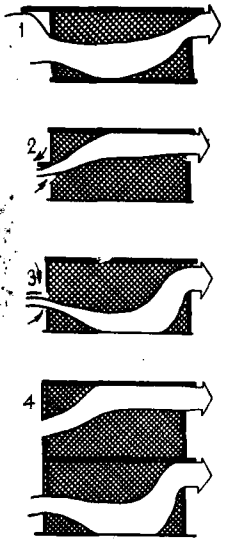


Рис. 4.6. Варианты структур внутренних воздушных потоков

1 — здание с навесом; 2 — навес со сплошным примыканием; 3 — навес с консольным примыканием; 4 — в двухэтажном здании правильно устроенный приток на первом этаже влияет на приток на втором этаже; 5 — дерево в 1,5 м от здания; 6 — дерево в 3 м от здания; 7 — дерево в 1,5 м, кустарник у стены здания; 8 — растительность отсутствует; 9 — кустарник у здания; 10 — кустарник в 1,5 м от здания; 11 — кустарник в 9 м, дерево в 6 м от здания; 12 — кустарник в 3 м, дерево в 6 м от здания; 13 — кустарник в 3 м от здания; 14 — небольшой кустарник у здания; 15 — большой кустарник у здания; 16 — то же, в 1,5 м от здания; 17 — то же, в 3 м от здания

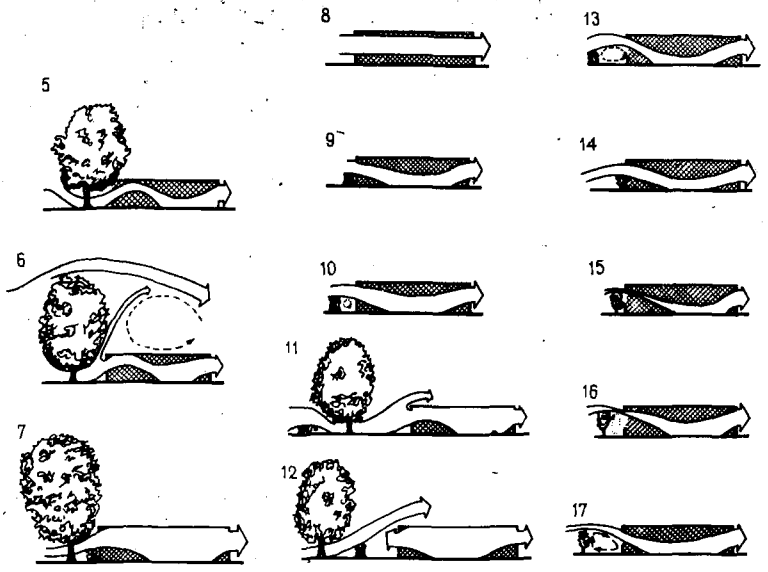
потока происходит только в тех случаях, когда он изменяет свое первоначальное направление (см. рис. 4.6 и 4.8).

Выводы:

- глубина помещения не оказывает существенного влияния на вентиляцию;
- высота потолка незначительно влияет на вентиляцию;
- вертикальные элементы, правильно помещенные между двумя соседними окнами на наружной стене, могут усилить воздухообмен;
- при расположении окон на смежных стенах входной проем должен быть на стене, перпендикулярной направлению господствующих ветров;
- при окнах, расположенных друг против друга, наилучший эффект достигается, если входное окно находится под углом к направлению господствующих ветров;
- максимальная скорость воздушного потока наблюдается, когда площадь выходного проема больше площади входного;
- правильный выбор входного проема и горизонтального расположения выходного формирует характер воздушного потока.

4.7. РАСПОЛОЖЕНИЕ И ТИП ОКОН

Расположению входных окон по вертикали и выбору типа окна необходимо уделять значительно больше внимания, чем соответствующим характеристикам выходных окон. Вертикальное расположение входных окон оказывает небольшое воздействие на характер воздушных потоков, однако оно может способствовать формированию скоростных характеристик и направлению воздушных потоков. Если входное окно находится ниже средней высоты расположения подоконников, то скорость воздушного потока будет значительно меньше. В этом случае возможно снижение скорости воздушного потока на 25% по сравнению со скоростью основного воздушного потока при сквозной



вентиляции. Когда воздушный поток встречает преграду в виде вертикальной стены, то формируется поток, параллельный ей. Если в стене сделан проем, то количество воздуха, проходящего через него, зависит от давления внутри помещения, силы воздушного потока и типа оконного проема. В результате воздействия силы воздушного потока процесс вентиляции на уровне второго и третьего этажей будет иным, чем на уровне первого этажа. Если помещение имеет окна, снабженные регулируемыми оконными переплетами, то становится возможным регулирование количества и направления поступающего воздуха.

Силу воздушного потока необходимо учитывать при проектировании навесов или балконов для помещений, которые нуждаются в естественной вентиляции. В многоэтажных зданиях сила воздушного потока распределяется таким образом, что одна часть его направляется вдоль стены вверх, а другая часть вниз.

Балконы и затеняющие элементы над входными окнами существенно влияют на процесс естественной вентиляции. Правильно расположенные навесы отклоняют воздушный поток вниз, способствуя улучшению вентиляции. Сплошные затеняющие элементы (даже небольшие) обычно изменяют направление восходящих потоков, давая им возможность попасть в помещение. Когда затенение имеет щели достаточных размеров, нисходящие потоки могут оказывать воздействие на направление воздушных потоков.

В некоторых случаях, если здание имеет слишком много балконов или других выступающих элементов, воздушный поток разбивается и теряет свою силу, поэтому описанные выше процессы не наблюдаются, и ветер просто проходит через здание. Если фасад такого здания расположен под углом к направлению господствующих ветров, поток воздуха может "расслоиться" за счет этих элементов и направиться в помещение только через окна специальной конструкции. Однако все это пока только теория, и необходимо провести большое количество исследований.

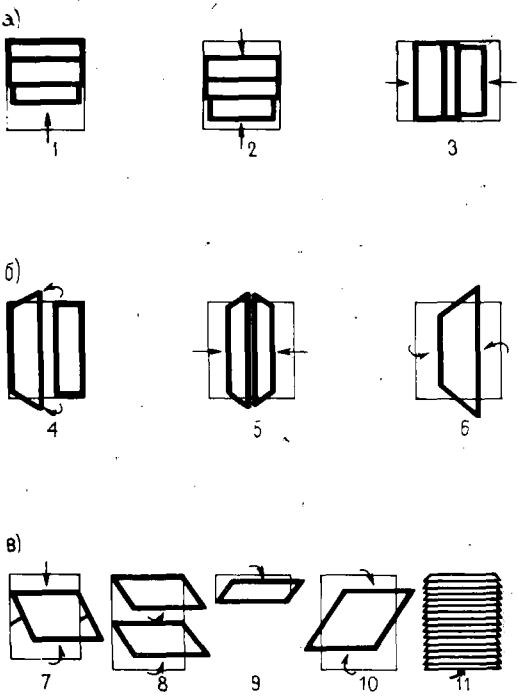


Рис. 4.7. Типы рам (а — простое остекление; б — вертикально открывающиеся; в — горизонтально открывающиеся)
1 — подъемная; 2 — подъемно-опускная; 3 — горизонтально скользящая; 4 — одностворчатая; 5 — двустворчатая; 6 — вращающаяся; 7 — поворотно-выдвижная однорамная; 8 — поворотная двойная; 9 — складывающаяся; 10 — поворотная; 11 — жалюзи

Различные типы входных окон формируют в помещении различные воздушные потоки с различными скоростными характеристиками. Установлено, например, что узкие окна обеспечивают более равномерное распределение воздуха в помещении, чем другие типы окон [21]. Однако очевидно, что и узкие окна требуют такого же тщательного проектирования, как и все остальные. Эффективность различных типов окон изучалась в 1951 г. Холлеманом [22] (рис. 4.7).

Он проводил свои исследования с помощью дыма, что позволяло фиксировать распределение воздушных потоков по помещению, однако скоростные характеристики не измерял. Изучались окна с двумя фрамугами в трех ситуациях: открыта одна фрамуга, обе фрамуги открыты полностью и обе фрамуги открыты минимально. Опыты показали, что окна этого типа лучше всего располагать на том уровне, на котором желательно обеспечить требуемый микроклимат. Для окон с вертикальными створками эффект оказался таким же и требования к их размещению аналогичными. Через окна с вертикальными створками воздух может поступать в помещение с правой или левой стороны, но регулировать поступление воздуха по вертикали невозможно. При анализе работы вертикальных подъемных окон выяснилось, что регулировать поступление воздуха по горизонтали возможно, если они полностью открыты, но уже чуть прикрытые окна придавали воздушному потоку восходящее направление. Окна жалюзийного типа характеризовались ламинарным потоком воздуха, проходящим через щели. Отклонение потока воздуха вверх или вниз от горизонтального направления составляло не более 20°.

Окна с двумя фрамугами, открывающимися параллельно, и окна, поворачивающиеся вокруг горизонтальной оси, формируют горизонтальные потоки воздуха, когда полностью открыты, и отклоняют эти потоки вверх, когда их немного прикрывают. Цокольные окна формируют только восходящие потоки.

Был сделан вывод, что все окна такого типа, кроме жалюзийных, должны размещаться ниже уровня, на котором необходимо создание комфортных условий. Стало очевидно, что лишь некоторые из существующих типов зданий обеспечивают условия для естественной вентиляции, поэтому выявилась необходимость в создании новых типов окон.

ВЫВОДЫ

- окна должны иметь подвижные створки, чтобы можно было формировать нисходящие потоки воздуха;
- необходимо тщательно продумывать решения затеняющих устройств, чтобы обеспечить доступ нисходящих потоков воздуха в помещение;
- выходные окна следует располагать не ниже среднего уровня подоконников.

4.8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Воздушный поток, попавший в помещение и изменивший направление, теряет свою силу, что особенно ощутимо, когда ширина здания превышает глубину его помещений. При проектировании вентиляции каждого из помещений необходимо принимать во внимание потребности соседних помещений. При правильной планировке помещений естественной вентиляцией может быть охвачена большая площадь при небольшом уменьшении скорости потоков. Чем больше размеры проемов между помещениями, тем меньше снижается скорость воздушных потоков.

Как видно из рис. 4.6 и 4.8, чем ближе помещение к выходному проему, тем лучше условия для естественной вентиляции. Желательно, чтобы комнаты, в которые поступают восходящие потоки, имели большие размеры. Мебель, оборудование, затеняющие элементы и шторы могут влиять на характер воздушных потоков. Следует помнить, что основной воздушный поток может быть в 8 раз мощнее отделяющихся от него вихрей.

4.9. ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТА

Высота участка, его ширина, плотность застройки и другие параметры влияют на характер движения воздуха в помещении. Исследования, проведенные в Техасском центре инженерных исследований Робертом Ф. Уайтом [23], показали, что кроны лиственных деревьев практически блокируют воздушные потоки, а скорость ветра под кронами немного больше, чем на открытом пространстве. Установлено, что растительность вызывает изменение направления воздушных потоков в здании. Рис. 4.6 иллюстрирует результаты опытов, проведенных Уайтом. На этом же рисунке показано, что кустарники ослабляют нисходящие потоки и способствуют образованию вихрей.

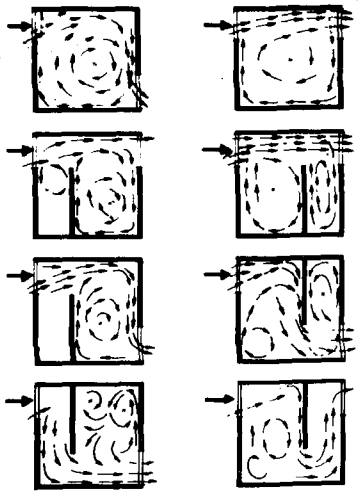


Рис. 4.8. Схемы движения воздушных потоков в помещениях различной планировки

Кроме того, показано влияние дерева высотой 9 м с кроной диаметром 7,5 м на высоте 1,5 м от земли на характер воздушных потоков.

Существенное воздействие на естественную вентиляцию в здании оказывают расположение, расстояния, размеры и очертания соседних сооружений. Гивони обобщил все элементы планировки городских территорий, влияющие на процесс естественной вентиляции, следующим образом:

- направление и эффективная ширина главных и боковых улиц с учетом ветровых условий;
- расстояние между зданиями;
- общая высота зданий;
- наличие высоких зданий среди более низких.

Потоки воздуха, встречая на своем пути здания, образуют за ними вихри, скорость которых зависит от габаритов зданий. Вентиляция здания, находящегося в зоне вихря, определяется скоростью этого вихря, которая обычно достаточно мала. Движение воздуха вдоль улицы тоже очень важный фактор.

Если побудителем тяги служит разность температур поверхностей зданий, надо обращать внимание на степень освещенности зданий (т.е. важно обеспечить необходимую разницу температур для возникновения воздушных потоков). Окружающие здания могут затенять эти поверхности, если проект выполнен недостаточно тщательно.

Следует тщательно изучить ветровые условия местности, что может быть сделано либо на модели, либо путем анализа данных, полученных на приборах. Затем необходимо произвести анализ воздействия нового сооружения на существующие ветровые условия. Новое здание следует сооружать с учетом всех элементов среды, как природной, так и искусственной.

ВЫВОДЫ

- вентиляция в здании непосредственно влияет на человеческий организм, формируя температурные условия и отводя избыточное тепло;
- вентиляция выполняет три основные функции: поддерживает оптимальные параметры воздуха, выполняя роль "вентиляции здоровья"; улучшает условия теплового комфорта, способствуя отводу избыточного тепла от организма, — "вентиляция теплового комфорта" и охлаждает поверхности ограждающих конструкций — "вентиляция охлаждения конструкций";

- воздушный поток в здании зависит от силы ветра, формирующей зоны высокого и низкого давления; если окна расположены в пределах этих зон, в здании возникают воздушные потоки;
- невозможно усилить воздушный поток в здании только путем открывания окон на наветренной стороне здания;
- характер воздушных потоков зависит от расположения входных окон, а также от конструкции и расположения различных наружных элементов здания;
- можно вентилировать несколько помещений, если ближе к выходному окну расположено меньшее из них;
- на характер вентиляции здания влияет ландшафт.

Список литературы

1. Emerick R.H. "Comfort Factors Affecting Cooling Design", Progressive Architecture, December 1951, p. 97.
2. Ibid.
3. Ibid.
4. Ibid.
5. Kern Ken. Owner Built Home, Ken Kern Drafting, Sierra Route, Oakhurst, Co.
6. Givoni B. Man, Climate and Architecture, Elsevier Publishers, New York and London, 1969, p. 150.
7. Ibid., p. 191.
8. Ibid.
9. "Water Cooled Roofs", Architectural Forum, June 1946, p. 167.
10. Yellott J.I. and Hay H.R. "Thermal Analysis of a Building with Natural Air Conditioning", ASHRAE, Semiannual Meeting, Chicago, January 1969, Paper #2103.
11. Hay Harold, as quoted in "Solar Energy in Housing" by C. Moorcraft. Architectural Design, October 1973, p. 654.
12. Ibid.
13. Op. cit. Givoni, p. 230.
14. Ibid., p. 231.
15. Ibid., p. 249.
16. Aronin J.E. Climate and Architecture, Reinhold, New York, 1953, p. 206.
17. Givoni B. Ventilation Problems in Hot Countries, Ford Foundation Research Report, Haifa, Israel, May 1968, p. 8.
18. Givoni B. "Laboratory Stydy of the Effect of Window Size and Location on Indoor Air Motion", Architectural Science Review, June 1965, p. 44.
19. Olgyay V. Design with Climate, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1963, p. 112.

20. Ibid.

21. Holloman T.R. Air Flow through Conventional Windows, Research Report No. 33, Texas Engineering Experimental Station, November 1951.

ASHRAE Guide and Data Book, 1963, pp. 438–441.

Caudill W.W. "Classroom Comfort through Natural Ventilation", A.I.A. Bulletin, May 1952, p. 22–24.

Dick J.B. "The Fundamentals of Natural Ventilation of Houses", Journal of the Institution of Heating and Ventilating Engineers, June 1953, pp. 123–134.

Hay Harold. "New Roofs for Hot, Dry Regions", Ekistics, No. 183, February 1971, pp. 158–164.

Hay H.R. and Yellott J.I. "International Aspects of Air Conditioning with Movable Insulation", Solar Energy, Vol. 12, pp. 427–438.

Texas Engineering Experimental Station, Research Reports Nos. 21, 22, 26, 36, 59.

"Ventilation", Architectural Forum, May 1951, pp. 174–177.

"Well–Ventilated Schoolrooms", Architectural Forum, January 1952, pp. 150–157.

Yellott J.I. and Hay H.R. "Natural Air Conditioning with Roof Ponds and Movable Insulation", ASHRAE, Semiannual Meeting, Chicago, 1968, Research Paper # 2102.

5. ЭНЕРГИЯ ВОДЫ

Использование энергии воды рассмотрим лишь в о в общих чертах, так как оно возможно главным образом только в сельских районах. Основная информация, приводимая здесь, взята из ежемесячного журнала "Попьюлар Сайенс" (1947) и работы С.А. Кроули "Энергия малых рек", опубликованной в журнале "Попьюлар Мекэникс" (сентябрь, 1940).

5.1. УСЛОВИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ЭНЕРГИИ ВОДЫ

Значительное количество энергии дают не только мощные водяные потоки; малые потоки также способны обеспечивать удивительно большой запас энергии. Есть, по крайней мере, три вопроса, на которые мы должны дать исчерпывающий ответ прежде, чем начнем строить гидроэлектростанцию:

- равномерна ли мощность потока в течение года, в том числе летом;
- достаточна ли мощность потока для окупаемости инвестиций;
- какое минимальное количество энергии может быть получено.

Ответ на первый вопрос может быть получен путем наблюдений,

а на второй — путем расчетов, методика которых будет приведена ниже. Ответ на третий вопрос дает предыдущий опыт.

Если надежно не вырабатывается 500 Вт/ч, строительство не имеет смысла [1]. Полукиловаттная установка обеспечивает работу пяти 100-ваттных ламп или на 2/3 обеспечивает работу погружного насоса. Количество энергии, вырабатываемой с помощью водяного колеса, можно подсчитать по формуле

$$N = \gamma QH/102 , \qquad (5.1)$$

где Q — расход воды, проходящей через колесо, $м^3/с$; H — напор воды на колесе, который определяется разностью уровней потока до и после колеса, м; 102 — переводной коэффициент (кгм/с в кВт).

Для проведения расчетов прежде всего необходимо определить местоположение плотины.

5.2. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ПЛОТИНЫ И ИЗМЕРЕНИЕ ПОТОКА

Местоположение плотины следует выбирать там, где может быть получен максимальный напор при минимальном расходе воды и где при минимальном расходе можно создать максимальный запас воды. Обычно при строительстве плотины создается небольшой пруд, поэтому важно обратить внимание на характер берегов русла. Высота плотины определяется высотой берегов, используемым для строительства материалом, применяемым оборудованием и экономическими соображениями. Чем выше плотина, тем больше напор и тем больше площадь зеркала водохранилища. Теперь можно составить прогноз возможного напора, однако позднее необходимо будет провести тщательные измерения.

Созданный запас воды позволяет использовать оборудование при максимальных нагрузках и при этом не "расходовать" собственно потока, а использовать только накопленный объем воды. Если колесо или турбина работают в течение 16 ч в сутки, то за остальные 8 ч происходит пополнение водохранилища.

Если на водотоке имеется водопад, то можно построить небольшую плотину (при минимальных финансовых затратах) и получить максимальный напор воды. Заболоченные луга представляют собой естественный резервуар, поэтому расположение плотины в наиболее узком месте, где берет свое начало водоток, следует считать очень удачным. Электростанцию можно расположить непосредственно на плотине. В этом случае будет использоваться только искусственно созданный напор. Если же станцию вместе с турбиной расположить в нижнем бьефе, то можно будет использовать и естественный напор, и искусственно созданный подпор. В этом случае требуется устройство в теле плотины трубопровода для подачи воды на рабочее колесо.

Оба варианта имеют свои преимущества и недостатки. Электростанцию наверху плотины проще построить, однако все равно необходимо устройство дополнительного водослива для отвода воды во время паводка. Если колесо расположено в верхней части плотины, используется только искусственно созданный напор.

Расход потока определяют тремя основными методами: непосредственным измерением, методом плавающего тела и методом водослива. Метод непосредственного измерения очень прост; однако он может

применяться только для измерения расхода небольших потоков (обычно до 0,2 $м^3/ч$ или 0,06 л/с). Техника измерения заключается в том, что строят маленькую временную плотину, через которую пропускают водосливную трубу. Под трубой устанавливают мерное ведерко. Время наполнения ведерка позволяет определить расход потока.

Метод плавающего тела применяют для измерения расхода очень больших потоков. Заключается он в определении скорости движения плавающего тела (закрытой бутылки с грузом или просто куска дерева) на заданном участке потока (рис. 5.1). Расход воды рассчитывают по формуле

$$Q = Fv \cdot 60, \qquad (5.2)$$

где Q — расход воды, $м^3/ч$; F — площадь сечения потока, $м^2$; v — средняя скорость потока, м/мин.

Для измерений следует выбрать участок русла с приблизительно параллельными берегами, прямой (без каких-либо препятствий в потоке) и длиной не менее 30 м. В начальной и конечной точках над потоком натягивают веревки и засекают время (по секундомеру) прохождения плавающего тела между ними. Необходимо провести серию измерений и вычислить среднее время. Но поскольку скорость потока в разных точках различна, среднее время следует умножить на поправочный коэффициент 0,83.

Площадь расчетного сечения потока следует определять на середине длины обычного участка. Измерение осуществляется с помощью веревки, разбитой по длине на 10 частей. В каждой из 10 точек определяют глубину потока, а затем вычисляют среднее значение. Площадь сечения рассчитывают как ширину потока, умноженную на его среднюю глубину.

Метод водослива более сложен, но более точен. По этому методу строят временную плотину (водослив с тонкой стенкой), в которой устраивают прямоугольный проем с толщиной в верхней части не менее 3 см. По периметру проема снимают фаску (рис. 5.2).

Поток, проходящий через проем, должен быть ламинарным, а вокруг водослива не должно быть протечек. Высота водослива должна соответствовать глубине потока в месте измерения. Ширина водослива должна быть не менее чем в 3 раза больше высоты. Водослив должен быть установлен строго перпендикулярно потоку и находиться по середине плотины так, чтобы его гребень был не менее чем на 30 см выше уровня воды в нижнем бьефе.

В верхнем бьефе, не менее чем в 1,5 м от плотины, устанавливают шест. Верх шеста должен быть строго на уровне порога водослива. Уровень воды над водосливом измеряют рейкой, установленной на шест. Используя специальные таблицы, можно вычислить расход воды.

Если плотина уже существует, то устройство временного водослива поможет определению расхода потока. И в этом случае необходимо тщательное проведение работ.

Используя этот же водослив, можно точно рассчитать напор, который представляет собой разницу уровней воды в верхнем и нижнем бьефах. Измерение может быть легко осуществлено с помощью теодолита и рейки. Если такого инструмента нет, то измерение проводят по обыкновенному уровню. Схема измерений показана на рис. 5.3.

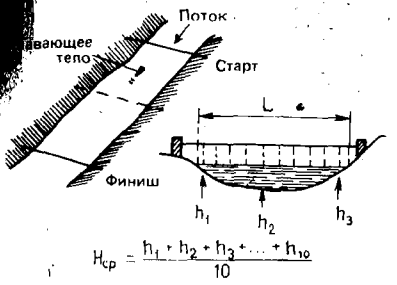


Рис. 5.1. Схема измерения расхода потока методом плавающего тела

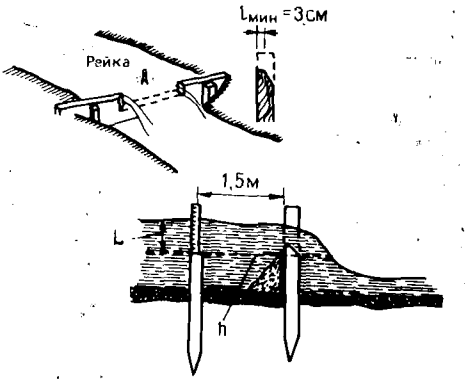


Рис. 5.2. Схема измерения расхода потока методом водослива (*L* — глубина воды над порогом; *h* — уровень порога водослива)

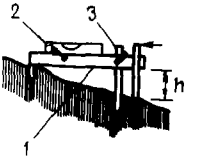
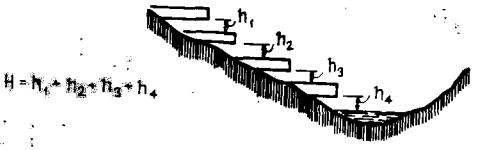


Рис. 5.3. Схема измерения напора
1 — доска со строго параллельными краями; 2 — уровень; 3 — шест со скобой



Имея точные данные о потоке, вычисляют его мощность по уравнению (5.1).

Перед началом строительства плотины рекомендуется просмотреть местное законодательство. Во многих районах существуют правила, ужесточающие или уменьшающие требования к сооружению плотин, а законы могут представить дополнительную информацию о типе сооружения, которое предполагается построить. На рис. 5.4 и 5.5 показаны некоторые типы плотин: земляная, набросная (из бетонных блоков, камня и т.д.), деревянная рамная и арочная.

На время строительства основной плотины следует сооружать перемычку, отводящую воду в обводной канал, который строят под небольшим углом к основному руслу, чтобы можно было легче осуществить отвод воды. После погружения сваи обшивают досками. Затем доски обтягивают проволочной сеткой и с двух сторон обкладывают мешками с песком. Высоту плотины определяют по отметке высокого уровня воды плюс 130 см (сюда входит 30 см высоты над наивысшей отметкой уровня воды и 50 см на толщину подошвы). В теле больших плотин необходимо предусматривать укладку водоспускных труб для отвода избыточной воды во время паводков. Эти трубы обязательно снабжают затворами.

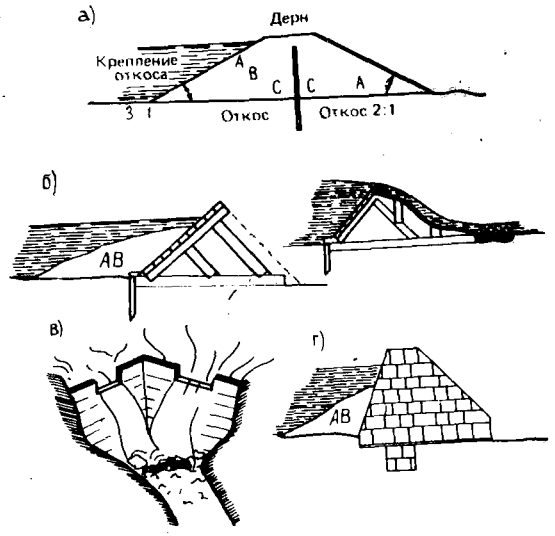
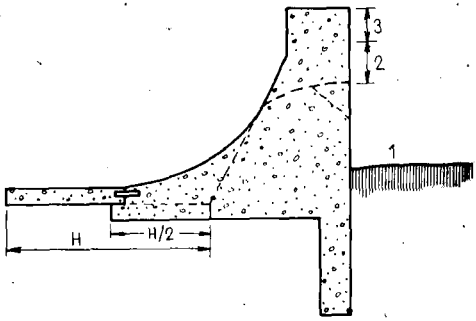


Рис. 5.4. Типы плотин (*A* — крупный гравий, *B* — мелкий гравий, *C* — земля)
а — земляная; б — рамная; в — арочная; г — гравитационная (набросная)

В зависимости от типа плотины следует проектировать водослив, который должен пропускать максимальный расход воды при условии, что высота уровня воды над гребнем водослива будет равна 30 см. В земляных плотинах водослив делают более широким, чтобы избежать вымывания земли из тела плотины. Если для подвода воды к рабочему колесу в теле плотины укладывают трубу, то ширину водослива проектируют с учетом того, что во время работы колеса через водослив пройдет меньшее количество воды. Во избежание размыва тела плотины может быть использован водослив практического профиля. Если же применяют другой тип водослива, то в нижнем бьефе необходимо устроить водобой, который в простейшем варианте представляет собой большую груду крупных камней.

Во избежание активного размножения комаров следует уничтожать растительность на теле плотины и всей затопляемой территории.

Для строительства земляных плотин используют различные грунты. Плотину отсыпают послойно с трамбовкой каждого из них. Во избежание эрозии откосов необходимо их укреплять либо искусственными материалами, либо путем посева травы. Водослив земляной пло-



● **Рис. 5.5. Схема бетонной плотины**
1 — ложе потока; 2 — напор над водосливом; 3 — уровень высокой воды

тины должен иметь прочную облицовку из камня, дерева и других материалов.

Основой плотины рамной конструкции является рама, состоящая из стоек и балок с обшивкой, которые должны быть установлены ниже подошвы фундамента. Фундаментные опоры также обязательно располагают между элементами рамы.

Гравитационные (набросные) плотины сооружают из бетона, бетонных блоков или камня. Небольшие бетонные плотины обычно выполняют целиком монолитными, а более крупные состоят из нескольких монолитных секций. Крайние секции должны быть врезаны глубоко в берега, чтобы обеспечивалась герметичность и устойчивость плотины. Безусловно, должен быть устроен соответствующий фундамент. В этом случае, если используется аванкамера, ее необходимо выполнить как элемент конструкции плотины.

5.3. ВОДЯНОЕ КОЛЕСО

Рассмотрим только четыре наиболее распространенных типа колеса: наливное, подливное, турбинное и колесо Пелтона или импульсного типа.

Для колес наливного и подливного типа (рис. 5.6 и 5.7) характерна небольшая мощность. Количество вырабатываемой мощности (энергии) зависит от массы падающей воды и диаметра колеса, который определяет напор. Наибольшая эффективность достигается в том случае, когда вода не истекает с каждой из лопаток до тех пор, пока она не достигнет отметки уровня воды в нижнем бьефе. Колесо (см. рис. 5.6) рассчитано на напор 1,9 м, причем собственно диаметр колеса 1,5 м, а высота напора над колесом составляет соответственно 0,4 м. Вырабатываемая мощность изменяется в зависимости от ширины колеса. Другими словами, чем больше ширина колеса, тем больше количество вырабатываемой энергии [3].

Колесо наливного (или подливного) типа обычно располагают вне тела плотины со стороны нижнего бьефа, а вода на него подается либо по водосливу, либо по водосливной трубе. Если колесо расположено в нижнем бьефе, представляется возможность использовать как естественный, так и искусственный напор.

Изготовить такое колесо значительно проще, чем колесо импульсного типа. Обычное колесо вращается довольно медленно, поэтому не нуждается в тщательной балансировке. У обычного колеса наиболее важным элементом являются лопатки. Они должны иметь такую конструкцию, чтобы вода наполняла их медленно и не выливалась до тех пор, пока лопатка не окажется в нижней точке. Лопатки могут быть изготовлены из металла или дерева, но дерево не рекомендуется применять в холодных районах, где повторяются циклы замораживания и оттаивания. Очень тщательно следует выполнить и щитовой затвор, который является регулирующим механизмом для рабочего колеса. Затвор устанавливают так, чтобы он выдерживал напор воды и обеспечивал наполнение лопаток на 1/4 объема; последнее необходимо для того, чтобы избежать излива воды из лопатки до момента достижения ею нижней точки. Ступицу колеса и затвор следует изготовлять из прочных пород дерева: ели, сосны или дуба.

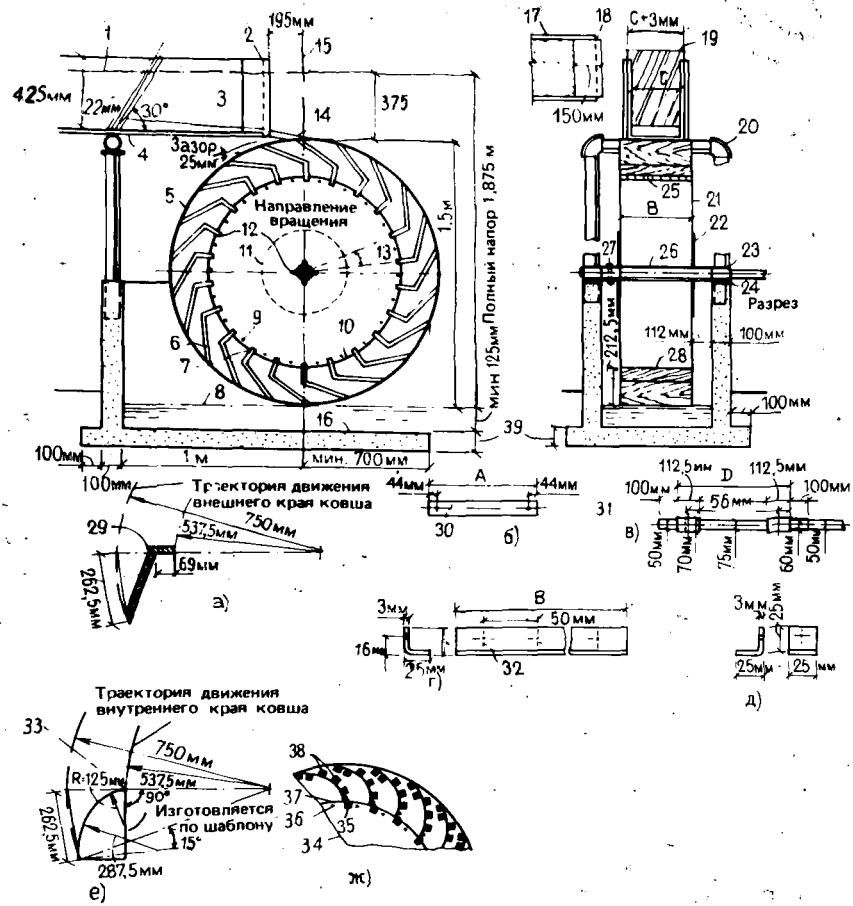


Рис. 5.6. Схема колеса наливного типа

а — деревянные ковши. Требуется 22 ковша из выдержанной древесины толщиной 20 мм; б — ступицы из особо прочной стальной трубы диаметром 75 мм; в — ось из круглой стали диаметром 75 мм; г — опора ковша, стальной лист (требуется 22 шт.); д — зажим для колеса с деревянными ковшами — 52 шт., то же, для колеса со стальными ковшами — 272 шт., е — стальные ковши (требуется 22 шт.); ж — разрез колеса

1 — уровень воды за плотиной; 2 — заостренный стальной лист толщиной 3 мм; 3 — шибер; 4 — водослив имеет небольшой уклон к колесу; 5 — защитное покрытие; 6 — деревянный ковш; 7 — опорное кольцо; 8 — уровень воды в нижнем бьефе; 9 — отверстие ∅ 6 мм; 10 — пятна; 11 — ступица колеса; 12 — зажим; 13 — 22 одинаковых сегмента; 14 — вода; 15 — ось колеса; 16 — бетонное или каменное основание; 17 — стенки желоба из твердой выдержанной древесины толщиной 20 мм; 18 — щитки; 19 — затвор (20хС + 3х500 мм) из выдержанной твердой древесины, устанавливается в любом удобном месте; 20 — опора желоба из стандартной стальной трубы ∅ 75 мм; 21 — защитное покрытие из стального листа (3 ммх1,5 м в диаметре); 22 — ступица колеса из стального листа ∅500 мм, толщиной 6 мм; 23 — подшипники; 24 — прокладка; 25 — опора ковша; 26 — ось ступицы; 27 — ось; 28 — тяга, стальной лист 3 (Вх3375 мм); 29 — ковш из гнутой древесины толщиной 44 мм; 30 — два отверстия ∅ 9,5 мм; 31 — фаска

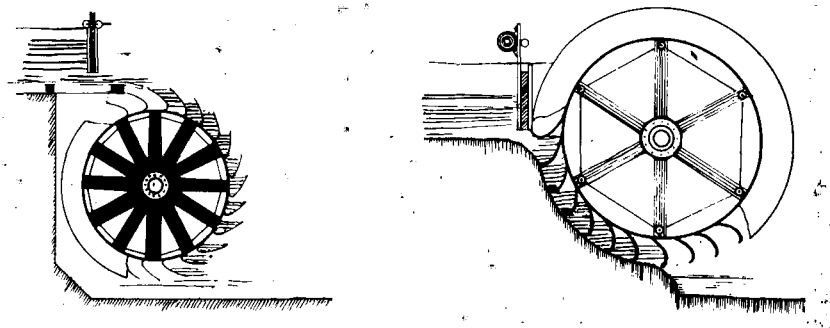


Рис. 5.7. Колесо наливного и подливного типа

Размеры в мм

Обозначение	*A*	*B*	*C*	*Д*
1/2 HP	605,5	400	325	630,5
2/3 HP	740	533	450	764,3
3/4 HP	806,6	600	525	831,4
1 HP	1004	798	725	1030

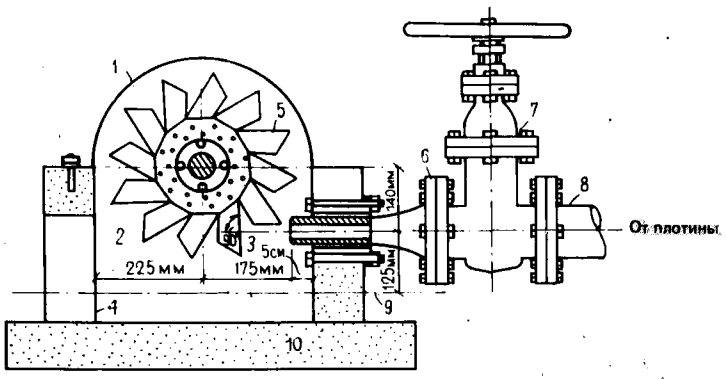
Более эффективным устройством для получения энергии от водяного потока является турбина, которую изготовляют в соответствии с руководством "Дешевые методы использования энергии малых потоков", разработанным "Волонтирс фор интернейшнл техникал эссистанс" (VITA). VITA рекомендует использовать центробежные насосы в качестве дешевой турбины (стоимость составляет 1/15 стоимости турбины аналогичной мощности). Такая установка менее эффективна, чем турбина, но ее стоимость значительно ниже.

На рис. 5.8 показана схема колеса Пелтона (или импульсного колеса). Принцип работы его заключается в том, что оно вращается под действием импульсов, возникающих при ударе потока воды по вращающимся лопаткам. Колесо этого типа должно быть выполнено очень точно, поскольку оно имеет очень высокую скорость вращения, что требует тщательной его балансировки. Л. Пелтон заменил обычные ковшеобразные лопатки лопатками сложной корытообразной конфигурации.

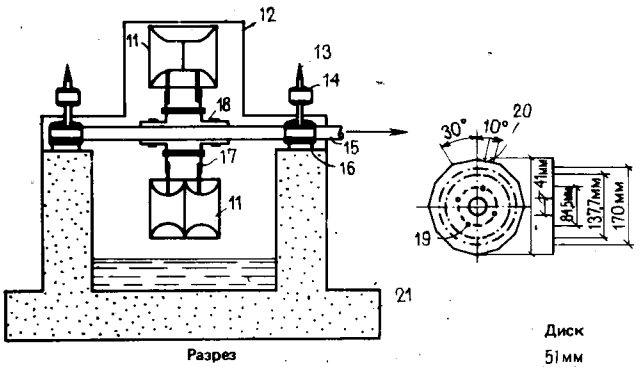
Основные элементы конструкции — колесо, лопатки и насадок. Очень важно правильно определить диаметр и местоположение насадка. Изливающаяся из насадка вода должна обязательно попадать на перегородку между корытами каждой из лопаток.

1,5 м; 32 — для колеса с деревянными ковшами ϕ отверстий 5 мм, для колеса со стальными ковшами ϕ отверстий 8 мм; зажимов для колеса с деревянными ковшами требуется 52 шт., для колеса со стальными ковшами — 272 шт.; 33 — стальной лист толщиной 3 мм, R= 125 мм, 34 — защитное покрытие; 35 — зажим; 36 — пята; 37 — отверстия; 38 — зажимы; 39 — бетонное днище (толщина определяется расчетом)

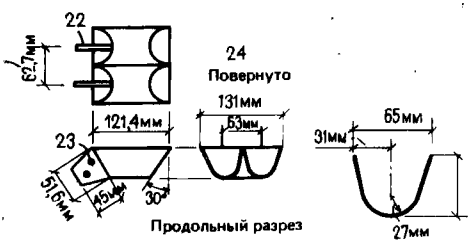
Как и у наливного колеса, очень большое значение имеет конструкция лопаток, внутренняя поверхность которых должна быть отполирована во избежание разбрызгивания струи. Они должны иметь одинаковые параметры и быть тщательно отбалансированы. Основание напорного водоотвода (сооружение, в котором установлено оборудо-



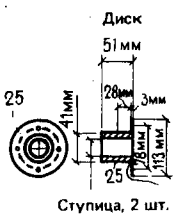
Продольный разрез



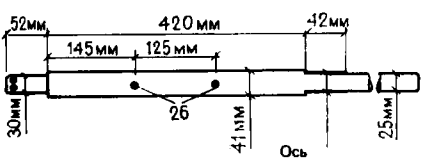
Разрез



Продольный разрез



Ступица, 2 шт.



Ось

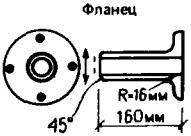
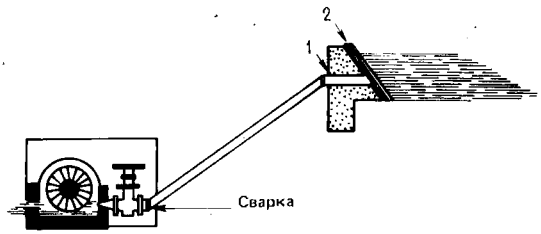


Рис. 5.9. Принцип установки импульсного колеса
1 — плотина; 2 — решетка;



вание, расположенное непосредственно под плотиной) необходимо делать максимально плотным, чтобы оно удерживало насадок и колесо в правильном положении. Следует предусматривать легкий доступ к оборудованию для его чистки и обслуживания.

Очень важный элемент — затвор, который служит для регулирования расхода воды, падающей на колесо. Колесо необходимо оборудовать тахометром, чтобы с помощью затвора поддерживать оптимальные условия работы колеса. Точность подсчета напора должна быть в пределах 7,5 см, так как импульсное колесо устанавливают иначе, чем колеса других типов.

5.4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ НАСОС

Гидравлический насос работает от перепада давления воды и воздуха и не требует дополнительного топлива. Его применяют для небольших ферм и сельских поселков. Раньше, до эпохи широкой электрификации сельских территорий, эти установки имели широкое распространение. В Японии такие установки применяют до сих пор для обеспечения водоснабжения горных деревень.

Установка работает следующим образом (рис. 5.10). Вода течет вниз по трубе через спускной клапан до тех пор, пока давление не уравновесится. После этого выпускной клапан закрывается, а вода через обратный клапан начинает поступать в воздушную емкость. Воздух сжимается и начинает выталкивать воду обратно. Обратный клапан закрывается, и вода идет по подающей трубе. Как только обратный клапан закрывается, давление воды в подающей трубе прекращается и в ней создается небольшое разрежение. Вакуум открывает спускной клапан, и избыточное количество воды, не попавшей в подающую трубу, изливается через спускной клапан, причем эта вода уже может быть использована для практических целей. Тот вакуум, который закрывает обратный клапан, создает подсос воздуха в воздушный клапан.

Рис. 5.8. Схема импульсного колеса
1 — металлический или деревянный кожух; 2 — диск; 3 — насадок; 4 — направление движения воды; 5 — ковш; 6 — переход (100х500 мм); 7 — задвижка, d= =100 мм; 8 — подающая труба, d= 100 мм; 9 — уровень воды в нижнем бьефе; 10 — бетонное или каменное основание; 11 — ковш; 12 — кожух; 13 — масленка; 14 — корпус подшипника; 15 — ось; 16 — прокладка; 17 — диск; 18 — ступица; 19 — отверстие ⌀6 мм; 20 — отверстия для болтов М10; 21 — основание; 22 — смещение 5 мм; 23 — отверстия для болтов М 10, соответствуют отверстиям в диске; 24 — ковш, состоящий из 12 полированных металлических ковшей из стали толщиной 3 мм; 25 — отверстия ⌀6 мм; 26 — два отверстия под углом 90° друг к другу ⌀ 6 мм

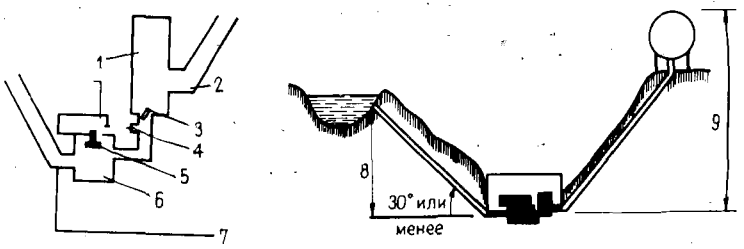


Рис. 5.10. Схема устройства гидравлического насоса
1 — воздушная камера; 2 — подающая труба; 3 — обратный клапан; 4 — воздушный клапан; 5 — сбросной клапан; 6 — впуск; 7 — подводящая труба; 8 — перепад уровней воды и места установки насоса; 9 — высота подъема

Как только спускной клапан закрывается, воздух нагнетается в воздушный резервуар, и процесс повторяется.

Скорость этого процесса от 25 до 100 циклов в минуту. Чем она меньше, тем больший объем воды перекачивается. Скорость процесса зависит от мощности пружины спускного клапана. Регулировка возможна с помощью винта, изменяющего усилие пружины.

Количество воды, подаваемой насосом, можно подсчитать по формуле

$$D = 2SF/3L,$$

где D — количество воды, подаваемой насосом, м^3/ч; S — количество воды, поступающей в насос, м^3/ч; F — разница отметок между оголовком подводящей трубы и насосом, м; L — разница отметок между насосом и воздушным резервуаром, м; 2/3 — коэффициент эффективности установки.

Максимально возможная разность уровней между водоемом и насосом 0,45 м. Увеличению высоты подъема воды препятствуют шероховатость внутренней поверхности трубопроводов и потери на трение, поэтому с помощью трубы большего диаметра с меньшим числом местных сопротивлений воду можно подавать на большую высоту. Длина подводящего трубопровода должна быть в пределах 5—10 высот расположения водоема над насосом, а уклон не должен превышать 30° к горизонту. Отношение длины подающего трубопровода к высоте подачи воды не должно превышать 20 [4]. Насос необходимо устанавливать в павильоне, чтобы исключить влияние атмосферных условий, а приемный оголовок необходимо оборудовать решеткой.

Список литературы

1. Bassett C.D. "Your Own Water—Power Plant", Part I, Popular Science Monthly, April 1947, p. 186.

2. Ibid., p. 188.

3. Bassett C.D. "Building an Overshot Wheel", Part 5, Popular Science Monthly, August 1947, p. 193.

4. Anderson E.P. Domestic Water Supply and Sewage Disposal Guide, Theodore Audel & Co., New York, 1967.

Access Catalog. The Owner–Built Hydroelectric Plant, Vol. 1, No. 7, pp. 12–15.

Bassett C.D. "Putting Water to Wark", Park 2, Popular Science Monthly, May 1947, pp. 180–184.

"Dams Turn Water into Kilomatts", Part 3, Popular Science Monthly, June 1947, pp. 200–203.

"Water Wheel Delivers over 3 Hp:", Part 4, Popular Science Monthly, July 1947, pp. 194–197.

Crowley C.A. "Power from Small Streams", Part I, Popular Mechanics, Sept. 1940, pp. 466–473, Part 2, October 1940, pp. 626–630.

Daniels A. M. Power for the Farm from Small Streams, U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C., 1925.

Design of Small Dams, U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation, U.S. Gov't. Printing Office, Washington, D.C.

Kaufman A.W. "Hydraulic Ram Forces Water to Pump Itself", Popular Science Monthly, October 1948, pp. 231–233.

Marier Don. "Measuring Water Flow", A.S.E., No. 1, July 1971, pp. 8–10.

Mother Earth News, Handbook of Homemade Power, Bantam Book, New York, May 1974.

Reynolds John. Windmills and Watermills, Praeger Publishers, New York, 1970.

Rife Hydraulic Engine Mfg. Co., Manual of Information: Rife Hydraulic Water Rams, Box 367, Millburn, New Jersey, 07041, 1968.

Szczelkun Stefan A. Survival Scrapbook #3 Energy, Schocken Books, New York, 1973.

Vallentine H.R. Water in the Service of Man, Penguin Books, Baltimore, 1967.

VITA, A Hydraulic Ram for Village Use, by Ersal W. Kindel, 3706 Rhode Island Ave., Mt. Rainier, Maryland, 20822.

VITA, Low Cost Development of Small Water–Power Sites, Hans W. Hamm, 1967.

VITA, Village Technology Handbook.

VITA, Savonius Rotor for Water Pumping, Pub. No. 11132.1.

6. ЭНЕРГИЯ ВЕТРА

Ветер как источник энергии весьма привлекателен, потому что он всегда присутствует в атмосфере вследствие воздействия солнечной радиации. Использование ветровой энергии исключает тепловые выбросы в атмосферу, как это имеет место при использовании ископаемых топлив и ядерной энергии. В отличие от гидроэнергии и энергии приливов, также обусловленных солнечной радиацией, энергия ветра имеется повсюду, что позволяет избежать сложных устройств для ее передачи. И, кроме того, энергия ветра не загрязняет окружающей среды.

Недостатки этой системы очевидны: непостоянный, переменчивый характер ветров, неравномерность распределения во времени и пространстве. Для повышения эффективности ветровых установок необходимо накапливать выработанную ими энергию, а затем расходовать ее более или менее непрерывно.

6.1. ЭНЕРГИЯ, ПОЛУЧАЕМАЯ ОТ ВЕТРА

Количество энергии, содержащейся в ветре, пропорционально площади сечения воздушного потока и скорости ветра в третьей степени. Эти параметры обычно используют для определения количества энергии, которое можно получить от каждого конкретного ветрового потока.

Максимальное количество энергии ветрового потока, которое может использовать ветряное колесо, составляет 59,3% (это теоретический максимум, вычисленный на основе теории движения и теории расчета лопастей), а современные роторы — только 70% теоретического максимума энергии. Реальное количество энергии, которое может быть получено от ветра, зависит от градиента скорости, на величину которого влияет характер поверхности земли, и аэродинамической эффективности ротора минус потери от трения, потери в редукторе и пр.

6.2. ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ВЕТРА ОТ ХАРАКТЕРА ПОВЕРХНОСТИ

Как уже говорилось, количество энергии, которое можно получить от ветра, прямо пропорционально скорости потока в третьей степени. Другими словами, если скорость ветра возрастает в 2 раза, то количество энергии, которое можно будет получить, возрастет в 8 раз. Существование такой зависимости заставляет очень тщательно выбирать место расположения ветрового двигателя. Если можно найти участок, где скорость ветра хотя бы на 3,5 км/ч больше, чем на остальной территории, то это гарантирует выработку огромного количества энергии за весьма короткое время.

Есть два основных вида данных (прежде всего, это результаты наблюдений метеорологической службы), которые характеризуют ветровые условия каждого конкретного участка. К ним относятся:

- сведения об участках, на которых отмечались самые большие скорости ветра;
- направления преобладающих ветров;
- сведения о характере изменений скорости ветра за годы наблюдений;
- данные о годовом ветровом режиме;

• данные о максимальной скорости ветра в периоды затишья и о продолжительности таких периодов.

Если по данным наблюдений среднегодовая скорость ветра меньше 10 км/ч, то дальнейшие разработки вести бессмысленно, хотя известно, что в отдельные периоды скорость ветра может превышать среднее значение. Следует искать участки, на которых скорости ветра обычно выше средних скоростей за счет топографических условий [1]. Любые данные, полученные через метеослужбу, пригодны только для проработки основных решений. Каждый конкретный участок может иметь ветровые характеристики, отличные от тех, что дает метеослужба, так как этот участок и метеостанция находятся в различных топографических условиях.

Второй вид данных — это результаты наблюдений непосредственно на участке строительства, продолжительность которых должна быть не менее двух лет. Наблюдения следует вести в разных точках участка и на разных отметках (скорость ветра с высотой увеличивается, потому что исключается воздействие препятствий, находящихся на поверхности земли). Наблюдения, проведенные на различных высотах, позволяют оценить постоянство ветровых характеристик. Чем больше "разброс" результатов наблюдений, тем большей переменчивостью и турбулентностью характеризуется ветер и тем менее пригоден выбранный участок.

Проанализируем, как влияют топографические условия площадки на скорость ветра — увеличивают или уменьшают ее? Исследования можно провести и на модели участка путем продувки ее в аэродинамической трубе.

Опыт показал, что большие преимущества для установки ветряных двигателей имеют гладкие холмы, если они окружены свободным пространством в радиусе 5—6 км. При установке двигателя на склоне холма важно, чтобы уклон был такой, при котором ветровой поток не разбивается с увеличением скорости. Разделение воздушного потока приводит к возникновению турбуленции, которую следует избегать. Отдельные холмы предпочтительнее, чем гряды холмов. Возрастание скорости воздушного потока может происходить вдоль любой стороны холма в то время, как у гряды холмов это явление наблюдается только вдоль одного определенного направления. Окружающее пространство должно быть, по возможности, свободно от деревьев, крупных камней и других предметов, которые могут создать турбулентные потоки [2].

Однако растительность может служить своеобразным индикатором ветровых условий местности. Например, крона бальзамической пихты меняет свои очертания под воздействием ветра. При среднегодовой скорости ветра около 30 км/ч крона пихты принимает очертания, сходные с флагом. С увеличением средней скорости ветра увеличиваются деформации кроны. На последней стадии, которая характерна для скорости ветра более 45 км/ч, ветви у этого вида пихты растут только на высоте 15 см от земли. Такой естественный индикатор ветровых условий позволяет определять параметры ветрового потока в горах, где среднегодовая скорость ветра может быть различной даже для участков, находящихся друг от друга на расстоянии около 30 м [3].

Генри Клюз в своей работе "Получение электроэнергии от ветра"

предложил метод интерполяции результатов кратковременных наблюдений для получения сведений долговременного характера. Суть метода заключается в том, что результаты ежедневных измерений в течение месяца, проведенные на данном участке, сравниваются с результатами многолетних наблюдений ближайшей метеостанции для того же месяца. По результатам сравнений определяют интерполирующие коэффициенты, которые позволят получить среднегодовые показатели ветровых характеристик выбранного участка.

6.3. ЭЛЕМЕНТЫ ВЕТРЯНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Все ветряные энергетические установки имеют следующие общие конструктивные элементы:

- ротор (различной конструкции), с помощью которого отбирается часть энергии воздушного потока;
- опора, на которой укреплен коллектор. Она не только выполняет функции несущего элемента, но и служит для того, чтобы удерживать коллектор над землей на некоторой высоте, где скорость воздушного потока больше. В качестве опорной конструкции может служить здание, что позволяет использовать более высокие скорости ветра, возникающие при разделении потока;
- предохранительный механизм, защищающий генератор от воздействия слишком больших скоростей ветра;
- устройство, вырабатывающее электроэнергию (генератор), аккумуляторы и преобразователь энергии;
- запасные устройства для накопления энергии ветра.

6.3.1. Роторы (коллекторы) должны иметь такую конструкцию, чтобы ветер при ударе о них передавал им часть своей кинетической энергии, которая передается электрическому генератору. Есть два обширных класса роторов, которые применяют для ветроэлектрических станций: с вертикальной и горизонтальной осью. Они подразделяются на роторы следующих типов:

- лопастного (пропеллерного);
- "улиточного";
- лопастно-цепного;
- концентрирующего.

Для удобства сравнения различных типов роторов введем коэффициент эффективности $C_м$.

Потенциальная энергия ветрового потока $E_в$ равна 1/2 плотности воздуха, умноженной на площадь поперечного сечения, образуемого лопастями двигателя, и на скорость ветра.

Роторы лопастного типа получили наибольшее распространение в качестве устройства, позволяющего использовать энергию ветра. Называемые обычно пропеллерами, они, по сути дела, являются импеллерами. Люди редко осознают, что сила, создаваемая ветром, формируется за счет двух факторов — избыточного давления и подсоса. Например, считается, что парусная лодка движется под воздействием давления ветрового потока, а на самом деле ее движение обусловлено наличием подсоса воздуха на передней поверхности паруса. Поэтому лопасти импеллера должны иметь такую форму, при которой подсос способствовал бы их вращению. Степень эффективности ветродвигателя зависит от того, как эффективно удается использовать эту

разность давлений с помощью лопастей винта. Те же принципы необходимо учитывать при создании лопастей винтов. Высокоэффективные роторы позволяют получить большое количество энергии при более низких скоростях ветра.

Для оценки аэродинамической эффективности и общих параметров лопастного ротора используют отношение скорости вращения лопастей и скорости ветра. Отношения 5:1 и 8:1 не характерны для высокоскоростных двигателей. Отношения 1:1 и 3:1 характерны для низкоскоростных многолопастных двигателей, применяемых для подъема воды. Отношение 5:8 весьма желательно для двигателей, вырабатывающих электроэнергию. Чем больше это соотношение, тем больше скорость вращения лопастей. Чем выше скорость, тем проще передача от винта к генератору. Наиболее эффективны винты с изменяемым шагом, которые позволяют получать максимальный эффект при изменении скорости ветра.

Все современные ветроэлектростанции имеют двух- или трехлопастные роторы. При расположении установки в местности, для которой характерны небольшие скорости ветра, предпочтительнее трехлопастные роторы, позволяющие получить большее количество энергии. В местности, для которой характерна большая скорость ветра, целесообразно применять двухлопастные роторы, обладающие большей скоростью вращения (и большей эффективностью в данных условиях), чем трехлопастные. Последние в этом случае имеют тот недостаток, что взаимодействие лопастей у них меньше. В то же время трехлопастный ротор работает более ровно, а двухлопастный нуждается в балансировке и устранении вибрации при увеличении нагрузок. При порывистом ветре у двухлопастного ротора появляется вибрация во время саморегулирования.

Большинство установок решено так, что ротор работает под воздействием потока воздуха, набегающего спереди; для этого они снабжены хвостовиками, которые способствуют правильной ориентации установки. Однако установка может работать и тогда, когда ветер набегает на ротор сзади. В этом случае отпадает необходимость в устройстве ориентирующего хвостовика. Основным недостатком последнего решения следует считать турбуленцию или затеняющий эффект опорной конструкции (башни). Когда лопасть проходит за башней, давление ветра на нее уменьшается за счет затеняющего эффекта, вызванного опорной конструкцией, и, кроме того, характер воздушного потока значительно изменяется из-за возникающей турбуленции. При проектировании ротора, рассчитанного на фронтальный поток (рис. 6.1), основная задача заключается в уменьшении опасности возникновения вибрации [4].

Материалы, применяемые для изготовления лопастей, должны быть легкими, прочными и стойкими к погодным условиям. Прежде для изготовления лопастей использовали дерево, сталь, алюминий, пластик, стекловолокно и перфорированную бумагу. Из перфорированной бумаги, находящейся в сжатом состоянии, вырезали лопасть, которую затем растягивали до необходимого размера и фиксировали с помощью алюминиевого стержня, проходящего в середине лопасти. Поверхность лопасти покрывали тонким слоем стеклопластика, а затем слоем водостойкой, погодоустойчивой и стойкой к ультрафиолетовым лучам эпоксидной смолы.

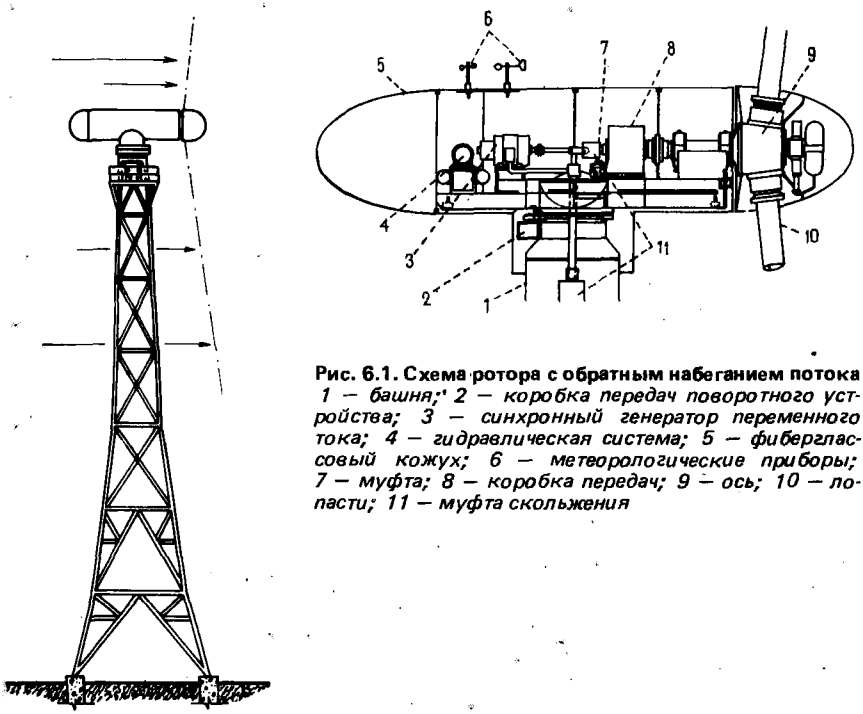


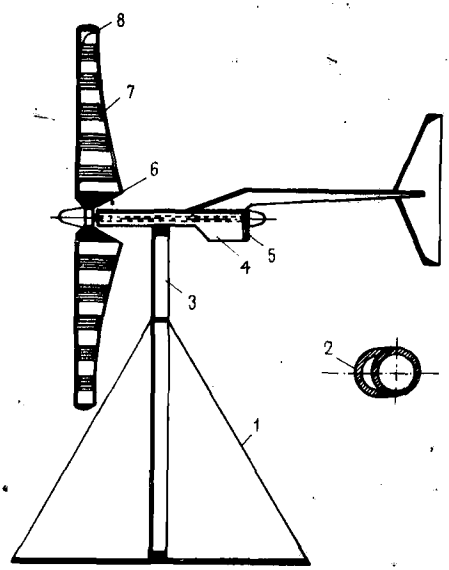
Рис. 6.1. Схема ротора с обратным набеганием потока
1 — башня; 2 — коробка передач поворотного устройства; 3 — синхронный генератор переменного тока; 4 — гидравлическая система; 5 — фиберглассовый кожух; 6 — метеорологические приборы; 7 — муфта; 8 — коробка передач; 9 — ось; 10 — лопасти; 11 — муфта скольжения

Ротор типа "крыло" (рис. 6.2) представляет собой совсем иное решение ветродвигателя. Эта конструкция разработана в лаборатории теории полета Принстонского университета Томасом Суини. В первом варианте двигатель типа "крыло" имел две лопасти размером 3 м, обтянутых дакроном. Если двигатель не вращается, лопасти имеют плоскую форму, но при вращении они приобретают форму сечения, которое оптимально для данной скорости вращения. Роторы этой конструкции позволяют избежать двух трудностей, встречающихся в случае применения других конструктивных решений: большого веса и сложности механических систем. Ротор диаметром 7,5 м имеет массу только 20 кг или меньше 2,5 кг/м^2.

Роторы улиточного типа относятся к механизмам с вертикальной осью. В качестве примера такого механизма может служить чашечный анемометр, который вращается в горизонтальной плоскости или движение которого параллельно движению ветра.

Наиболее часто применяют двигатель с S -образным ротором, состоящим из двух полуцилиндров, разрезанных на всю высоту. Полуцилиндры установлены на одинаковом расстоянии от оси таким образом, что воздух имеет возможность свободно поступать в имеющиеся зазоры (рис. 6.3). Воздух, ударяясь об одну из чаш, изменяет направление и ударяется о другую, заставляя тем самым вращаться ротор. Можно установливать несколько таких роторов на одной оси с поворотом каждого на 60^o по отношению к предыдущему. Такая конструкция обеспечивает более плавную работу установки.

Рис. 6.2. Схема ротора типа "Принстонское крыло"
1 — растяжки; 2 — передняя кромка; 3 — алюминиевая мачта; 4 — картер генератора; 5 — передача; 6 — основание лопасти; 7 — трос; 8 — груз



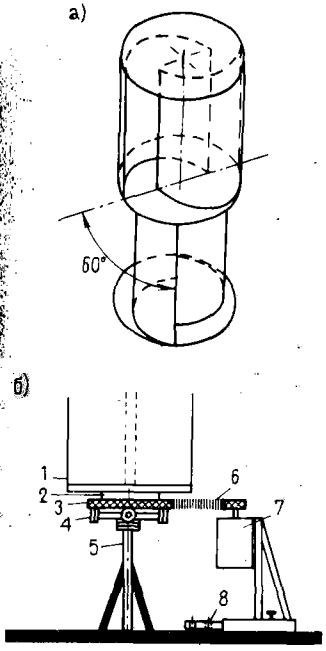


Рис. 6.3. Схема S-образного ротора и передачи (*а* — двухфазный S-образный ротор, *б* — деталь основания)
1 — S-образный ротор; 2 — подшипник; 3 — передача; 4 — опорная плита; 5 — неподвижная ось; 6 — цепь; 7 — генератор переменного тока; 8 — регулятор натяжения цепи

Как и любая другая система, S-образный ротор имеет свои преимущества и недостатки. Как уже было указано, максимальное значение коэффициента мощности лопастных роторов составляет 59%. S-образный ротор имеет теоретический коэффициент мощности 39%, что составляет приблизительно 1/3 коэффициента лопастного ротора. Важно помнить, что коэффициент мощности определяется на основании результатов опытов, проведенных в аэродинамической трубе. В реальных же условиях эффективность S-образного ротора может быть выше, чем эффективность лопастного. Для роторов лопастного типа характерны большие потери мощности при изменении направления ветра, а S-образные роторы этого недостатка не имеют.

S-образные роторы нет необходимости ориентировать навстречу ветру. Эти роторы очень быстро реагируют на изменение скорости ветра. Обычно порывы налетают не с той стороны, откуда дует устойчивый ветер. Неориентируемый S-образный ротор сразу же воспринимает всю энергию ветрового потока, тогда как лопастной ротор должен предварительно принять правильную ориентацию. Энергия вращения

накапливается в теле ротора. Даже если скорость ветра уменьшается, скорость вращения ротора сохраняется в течение длительного времени, что в итоге обеспечивает более стабильный характер выработки энергии и позволяет получить большее ее количество.

Со всех точек зрения *S*-образные роторы проще в строительстве, они не требуют столь тщательного соблюдения аэродинамических параметров, как лопастные роторы. Вращаясь со значительной скоростью, лопастный ротор создает большие гироскопические усилия, что в сочетании с большой собственной массой требует устройства мощных опорных конструкций и лопастей.

Максимальная скорость вращения *S*-образного ротора равна скорости ветра, поэтому необходимы специальные устройства, повышающие скорость вращения при передаче его на генератор.

Роторы лопастно-ковшового (цепного) типа представляют собой комбинацию лопастного и ковшового роторов (рис. 6.4). Роторы цепного типа совмещают все преимущества лопастных роторов и легкость ориентации *S*-образных роторов.

Две или три узкие полосы, имеющие профиль лопастей, соединены верхними и нижними концами на оси, образуя эллипсообразную фигуру. Обладая гибкостью, они легко принимают форму, соответствующую характеру ветра и влияния центробежных сил. Жесткие лопасти, параллельные оси, вращаются под воздействием ветра с очень большой скоростью, что приводит к возникновению значительных центробежных сил и как следствие больших изгибающих моментов, а значит, требует устройства слишком мощных крепежных элементов. Именно по этой причине в цепных роторах применяют гибкие лопасти. Под воздействием центробежных и аэродинамических сил гибкие лопасти самопроизвольно принимают форму, при которой усилия в них уравновешиваются. Эта форма имеет очертания цепной линии*.

Наибольшие преимущества роторов цепного типа — их простота, способность воспринимать ветер в любом направлении и передавать энергию на землю для использования ее в преобразующих механизмах. Роторы цепного типа отличаются простотой в проектировании и легкостью в ориентации при высокой аэродинамической эффективности. Коэффициент мощности цепных роторов 0,65, т.е. близок к максимальному значению коэффициента мощности лопастных двигателей (0,7).

Концентрирующие роторы разделяют горизонтально движущуюся массу воздуха, в то же время определенный поток концентрируется внутри специальных устройств, что делает этот поток не только более равномерным, но и увеличивает скорость его прохождения через ротор.

Одним из способов повышения скорости воздушного потока может быть применение сечения Вентури. Для создания такого сечения вокруг ротора устанавливают специальное устройство (внутренняя поверхность его имеет форму трубы Вентури), а ротор лопастного типа помещают по центру трубы в ее передней части (рис. 6.5).

Применение сопла Вентури позволяет увеличить скорость воздушного потока на 100%. Вследствие того, что количество энергии возрас-

---

*Цепной линией называется математическая кривая, очертания которой совпадают с очертаниями цепи, подвешенной за два конца.

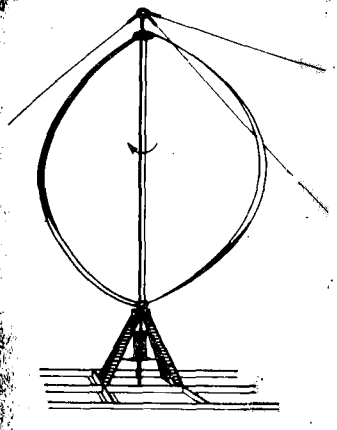


Рис. 6.4. Схема ротора "цепного" типа

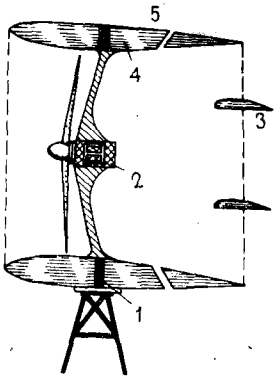


Рис. 6.5. Схема концентрирующего ротора с соплом Вентури
1 — опорное колесо; 2 — генератор; 3 — регуляторы потока; 4 — ламинарный профиль; 5 — отверстия для отвода воздуха

тает пропорционально кубу скорости, ее увеличение в 2 раза дает восьмикратное увеличение количества получаемой энергии.

Концентрирующие роторы с трубой Вентури могут быть установлены на уже постоянных сооружениях (например, жилых зданиях), что обусловлено постоянным направлением воздушного потока.

6.3.2. Поддерживающие конструкции. Основное требование, предъявляемое к поддерживающим конструкциям, заключается в том, что они должны быть достаточно высокие и мощные, чтобы выдерживать все усилия, обусловленные давлением ветра и вибрацией, вызываемой вращением ротора. Чем выше опора, тем на большее давление ветра ее следует рассчитывать, что вызвано уменьшением потерь на трение с увеличением высоты. На плоском рельефе скорость ветра с высотой увеличивается приблизительно пропорционально 1/7 энергии потока на этой высоте. Но эта особенность не касается установок, расположенных на вершине холма, для которых существует только одно требование — обеспечение безопасности работы ротора. Это требование очень легко выполнить, установив ротор на высоте, равной длине одной лопасти плюс 4,5—6 м.

Опорная конструкция может быть в виде простой трубы, мачты или столба, должна иметь соответствующий фундамент и быть укреплена подкосами.

Простейшую свободно стоящую конструкцию для легкой установки изготовляют из трубы диаметром 25 мм, разделенной на шесть блоков, соединяемых на болтах по мере подъема всей конструкции на угол от 4 до 24°. Собранную конструкцию можно быстро установить на бетонное или металлическое основание, закрепленное в грунте.

Башня должна иметь минимальную поверхность. Чем меньше поверхность, тем меньше будут потери напора ветрового потока, слабее турбулентный и затеняющий эффект конструкции. Это особенно важно в случае, когда применяют роторы с задним набеганием потока.

Ветряной электрогенератор должен быть установлен на высоте не

менее 9 м от поверхности земли и на высоте не менее 3 м над препятствиями, находящимися в радиусе 150 м. Ветряной электрогенератор следует устанавливать не далее 300 м от точки потребления энергии, что определяется допустимым количеством потерь при передаче электроэнергии.

6.3.3. Регулирующие механизмы и передача энергии. Еще один важный фактор, который необходимо принимать во внимание при проектировании ветряных электростанций, — это необходимость защиты от перегрузок при сильных ветрах, штормах, ураганах. Должна быть предусмотрена возможность установки лопастей во флюгерное положение, т.е. такое изменение угла установки лопастей, при котором ветер мог ударяться не о рабочую поверхность, а об их концы и ребра, и, таким образом, нарушалась бы целостность ветрового потока и снижалась мощность.

Во время очень сильных ветров центробежные силы могут разрушить лопасти, поэтому большинство ветряных двигателей делают такими, чтобы их лопасти занимали флюгерное положение при скорости ветра 30—40 км/ч.

Чтобы лопасти можно было привести во флюгерное положение, необходимо предусматривать специальные устройства. Лопасти могут поворачиваться вокруг своей оси или же сдвигаться с оси с помощью винтовой нарезки. В качестве исполнительного механизма применяют либо центробежные, либо пружинные регуляторы, срабатывающие при увеличении центробежных сил. Если применяют винтовые устройства, движение лопастей обеспечивается за счет увеличения их массы под действием центробежных сил. В случае использования пружинных регуляторов пружины должны рассчитываться на усилие, равное значению центробежной силы при критической скорости ветра. Флюгирование лопастей происходит под действием давления ветра на поверхности лопастей [5].

При создании многолопастных роторов обязательно требуется установить механизм, обеспечивающий синхронность флюгирования лопастей. Если хоть одна лопасть повернется раньше остальных, могут возникнуть опасные вибрации и конструкция разрушится.

Ограничители частоты вращения ротора впервые были применены для мельниц, расположенных в степных районах. Ограничитель представляет собой регулирующую лопасть, которую устанавливают под определенным углом по отношению к основным лопастям. Лопасть имеет площадь, равную 50—70% общей площади основной лопасти, а длина равна радиусу ротора. Когда скорость ветра приближается к критической, регулирующая лопасть противодействует работе основной и приводит в действие пружину, флюгирующую лопасти ротора.

Существует и другой тип управляющей лопасти. Принцип работы ее заключается в том, что при достижении критической скорости ветра она начинает "проскакивать" стопоры и вследствие разной частоты вращения управляющих и рабочих лопастей последние специальным приводом выключаются из рабочего положения. Перевод обратно в рабочее положение достигается с помощью специальной веревки, подаваемой с земли.

Основная трудность, с которой приходится встречаться при проектировании ветрогенераторов, заключается в том, чтобы относитель-

но медленное вращение ротора преобразовать в достаточно высокую частоту вращения генератора, необходимую для его эффективной работы. Например, при частоте вращения ротора 150 об/мин частота вращения генератора может составлять 600 об/мин. Это значит, что проектировщик должен либо подобрать специальный низкоскоростной генератор (а они обычно весьма громоздки и дорогостоящи), либо предусмотреть достаточно эффективное передаточное устройство для повышения частоты вращения вала генератора. Кроме того, должна быть применена весьма эффективная передача (типа цепной), исключающая пробуксовку валов при изменении частоты вращения ротора.

Для передачи вращения от горизонтальной оси ротора на вертикальный вал генератора может быть применена коническая передача. Управление в этом случае можно осуществлять с помощью управляющих валов, проходящих через опорную конструкцию до уровня земли. Это позволяет устанавливать генератор или другой необходимый механизм на земле, что облегчает эксплуатацию.

6.3.4. Генераторы, аккумуляторы и преобразователи. Энергия ветра может быть преобразована в механическую или электрическую энергию. Рассмотрим способы превращения ветровой энергии в электрическую, способы ее накопления и преобразования электроэнергии в виды, соответствующие используемым в настоящее время типам электрооборудования.

Было много споров о типе генераторов, которые целесообразно применять с ветродвигателями. Рассматривались генераторы постоянного и переменного тока. Преимущество генераторов постоянного тока заключается в том, что они позволяют получать больше энергии, чем генераторы переменного тока, при той же скорости вращения ротора ветродвигателя. Кроме того, они дают возможность использовать более простую кинематическую схему передачи крутящего момента ротора на вал генератора. Для получения максимального количества энергии при низких скоростях вращения ротора необходимо, чтобы генератор имел возможно больший диаметр. Преимущество прямой передачи крутящего момента низкоскоростного ротора заключается в том, что при малых скоростях вращения ротора генератора увеличивается срок службы опорных подшипников и исключается необходимость устройства коробки передач.

Прежде более широкое распространение имели генераторы переменного тока, что объяснялось их низкой стоимостью, простотой и существовавшим тогда мнением, что с их помощью можно получить ток при более низкой частоте вращения ротора, чем при применении генераторов постоянного тока. Эффективность генератора переменного тока при низких скоростях ветра может быть увеличена путем изменения конструкции статора, которая, кроме того, позволяет уменьшить передающее число редуктора и, следовательно, снизить потери в редукторе.

При использовании генератора переменного тока необходимо также помнить, что он создает электрический ток, возбуждая электромагнитное поле в обмотке якоря. Ток вырабатывается в то время, когда вращающийся якорь пересекает магнитные силовые линии. Если магнитное поле наведено, а якорь не вращается, то электрические заряды будут постепенно заряжать батарею в том случае, когда она подсоединена к системе. Джим Санценбаух в своих проектах предусматри-

вает устройство, которое подключает генератор только при определенной силе ветра, достаточной для выработки энергии [6]. Его решение заключается в том, что ротор ветродвигателя соединяется с якорем с помощью центробежной муфты, которая включает якорь при определенной скорости ветра.

Если предполагается использовать генератор постоянного тока, то следует предусматривать меры, исключающие возможность его работы в режиме электродвигателя. Такое явление наблюдается при изменении направления тока на противоположное. В случае отсутствия специальных устройств при отсутствии ветра батарея станет источником тока и генератор начнет работать как мотор. Включение в схему между генератором и батареей диода создает необходимый защитный эффект.

Последние достижения в области проектирования ветрогенераторов предоставили возможность получать электричество без применения сложных передаточных устройств. Генератор, построенный на острове Силт в Северном море, снабжает энергией пять домов и имеет два пятилопастных ротора, вращающихся в противоположных направлениях. Один ротор управляет статором, а другой — якорем, и таким образом исключаются сложные передачи и увеличивается относительная скорость вращения генератора, что обеспечивает его высокую эффективность при малых скоростях ветра. При скорости вращения каждого из роторов, например, 71,4 об/мин 42-полюсной генератор будет вращаться с относительной частотой 142,8 об/мин. Вращающиеся в противоположных направлениях части генератора имеют большую относительную частоту и при этом допускают меньшую частоту вращения ротора, а следовательно, и уменьшают центробежные силы.

Накопление энергии — это ключ к высокой эффективности ветрогенераторной установки. Всякий, кто собирается иметь дело с ветрогенератором, непременно должен будет иметь дело и с батареями, поскольку они представляют собой наиболее дешевое и наиболее практичное устройство для накопления энергии.

Расходы на установку батарей составляют бóльшую часть капитальных вложений в ветрогенераторную установку. Стоимость батарей может колебаться от 1/4 до 1/2 общей стоимости установки. Емкость батарей определяется в зависимости от прогнозируемой продолжительности безветренных периодов и выражается в ампер-часах. Емкость батарей ветрогенераторной установки должна быть рассчитана на период работы 3—4 сут. В случае расчета на экстремальные безветренные периоды емкость батарей должна обеспечивать запас энергии не меньше, чем на 6 сут. Это означает, что при выборе резервного источника по стоимости предпочтение должно быть отдано батарее, а не вспомогательной дизельной установке.

Батареи, используемые для установки вместе с ветрогенератором, проектируют специально с учетом повторяемости рабочего цикла: это значит, что они должны быть рассчитаны на цикл "зарядка—разрядка" в течение многих лет. Еще одно достоинство батарей заключается в легкости изменения емкости путем увеличения или уменьшения их количества.

В случае использования свинцово-кислотных батарей между генератором и батареями необходимо предусмотреть включение специальных защитных устройств, которые должны предохранять батареи

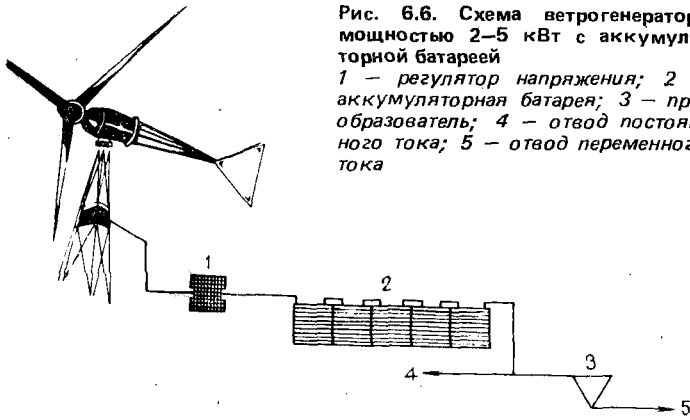


Рис. 6.6. Схема ветрогенератора мощностью 2–5 кВт с аккумуляторной батареей
1 — регулятор напряжения; 2 — аккумуляторная батарея; 3 — преобразователь; 4 — отвод постоянного тока; 5 — отвод переменного тока

от перегрузки, способной привести к разрушению пластины и выходу батарей из строя. Еще один недостаток кислотных батарей заключается в том, что в холодную погоду они могут потерять до 50% своей емкости; они плохо отдают тепло при большой силе тока, содержат кислоту и при неаккуратном обращении могут вызывать ожоги тканей, к тому же они имеют большие размеры и массу. Кроме того, кислотные батареи выделяют горючие газы и поэтому пожароопасны.

Даже с учетом всех перечисленных недостатков эти батареи являются одним из наиболее экономичных средств накопления энергии. Если к их установке и эксплуатации проявить необходимое внимание, их можно сделать и достаточно безопасными в эксплуатации. Основной операцией в эксплуатации кислотных батарей являются периодический долив дистиллированной воды и проверка плотности электролита.

Никель-кадмиевые ($Ni - Cd$) батареи имеют бóльшую емкость, чем кислотные, однако они стоят значительно дороже. Они меньше по размерам, легче и не теряют емкости при низких температурах. $Ni - Cd$ батареи быстрее заряжаются и более устойчивы к большим токам. $Ni-Cd$ батареи не боятся перегрузок и поэтому не требуют включения в схему предохранительных устройств. Если эти батареи использовать с генератором переменного тока, то после их полной зарядки генератор будет давать только минимальное количество тока, которое не сможет повредить батарее.

В случае использования батарей для накопления энергии энергия ветра преобразуется в постоянный ток, который может обеспечить работу осветительных приборов, нагревательных элементов и большинства щеточных электродвигателей. Остальные электрические приборы требуют переменного тока с частотой около 60 Гц. В настоящее время существуют два метода преобразования постоянного тока в переменный. Первый называется динамическим и заключается в том, что двигатель постоянного тока служит приводом генератора переменного тока. Этот способ имеет к.п.д. около 60%. Другой способ заключается в использовании специального преобразователя, преобразующего постоянный ток в переменный. Этот способ имеет к.п.д. около 80%.

Существует тенденция к применению генераторов как постоянного, так и переменного тока. В состав установки в этом случае входят два генератора. Получаемый постоянный ток используется для осветительных и нагревательных приборов, силовых установок, а переменный ток используется для универсальных электродвигателей (см. рис. 6.7).

В последнее время были созданы генераторы переменного тока, вырабатывающие ток с частотой 60 Гц при любой скорости вращения ветродвигателя. В отличие от обычного такой генератор не требует фиксированного количества полюсов. Генератор переменного тока имеет ротор из специального магнитного материала, а статор — обмотку, которые, взаимодействуя, создают необходимое количество электромагнитных пар.

6.3.5. Другие методы накопления энергии. Вследствие переменчивого характера ветра емкость аккумуляторов, применяемых в системе, имеет огромное значение для всей системы. Из-за сложности и наличия промежуточных элементов стоимость аккумулирующих систем весьма велика. Характеристика различных аккумулирующих систем приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1. **Характеристика различных аккумулирующих элементов**

Тип аккумулятора	Емкость, БТЕ/фунт	К.п.д., %	Стоимость, БТЕ/долл
Батарея	18—35*	70	25
Маховик	20—90	35	35
Сжатый воздух	100	67	25
Топочное устройство	90	50	35
Емкость с водой	0,25 (при высоте 30 м)	67	18
Массивная емкость	0,25 (при высоте 30 м)	67	18

*Прогнозируемое значение для новых типов батарей 350 БТЕ/фунт.

Существует метод, который позволяет исключить аккумулирующие устройства, но он требует подсоединения к силовой линии. Ветрогенератор, который может быть подсоединен непосредственно к силовой линии, должен вырабатывать ток с постоянной частотой. Можно установить реверсивный счетчик для определения количества энергии, подаваемой ветрогенератором в силовую линию (рис. 6.7).

Энергия, вырабатываемая ветрогенератором, может быть направлена на электролизные установки, которые разлагают воду на два ее основных компонента — водород и кислород (рис. 6.8). Таким образом, допустимо преобразование электрической энергии в химическую и использование водорода в качестве основного элемента.

Водород накапливают как сжатый газ, как соединение с металлом или как криогенную жидкость. В настоящее время наиболее экономичным способом считается накопление сжатого водорода, весьма обещающе и использование гидритов. Криогенные системы обладают достаточно высокой эффективностью (37,4 кВт на 1 кг), но пока очень дорогостоящи.

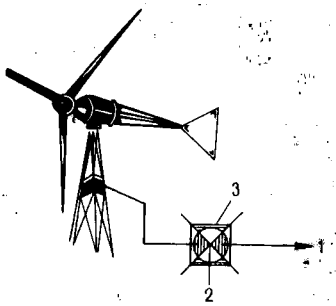


Рис. 6.7. Схема ветрогенераторной установки без аккумуляторной батареи
1 — переменный ток к ЛЭП; 2 — переменный ток к потребителю (нагрузке); 3 — выключающаяся коробка передач и антиреверсивное устройство в случае слабого ветра

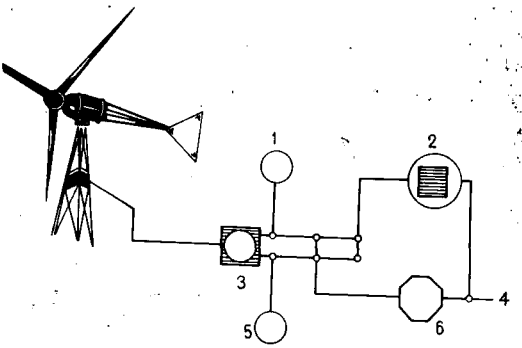


Рис. 6.8. Схема ветрогенератора с электролизной установкой (с топочной камерой)
1 — аккумулятор газа — водорода; 2 — топочная камера; 3 — электролизер; 4 — переменный ток к потребителю; 5 — аккумулятор кислорода; 6 — газовая турбина

По-видимому, водород найдет самое широкое применение в промышленности. Его будут использовать в качестве топлива дополнительно к природному газу или вместо него. Допустимо, но пока дорогостоящее, применение водорода для двигателей внутреннего сгорания.

Энергию, получаемую с помощью ветрогенераторов, можно накапливать, используя для этого резервуары с водой. В то время когда ветрогенератор производит избыточное количество энергии, ее используют для того, чтобы поднять воду в специальный резервуар, установленный на некоторой высоте. В случае необходимости этот запас применяют для выработки энергии с помощью воды. Для небольших установок воду можно накапливать в резервуарах, а для более крупных установок необходимо устройство специальной накопительной емкости (на горе или на холме). Еще одно преимущество этой системы состоит в том, что если основная цель состоит в подъеме воды, то это гораздо более эффективно можно сделать в помощью электроэнергии, полученной от ветродвигателя, чем с помощью механического насоса, работающего от такого же двигателя, установленного непосредственно над скважиной или колодцем.

Другой способ преобразования энергии ветра — пневмокомпрессионные установки. Сжатый воздух легко накапливается в ресиверах, а затем используется для приведения в действие электрического генератора с пневмоприводом (параметры такой установки даны в табл. 6.1).

Наконец, последний тип аккумулятора ветровой энергии, разра-

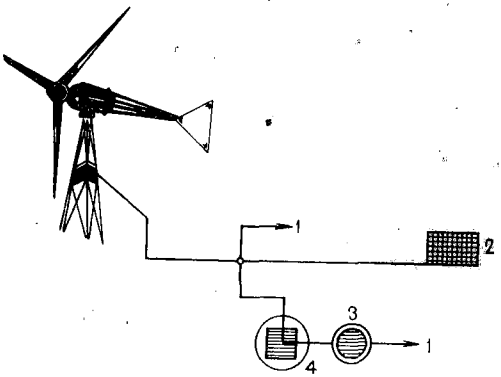


Рис. 6.9. Схема ветрогенератора с механическим аккумулятором (маховиком)
1 — переменный ток к потребителю; 2 — солнечный источник энергии; 3 — маховик; 4 — мотор-генератор постоянной частоты

ботка которого находится сейчас на стадии эксперимента, — маховое колесо. Предел аккумулирующей способности махового колеса определяется значением центробежной силы, при которой колесо может разрушиться. Таким образом, аккумулирующая способность махового колеса зависит от прочности материала, из которого оно изготовлено.

За последнее время разработаны материалы, которые обладают очень высокой прочностью по одному из направлений, например на разрыв. В некоторых из этих материалов применяется усиление по радиальному направлению, выполненное из прочных струн, графита, волокнистых материалов.

Использование новых материалов для создания маховых колес позволяет делать более легкие и компактные аккумуляторы энергии. Разрабатываются маховики, которые имеют аккумулирующую способность, приходящуюся на единицу массы, в 4 раза больше, чем современные кислотные аккумуляторы.

Проектируется помещать маховик в герметичном отсеке, где создано разрежение, равное 0,01 ат. В качестве опоры следует применять бесфрикционную магнитную подвеску. Генератор-двигатель связан с маховиком с помощью магнитной муфты, исключающий непосредственный контакт с вакуум-камерой.

Вращая маховик, ветродвигатель будет обеспечивать выработку энергии с помощью мотор-генератора (рис. 6.9). Во время непродолжительного затишья маховик будет вырабатывать с помощью генератора электроэнергию (см. табл. 6.1).

Некоторые из рассмотренных систем накопления энергии пока дорогостоящи, технически сложны и нереальны, но они отражают направления поисков и разработок в области создания энергетически и экономически эффективных способов аккумулирования энергии.

Список литературы

1. Wind Power United Nations Publications. "New Sources of Energy", Proceedings of Conference, Rome, August 1961, Vol. 7, p. 238.

2. "Wind–Generated Electricity–Prototype 100 KW Plant", Engineering, Vol. 179, No. 4652, March 1955, p. 374.

3. McCaull Julian. "Windmills", Environment, Vol. 15, January/February 1973, p. 11.

4. Op. cit. "New Sources of Energy", p. 230.

5. Marier Don. "Some Notes on Windmills", Alternative Sources of Energy, No. 12, October/November 1973, p. 3.

6. Sencenbaugh Jim. "I Built a Wind Generator for $400", Handbook of Homemade Power, Bantam Books, Inc., 1974, p. 186.

Abbott I.H. Theory of Wing Sections, Dover Publications, 1959.

Baumeister T. and L.S. Marks. Standard Handbook for Mechanical Engineers, McGraw–Hill, New York, 1974.

Boyle G. and P. Harper, ed. Radical Technology, Pantheon Press, New York, 1976.

Benson Arnold. Plans for the Construction of a Small Wind Electric Plant. Publ. No. 33, Oklahoma State Univ., Stillwater, Oklahoma 74079.

Bossel Helmut. "Low–Cost Windmill for Developing Nations", V.I.T.A. Handbook, VITA College, Schenectaby, New York 12308.

Betz Albert. Introduction to the Theory of Flow Machines, Pergamon Press, 1966.

Clews Henry. Electric Power from the Wind, Solar Wind Co., East Holden, Maine, 04429, 1973.

Climatic Atlas of the United States, U.S. Department of Commerce, 1968.

Coonley Doug. Design with Wind, Master ' s thesis, College of Architecture, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1974.

Energy from the Wind. World Meteorological Organization, Geneva, 1954.

Fales E.N. "Windmills", Mechanical Engineers Handbook, Lionel S. Marks, McGraw–Hill, 5th edition.

Golding E.W. The Generation of Electricity by Wind Power, E. and F.N. Spon Ltd., 22 Henrietta St., London, 1955.

Hackleman Michael A. Wind and Windspinners, Earthmind, 26510 Josel Drive, Saugus, California, 81350, 1974.

Hidy George. The Winds, Van Nostrand Co., 1967.

Lackie J., et. al. Other Homes and Garbade, Sierra Club Books, San Francisco, 1975.

Marier Don, ed. Alternative Sources of Energy, No. 14, May 1974.

Marrill R., et. al. Energy Primer, Portola Institute, Menlo Park, California, 1975.

Meyer Hans. "Wind Generators: here's an advanced design you can build", Popular Science, November 1972, pp. 103–105.

The Mother Earth News. Handbook of Homemade Power, Bantam Books, New York, 1974.

Putnam P.C. Power from the Wind, Van Nostrand Co., New York, 1948.

Reynolds John. Windmills and Watermills, Prager Publishers, 1970.

Savonions S.J. "The S–Rotor and Its Application", Mechanical Engineering, vol. 53, no. 5, May 1931.

Syverson C.D. and J.G. Symens. Wind Power, Wind Power, P.O. Box 233, Mankato, Minnesota 56001.

V.I.T.A. Village Technology Handbook, 3706 Rhode Island Ave., Mount Rainier, Md., 20822.

Wind Works. Wind Energy Bibliography, Box 329, Rt. 3, Mukwonago, Wisconsin, 53149, 1973.

"Windmill Manufacturers", University of Cambridge, Department of Architecture, Technical Research Division, I Scroop Terrace, Cambridge CB2 IPX, England, 1974.

7. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ

Общее количество солнечной энергии, полученное какой-либо поверхностью вне пределов земной атмосферы, за определенное время может быть подсчитано достаточно легко, если знать угол падения и величину солнечной постоянной, которая изменяется в зависимости от расстояния между Землей и Солнцем и при среднем расстоянии равна 1353 Вт/м^2.

7.1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ

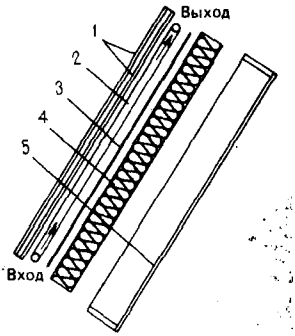
Количество солнечной энергии, которое достигает земной поверхности, зависит от многих факторов. Проходя через атмосферу, солнечные лучи рассеиваются или поглощаются содержащимися в ней водяными парами, озоном, углекислым газом, различными твердыми частицами и другими компонентами. Именно поэтому выявить интенсивность солнечной радиации на поверхности земли в каждый отдельный момент времени очень трудно. Такие сведения могут быть определены только на основе анализа статистических данных, полученных в результате долговременных наблюдений.

Национальное бюро погоды США публикует информацию о предполагаемом ежемесячном и годовом количестве солнечных дней (в %), общем числе солнечных часов, среднем количестве солнечной радиации, среднем числе облачных дней, скорости и направлении ветра. Все эти данные можно найти в "Климатологическом атласе США" (Вашингтон, О.К.).

7.2. ЭЛЕМЕНТЫ ГЕЛИОСИСТЕМ

Существуют три основных метода преобразования, с помощью которых можно утилизировать солнечную энергию: фотосинтез, прямое

Рис. 7.1. Схема пяти основных элементов плоского коллектора
1 — остекление (показано двухслойное); 2 — трубка для жидкости; 3 — панель; 4 — изоляция; 5 — кожух



преобразование в электрическую и тепловую энергию. Рассмотрим только последний метод — преобразование в тепловую энергию, техника которого в настоящее время наиболее разработана и экономически эффективна в системах отопления, охлаждения и горячего водоснабжения для бытовых нужд.

7.2.1. Коллекторы. В настоящее время применяют два основных типа коллекторов: плоские и фокусирующие, или концентрирующие. Они предназначены для преобразования падающей на них солнечной радиации в тепловую энергию с определенными параметрами.

7.2.1.1. Плоский коллектор состоит из пяти основных элементов (рис. 7.1):

1) прозрачного защитного слоя (остекление), который может быть выполнен из одного или нескольких слоев стекла или пластика;

2) поглощающей пластины из материала с высокой теплопроводностью, например, из меди или алюминия, поверхность которого окрашена в черный цвет или покрыта селективным материалом;

3) труб или коробов, по которым циркулирует теплоноситель, отбирающий тепло от поверхности пластины. Они могут быть либо вмонтированы в поглотитель, либо составлять с ним одно целое;

4) изоляции, уменьшающей потери тепла;

5) защитного короба, который предохраняет конструкцию от повреждений и теплопотерь. Короб может быть либо элементом солнечного коллектора, либо элементом конструкции здания.

Принцип работы плоского солнечного коллектора весьма прост. Солнечная радиация проходит через светопрозрачный защитный слой и поглощается темной абсорбирующей панелью. При повышении температуры панели ее черная поверхность начинает излучать длинноволновую (инфракрасную) радиацию. Защитный слой для инфракрасной радиации непрозрачен, и, таким образом, большое количество энергии остается внутри коллектора (так называемый парниковый эффект). Накопленное тепло может быть отведено с помощью теплоносителя, в качестве которого используется воздух или вода. Этот поток нагретого теплоносителя может быть направлен сразу для целей, например, отопления, или же тепло из него может быть выделено и собрано в накопители.

Разница в температурах теплонакопителя, необходимых для отопления и охлаждения, весьма невелика, даже если используется абсорбционный охладитель, поэтому правильно спроектированные плоские

коллекторы могут быть достаточно эффективны в таких системах, поскольку могут нагреть теплоноситель до температуры на 70 °С выше температуры окружающего воздуха.

Плоские коллекторы обладают одним большим достоинством — они способны улавливать энергию не только прямых, но и рассеянных лучей, следовательно, они могут производить полезную энергию даже при отсутствии прямого солнечного света.

7.2.1.2. Концентрирующие коллекторы. Если желательно получить более высокие температуры, солнечный свет должен быть сконцентрирован на поверхности поглотителя. Путем концентрации солнечной радиации температура теплоносителя может быть повышена на 150 °С по отношению к температуре окружающей среды. Такие установки наиболее эффективны для обеспечения работы кондиционеров, электрических генераторов, промышленных и сельскохозяйственных сушилок.

Большинство концентрирующих систем включает в себя параболические или параболоидные поверхности, концентрирующие солнечную энергию на одной линии. Поскольку концентрируется прямая солнечная радиация, коллектор должен быть постоянно ориентирован на Солнце. Такая система слежения весьма сложна и дорогостоящa, поэтому концентрирующие коллекторы редко применяют для жилищного строительства.

Были проведены большие работы с целью уменьшить стоимость и техническую сложность конструкции концентрирующих коллекторов, связанную с необходимостью их ориентации. В результате этих работ найдены два основных решения: совершенствовать механизмы слежения и строить концентраторы с фиксированными зеркалами и подвижными поглотителями. Примером концентрирующего коллектора с простым механизмом слежения может быть солнечная кухня, разработанная К. Дж. Суитом из университета Джона Гопкинса.

Система состоит из параболического корытообразного концентратора, ориентируемого с помощью теплового гелиотропа, представляющего собой биметаллическую спираль с тепловым покрытием и управляемый затеняющий элемент (рис. 7.2). Один конец спирали жестко связан с опорной конструкцией, а другой конец соединен через концентратор с затеняющим устройством, которое изменяет количество солнечной радиации, падающей на спираль, и таким образом регулирует вращение спирали и ориентацию концентратора. Биметаллическую спираль изготовляют из металла, который активно реагирует на температуру, и площадь его поверхности изменяется в зависимости от количества солнечной радиации, падающей на него.

Второй вариант — устройство фиксированного рефлектора и движущегося поглотителя — более удобен для строительства. Принцип устройства такой системы базируется на оптическом эффекте, при котором независимо от местонахождения солнца сферическое зеркало может концентрировать бóльшую часть поступающей солнечной радиации по линии, близкой к поверхности зеркала. Хотя точка фокуса перемещается при движении солнца, нет никакой необходимости менять положение самого зеркала; необходимо только обеспечить некоторое перемещение небольшого цилиндрического поглотителя, который собирает и концентрирует бóльшую часть поступающей солнечной радиации (рис. 7.3).

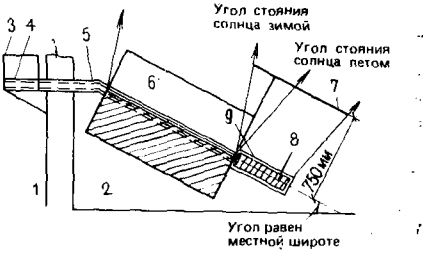


Рис. 7.2. Схема "солнечной кухни" (разрез)
1 — внутреннее пространство; 2 — внешнее пространство; 3 — аккумулирующее тепло; 4 — горячая панель; 5 — изоляция; 6 — коллектор длиной 1,8 м; 7 — подвижное затеняющее устройство; 8 — биметаллический тепловой гелиотрон диаметром 75 мм; 9 — прозрачное пластиковое покрытие

Последним достижением в области разработки стационарных концентрирующих коллекторов является Уинстон-коллектор. Он состоит из отдельных *V*-образных элементов, помещенных в специальном корытообразном коробе. Каждый элемент концентрирует солнечную радиацию в своей узкой нижней части, где расположена поглощающая тепло медная трубка. Основное достоинство этой конструкции заключается в том, что отпадает необходимость устанавливать устройства, следящие за солнцем, и, кроме того, она улавливает не только прямые, но и рассеянные солнечные лучи (рис. 7.4).

7.2.1.3. Фотоэлектрические установки. Фотоэлектрический элемент представляет собой полупроводниковое устройство, которое при попадании на него света преобразует энергию в электрическую. Солнечные батареи, несмотря на их замечательную преобразовательную способность, пока что серьезно не рассматриваются как источник достаточно большого количества энергии из-за высокой стоимости. В настоящее время ведутся интенсивные исследования, направленные на уменьшение стоимости солнечных батарей и увеличение их мощности.

Фотоэлектрические элементы можно применять в комбинации с плоскими коллекторами. В этом случае лучистая энергия, не преоб-

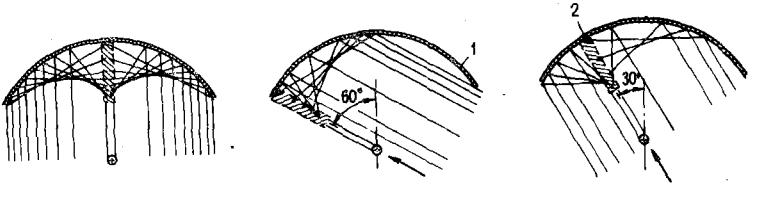


Рис. 7.3. Схема концентрации со стационарным зеркалом и подвижным коллектором
1 — сферическое зеркало; 2 — подвижный абсорбер

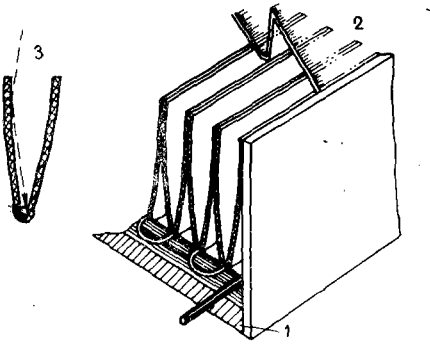


Рис. 7.4. Схема уинстонского коллектора
1 — изоляция, покрытая фольгой; 2 — остекление; 3 — деталь коллектора

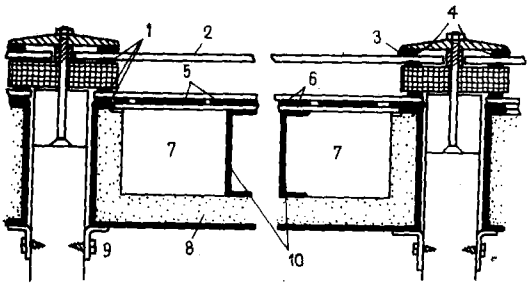


Рис. 7.5. Сечение плоского коллектора с солнечными элементами
1 — изоляция; 2 — плексиглассовое покрытие; 3 — эластичный цемент; 4 — бутиловая резина; 5 — солнечные элементы; 6 — термический затвор; 7 — воздухопроводы; 8 — теплоизоляция; 9 — опорные элементы крыши; 10 — опорные элементы воздуховодов

разованная в электрическую, будет поглощаться плоскими коллекторами, а получаемое тепло можно использовать для горячего водоснабжения, отопления, абсорбционного охлаждения и кондиционирования воздуха. Подобная система разработана Институтом энергетики Дэлаверского университета. В экспериментальном доме "Солар 1" кадмиёво-сульфидные батареи смонтированы на крышных панелях размером 1,2x1,4 м. За этими панелями имеются каналы для отвода тепла, позволяющие избежать перегрева батарей и одновременно обеспечить подогрев воздуха для отопления (рис. 7.5).

В другой комбинированной системе солнечные батареи используются для выработки тока, приводящего в действие тепловой насос. Зимой плоский коллектор обеспечивает горячее водоснабжение и дает тепло для более эффективной работы теплового насоса, а летом он обеспечивает только горячее водоснабжение; солнечные батареи вырабатывают электроэнергию для привода теплового насоса в режиме охлаждения.

7.2.2. Теория плоского коллектора. Рассмотрим теорию плоского коллектора и его применение для систем отопления и охлаждения жилых зданий. Предпочтение плоским коллекторам перед концентрирую-

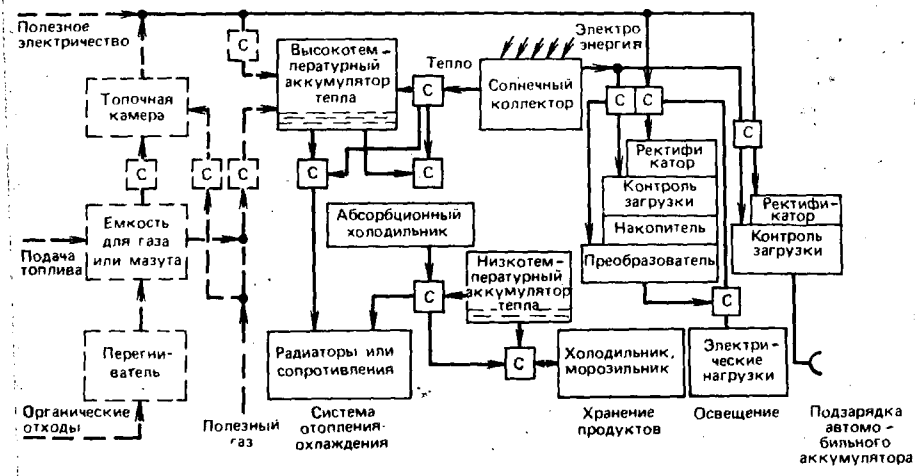


Рис. 7.6. Схема солнечной системы для здания, использующего плоский коллектор с солнечными элементами

щими было отдано в связи с тем, что последние имеют серьезные недостатки:

- они весьма дорогостоящи;
- проектирование и применение их в настоящее время слишком сложно;
- высокие температуры, которые достигаются с их помощью, не требуются для работы современного отопительного и охладительного оборудования;
- высокие температуры и давления, которые применяются в случае использования концентрирующих коллекторов, вызывают определенные технические трудности;
- они хуже улавливают рассеянную энергию;
- отражательная способность их зеркал может со временем уменьшиться, что скажется на эффективности системы.

Плоские коллекторы имеют свои недостатки, но тем не менее они являются весьма технически и экономически эффективным средством преобразования солнечной энергии в тепловую.

Для полной объективной оценки плоских коллекторов и влияния различных факторов на их работу можно воспользоваться следующей формулой:

$$I\tau\alpha = q_\varphi + q_s + q_u,$$

где I — интенсивность солнечной радиации, падающей на поверхность коллектора; τ — коэффициент пропускания солнечной радиации защитным светопрозрачным слоем, он является характеристикой изоляции и зависит от длины волны излучения и угла его падения; α — коэффициент поглощения солнечной радиации пластиной поглотителя; q_φ — теплопотери коллектора за счет конвекции, теплопроводности и излучения; q_s — количество полезного тепла, выработанного коллектором; q_u — количество тепла, расходуемого на разогрев коллектора до требуемой температуры.

Левая часть уравнения характеризует поступление тепла, которое может быть увеличено тремя способами:

- *поддержанием высокого уровня поступления солнечной радиации I путем оптимальной ориентации коллектора* [2].

Если бы единственным параметром, который следовало учитывать при проектировании коллекторов, было максимальное годовое количество солнечной радиации, то коллектор должен быть ориентирован строго на юг и установлен под углом широты места. Однако вследствие того что в середине зимы при низком стоянии солнца над горизонтом поглощение солнечной энергии коллектором, установленным под таким углом, невелико, коллекторы для систем отопления устанавливают под углом широты места плюс 12—15°. При этом их поверхность должна быть перпендикулярна потоку солнечной радиации в наиболее холодный период года. Если установка коллекторов производится с расчетом на охлаждение помещений в летнее время, то их следует устанавливать под углом, соответствующим углу широты минус 10—15°. Вместе с тем при такой установке коллекторов на них оказывают воздействие снег, дождь и загрязнения. Если наиболее важным параметром является максимальное использование эффективности коллектора, то он должен быть повернут на запад от южного направления на 10°, чтобы можно было использовать все преимущества вы-

соких дневных температур воздуха*. Хотя южная ориентация коллектора наиболее оптимальна, с точки зрения наиболее полного использования энергии солнечной радиации, но и установка коллектора с поворотом в пределах 45° от южного направления также достаточно эффективна**.

Если коллектор эксплуатируется только в зимнее время, а использование летом нежелательно из-за высокого уровня инсоляции, то наиболее целесообразно его установить с поворотом на 90° от южного направления. Поглощение энергии солнечной радиации при этом в зимнее время достаточно хорошее, а летом существенно уменьшается.

• *поддержанием на соответствующем уровне коэффициента пропускания τ защитного светопрозрачного ограждения (для солнечного коллектора).*

Проводимость — свойство материала, которое позволяет солнечной радиации проходить сквозь него и не быть поглощенной. Коэффициент пропускания стеклянных или пластиковых элементов коллектора оказывает большое влияние на его эффективность. Стекло с низким содержанием железа имеет довольно высокий коэффициент пропускания, приблизительно 0,90—0,95 количества солнечной энергии со спектром 0,30—3 мкм. Назначение прозрачного защитного слоя состоит в том, чтобы уменьшить теплопотери коллектора и обеспечить при этом максимальный доступ солнечной радиации. Высокая проводимость может быть достигнута путем применения тонких оптических материалов, обеспечивающих малую длину пробега солнечных лучей. Использование стекла с противоотражающим покрытием на одной из поверхностей позволяет повысить коэффициент на 5%.

• *Количество тепла, вырабатываемого плоским коллектором, может быть увеличено путем повышения его абсорбирующей способности* α Значение α для поверхности поглотителя определяется материалом и цветом его покрытия. С целью создания поверхности с высокой абсорбционной способностью и низкой излучательной (в инфракрасной области) применяют селективное покрытие. Например, никелево-черное покрытие фирмы "Хоневелл" имеет коэффициент поглощения 0,94, а коэффициент излучения 0,07, тогда как у черной поверхности (покрытие № 101—С10 "черный бархат" компании 3М) коэффициент поглощения и коэффициент излучения равны 0,95.

Существуют четыре способа создания селективных поверхностей [3]: покрытие поверхности тонкими пленками, применение геометрических ловушек, интерференционных фильтров и полупроводников.

По первому способу панель поглотителя коллектора, имеющую металлическую поверхность с высокой отражательной способностью, покрывают тонкой пленкой, непрозрачной для инфракрасного излучения. Толщина пленки равна приблизительно одной длине волны видимого излучения (0,5 мк). Такая толщина обеспечивает абсорбцию видимого света и не задерживает тепловое излучение, имеющее длину волны, соответствующую инфракрасной области спектра. Тепловое излучение отражается непосредственно поверхностью панели, так

---

*Если направление солнечной радиации симметрично относительно полудня. Во многих географических пунктах оно неравномерно, и до полудня интенсивность солнечной радиации выше. (*Примеч. науч. ред.*).

**Утверждение спорное. При таком повороте коллектора от меридиана сумма падающей солнечной радиации снижается до 40%. (*Примеч. науч. ред.*).

как толщина панели весьма мала, чтобы оказать влияние на длину волны излучения.

Способ второй. Полированная металлическая поверхность имеет идеальные характеристики для волн длиной около 5 мк, однако для волн длиной 0,5 мк она представляет собой неровную поверхность и поэтому абсорбирует видимый свет. Кроме того, поверхность может иметь дополнительное покрытие из металла, например золота, частицы которого имеют столь малые размеры, что по отношению к видимому свету поверхность будет казаться "черной".

Способ третий. Путем нанесения в вакууме на поверхность нескольких слоев материалов соответствующей толщины (порядка 1/2 длины волны) и с разными показателями преломления на ней создается интерференционный фильтр, который позволяет добиться значительного отражения инфракрасных лучей и малого отражения видимого света.

Способ четвертый. На поверхность полированной металлической панели наносят полупроводник, который непрозрачен для фотонов, имеющих энергию большую, чем энергия запрещенной зоны, но прозрачен для фотонов с энергией меньшей, чем энергия запрещенного слоя. Непрозрачность полупроводников в большей степени сказывается на видимой части излучения (с высокой энергией), а рефлективность полированной металлической поверхности главным образом оказывает воздействие на инфракрасное излучение (с малой энергией).

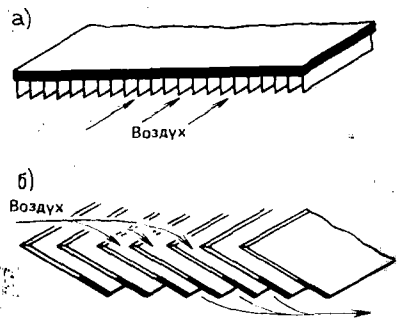
Чтобы предотвратить ухудшение оптических (или) тепловых характеристик поверхности поглотителя под воздействием окисления, химических изменений и т.д., необходимо принять соответствующие меры. Так, выбрав оптимальную геометрическую форму самого коллектора, можно увеличить его абсорбционную способность и (или) уменьшить эффективную эмиссивность.

Применение для системы отопления V-образных рефлекторов приводит к тому, что многократное отражение солнечных лучей от их поверхностей способствует увеличению их эффективности, что сопровождается увеличением эмиссивности их поверхности. Например, V-образный абсорбер с углом 30°, изготовленный из материала, поверхность которого имеет коэффициент поглощения 0,8 и коэффициент излучения 0,05, в действительности будет иметь коэффициенты соответственно 0,99 и 0,18 [14] (рис 7.7).

Еще одним способом увеличения абсорбционной и уменьшения излучательной способности может быть применение абсорберов типа "пчелиных сот", выполненных из светлого просмоленного алюминированного картона, образующего прямоугольные ячейки. Эта конструкция заключена между защитным покрытием и собственно абсорбером (рис. 7.8).

Применение ловушек "геометрического типа" (например, сотоподобных или V-образных конструкций) малоэффективно, если угол падения солнечных лучей существенно отличается от оптимального. Этот угол определяется геометрическими параметрами конструкции, и поэтому возникает необходимость устройства подвижных коллекторов, чтобы можно было обеспечить их оптимальную ориентацию относительно солнца.

- Количество тепла, получаемого с помощью плоских коллекторов, можно увеличить путем увеличения количества отводимого полез-



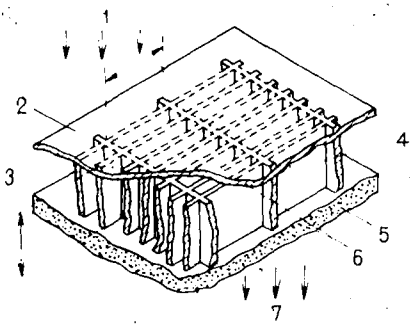


Рис. 7.8. Схема "сотового абсорбера"
1 — поток солнечной радиации; 2 — остекление; 3 — вход холодного воздуха; 4 — объемный элемент типа "соты" (алюминированный, обрезиненный картон); 5 — пористый материал; 6 — холодный воздух входит между "сотами" и остеклением; 7 — выход теплого воздуха

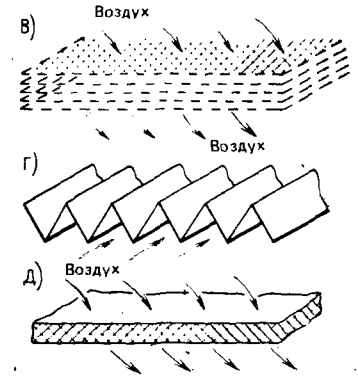


Рис. 7.7. Схема воздушных солнечных абсорберов
а — оребренный плоский абсорбер; б — наклонные стеклянные пластины; в — многослойный абсорбер; г — V-образный абсорбер; д — пористый материал

ного тепла $q_и$ от коллектора. Это достигается уменьшением теплопотерь следующими методами: применением многослойного остекления, изоляции, объемных элементов, созданием вакуума, использованием противоточных систем.

1. Можно значительно уменьшить конвективные теплопотери в воздух путем применения защитного экрана из одного или нескольких слоев прозрачного материала. Слои материала следует располагать на расстоянии 10—15 см, чтобы предотвратить конвекцию между панелью и защитной конструкцией или между соседними слоями защитного материала. Число слоев защитного материала зависит от разницы температур коллектора и наружного воздуха [4] (табл. 7.1).

2. Теплопотери за счет теплопроводности можно уменьшить путем изоляции внутренней стороны коллектора слоем фибергласса, покрытого фольгой.

3. Объемные элементы ("соты"), например, аналогичные описанным выше, могут быть достаточно эффективным средством уменьшения конвективных теплопотерь. Наилучшими следует считать узкие (уменьшающие конвекцию), но длинные (уменьшающие теплопроводность) элементы.

4. Конвекцию можно уменьшить, удалив воздух из пространства между абсорбирующей панелью и остеклением (рис. 7.9). При разрежении 10^{-2} — 10^{-4} конвекция прекращается. Самой оптимальной

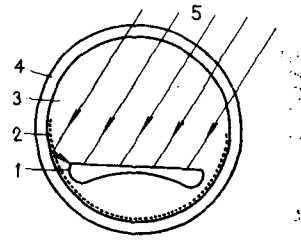


Рис. 7.9. Схема солнечного коллектора — вакуумированной трубы
1 — проводник; 2 — рефлективный слой; 3 — вакуум; 4 — стеклянная труба; 5 — солнечная радиация

конструкцией считается стеклянный цилиндр с селективной абсорбирующей панелью. Важно отметить, что обязательно должны использоваться поверхности с высокой селективной способностью, коэффициент излучения которых должен быть не менее 0,4, иначе работа всей системы будет иметь те же характеристики, что и плоская система с двойным или тройным остеклением без вакуума [5].

5. Для уменьшения конвективных теплопотерь в некоторых системах коллекторов, используемых для теплоснабжения, применяют противоточные системы. Холодный воздух направляется перпендикулярно или навстречу теплому воздуху, преграждая ему доступ к защитной конструкции коллектора. Вообще говоря, теплый воздух может осуществлять предварительный подогрев холодного воздуха. В любом случае коллектор можно сконструировать так, чтобы поток воздуха уменьшал конвективные теплопотери.

Таблица 7.1. **Данные для выбора числа слоев защитного материала**

Разница температур коллектора и наружного воздуха, °С	Характер применения коллектора	Число слоев защитного материала	
		черный абсорбер, E = 0,9; 0,95	селективный абсорбер, E = 0,2
От —30 до —12	Источник тепла для теплового насоса Подогрев воздуха для сушилки Подогрев воды в системе горячего водоснабжения	—	—
от —12 до +15	Подогрев воды в летнее время Подогрев воздуха для сушилки Отопление в теплом климате	1	1
15 — 38	Подогрев воды в зимнее время Отопление зимой	2	1
38 — 65	Кондиционирование воздуха летом Охлаждение (для холодильников) Пищеприготовление Производство пара	3*	2

*Некоторые специалисты полагают нерациональным применение трехслойного остекления (*Примеч. науч. ред.*).

Жидкостные системы. Рассмотрим системы, в которых тепло от поглотителя передается жидкости, проходящей через коллектор. Существуют два типа таких систем: в первых жидкость используется в качестве теплоносителя, во вторых воздух способствует перемещению жидкости.

Водонагревающие коллекторы. Большинство водонагревающих коллекторов (рис. 7.10), за исключением типов "И" и "Ж", представляет собой варианты конструкции "лист — труба". Панель, абсорбирующая солнечную радиацию, передает тепло воде в трубах, поверхность которых тесно соприкасается с абсорбирующей панелью или составляет единое целое. Если трубы расположены над или под абсорбирующей панелью (см. рис. 7.10, *Б—В*), они должны иметь с ней надежную связь из материала с высокой теплопроводностью. Надежно скрепить трубы с абсорбирующей панелью, обеспечив при этом хорошую теплопроводность, можно с помощью сварки или пайки. Однако наилучшей конструкцией является панель с вмонтированными в нее трубами.

Наиболее эффективны трубы прямоугольного сечения, поскольку они имеют лучший контакт с абсорбирующей панелью (см. рис. 7.10,*Г*). На рис. 7.10, *Д,Е* и *Г* показаны различные способы герметичного соединения гофрированных оцинкованных листов. Вместо медных листов (см. рис. 7.10,*З*), можно применять также стальные оцинкованные. Листы соединяют на клепке или на сварке. Использование трубопроводов нецилиндрического сечения ограничивается величиной давления воды, которое они могут выдерживать. В связи с этим в США, где приняты высокие давления в системах, такие конструкции широкого распространения не получили [6]. На рис. 7.10,*И* показана схема устройства крышного бассейна, применяемого в разработанной Гарольдом Хэйем системе "Скайтерм". Вода находится в прозрачных пластиковых мешках, лежащих на металлическом перекрытии. Тепло, поглощаемое водой, передается металлическому перекрытию и от него воздуху помещения. Сверху, на высоте, обеспечивающей предотвращение теплопотерь в воздух, устанавливают съемную теплоизоляцию. Летом процесс может идти в обратном направлении: днем изолирующие панели закрывают поверхность воды, и она отбирает тепло из воздуха помещения, а ночью панели убирают и накопленное водой тепло излучается в холодный ночной воздух (более подробно см. разд. 7.6). В коллекторе конструкции Томасона (см. рис. 7.10,*К*) использованы рифленые алюминиевые панели, окрашенные в черный цвет. Вода, протекая по желобам, отбирает тепло, накопленное панелью.

Анализируя эффективность работы коллекторов, можно отметить ряд общих положений. Например, из-за большой разницы температур панели и жидкости она снижается, так как с увеличением температуры панели возрастают теплопотери. В то же время эффективность системы в целом тем больше, чем выше температура, что, в свою очередь, приводит к повышению средней температуры панели. Таким образом, коллектор следует проектировать так, чтобы разница температур панели и жидкости была минимальной, а вся система должна иметь оптимальную эффективность при рабочей температуре коллектора. При проектировании водяных теплообменных систем выполнение этих требований не представляет большой трудности, поскольку температуру

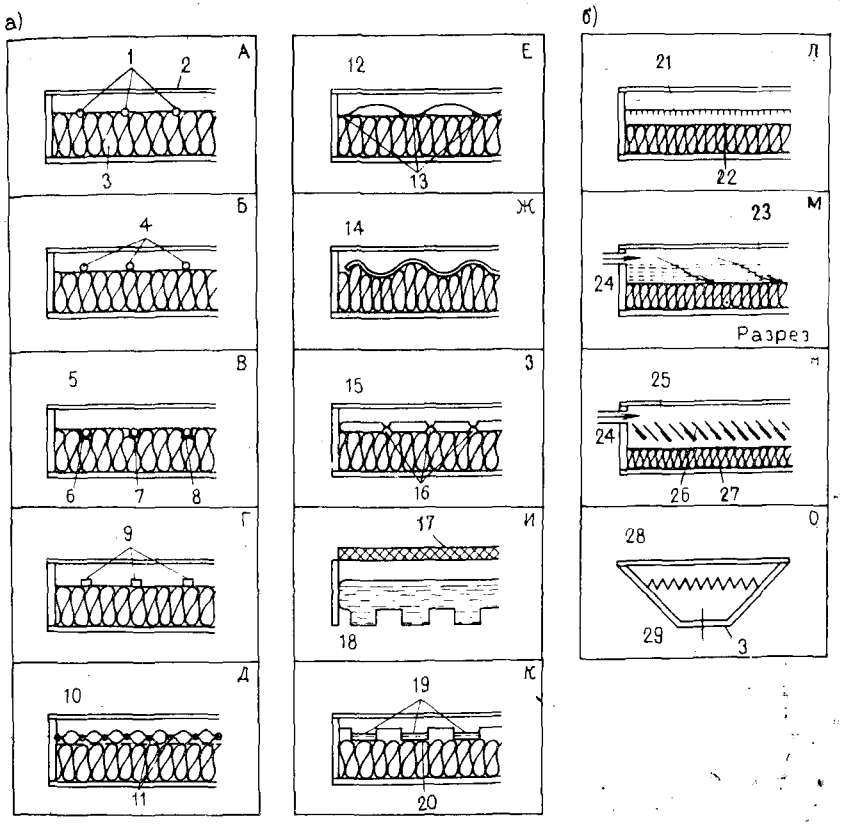


Рис. 7.10. Типы водяных *а* и воздушных *б* солнечных нагревателей
1 — трубы в черной панели; 2 — остекление; 3 — теплоизоляция; 4 — трубы, прикрепленные к верхней поверхности абсорбера бандажами; 5 — трубы, прикрепленные к нижней поверхности абсорбера; 6 — то же, проволокой; 7 — то же, запрессованные; 8 — то же, хомутами; 9 — трубы прямоугольного сечения, скрепленные с панелью; 10 — профилированные панели, скрепленные вместе; 11 — заклепки; 12 — профилированная панель, скрепленная с плоской; 13 — места сварки; 14 — сдвоенные профилированные листы; 15 — профилированные элементы, соединенные на сварке; 16 — сварные соединения; 17 — система со сдвижной изоляцией; 18 — вода, находящаяся в тепловом контакте с потолком; 19 — система Томасона — вода течет по желобам; 20 — профилированный алюминий; 21 — оребренный воздухонагреватель; 22 — зона воздушного потока; 23 — матричный воздушный нагреватель с черными прозрачными пленками; 24 — вход воздуха; 25 — воздухонагреватель с наклонными стеклянными пластинами; 26 — прозрачное стекло; 27 — черное стекло; 28 — V-образная панель с селективной поверхностью; 29 — зона воздушного потока

коллектора легко регулировать, изменяя поток воды, смывающей его поверхность [7].

Воздушные системы. Поскольку коэффициент теплопередачи между воздухом и металлом значительно меньше коэффициента теплопередачи между металлом и водой, для повышения эффективности

воздушных систем должны быть приняты специальные меры: может быть увеличена площадь поверхности теплообмена, либо объем циркулирующего в коллекторе воздуха, либо длина потока воздуха в коллекторе. На рис. 7.10, *Л, М* и *Н* и рис. 7.7 показано, как может быть увеличена площадь контакта теплообменника и воздуха.

Некоторые особенности проектирования плоских коллекторов [8]. Рассмотрим некоторые проблемы, которые хотя и не оказывают непосредственного влияния на проектные решения, но с точки зрения обеспечения надежности и работоспособности систем их очень важно учитывать.

• Замерзание и закипание воды в жидкостных системах. Во избежание замерзания воду из коллектора на ночь можно сливать. Однако в этом случае возникает проблема развития интенсивной коррозии, а в некоторых случаях приходится предусматривать устройство системы, контролирующей заполнение водой всех труб системы. В жидкость может быть добавлен антифриз (обычно этиленгликоль), но при этом требуется устройство дополнительного теплообменника, если в качестве аккумулятора тепла также используется вода. Предлагалось также создать небольшую циркуляцию аккумулирующей жидкости, однако пока не установлено, в какой степени это решение повлияет на эффективность системы (на надежности может сказаться, например, выход из строя циркуляционного насоса).

Закипание вызывает осложнения в работе герметичных систем, применение которых более рационально с точки зрения коррозионной устойчивости. Иногда бывает необходимо рассчитывать систему на давление, которое может быть достигнуто при максимальной рабочей температуре коллектора. При проектировании коллекторов необходимо предусматривать установку предохранительных клапанов, охлаждающих и затеняющих устройств и т.д., которые позволяют избежать перегрева системы и ее повреждения из-за избыточного давления.

К о р р о з и я. В водяных системах, чтобы предупредить развитие коррозии, можно использовать медные трубы, однако стоимость их весьма высокая. Более широкое применение могут найти стальные и алюминиевые трубы, но оба эти материала подвержены коррозии. Для предотвращения коррозии стальных и алюминиевых труб используют ингибиторы (в случае применения алюминия этот метод защиты недостаточно эффективен). Проблема коррозии возникает и при опорожнении системы, когда ее элементы вступают в контакт с кислородом воздуха.

В ы с о к и е т е м п е р а т у р ы. Материалы, находящиеся в контакте с поверхностью поглотителя, должны выдерживать достаточно высокие температуры (до 95 °С), которые могут возникнуть в системе при прекращении циркуляции. Высокие температуры могут также вызвать повреждение селективных поверхностей.

П о в р е ж д е н и е г р а д о м. В настоящее время все коллекторы (и в ближайшем будущем) имеют защитное стеклянное покрытие, поэтому следует учитывать опасность его повреждения. Очень важно создать такие конструкции коллекторов, которые допускали бы возможность легко заменять стекла, причем стекла в них были хорошо закреплены, а размеры секций достаточно невелики. Здесь применимы архитектурные стандарты.

Загрязнения воздушных коллекторов. В коллекторах воздушной системы отопления вместе с воздухом циркулируют пыль, влага и загрязнения, которые вызывают износ поверхностей, засоряют небольшие отверстия и т.д. Наибольшую угрозу они представляют для систем с селективными теплообменниками, поверхности которых весьма чувствительны к различного рода загрязнениям.

• Износ окрашенных поверхностей и других материалов. Коллектор — одна из самых дорогостоящих частей системы, поэтому желательно, чтобы срок его службы был не менее 2 лет. Сравнительно высокая температура внутри коллектора требует тщательного выбора материалов. Черная краска, которую желательно применять для улучшения работы селективных поверхностей, со временем может выгорать, отслаиваться и т.д. В связи с этим следует применять специальные материалы.

• Жидкие теплоносители. В качестве наиболее приемлемых теплоносителей были названы воздух и вода, которую необходимо предохранять от замерзания. В результате применяемых мер ее теплопередающая способность обычно уменьшается на 10—20%. Для отвода тепла от коллектора используют и другие жидкости. У некоторых из них удельная теплоемкость меньше, чем у воды (обычно она равна половине теплоемкости воды, а иногда даже и меньше половины), у других более высокая точка кипения или более низкая температура замерзания. При использовании в качестве теплоносителя вместо воды других жидкостей не приходится опасаться их замерзания, потому что в отличие от воды они при замерзании уменьшаются в объеме.

7.2.3. Аккумуляция тепловой энергии. Аккумулирование тепла позволяет преобразовать тепловую энергию непостоянного источника, например солнечной радиации, в энергию постоянного источника. Эффективность любой системы определяется периодичностью, с которой она может покрывать тепловые потребности жилых помещений. В солнечной системе аккумулирования тепловой энергии (САТЭ) эта периодичность зависит от теплоемкости аккумулирующей системы.

При создании оптимальной аккумулирующей системы важно учитывать ряд факторов: климат, тип изоляции, стоимость аккумулирующего материала и местных видов топлива. Анализ стоимости и мощности аккумулирующей системы был выполнен Тиваутом и Лёфом. Они показали, что минимальные эксплуатационные расходы характерны для систем, у которых количество воды, используемой в качестве аккумулирующего материала, составляет 45—70 кг на 1 м^2 поверхности коллектора. Это эквивалентно отоплению помещения в зимнее время в течение 1—3 сут [9].

Существуют два основных вида накопления тепловой энергии*: реальная (ощутимая) и скрытая аккумуляция. При реальной аккумуляции солнечная энергия используется для того, чтобы поднять температуру аккумулирующей среды без изменения состояния вещества. В процессах скрытой аккумуляции солнечная энергия заставляет аккумулирующий материал изменять свое агрегатное состояние. Рассмотрим оба процесса.

---

*Применяют также аккумулирование тепла за счет энергии обратимых химических реакций, фотосинтеза и др. (*Примеч. науч. ред.*).

7.2.3.1. Реальная (ощутимая) аккумуляция тепла. Количество тепла, которое может быть аккумулировано тем или иным материалом, рассчитывают по формуле

$$Q = mC\Delta t,$$

где Q — количество тепловой энергии; m — масса материала; C — теплоемкость материала; Δt — разность температур.

В жилищном строительстве для отопления и охлаждения помещений в качестве аккумулирующих материалов наиболее широко применяют воду и камень. Из всех доступных материалов вода имеет наибольшую теплоемкость на единицу объема, массы и стоимости. Ее легко накапливать и с помощью насосов прокачивать через теплообменники. Все это делает воду наиболее удобным материалом для аккумулирования тепловой энергии. Удельная теплоемкость воды составляет 4190 кДж/(м^3 · °С). Поэтому 1 м^3 воды, нагретый на 1 °С при охлаждении до первоначальной температуры, отдаст 4190 кДж тепла (табл. 7.2).

Таблица 7.2. **Теплоемкость аккумулирующих материалов**

Материал	Удельная теплоемкость, Дж/(кг · К)	Теплоемкость, кДж/(м^3 · °С)	Плотность, кг/м^3
Вода	1	4190	1000
Вода с этиленгликолем (30—70% по массе) при 110 °С	0,80	3440	1025
Бетон	0,156	1490	2310
Куски черного металла	0,12	3630	7230
Камни (колотые)	0,20	3550	1601
Мрамор (глыбы)	0,21	2280	2600
Каменная соль	0,219	1935	2180
Песок	0,191	1215	1533
Камень (глыба)	0,20	1275	1540

Эффективность аккумуляторов с каменной загрузкой на единицу объема составляет 30—40% эффективности водяных аккумуляторов, так как удельная теплоемкость камня составляет около 0,2. Поэтому объем камня, используемого в качестве аккумулирующего материала, должен быть больше, чем объем воды при тех же условиях. Для накопления тепловой энергии, получаемой с площади поверхности коллектора, равной 1 м^2, требуется 1 м^3 площади поверхности плотного камня, тогда как 1 м^3 воды достаточно, чтобы аккумулировать тепло, получаемое с площади поверхности коллектора, равной 3 м^3. Для передачи тепла от каменного аккумулятора в жилое помещение необходимо обеспечить циркуляцию воздуха. Мощность вентилятора в такой системе зависит от аэродинамического сопротивления, которое, в свою очередь, зависит от крупности камней. Для аккумулирования энергии наиболее целесообразно использовать камни размером около 10 см.

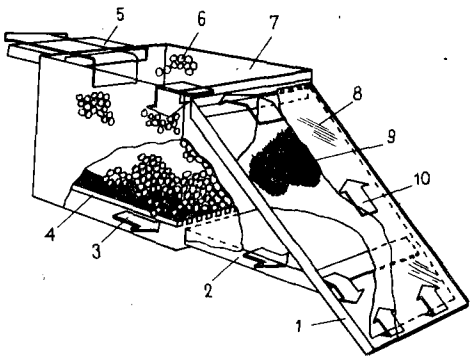


Рис. 7.11. Схема двухпоточного конвективного солнечного нагревателя с каменным теплоаккумулятором
1 — солнечный коллектор; 2 — рециркуляционный трубопровод холодного воздуха; 3 — холодный воздух; 4 — решетка; 5 — воздуховод подачи теплого воздуха в помещение; 6 — булыжники; 7 — каменный воздухонагреватель; 8 — остекление; 9 — шестислойная металлическая расширяющая решетка; 10 — нагретый воздух

В системе, разработанной фирмой "Зоумуоркс" (рис. 7.11), тепло аккумулирует емкость, заполненная булыжниками. Движение воздуха обеспечивается естественной конвекцией от солнечного коллектора к емкости. Когда тепло необходимо подавать в помещение, открывают запорный клапан, и теплый воздух поднимается в комнаты. Эта же система пригодна и для охлаждения помещений. В этом случае необходимо обеспечить поступление холодного ночного воздуха в емкость, заполненную камнем. Днем при открытом клапане воздух с улицы будет поступать в помещение, охлаждаясь от камней.

Устройство каменной аккумулирующей системы в здании проще, чем устройство водяной, поскольку первая не требует установки герметичной емкости. Более того, такая емкость, изолированная стекловолокном, может быть весьма дорогостоящей.

Чтобы избежать потери тепла, аккумулирующую емкость следует обеспечить соответствующей теплоизоляцией. Аккумулирующая емкость должна быть установлена так, чтобы теплопотери от нее поступали в помещение в качестве дополнительного тепла. Аккумулирующую емкость следует располагать внутри жилого помещения, а для повышения эффективности целесообразно размещать ее как можно ближе к коллектору.

Система должна быть запроектирована таким образом, чтобы жидкость, поступающая в коллектор, имела минимальную температуру, а тепло от коллектора поступало в самую нагретую часть емкости. Емкость следует устанавливать вертикально, чтобы обеспечить расслоение потока и уменьшить перемешивание.

7.2.3.1. Скрытая аккумуляция тепла (использование энергии фазовых переходов). Теплоту плавления, которая может быть аккумулирована или высвобождена из материала при его переходе из одной фазы в другую, рассчитывают по формуле

$$Q = mL,$$

где Q — количество тепла, аккумулируемого или высвобождаемого; m — масса материала; L — теплота фазового перехода.

Материалы, легко изменяющие свое фазовое состояние, обладают большой аккумулирующей способностью на единицу объема, поэтому они могут накапливать большее количество тепла при меньших объемах.

Есть два основных типа материалов, которые можно использовать для аккумулирования тепловой энергии: гидраты солей и парафины (табл. 7.3).

Таблица 7.3. **Аккумулирующие материалы с переменным фазовым состоянием**

Материалы	Точка плавления, °С	Теплота плавления, кДж/кг	Удельная теплоемкость, кДж/м^3
Гидраты солей:			
$Na_2SO_4 \cdot 1/2\,NH_4Cl \cdot 1/2\,NaCl \cdot 10H_2O$	12,8	181	268 265
$K_2HPO_4 \cdot 6H_2O$	11,1–13,3	109	182 570
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	47,2	154	285 032
$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	45–58,9	209	342 784
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ (глауберова соль)	32,2	251	268 865
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	115	165	258 578
Воскообразные вещества:			
парафин С14-С16	1,7–7,2	152	118 670
парафин С15-С16	4,4–10	153	119 229
деканол-1	4,4–7,2	206	171 019
парафин С-14	1,7–4,4	165	127 426
парафин С-16	14,4–18,3	200	156 116
парафин Р116	46,7	209	163 195
Пластики:			
полиэтилен высокой плотности	110–123,9	251	268 266

Сульфат натрия и глауберова соль считаются наиболее перспективными дешевыми материалами, которые можно использовать для аккумуляции тепловой энергии, особенно в системах солнечного отопления и охлаждения. Глауберова соль имеет большую удельную теплоемкость (368 865 кДж/м^3) и плавится при температуре 32,2 °С, это делает ее удобной для применения в жилищном строительстве. При добавлении других солей ($NaCl$ и NH_4Cl) температура плавления глауберовой соли может быть снижена до 7,7–17,8 °С, что позволит использовать ее в системах кондиционирования воздуха. К недостаткам систем аккумулирования скрытого тепла можно отнести следующие:

1) нестабильность работы;

2) тенденцию к переохлаждению, заставляющую вводить кристаллизационные реагенты;

3) низкую теплопроводность в твердой фазе, уменьшающую теплопередачу;

4) уменьшение объема при переходе в твердую фазу, что также снижает теплопередачу;

5) высокую стоимость емкостей и применяемых материалов.

7.2.3.3. Получение тепла от аккумулирующей емкости. Чтобы аккумулированная в емкости энергия превратилась в полезную, ее необходимо преобразовать в самой системе. Передача аккумулированной теп-

ловой энергии из накопителя в жилые помещения может быть осуществлена с помощью воды или воздуха. Тепло, накопленное в аккумуляторе, передается затем воде, которая может быть направлена в радиаторы или в систему трубопроводов, уложенных в полу, либо направлена в теплообменник для подогрева воздуха, нагнетаемого в помещение. Нагретый воздух подается через систему воздуховодов для поддержания необходимых параметров воздуха в помещении. Самый простой и дешевый из приборов — это конвектор; однако он имеет существенный недостаток — его невозможно использовать для системы кондиционирования воздуха.

В системах, где теплоносителем служит воздух, а в качестве аккумулятора тепла используется камень, распределение тепла осуществляется путем подачи предварительно прошедшего через аккумулятор и нагревшегося в нем воздуха по помещениям. Достоинство этой системы заключается в том, что ее можно использовать для кондиционирования и контроля влажности.

7.3. ПОДСИСТЕМА (ОБЪЕДИНЕННАЯ) ОТОПЛЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ

7.3.1. Системы отопления с прямым теплообменом. В настоящее время системы отопления с прямым теплообменом получили наиболее широкое распространение главным образом из-за их простоты и эффективности преобразования солнечной энергии в тепловую.

Схема работы системы показана на рис. 7.12. Вода с помощью насоса № 1 (центробежный насос для горячей воды с электроприводом и малой подачей около 40 л/ч на 1 м^2 поверхности коллектора) циркулирует в системе. Она забирается из аккумулирующей емкости (емкость САТЭ*), проходит через абсорбер, где нагревается, а затем возвращается в верхнюю часть емкости САТЭ. Размеры плоского абсорбера рассчитывают в зависимости от объема отапливаемых помещений, типа теплоизоляции, используемой в конструкции здания, объема инфильтрации и прочих параметров, определяющих теплопотери здания.

Если плоский коллектор расположен ниже емкости САТЭ и рядом с ней, то необходимость в насосе отпадает, так как циркуляция создается за счет термосифонного эффекта. Поступление потока воды через коллектор автоматически регулируется тепловым градиентом (разница температур холодной воды, подаваемой в коллектор, и нагретой воды, поступающей в емкость САТЭ).

Основные недостатки системы, использующей термосифонный эффект, заключаются, во-первых, в том, что ее невозможно регулировать вручную, и, во-вторых, емкость САТЭ должна быть расположена максимально близко к коллектору и выше него.

Во избежание повреждения солнечного коллектора трубопроводы, по которым движется теплоноситель между коллектором и емкостью САТЭ, должны представлять собой закрытую систему — если температура наружного воздуха может опускаться ниже точки замерзания жидкости. В этом случае в жидкость необходимо добавлять этиленгликоль. На участке системы между коллектором и резервуаром САТЭ желательно предусмотреть установку водо-водяного теплооб-

*САТЭ — система аккумуляции тепловой энергии.

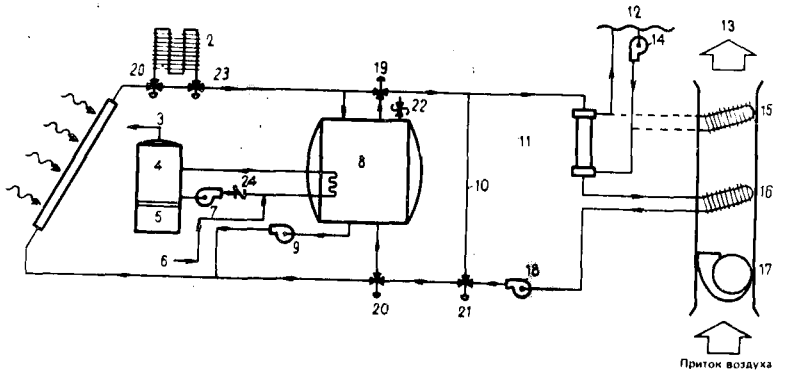


Рис. 7.12. Схема солнечной системы отопления с теплообменником прямого действия. Дополнительная система отопления и система управления применяются для жилых зданий

1 — солнечный коллектор; 2 — теплообменник коллектора; 3 — система горячего водоснабжения; 4 — водонагреватель; 5 — дополнительная топка; 6 — система холодного водопровода; 7 — насос № 3; 8 — аккумулятор тепла; 9 — насос № 1; 10 — обводная линия солнечной системы; 11 — теплообменник дополнительной системы теплоснабжения; 12 — дополнительная система теплоснабжения; 13 — кондиционированный воздух; 14 — насос № 4; 15 — возможное место установки дополнительного теплообменника; 16 — оребренный спиральный теплообменник; 17 — вентилятор; 18 — насос № 2; 19 — регулятор № 1; 20 — регулятор № 2; 21 — регулятор № 3; 22 — регулятор № 23; 23 — регулятор № 24; 24 — регулятор № 5

менника. В систему должно быть включено устройство, опорожняющее коллектор, когда температура наружного воздуха опускается ниже точки замерзания теплоносителя, и возвращающее теплоноситель в емкость САТЭ.

Тепло, которое подается из емкости САТЭ, проходит через водоводяной теплообменник, установленный в емкости, затем оно направляется на ребристый теплообменник, расположенный в приточной системе вентиляции.

Если температура в емкости САТЭ достигает минимального рабочего значения (35 °С), то теплоноситель через обводную линию направляется в дополнительный подогреватель.

Горячее водоснабжение можно осуществлять путем установки в емкости САТЭ теплообменника горячего водоснабжения.

7.3.2. Абсорбционная система солнечного охлаждения. Основные элементы, применяемые в системе солнечного отопления, могут быть использованы и для абсорбционной системы кондиционирования воздуха. Солнечные абсорбционные системы охлаждения находят применение в жилищном строительстве.

В настоящее время существует только один типоразмер абсорбционной установки охлаждения, которая может работать в составе системы солнечного охлаждения — это установка "Аркла-501". В ней в качестве рабочей жидкости используется литиево-бромистый раствор ($Li-Br$).

Схема работы абсорбционной системы охлаждения показана на рис. 7.13 и 7.14. В $Li-Br$ системе вода служит в качестве хладагента,

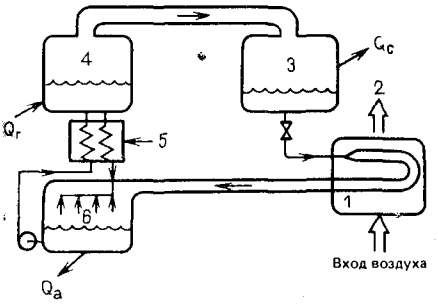


Рис. 7.13. Схема абсорбционной системы охлаждения
1 — испаритель; 2 — подача воздуха в помещение; 3 — конденсатор; 4 — генератор; 5 — рекуператор; 6 — абсорбер

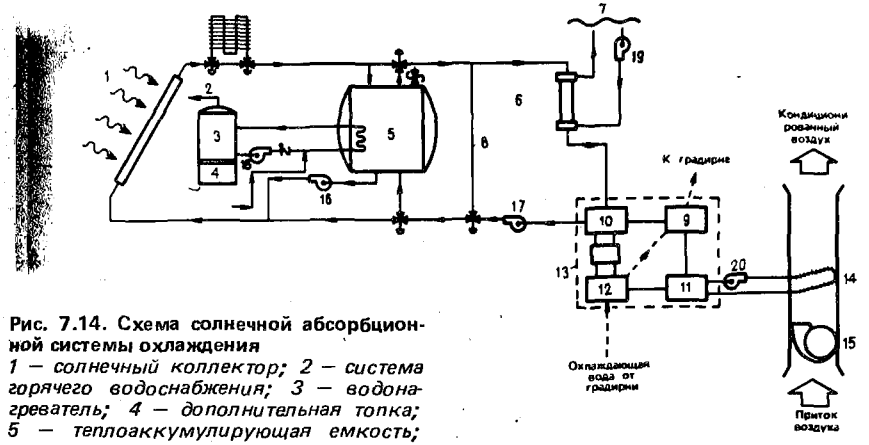


Рис. 7.14. Схема солнечной абсорбционной системы охлаждения
1 — солнечный коллектор; 2 — система горячего водоснабжения; 3 — водонагреватель; 4 — дополнительная топка; 5 — теплоаккумулирующая емкость; 6 — теплообменник дополнительной системы отопления; 7 — дополнительная система отопления; 8 — обводная линия солнечной системы; 9 — кондиционер; 10 — генератор; 11 — испаритель; 12 — абсорбер; 13 — абсорбционный кондиционер; 14 — оребренный спиральный теплообменник или водяной теплообменник; 15 — вентилятор; 16 — приток воздуха; 17 — насос № 1; 18 — насос № 2; 19 — насос № 3; 20 — насос № 4

а Li – Br абсорбента. Водный раствор Li – Br (50–60%) нагревается в генераторе, получающем тепло от солнечного коллектора, до температуры около 75 °С, при которой вода из раствора испаряется. Обогащенный Li – Br раствор возвращается в абсорбер, а водяной пар направляется в конденсатор, где отдает тепло. Затем конденсат через выходной клапан поступает в испаритель, давление в котором значительно ниже, чем давление в конденсаторе, поэтому вода в нем испаряется при температуре приблизительно 4,4 °С, отбирая тепло и выполняя роль охладителя. Охлажденный конденсат поступает в абсорбер, где смешивается с концентрированным раствором Li – Br. Абсорбируемая раствором Li – Br вода отдает содержащееся в ней тепло. Затем раствор Li – Br перекачивается в генератор, нагревается, испаряя воду, и цикл повторяется [11].

Довольно высокие рабочие температуры (80–100 °С), обеспечивающие работу абсорбционной системы охлаждения, влекут за собой довольно строгие требования, предъявляемые к проектированию коллектора. Важно отметить, что охлаждающая способность абсорбцион-

ной установки зависит не только от температуры жидкости, поступающей в генератор, но и от разницы температур жидкости, поступающей в генератор, и охлаждающей воды, поступающей в теплообменник.

Например, нормальная рабочая температура в генераторе машины "Аркла-501" составляет 100 °С, а температура выходящей охлаждающей воды —29 °С. Если рабочая температура в генераторе снизится до 80 °С, то температура охлаждающей воды для поддержания той же производительности по холоду должна быть 18 °С. (При понижении температуры в генераторе на каждые 3 °С температура воды должна быть снижена на 2 °С.) Поэтому чем ниже температура получаемой воды из градирни или от другого охлаждающего устройства, тем меньшую температуру должен обеспечивать коллектор для работы абсорбционной системы.

Абсорбционная система охлаждения работает по схеме, приведенной на рис. 7.13 с дополнительным подключением абсорбционной установки кондиционирования и градирни (см. рис. 7.14).

Для обеспечения циркуляции горячей воды (80 °С) между емкостью САТЭ и генератором абсорбционного кондиционера должен быть предусмотрен насос № 2. Абсорбционный кондиционер направляет холодную воду в спиральный теплообменник, который выполняет функцию водовоздушного теплообменника. Охлажденный с его помощью воздух затем подается в помещение через приточную систему вентиляции.

7.3.3. Охлаждение — цикл Стирлинга (компрессионный). Температуры, необходимые для обеспечения компрессионного цикла, легко достижимы с помощью концентрирующих коллекторов.

Рассматриваемая здесь компрессионная система со свободным поршнем разработана в университете штата Огайо проф. В. Билом и С.А. Люисом. Преимущества этой системы перед обычными компрессионными установками заключаются в следующем:

- исключительная простота устройства: мотор имеет две движущиеся части и одну имеет компрессор;
- высокая энергетическая эффективность;
- минимальная потребность в обслуживающем персонале и высокая долговечность;
- очень низкая стоимость.

В обычной компрессионной системе солнечная энергия используется для нагрева легкорасширяющегося газа, который приводит в действие поршень. Газ, обычно гелий или водород, находится в закрытом сосуде и нагревается через стенки рабочего цилиндра. В конце рабочего хода поршня охладитель (обычно вода) отбирает отходящее тепло. Второй поршень, работающий в противофазе с рабочим, перекачивает охладившийся рабочий газ, который затем нагревается, и цикл повторяется. Энергия газа переводится во вращательное движение. Именно эту часть Бил и Люис решили иначе. В предложенной ими компрессионной установке вращательное движение заменено возвратно-поступательным, которое обеспечивается инерцией компрессора.

Порядок работы компрессионной машины Била и Люиса следующий (рис. 7.15). Рабочий газ *1*, нагреваясь, поднимает вверх газовый поршень *2*. Упругий газ *4* сжимается в компрессионной камере. Поскольку давление упругого газа выше, чем давление рабочего газа,

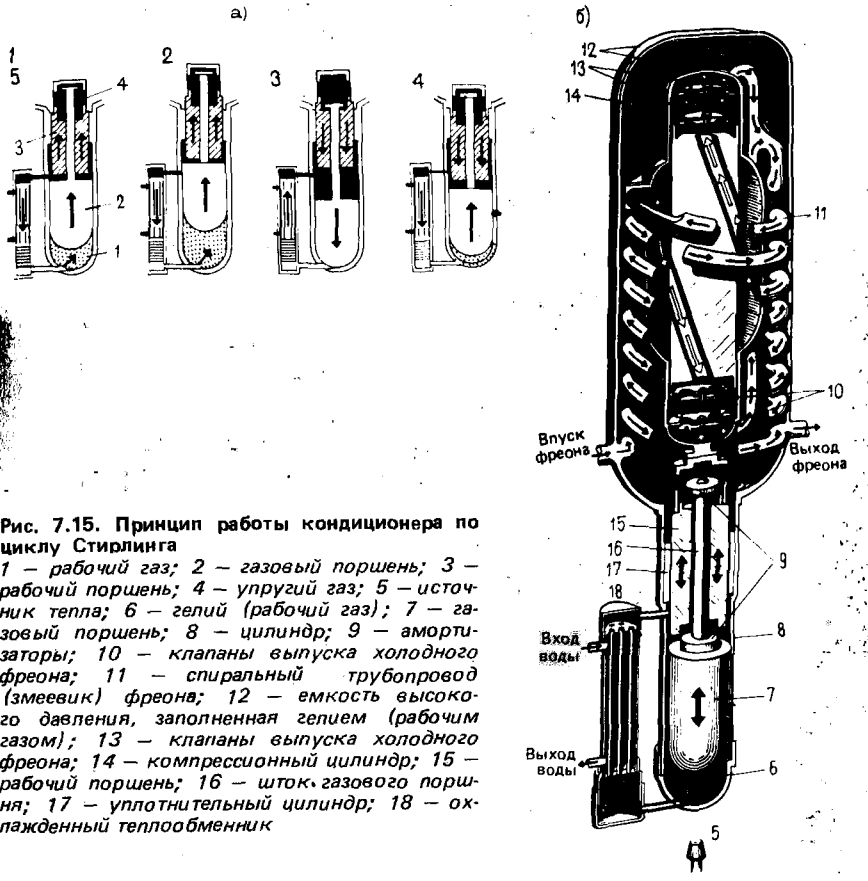


Рис. 7.15. Принцип работы кондиционера по циклу Стирлинга
1 — рабочий газ; 2 — газовый поршень; 3 — рабочий поршень; 4 — упругий газ; 5 — источник тепла; 6 — гелий (рабочий газ); 7 — газовый поршень; 8 — цилиндр; 9 — амортизаторы; 10 — клапаны выпуска холодного фреона; 11 — спиральный трубопровод (змеевик) фреона; 12 — емкость высокого давления, заполненная гелием (рабочим газом); 13 — клапаны выпуска холодного фреона; 14 — компрессионный цилиндр; 15 — рабочий поршень; 16 — шток газового поршня; 17 — уплотнительный цилиндр; 18 — охлажденный теплообменник

газовый поршень движется вниз, вытесняя рабочий газ в теплообменник, в котором тепло из рабочего газа отбирается.

Холодный рабочий газ под воздействием газового поршня *7* сжимается. Рабочий газ сжимается под воздействием рабочего поршня *3*, который поднимается вверх и вытесняет холодный газ в нагретый объем.

Влияние инерции компрессора кондиционера выражается в следующем. Компрессор приводится в действие за счет возвратно-поступательного движения газового поршня. Компрессионный цилиндр связан с газовым поршнем. Фреоновые трубы располагаются по спирали вдоль поверхности цилиндра. Инерционное тело, обладающее большой массой, остается неподвижным. Фреон, попеременно проходя через верхний и нижний клапаны, сжимается между инерционным телом и цилиндром. Давление заставляет фреон двигаться по трубам.

7.3.4. Комбинированные системы отопления-охлаждения с тепловыми насосами. Тепловой насос — это устройство, которое передает тепло от одного температурного уровня на другой температурный уровень посредством компрессора с электроприводом. Практически

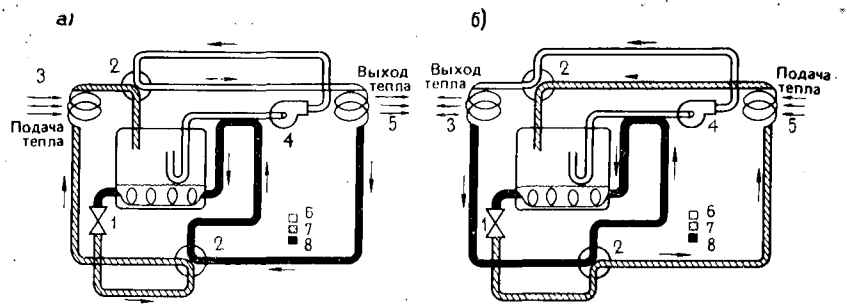


Рис. 7.16. Схема работы теплового насоса в режиме отопления *а* и охлаждения *б*
1 — клапан расширительного резервуара; 2 — клапан; 3 — наружное пространство; 4 — компрессор; 5 — внутреннее пространство; 6 — пар; 7 — пар — жидкость; 8 — жидкость

нет разницы между рабочим циклом теплового насоса и компрессионного холодильника, за исключением того, что тепловой насос может работать как в режиме обогрева, так и в режиме охлаждения. Когда насос отбирает тепло от источника с низкой температурой и передает его на более высокий уровень, то он работает в режиме обогрева. Если же он отбирает тепло на высоком температурном уровне и отдает его на более низком, значит от работает в режиме охлаждения.

В обычном компрессионном холодильном цикле механический компрессор используется для перекачки паров хладагента из испарителя в конденсатор. В цикле обогрева наружный теплообменник работает как испаритель, отбирая тепло из наружного воздуха и передавая его в помещение. Во время работы в цикле охлаждения движение потока хладагента реверсируется с помощью четырехходового крана. Схема работы теплового насоса в режимах обогрева и охлаждения приведена на рис. 7.16.

Тепловой насос представляет собой весьма эффективный и легко управляемый механизм для отопления и охлаждения; кроме того, в настоящее время это наиболее экономичное устройство для преобразования электрической энергии в тепловую. Коэффициент преобразования (или показатель эффективности, с которой тепловой насос может преобразовать электрическую энергию в тепловую) при оптимальных условиях равен 3—4. Это значит, что на каждую единицу электрической энергии, подводимой к компрессору, он может вырабатывать 3—4 единицы тепла или холода.

При работе теплового насоса в отопительном режиме использование солнечной энергии дает возможность увеличить его эффективность, так как создает больший энергетический потенциал по сравнению с холодным окружающим воздухом, и, следовательно, позволяет уменьшить количество электроэнергии, потребляемой самим тепловым насосом.

7.3.5. Комбинированные системы отопления—охлаждения с тепловыми насосами, работающими от солнечной энергии в режиме отопления (рис. 7.17). Солнечная энергия накапливается плоским коллектором и передается в емкость САТЭ. Линия, по которой передается

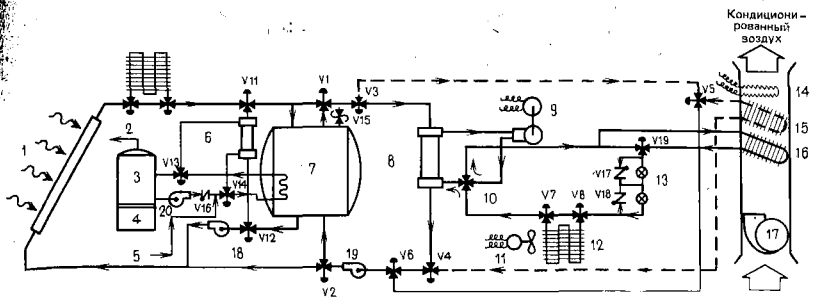


Рис. 7.17. Схема системы солнечного отопления с тепловым насосом
1 — солнечный коллектор; 2 — система горячего водоснабжения; 3 — водонагреватель; 4 — дополнительная топка; 5 — система холодного водоснабжения; 6 — теплообменник системы горячего водоснабжения; 7 — теплоаккумулирующая емкость; 8 — теплообменник внутри помещения; 9 — компрессор с электроприводом; 10 — четырехходовой кран; 11 — наружный вентилятор; 12 — наружный теплообменник; 13 — расширительные клапаны; 14 — дополнительный электронагреватель; 15 — вторичный теплообменник; 16 — первичный теплообменник; 17 — вентилятор; 18 — насос № 1; 19 — насос № 2; 20 — насос № 3

энергия от емкости САТЭ к тепловому насосу, состоит из насоса № 2, внутреннего теплообменника и управляющих клапанов V1 — V6. Внутренний теплообменник водоводяного типа для теплового насоса выполняет функцию испарителя, когда жидкость в емкости САТЭ используется в качестве источника тепла для отопления, либо когда емкость работает в режиме охлаждения и жидкость слита.

В систему теплового насоса входят компрессор с электроприводом, наружный оребренный теплообменник и вентилятор с электроприводом. Если применяется тепловой насос типа "воздух-воздух", то система подачи воздуха состоит из вентилятора и системы приточных воздуховодов. В случае когда температура окружающего воздуха выше, чем температура в емкости САТЭ, для работы теплового насоса может использоваться наружный воздух или другой низкопотенциальный источник тепла.

В режиме охлаждения тепловой насос работает как обычная испарительная компрессионная система охлаждения; при этом емкость САТЭ служит для аккумулирования избыточного холода. В этом режиме тепловой насос не использует солнечное тепло. Тепловой насос можно применять при внепиковых нагрузках по охлаждению и внепиковых расходах электроэнергии в сети для того, чтобы, покрывая умеренные нагрузки по холоду, создавать запас холода в емкости САТЭ.

7.3.6. Комбинированная система отопления—охлаждения с тепловым насосом, работающим по циклу Ренкина, использует тепло, вырабатываемое плоским коллектором для привода двигателя, работающего по циклу Ренкина. Двигатель, в свою очередь, приводит в действие компрессор обычного теплового насоса. Одно из преимуществ этой системы заключается в том, что двигатель, работающий по циклу Ренкина, может быть совмещен с генератором для выработки электроэнергии, когда есть избыток солнечного тепла. Этот же генератор может быть реверсивным, и при использовании тока от внешнего источ-

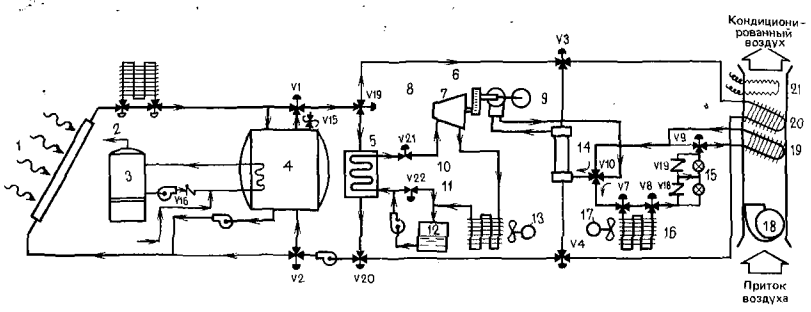


Рис. 7.18. Схема системы охлаждения по Ренкину
1 — солнечный коллектор; 2 — система горячего водоснабжения; 3 — водонагреватель; 4 — теплоаккумулирующая емкость; 5 — бойлер; 6 — компрессор; 7 — редуктор; 8 — первичный двигатель; 9 — двигатель; 10 — дросселирующий клапан; 11 — обводной клапан; 12 — грязевик; 13 — конденсатор, охлаждаемый вентилятором; 14 — внутренний теплообменник; 15 — расширительные клапаны; 16 — наружный теплообменник; 17 — вентилятор; 18 — вентилятор; 19 — первичный спиральный теплообменник; 20 — вторичный спиральный теплообменник; 21 — дополнительный электроподогреватель

ника он может использоваться в качестве привода компрессора или вспомогательного двигателя.

Солнечная система охлаждения, работающая по циклу Ренкина, аналогична схеме теплового насоса, работающего совместно с солнечной установкой. Ее отличие состоит в том, что контур двигателя включен между емкостью САТЭ и контуром двигателя теплового насоса. Так как работа системы по циклу Ренкина в режиме отопления аналогична работе теплового насоса, рассмотрим ее работу только в режиме охлаждения (рис. 7.18).

Солнечная система охлаждения может работать в двух вариантах: используя солнечную энергию, приводить в действие компрессор теплового насоса, или же реверсивный дополнительный двигатель может быть использован для обеспечения работы компрессора в обычном режиме. Выходной вал двигателя Ренкина соединен с компрессором теплового насоса с помощью муфты таким образом, что может работать в режиме охлаждения.

Работа коллектора, трубопровода горячей воды и системы регулирования подачи воздуха аналогична работе системы прямого теплообменника и системы с тепловым насосом и вспомогательной солнечной системой.

7.4. ВЗАИМОСВЯЗЬ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ С АРХИТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНЫМИ РЕШЕНИЯМИ ЗДАНИЙ

При проектировании зданий, использующих солнечную энергию для отопления и охлаждения, основная задача состоит в том, чтобы создать помещения с оптимальным потреблением энергии. В настоящее время системы солнечного отопления и (или) охлаждения рассматриваются с точки зрения сравнения их характеристик с характеристиками традиционных систем вместо анализа их собственных

уникальных параметров. Настала пора разработать особую методику проектирования, которая более полно учитывает естественные процессы и позволяет создать здание, воспринимающее как положительное, так и отрицательное влияние температур, влажности, ветра и солнечной радиации без использования механических систем. Только тогда, когда этого удастся достигнуть, будет возможно применение в полной мере систем солнечной энергии.

7.4.1. Архитектурные соображения и коллектор. Коллектор становится доминирующим элементом вследствие его больших размеров и требований к ориентации. Существуют два основных решения: коллектор включается в конструкцию крыши или помещается на земле.

Совмещение коллектора с крышей позволяет частично уменьшить его стоимость, так как уменьшается стоимость кровельных материалов. Если с конструкцией крыши предполагается совместить плоский коллектор, то уклон крыши и ее ориентация будут зависеть от условий его работы. Как уже было отмечено выше, оптимальный угол наклона плоского коллектора системы отопления (см. разд. 7.2) равен значению географической широты плюс 12—15°, а наилучшей ориентацией будет 10° к западу от южного направления. При проектировании зданий с "оптимальным" углом наклона коллектора и ориентацией не удастся избежать монотонности. Однако есть ряд приемов, применение которых позволит избежать монотонности и в то же время обеспечить нормальные условия работы солнечной системы. Другими словами, хотя южная ориентация коллектора оптимальна с точки зрения получения максимального количества солнечной радиации, в то же время коллектор, повернутый на 45° от южного направления, будет работать также достаточно эффективно, что дает весьма большой выбор ориентации зданий*.

Размещение коллектора на земле. Установка коллектора отдельно от здания создает бóльшую свободу в выборе архитектурно-строительных решений самого здания. Однако в этом случае коллектор уже не может выполнять две функции — собственно коллектора и ограждающей конструкции. Размещение коллектора на земле приводит к теплопотерям с внутренней его стороны, между тем установка коллектора на крыше позволяет использовать это тепло для отопления помещений. При автономной установке коллектора возникает необходимость устройства теплопроводов, что влечет за собой увеличение теплопотерь и повышение стоимости систем. Если защитное покрытие коллектора выполнено из стекла, необходимо принять меры, предотвращающие повреждение его наземным транспортом.

Выбор размеров коллектора и возможности их уменьшения. Масса коллектора и его размеры накладывают довольно строгие ограничения на конструктивные элементы, поэтому возникает необходимость тщательно проанализировать пути уменьшения размеров.

На каждые 2 м^2 площади здания требуется 1 м^2 площади поверхности коллектора. Это общее положение, которое отражает принцип приближенного определения размеров коллектора. Методика точного определения размеров коллектора приведена в разд. 7.5.

Один из способов уменьшения площади коллектора — применение

---

*См. примеч. науч. ред. на с.112

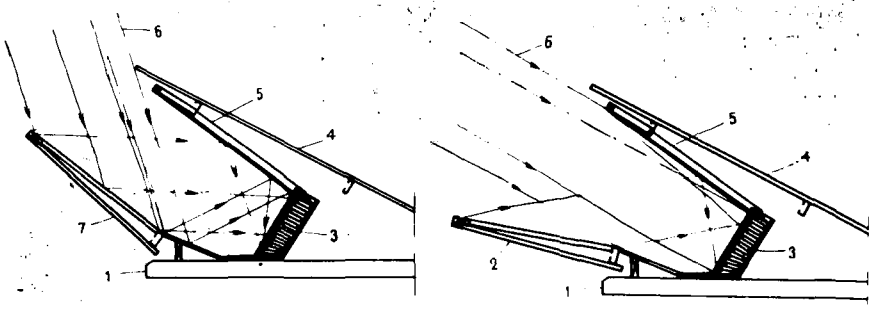


Рис. 7.19. Схема солнечного коллектора с пирамидальным концентратором
1 — потолочные балки; 2 и 7 — отражатели, ориентированные согласно углу падения солнечных лучей; 3 — коллектор 600х2400 мм; 4 — угол наклона крыши 27,5°; 5 — верхняя сторона пирамиды, угол наклона 35°; 6 — угол падения солнечных лучей в полдень

отражающих поверхностей, которые фокусируют солнечную энергию на коллекторе. Уормсеровским научным обществом в Стэмфорде (шт. Коннектикут) предложена конструкция солнечной системы отопления, использующей пирамидальную отражательную систему, установленную в чердачном помещении здания.

Пирамида или концентратор монтируется между стропилами, балками перекрытия и двумя вертикальными боковыми панелями. Внутренняя поверхность пирамиды покрыта алюминированной пленкой. В меньшем основании пирамиды устанавливается обычный плоский коллектор (рис. 7.19). Большее основание пирамиды, ориентированное на юг, крепится на петлях и может опускаться, занимая наиболее выгодное положение по отношению к углу падения солнечных лучей (см. рис. 7.19).

Эта система имеет ряд достоинств [13]:

- площадь, а следовательно, размеры, масса и стоимость коллектора уменьшаются прямо пропорционально количеству света, отраженного пирамидой. Уменьшение площади может составить от 2- до 6-кратного;
- температура, которую можно получить от солнечного коллектора, прямо пропорциональна количеству энергии, падающей на единицу его поверхности, поэтому температура, получаемая в коллекторе при такой конструкции, позволяет использовать его для абсорбционной системы кондиционирования воздуха;
- теплопотери от панели коллектора уменьшаются прямо пропорционально площади его поверхности;
- подвижная панель рефлектора может быть установлена под наиболее оптимальным углом к солнцу;
- применение подвижной панели рефлектора позволяет избежать устройства сложной системы слежения за солнцем;
- эта система может быть легко установлена в чердачном помещении любого здания.

7.4.2. Архитектурные принципы установки аккумулирующей системы. Установка в здании аккумулирующей системы не требует каких-либо особых архитектурных решений, за исключением выбора достаточной площади и обеспечения доступа. Обычно эту систему устанавливают в подвале. Ее следует помещать в середине здания, чтобы избежать теплопотерь через стены или необогреваемые помещения. Она может быть одним из элементов конструкции здания и выполнять помимо основной функции также функцию стены или пола.

7.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ СИСТЕМЫ

Приводимые формулы дают возможность сделать предварительные подсчеты, но они не предназначены для детальных расчетов. Они позволяют проследить взаимосвязь между количеством солнечной радиации, тепловыми характеристиками коллектора, его размерами и системой аккумулирования тепла. Формулы приводятся по работе Эдварда Хоскинса "Солнечная энергия и жилище".

Тепловая эффективность плоского коллектора может быть вычислена по формуле*

$$q_п = 0{,}64\left[q_а - u_п(t_т - t_в)\right], \qquad (7.1)$$

где $q_п$ – полезное количество тепла, вырабатываемое коллектором, Дж/м^2 поверхности коллектора в сутки; $q_а$ – количество энергии, абсорбируемое коллектором, Дж/м^2 поверхности коллектора в сутки; $u_п$ – общий коэффициент теплопотерь; $t_т$ – температура теплоносителя на входе в коллектор (принимается на 11 °С ниже температуры поверхности коллектора); $t_в$ – среднесуточная температура наружного воздуха; 0,64 – средний коэффициент, учитывающий характеристики потока теплоносителя в коллекторе и общую эффективность коллектора.

$$q_а = f(I), \qquad (7.2)$$

где I – общее количество солнечной радиации, падающей на поверхность коллектора, Дж/м^2; f – часть солнечной радиации, которая эффективно используется коллектором.

Общая площадь поверхности коллектора может быть определена по формуле

$$A_к = Q_к / q_п, \qquad (7.3)$$

где $q_п$ – полезное количество тепла, определяемое по формуле (7.1); $Q_к$ – полная суточная выработка тепла коллектором, вычисленная по формуле

$$Q_к = Q_с + Q_в, \qquad (7.4)$$

где $Q_с$ – суточное количество теплопотерь здания (см. разд. 3.7); $Q_в$ – суточное количество тепла, направляемого на аккумулирование,

$$Q_в = Q_к\left(\frac{1}{Z}\right); \qquad (7.5)$$

$$Q_{ак} = n\,Q_{ср} - n\,Q_{спа}, \qquad (7.6)$$

где $Q_{ак}$ – количество полезного тепла в аккумуляторе, Дж; n – число суток, в течение которых требуется аккумулирование тепла (3 суток экономически оптимальны); $Q_{ср}$ – расчетное суточное количество теплопотерь (см. разд. 3.7); $Q_{спа}$ – суточное количество неутилизируемых потерь из аккумулирующей емкости; Z – число последовательно ясных дней зимой (определяется по данным бюро прогнозов).

---

*Более точно формула может быть представлена в виде $q_п = [(\tau\alpha)I - u_п(t_т - t_в)]$. (*Примеч. науч. ред.*).

Количество аккумулирующего материала рассчитывается по формуле

$$V_{ак} = \frac{Q_{ак}}{q_{ак}}, \qquad (7.7)$$

где $V_{ак}$ – объем аккумулирующего материала, м^3; $Q_{ак}$ – количество полезного тепла в аккумулирующей емкости [см. (6)]; $q_{ак}$ – количество тепла в аккумулирующей емкости, Дж/м^3.

Количество тепла в аккумулирующей емкости определяют по формуле

$$q_{ак} = C(t_{макс} - t_{мин}), \qquad (7.8)$$

где $q_{ак}$ – количество тепла в аккумулирующей емкости, Дж/м^3; $t_{макс}$ – максимальная температура в аккумулирующей емкости, °С; $t_{мин}$ – минимальная полезная температура в аккумулирующей емкости, зависящая от температуры обратной воды, °С; C – удельная теплоотдача аккумулирующего материала, Дж/(м^3·°С).

7.6. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

В настоящее время вполне уместно разделять технические решения на простые и высокотехнологичные. Основное положение простой технологии можно сформулировать следующим образом: разработка простых решений, простых проблем. Это означает:

- использование более дешевых местных материалов вместо более дорогих и сложных в изготовлении, применение недорогостоящих изделий заводского изготовления;
- максимальный учет особенностей окружающей среды (начиная от выбора материалов и кончая способами производства работ);
- минимальное применение механических систем из-за необходимости периодической замены и постоянного обслуживания;
- минимальное использование процессов преобразования энергии, например тепловой в электрическую, а затем снова в тепловую.

Вероятно, самый простой способ использования солнечной энергии для отопления зданий заключается в их остеклении. Вообще говоря, оно позволяет солнечной радиации поступать в здание и дополнять систему отопления, но приводит к перерасходу стекла. Вместе с тем при правильном решении остекления и всего здания в целом расходы на топливо могут быть на 18–30% ниже обычных. Эффект "зеленого дома" (парниковый эффект), рассмотренный выше, в большей степени объясняется именно этим решением, потому что трава хорошо передает коротковолновое излучение и плохо длинноволновое. Световая энергия переходит в тепловую при соприкосновении с внутренними поверхностями. К сожалению, во многих случаях упускаются из вида, по крайней мере, три важных фактора:

- потери тепла через траву за счет теплопередачи в ночное время;
- теплоемкость внутренних конструкций, которые не могут аккумулировать бóльшую часть тепла, поступающего с солнечной радиацией;
- не определяется время теплоотдачи конструкций в холодные периоды, например ночью.

Если окна не были хорошо герметизированы или закрыты, в ночное время все теплопоступления будут утеряны. Кроме хорошей гер-

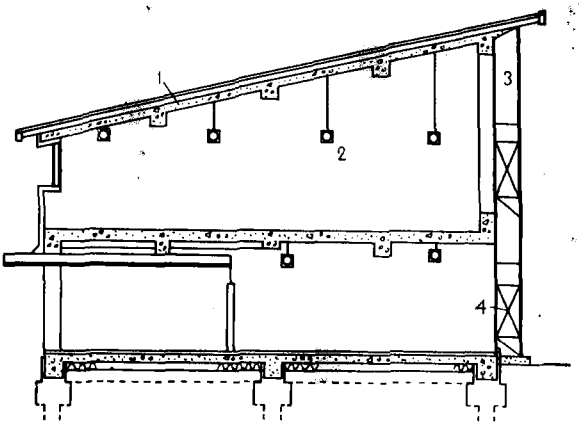


Рис. 7.20. Схема здания школы (разрез)
1 — изолированная крыша; 2 — светильники; 3 — стены с двойным остеклением; 4 — вентилируемые окна

метизации окон необходимо обеспечить высокие теплозащитные свойства ограждающих конструкций. Установка изолирующих ставней может предотвратить большие потери. Прекрасным решением могут быть и окна с гранулированным заполнителем (см. гл. 3).

Если теплоемкость материалов не была определена заранее, часто возникает необходимость в вентилировании помещений в течение суток, что приводит к увеличению затрат на отопление за счет утечки накопленного тепла и большой площади остекления.

Известно, что по некоторым причинам количество солнечной радиации, поступающей в здание зимой, больше, чем поступающей летом. К этим причинам относятся следующие.

1. Летом солнечных часов больше, чем зимой, но из-за более высокого стояния солнца над горизонтом количество энергии, соприкасающейся с поверхностями, ориентированными на юг, меньше. Чаще всего солнце восходит на северо-востоке (например, для 35° северной широты), а заходит на северо-западе. Правда, для каждой широты эти параметры могут изменяться.

2. Зимой солнце стоит ближе к горизонту, чем летом, поэтому светит в окна под углом, близким к 90°, что уменьшает отражение.

3. Радиация, рассеянная вследствие атмосферных процессов, зимой в 2 раза выше, чем летом.

Многие специалисты полагают, что "солнечную стену" следует рассматривать как окна, но вместе с тем считают, что на нее приходятся большие тепловые нагрузки. Чтобы правильно решить все связанные с этим вопросы, проектировщик должен рассматривать систему в целом: "человек — конструкции — освещение — вентиляция". В качестве примера рассмотрим школу в Уолассе, Чешир (53° с.ш.), запроектированную и построенную Э. Морганом в 1961 г. (рис. 7.20).

Здание имеет "солнечную стену" с двойным остеклением, ориентированную на юг, чтобы обеспечить максимальные теплопоступления зимой. Эти теплопоступления вместе с теплопоступлениями от осветительных приборов и тепловыделениями людей поддерживают тепловой режим здания. Морган запроектировал здание в массивных конструкциях (кирпичная стена толщиной 250 мм и покрытие толщиной 175 мм) с теплоизоляцией из полистирола толщиной 125 мм.

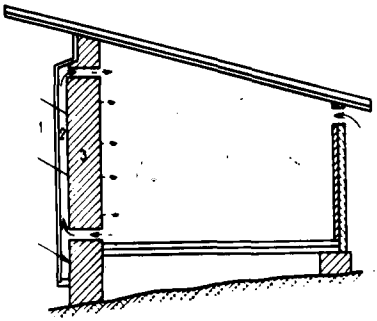


Рис. 7.21. Схема солнечной стены Тромба—Мишеля
1 — двухслойное остекление; 2 — черная поверхность; 3 — бетонная стена, выполняющая функции несущего элемента и аккумулятора тепла

"Солнечная стена" представляет собой конструкцию из двух слоев остекления с толщиной воздушной прослойки 600 мм. Внутреннее стекло затемненное, а наружное полностью прозрачное. Вследствие такой конструкции в помещение попадает рассеянный свет.

Хотя были отмечены недостатки здания (малопривлекательный внешний вид и временами плохая вентиляция помещений), в целом конструкцию следует признать удачной. В частности, была дополнительно смонтирована система горячего водоснабжения. Стены спортивного и актового залов окрасили в черный цвет, теплопоступления регулировали с помощью белых деревянных ставней.

Другой очень удачной конструкцией можно считать "саморегулируемый солнечный дом", имеющий стены, отделанные пластиком серого или черного цвета, которые поглощают солнечную радиацию, а ночью испускают накопленное тепло в помещение. Серые бетонные конструкции также могут быть эффективным аккумулятором тепла. В здании такой конструкции требуется очень хорошая изоляция пола, а также в местах примыкания фундамента и других точках, где возникают "мостики холода" (см. рис. 3.11).

Еще один вариант "солнечной стены" — когда коллектор и аккумулятор входят в конструкцию стены. Очень удачная конструкция такой стены разработана проф. Тромбом и Жаком Мишелем. На рис. 7.21 можно видеть, что она очень проста. Работает стена на основе следующих решений:

- южная стена служит коллектором;
- используется эффект "зеленого дома" (парниковый эффект);
- передача теплого воздуха осуществляется за счет естественной конвекции;
- тепло аккумулируется в теплоемких бетонных конструкциях (запаса тепла хватает на двое суток);
- вентиляционные проемы расположены в верхней и нижней частях стен, позволяя, в случае необходимости, удалять избыточное тепло.

"Зеленый дом" может быть весьма эффективным коллектором солнечной энергии, что особенно ценно для юго-западных районов, где влаговыделения растений не создают дискомфорта для человека. "Зеленый дом" ориентируют на юг, а противоположная окнам черная стена выгораживает жилое пространство. Черная стена абсорбирует радиацию и накапливает ее в своем массиве. Кроме того, под жилыми помещениями может быть размещен каменный аккумулятор, пред-

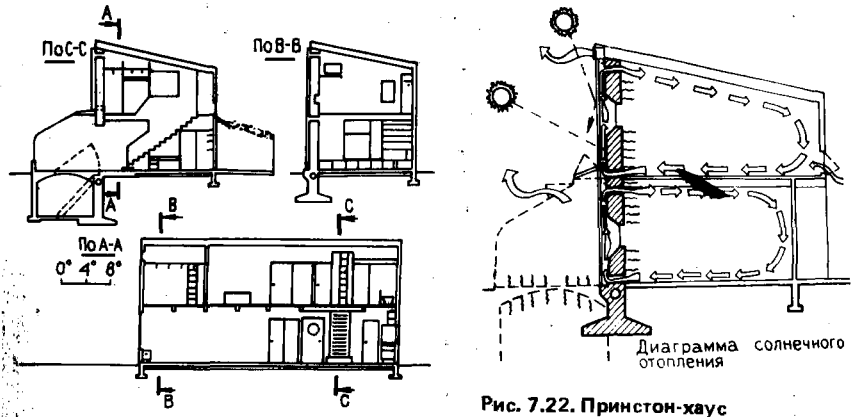


Рис. 7.22. Принстон-хаус

назначенный для накопления избыточного тепла. Возможна установка дополнительного коллектора, поставляющего тепло либо непосредственно в помещение, либо в аккумулятор.

В Принстоне (шт. Нью-Джерси) архит. Доуб Келбаух и его жена запроектировали и построили себе дом, который отапливается с помощью стены Тромба–Мишеля. Общая площадь двухэтажного здания 176 м^2 (рис. 7.22).

Солнечная энергия проходит через двойное остекление с воздушной прослойкой толщиной 150 мм и падает на бетонную стену толщиной 375 мм, имеющую слабоселективное покрытие. Каждая комната, за исключением ванной, примыкает к "солнечной" стене. В состав здания, кроме того, входит "зеленый дом" с двойным остеклением и толстым бетонным полом, выполняющим роль аккумулятора тепловой энергии. Солнце обеспечивает приблизительно 2/3 потребности здания в тепле. Летом здание вентилируется через проемы в стене [15].

Стив Байер из "Зоумуоркс корпорейшн" в Альбукерке (шт. Нью-Мексико) спроектировал и построил дом со стеной из бочек. Это одноэтажное здание имеет 10 комнат, в каждой из которых сделано 10 оконных проемов типа "Зоумуоркс". В здании имеется прозрачная стена, открытая в дневное время; она обеспечивает доступ солнечной радиации к черным бочкам (вместимостью 200 л), наполненным водой. Сзади четырех окон типа "Зоумуоркс" установлены стены из 25 бочек (5х5). Изолирующая рефлективная стена имеет изоляцию из

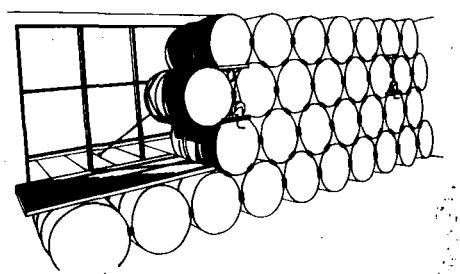


Рис. 7.23. "Цилиндрическая" стена Байера

стирофома, покрытую алюминиевой фольгой, с объемной массой около 7 кг/м^2 [16]. Когда доступ солнечной радиации к бочкам открыт, они получают около 14055,6 Дж тепла на 1 м^2 поверхности коллектора. Стекло предотвращает обратный поток тепла. Ночью остекление заполняется изолирующим материалом, и тепло, накопленное бочками, может поступать только в помещения. Летом наблюдается некоторый охлаждающий эффект, когда в дневное время окна во избежание теплопоступлений заполнены изолирующим материалом, а в ночное время изоляция убирается. По такому же принципу Гарольд Хей построил солнечный дом "Скайтерм хаус" в Калифорнии.

"Скайтерм хаус" находится между Лос-Анджелесом и Сан-Франциско (36^o с.ш.). Он во многом схож со зданием, построенным в Фениксе (см. гл. 4). Крыша имеет аналогичную конструкцию, представляет собой коллектор с четырьмя большими пластиковыми резервуарами, расположенными между пятью алюминиевыми направляющими, которые уложены на стальную крышу с шагом стропил 3,6 м. Средняя толщина слоя воды около 250 мм, а общее количество воды около 26,5 м^3. По направляющим движутся девять больших прямоугольных полиуретановых панелей.

Для аккумуляции тепла днем панели сдвигаются в специальные гаражи, и солнечная энергия абсорбируется водой, находящейся в пластиковых резервуарах. Ночью изолирующие панели либо вручную, либо с помощью электропривода надвигаются на резервуары и побуждают тепло поступать в здание. Для охлаждения летом панелями закрывают резервуары в дневное время, чтобы тепло не накапливалось, а ночью их сдвигают, чтобы создать условия для излучения накопленного за день тепла. Несущие стены здания выполнены из бетонных блоков. Часть пустот в стенах заполнена песком для аккумуляции тепла.

Различные местные условия позволяют использовать и различные источники энергии, конструктивные решения и материалы, что в итоге позволяет создавать наиболее эффективные в данных условиях здания.

Проф. Ш. Бакли разработал солнечную панель "Термодиод", принцип действия которой аналогичен принципу "Скайтерм". Она предназначена для замены отделочных материалов (но не несущих конструкций), имеет размеры 1,2x2,4x0,15 м, выполняет функции коллектора, аккумулятора и регулятора вентиляции и не имеет движущихся элементов.

Каждая панель снабжена регулирующим устройством, с помощью которого можно изменять тепловой поток между наружным и внутренним листами. В регуляторе находятся две трубки, соединенные с наружной и внутренней частями панели. Регулятор заполнен водой, в которую налито масло, формирующее на поверхности тонкую пленку.

При нагревании наружного (сенсорного) слоя вода поднимается и попадает в аккумулирующий слой. Обратное отверстие внизу панели позволяет воде перетекать из аккумулирующего слоя в наружный, создавая конвективный мосток теплообмена. Ночью, когда сенсорный слой охлаждается, масло перекрывает отверстие, прерывая конвективный поток, и теплая вода остается в аккумулирующем слое, излучая тепло в помещение.

В летнее время необходимо, чтобы входное отверстие было свя-

зано с аккумулирующим слоем. Днем масло поднимается и перекрывает отверстие, прерывая конвективный поток. Ночью при охлаждении сенсорного слоя масло вытесняется холодной водой и открывает сообщение между сенсорным и аккумулирующим слоем [17].

Список литературы

1. Winston R. "Solar Concentrators of a Novel Design", Paper presented at ISES Conference, Ft, Collins, Colorado, 1974, p. 22.

2. Hoskins Edward. "Solar Energy and the Natural House", Paper presented at ISES Conference, Ft. Collins, Colorado, 1974, p. A.I(d).

3. Westinghouse Electric Corporation. Solar Heating and Cooling of Buildings, National Science Foundation, 1974, vol. 2, pp. M–10–M–11. (NSF–RA–N–74–023D).

4. TRW. Solar Heating and Cooling of Buildings, National Science Foundation, 1974, vol. 2, p. 3.7–37. (NSF–RA–N–74–022B)

5. Op. cit. Westinghouse Electric Corp., p. M–14.

6. Yellott John. "Solar Energy Utilization for Heating and Cooling", ASHRAE 1974 Applications Handbook, p. 59.13.

7. Op. cit. Westinghouse Electric Corp., p. M–16.

8. Ibid., pp. M–17–M–19.

9. Tybout R.A. and G. Lof. "Solar House Heating", Natural Resource Journal, vol. 10, April 1970, p. 4.

10. Op. cit. Westinghouse Electric Corp., p. M–35.

11. Op. cit TRW, p. 3.8–30–3.8–31.

12. Lindsley E.F. "Air Conditioning Cold trom Any Source of Heat", Popular Science, August 1974, p. 60.

13. Falbei Gerald. "Solar House Heating Using Reflective Pyramid Optical Condensing System", Paper presented at ISES Conf., Ft. Collins, Colorado, 1974, p. 3.

14. Op. cit. Westinghouse Electric Corp., p. M–12.

15. Kelbaugh D. "Princeton Solar House", Paper delivered to Passive Energy Systems Conference, Albuguerque, N.M., May 1976.

16. Alternative Sources of Energy, Book One, p. 39.

17. Buckley S. "Thermic Diode Solar Panels", Paper presented at the A.S.M.E. Winter Meeting, November, 1974.

Anderson Bruce. Solar Energy and Shelter Design, Master's thesis, College of Architecture, Massachusetts Institute of Technology, 1973.

Bennett Iven. "Monthly Maps of Mean Daily Insolation for the U.S.", Solar Energy, vol. 9, no. 3, July–September 1965.

Bhardwaj R.K., B.K. Gupta and R. Prakash. "Performance of a Flat–Plate Solar Collector", Solar Energy, vol. 11, July–December 1967.

Creen W.P. Utilization of Solar Energy for Air Conditioning and Refrigeration in Florida, Master's thesis, University of Florida, 1936.

Hamilton Richard, ed. Space Heating with Solar Energy, Cabot Solar Energy Research, MIT Press, 1954.

Handbook of Fundamentals (Heating, Refrigerating, Ventilating, and Air Conditioning), published by the American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning, New York, 1974.

Halacy Daniel S. The Coming Age of Solar Energy, Harper and Row, New York, 1964.

Hay, H.R. and J.I. Yellott. "Natural Air Conditioning with Roof Ponds and Movable Insulation", ASHRAE Transactions, vol. 75, pt. 1, 1969, p. 165.

"Heat from the Sun", Architectural Forum, January 1956, vol. 104, no. 1, p. 148.

Hottel H.C. and B.B. Woertz. "The Performance of Flat–Plate Solar–Heat Collectors", ASHRAE Transactions, February 1942, pp. 71–104.

Hottel H., Lawrence A. and A. Whillier. Solar Heating Design Problems.

Solar Energy Research, University of Wisconsin Press, Madison, 1961.

Hoskins Edward. "Solar Energy and the Natural House", Research Report No. 74–7, Cogswell/Hausler Associates, Chapel Hill, North Carolina, 1974.

Boer K. "A Combined Solar Thermal Electrical House", (Paper no. E–H–108, ISES Congress), Paris, 1973.

Burda E.J., ed. Applied Solar Energy Research, Stanford Research Institute, Stanford, California, 1955.

Daniels Farrington, Direct Use of the Sun's Energy, Ballantine Books, New York, 1974.

Daniels Farrington and John Duffie, Solar Energy Research, University of Wisconsin Press, Madison Wisconsin, 1961.

Danz Ernest. Architecture und the Sun, Thames and Hudson, London, 1967.

Davis C.P. and R.L. Lippen. "Sun Energy Assistance for Air–Type Heat Pumps", ASHRAE Transactions, vol. 64, 1958, p. 97.

A Design Approach for Application of a Solar Energy Heating System to a Geodesic Structure, Dept. of Design, Southern Illinois University, 1971.

Farber E.A. "Solar Energy Conversion and Utilization", Building Systems Design, June 1972.

Farber E.A. "Design and Performance of a Compact Solar Refrigeration System", Engineering Progress at U. of Florida, Gainesville, Vol. 24, no. 2, 1970, p. 70.

General Electric. "Solar Heating and Cooling of Buildings", National Science Foundation, May 1974 (NFS–RA–N–74–021 B).

Lof G.O.G. and J.A. Duffie. "Optimization of Focusing Solar Collector Desing", Journal of Engineering for Power, July 1963, pp. 221–228.

"Low Temperature Engineering Applications of Solar Energy", ASHRAE Technical Committee on Solar Energy Utilization, New York, 1967.

MacKillip Andrew. "Living Off the Sun", Ecologist, Wadebridge, Cornwall, England, vol. 3, no. 7, July 1973, pp. 260–265.

Moorcraft Collin. "Solar Energy in Housing", Architectural Design, October 1973, p. 634 (3–part series).

The Mother Earth News Handbook of Homemade Power, Bantam Books, New York, 1974.

Olgyay Aladar. "Solar Heating for Houses", Progressive Architecture, March 1959, pp. 195–203.

"Solar Effects on Building Design", Building Research Institute, Publication No. 1007, 1962.

Swartman R.K., Vinh Ha, and A.J. Newton. "Review of Solar Powered Refrigeration", Paper No. 73–WA/Sol–6, ASME, 1974.

Teagan W.P. and S.L. Sargent. "A Solar–Powered Combined Heating and Cooling System", Paper No. EH–94, ISES Congress, Paris, 1973.

Telkes Maria. "Space Heating with Solar Energy", The Scientific Monthly, vol. 49, no. 6, December 1949.

Telkes Maria. "Storing Solar Heat in Chemicals", Heating and Ventilating, November 1949, p. 80.

Telkes Maria. "Solar Heat Storage", Paper No. 64–WA/SOL–9, ASME, New York, 1964.

TRW. "Solar Heating and Cooling of Buildings", National Science Foundation, NSE/RA/N–44–023 B, 1974. 3 volumes

Whillier Austin. "Principles of Solar House Design", Progressive Architecture, May 1955, pp. 122–126.

Whillier Austin. Solar Energy Collection and Its Utilizationfor House Heating, Master's thesis, M.I.T., 1953.

Zarem A.M. and Duane D. Erway. Introduction to the Utilization of Solar Energy, McGraw Hill, New York, 1963.

8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

Ликвидация как органических, так и неорганических отходов представляет собой серьезную проблему с точки зрения охраны окружающей среды. В последнее время все чаще приходится сталкиваться со случаями загрязнения водоемов сырым осадком городских очистных сооружений. В табл. 8.1 приводится приблизительное количество органических отходов, которые были получены в 1971 г.

Таблица 8.1. **Количество органических отходов в 1971 и 1980 гг.**

Источники образования отходов	1971	1980
Навоз, млн. т/год	200	266
Городские отходы, млн. т/год	129	222
Отходы деревообрабатывающей промышленности, млн. т/год	55	59
Отходы сельского хозяйства и пищевой промышленности[1], млн. т/год	390	390
Промышленные отходы[2], млн. т/год	44	50
Прочие органические отходы, млн. т/год	50	60
Осадки бытовых сточных вод, млн. т/год	12	14
Итого	880	1061
Чистая нефть[3] (в пересчете), млн. баррелей	1098	1330
Чистый газ (в пересчете)[4], млн. м^3	800	95,4

[1] 70% сельскохозяйственных отходов составляют твердые отходы.

[2] Подсчитано на основании реальной цифры в 1971 г. — 110 млн. т.

[3] Подсчитано на основе процесса образования нефти из оксида углерода и воды. Из 1 т сухих органических отходов может быть получено 1,25 барреля нефти.

[4] Подсчитано с учетом выхода метана при сбраживании органических веществ. Норма выхода метана составляет около 1,5 м^3 на 1 кг органических веществ.

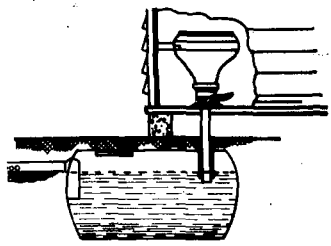
Во многих случаях проблемы, связанные с отходами, вызваны проектными решениями. Случается, что строительство бытовой канализации приводит к увеличению загрязнения окружающей среды или сооружение септика вызывает загрязнение подземных вод. Рассмотрим возможные пути решения этой проблемы (в разд. 8.2—8.6 рассматриваются способы получения энергии из отходов).

8.1. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УДАЛЕНИЯ ОТХОДОВ

Среднее водопотребление в год на одну семью в США составляет около 333 м^3, из них 40% используется на смыв в туалетах [1]. Архитектурный факультет университета Макгил совместно с Брейс резерв институт [2] подготовил обзор альтернативных решений смыва в туалетах. Этот обзор служит первым источником информации по данному вопросу. Способы уменьшения бесполезного сброса воды интересуют не только тех людей, которые проживают в маловодных районах, но и тех, кто заинтересован в уменьшении загрязнения водоемов и в распространении процессов анаэробного сбраживания для осадков сточных вод и получении метана, который может быть использован в хозяйстве.

Уинблэд приводит следующую схему обезвреживания сточных вод: инфильтрация — поглощение и разбавление отходов жизнедеятельности человека в земле и подземных водах; удаление — транспортировка отходов автотранспортом в места слива и обезвреживания; дест-

ис. 8.1. Схема смывного туалета



рукция, при которой отходы сжигаются, и декомпозиция — разложение отходов под воздействием микробиологических процессов.

Инфильтрация — наиболее старый и широко распространенный метод удаления отходов. Он не зависит от наличия воды и температуры, но обусловлен фильтрующей способностью грунта площади поглощения. При устройстве выгребных ям не применяется вода, и обезвреживание идет за счет инфильтрации и сбраживания. Жидкость фильтруется в грунт, а твердая фаза сбраживается. Выгребы не могут применяться на городских территориях из-за медленного течения процесса обезвреживания.

Смывные туалеты потребляют около 1 л воды на каждое пользование, однако их применение допускается лишь в местности, где грунты имеют высокий коэффициент фильтрации и при этом нет опасности загрязнения подземных вод. Система состоит из металлического или бетонного резервуара, иногда разделенного на два или три отсека, в котором поддерживается постоянный уровень воды. Унитаз соединен с резервуаром вертикальной трубой (рис. 8.1). После каждого пользования туалетом добавляемый в емкость 1 л воды вытесняет такое же ее количество, если используется односекционный резервуар. Если же используется двухсекционный (или более) резервуар, то сточная жидкость вытесняется из секции с анаэробным режимом сбраживания в секцию с аэробным режимом. Все газы отводятся из резервуара через вентиляционную трубу, а отходы поступают либо в поглощающий резервуар, либо фильтруются непосредственно в грунт. Осадок в таком сооружении накапливается, и его время от времени необходимо удалять.

Другой наиболее распространенной конструкцией инфильтрирующего типа является септик. Принцип его работы аналогичен смывному туалету, но резервуар отнесен на некоторое расстояние. В этой системе на смыв расходуется около 20 л воды и осадок также необходимо время от времени удалять.

Системы, удаляющие отходы, подразделяются на две группы: ручные и механические. Существует несколько видов ручного удаления (самая простая, когда отходы накапливаются в ведре, затем выливаются, и ведро моется). При этом способе потребляется мало воды и он очень дешев. Однако он негигиеничен и может привести к возникновению ряда проблем.

Химический ручной метод заключается в том, что в ведро добавляются химические вещества, замедляющие разложение отходов и устраняющие запахи. Иногда в месте установки ведра устраивают вытяжную вентиляцию. Сам по себе такой туалет дешев, однако приходится осуществлять некоторые затраты на химикаты, которые к тому же содержат щелок.

В другой системе химического туалета используется насос, подающий жидкие химические вещества на смыв. Это сравнительно дорогая система, и она не решает проблемы удаления отходов. Система применяется на i пассажирских самолетах.

В Швеции получил распространение метод замораживания, при котором отходы накапливаются в пластиковой емкости и затем замораживаются. Метод гигиеничен, а отходы можно легко уничтожить. Для его осуществления не требуется вода, но необходимы газ или электричество. Капитальные вложения в установку достаточно велики, но эксплуатационные расходы незначительны.

Так же в Швеции разработан "пакетный" туалет, в котором отходы собираются в небольших пластиковых пакетах, а затем собираются в большую пластиковую емкость. Метод не требует воды, электроэнергии или потенциально опасных химикатов, но требуется периодическое опорожнение емкости.

Наибольшее распространение в практике имеет сплавная система, при которой используются смывные туалеты; стоки по системе трубопроводов поступают на очистные сооружения, но нередко сразу в водоем. На смыв в таких туалетах используется от 7 до 25 л воды (чаще 18 л). Это идеальная система для городских территорий. Единственное требование, которое мы должны предъявить к этой системе, — обязательная очистка стоков перед спуском их в водоем.

Примером еще одного типа механических систем служит вакуумная система. Стоки поступают непосредственно в вентилируемую металлическую или бетонную емкость, вакуум в которой создается только для опорожнения. Система имеет один недостаток: при опорожнении емкости выделяются запахи, зато для ее функционирования не требуется ни воды, ни химикатов.

В Швеции один из вариантов вакуумной системы получил распространение с 1957 г. Стоки из смывной системы, использующей около 1 л воды на каждый смыв, поступают в накопительный резервуар, разрежение в котором постоянно составляет 0,5 ат. Стоки в этой системе можно передавать на расстояние до 190 м по горизонтали и до 5 м по высоте.

Аналогична вакуумной система химического туалета с резервуаром, расположенным рядом со зданием. В резервуар вместимостью около 500 л загружают около 12 кг химиката и заливают 50 л воды. Химикат убивает микроорганизмы, замедляет процесс разложения и разжижает многие твердые вещества. Но и здесь возникает проблема опорожнения резервуара и слива стоков.

В США создается система герметичного туалета с рециркуляцией жидкости. После пользования туалетом жидкость очищается от твердых примесей и вновь подается на смыв. К одному резервуару можно присоединить несколько унитазов. Система не требует подвода воды, в ней не используются вредные химикаты, однако ее необходимо периодически опорожнять.

Среди деструкционных систем наибольший интерес представляет сжигательный туалет. Он состоит из резервуара и расположенной под ним сжигательной установки. Для его работы необходимы электроэнергия, мазут или газ, однако в результате обработки стоков остается только безвредная зола, которую необходимо периодически удалять. Ее можно с успехом использовать в качестве удобрения. В не-

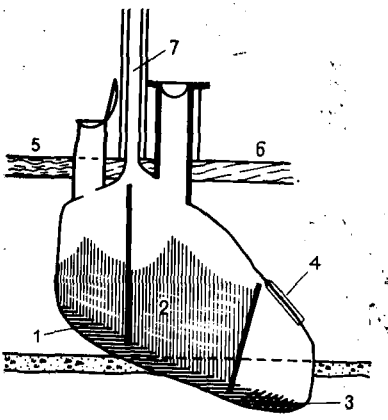


Рис. 8.2. Схема системы "Кливус"
1 — трава, земля, торф; 2 — отходы; 3 — компост; 4 — смотровой люк; 5 — туалет; 6 — кухня; 7 — вентиляционный стояк

которых вариантах системы используется пористый материал, абсорбирующий жидкость и затем также сжигаемый. Отходящие газы отводятся. Эти системы применяют, главным образом, в холодных регионах (например, в Скандинавии, Канаде или арктической зоне).

Разложение стоков может быть осуществлено либо с помощью компостирования, либо путем продленной аэрации. В результате компостирования получается органическое удобрение. Существуют перегниватели самых различных видов: от простых до механически сложных. В Швеции перегниватели изготовляет фирма "Кливус АБ".

Установка (рис. 8.2) имеет раздельные секции для приема сточной жидкости и твердых отходов; она снабжена вентиляционной трубой и включает перегниватель. Все размещено в одном резервуаре из стеклопластика. Резервуар должен быть достаточно большим. К его конструкции предъявляется ряд требований: в нижней части резервуара должен быть предусмотрен люк для выгрузки компоста, в некоторых конструкциях — подогрев с помощью электричества или горячего воздуха.

Система продленной аэрации представляет собой комбинацию установки аэробного сбраживания и смывного туалета. Она должна иметь две емкости для стоков, в каждую из которых должен подаваться воздух. Аэрируемая жидкость циркулирует в системе для повторного смыва. Аэрацию можно осуществить с помощью воздуходувки или путем создания непрерывной циркуляции жидкости. Воду следует сливать хотя бы раз в год.

Система имеет ряд недостатков: в случае превышения расчетной нагрузки начинается выделение запахов, а если в течение продолжительного времени она не используется, то погибают микроорганизмы, что вызывает появление запахов в смывной воде в первые дни после возобновления работы системы.

В университете Макгил создана установка, работающая от сети напряжением 12 в, вырабатываемым ветродвигателем.

Компания "Био-Пьюре" из Тулататина (шт. Орегон) производит домашние установки для аэробного сбраживания, в которых применяют компрессоры с электроприводом, монтируемые наверху емкости. Степень очистки в установках достигает 99%. Система стоит очень до-

рого. Она разработана для районов, где по различным причинам невозможно устройство централизованных систем канализации. Эта система значительно лучше системы с септиком, так как исключает возможность загрязнения подземных вод.

В Лондоне Грэхем Ейп проводил эксперимент по использованию морских водорослей. Система работала по замкнутому циклу, в результате которого из сточной жидкости получали газ и органическое удобрение. В ее состав входили резервуар для морских водорослей, обогреваемый с помощью солнца, перегниватель и емкость для компоста. Патогенные микроорганизмы погибали под влиянием ультрафиолетовых лучей. Водоросли и осадок компостировали, при этом они выделяли метан. Эта система будет более подробно рассмотрена в гл. 9.

Мы показали различные способы обезвреживания органических отходов, возникающих в процессе жизнедеятельности человека. Во многих случаях процесс обезвреживания органических отходов может быть использован для получения полезных продуктов (удобрений, метана и т.п.).

8.2. АНАЭРОБНОЕ СБРАЖИВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАНА

Метан — побочный продукт, возникающий в процессе анаэробного сбраживания органических отходов. Он служит основной составляющей природного газа. Его теплотворная способность 420—950 Дж. Природный газ, используемый в Северной Америке, характеризуется теплотворной способностью 1050—1300 Дж. Метан во многих случаях может заменить природный газ, запасы которого иссякают.

Использование метана представляется наиболее целесообразным для поселков и сельских населенных пунктов. Вероятно, в настоящее время эту систему наиболее оптимально было бы распространять на сельских усадьбах, но их оторванность от проектных организаций и баз строительной индустрии не позволяет пока что реализовать ее. Поселки все более приближаются к границам городов, и решение вопросов удаления отходов и снабжения топливом становится для них особенно важным. Наиболее выгодным для поселков представляется использование природных энергетических систем. Комбинированные системы энергоснабжения, использующие ветрогенераторы, солнечную энергию и сбраживание отходов для получения метана, рассмотрены в следующей главе. Здесь же мы проанализируем возможности развития технологии, создания оборудования и перспективы внедрения систем, использующих сбраживание органических отходов с целью получения энергии для поселков и сельских усадебных хозяйств.

Явление фотосинтеза поддерживает жизнь на всех ее уровнях: от самого благоприятного до самого жесткого. Фотосинтез — именно тот процесс, с помощью которого растения преобразуют энергию, главным образом в синей и красной части светового излучения, в химическую. При этом растения поглощают двуокись углерода, воду и солнечную радиацию и формируют новые длинные молекулы, которые называются гидрокарбонатами.

Диаграмма процесса показана на рис. 8.3. Полный процесс фотосинтеза требует только 0,1% общего количества солнечной радиации, достигающей земли, для поддержания жизни [4]. Эти гидрокарбонаты

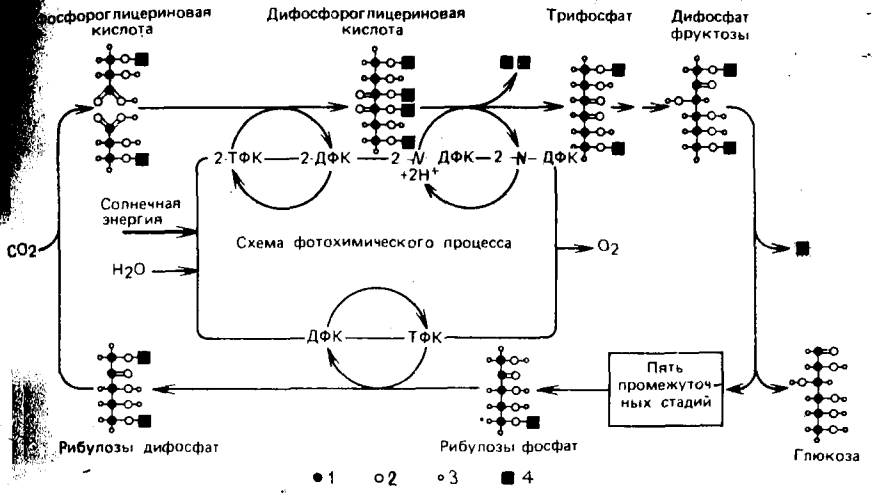


Рис. 8.3. Из книги Г. Эвелина Хатгисона "Биосфера" (*1* — углерод; *2* — кислород; *3* — водород; *4* — фосфаты)

и другие соединения обнаруживаются во всех биологических формах, потребляющих растения, и в продуктах их жизнедеятельности. Когда растительные и животные организмы, отмирая, попадают в землю или воду, в процессе их разложения в зависимости от условий окружающей среды могут протекать различные реакции. Если процесс происходит в анаэробных условиях при недостатке кислорода, например на дне озера, болота и т.п., имеет место выделение метана. Если процесс разложения происходит под давлением грунта, образуются природные топлива. Процессы, которые происходят на дне озера, в болоте и особенно в перегнивателе, обусловлены, в первую очередь, жизнедеятельностью анаэробных бактерий. Эти бактерии живут при определенных температурных условиях, поглощают углерод (в форме гидрокарбонатов) и азот (в форме белков, нитратов, гидритов и т.д.). Обычно они потребляют углерода в 30 раз больше, чем азота. Поддержание правильного соотношения количества углерода и азота очень важно для производства метана.

Сбраживание органических отходов легко осуществимо в условиях, которые аналогичны условиям в перегнивателе. Если предполагается использовать метан в качестве топлива, то отходы должны содержать большое количество органики (растений или навоза). Усадебный участок представляет хорошие возможности для выработки метана, потому что можно применять отходы фермы, а сброженные отходы можно использовать в качестве удобрения. Поселок за счет использования органических отходов может покрыть некоторую часть своей потребности в энергии.

При проектировании поселка специалист должен учитывать возможность использования отходов. Игнорирование этого потенциального источника энергии в будущем может оказаться самоубийственным. В отходах заключено большое количество энергии и вторичных ресур-

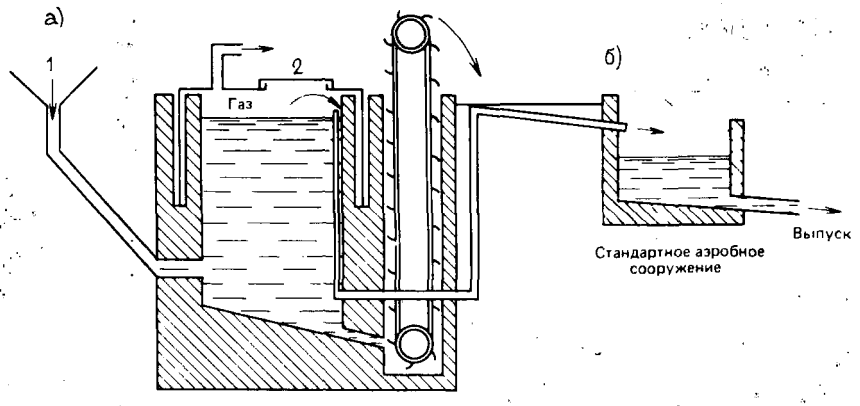


Рис. 8.4. Схема малых очистных сооружений (*а* — автономная система обезвреживания органических отходов с аэробным и анаэробным сбраживанием; *б* — стандартное аэробное сооружение)
1 — загрузка отходов; 2 — смотровой люк

сов, однако сейчас они представляют собой загрязнитель окружающей среды. Сточные воды, сбрасываемые в озера, реки и океаны, интенсифицируют процесс потери биосферой фосфора (33 млн. т в год) [5] и, повышая содержание нитратов, ставят под угрозу существование водных форм жизни. А если этот водоем служит источником водоснабжения, то для очистки воды требуются большие затраты реагентов и энергии.

Комбинированное анаэробное и аэробное сбраживание бытовых отходов еще лучше с точки зрения охраны окружающей среды. На рис. 8.4 показана схема такой установки. Допустим, средняя семья образует в сутки около 25 кг отходов, из них можно получить 1,3—1,8 м^3 метана, что соответствует суточному расходу газа на пищеприготовление [6]. Известны следующие данные об органических отходах и возможном количестве получаемого из них топлива:

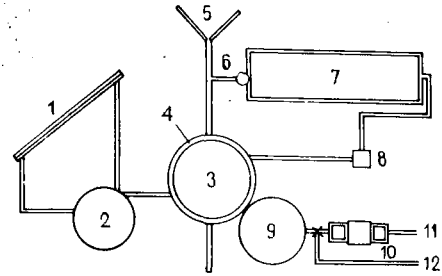
Ресурсы метана из отходов в США:

A. Количество органических отходов в США в год	2 млрд.т (по влажному веществу) и 800 млн. т (по сухому)
B. Собираемое количество сухих отходов	136,3 млн. т
C. Количество метана, возможного для получения из "*B*"	45 млн. м^3
D. Количество тепла, возможного для получения из "*C*"	1433,4 трил. Дж

Потребление топлива в сельском хозяйстве США:

A. Общее количество газолина (1965 г.)	26 млн. т

Рис. 8.5. Схема централизованных очистных сооружений
1 — солнечный коллектор; 2 — теплоаккумулирующая емкость; 3 — перегниватель; 4 — водяная рубашка; 5 — отходы; 6 — насос; 7 — пруд с водорослями; 8 — илоуплотнитель; 9 — газгольдер; 10 — топливная камера; 11 — переменный ток; 12 — пищеприготовление, освещение и дополнительное теплоснабжение



B. Общее количество энергии из "*A*"	996,03 трил. Дж
Общее потребление природного газа в США (1970 г.)	20 трил. Дж
Общее потребление энергии в США (1970 г.)	67,5 трил. Дж

Диаграмма цикла переработки отходов небольшого поселка показана на рис. 8.5. Она может быть уменьшена или расширена для иллюстрации цикла одного здания или большого поселка. Широко распространенные в США смывные системы в этом случае не должны использоваться из-за избыточного количества воды.

В ряде случаев может найти применение система "Био-газ" (термин введен Рэм Бакс Сингхом) [7], которая может включать в себя все виды оборудования, сжигающего топливо—пищеприготовления, освещение и отопление. В зависимости от количества получаемого газа он используется для систем охлаждения (холодильников) и пищеприготовления, и небольшое количество накапливается для работы небольших двигателей. Как уже было указано в гл. 6 и 7, отопление лучше всего осуществлять за счет использования энергии солнца, а потребность в электричестве обеспечивать за счет энергии воды и ветра.

Эффективность сжижения метана 25% [8]. Согласно исследованиям, проведенным Новым институтом алхимии, при такой эффективности процесса сжижения (25%) теряется в период преобразования за счет перехода в тепло 75% энергии. Закон термодинамики определяет, что каждое количество энергии характеризуется свойством, называемым энтропией. Энтропия характеризует направление протекания процесса теплообмена между системой и внешней средой, а также направление протекания самопроизвольных процессов. Второй закон термодинамики гласит, что любое преобразование энергии увеличивает энтропию. Чем больше преобразований претерпевает энергия, тем меньше конечная эффективность.

Наиболее эффективно прямое сжигание газа.

Ежегодно в США образуется 2 млрд. т навоза и органических отходов городов, что вызывает проблему их обезвреживания. Рэм Бакс Сингх определил ориентировочную стоимость системы "Био-газ" (табл. 8.2).

Таблица 8.2. **Стоимость системы "Био-газ"**

Производительность системы по газу, $м^3$/сут	Ориентировочная стоимость, долл.		Примечание
	в Индии	В США	
2,8	140	400	На 1 семью
7	350	900	На 2 семьи
14	600	1800	На ферму
35	1500	400	Промышленность
36	2250	5500	Промышленность

8.3. ПРОЦЕСС ВЫДЕЛЕНИЯ МЕТАНА

Выделение метана происходит в перегнивателях периодического и непрерывного действия. Перегниватель периодического действия загружают отходами, некоторое время в нем идет процесс сбраживания, после окончания выделения газа его опорожняют. В перегниватель непрерывного действия отходы подают равномерными порциями, поэтому выделение газа и производство компоста осуществляется непрерывно. Смесь отходов с водой подают в перегниватель, где уже идет процесс сбраживания. Смесь на пути от входного отверстия до выходного проходит полный цикл сбраживания и разделяется на фазы, как это показано на рис. 8.6.

Неорганические вещества выпадают в осадок на дно резервуара и формируют первый слой. Ил, образующийся в перегнивателе, представляет собой органические загрязнения, уменьшившиеся в объеме на 40%. Это прекрасное удобрение для обычных и водных растений. Жидкая фаза — это та жидкость, которая содержится в исходных отходах. Всплывающая на поверхность пена в небольших количествах служит хорошим изолятором, но в большом количестве может полностью остановить процесс в перегнивателе, поэтому ее необходимо своевременно удалять.

Анаэробное сбраживание включает в себя ряд различных реакций, которые идут под воздействием анаэробных микроорганизмов. Сбраживание можно разделить на две основные фазы — разжижение и газификацию. Обычно бактерии уже содержатся в экскрементах и в ходе процесса начинают активно размножаться, но иногда бывает полезно ввести в жидкость культуру анаэробных бактерий для интенсификации процесса. Сжижение происходит, когда энзиматические вещества интенсифицируют процесс гидролиза гидрокарбонатов на сахара и алкалоиды: белки — на пептиды и аминокислоты, а жиры — на жирные кислоты [9]. Затем начинается распад этих веществ.

В процессе газификации продукты, получившиеся на стадии сжижения, распадаются на двуокись углерода, метан и инертно-органическое вещество, называемое сброженный осадок. Процессы, проходящие в обеих фазах, зависят от условий окружающей среды и состава разлагаемых материалов. Так как в процессе участвуют две формы бактерий, то два упомянутых фактора влияют на ход процессов.

Если основная цель заключается в получении метана, то необходимо поддерживать баланс между бактериями, производящими орга-

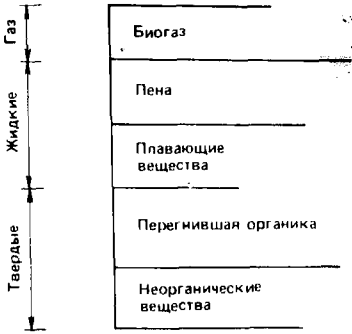


Рис. 8.6. Распределение веществ в перегнивателе

нические кислоты во время процесса гидратации, и микроорганизмами, вырабатывающими метан на стадии газификации. Большое внимание необходимо уделять показателям среды существования этих бактерий, особенно pH, содержанию жидкости и составу органического вещества.

Сбраживание под действием бактерий происходит при температурах от 0 до 70 °С. Однако есть два температурных интервала, при которых процесс идет наиболее активно. Возникновение этих интервалов вызвано деятельностью различных групп бактерий. Для одной группы бактерий наиболее благоприятен температурный режим от 30 до 40 °С, а для другой — от 50 до 60 °С. Бактерии, живущие в верхнем диапазоне температур — термофильные бактерии, более чувствительны к изменениям условий среды, чем бактерии, живущие в нижнем диапазоне, — мезофильные бактерии. Наиболее активно метан выделяется при температуре 35 °С. В следующем разделе мы более подробно рассмотрим способы создания стабильных условий работы перегнивателя. Необходимо указать, что рекомендации по выбору температурного режима носят общий характер. В зависимости от состава отходов могут развиваться различные группы микроорганизмов, требующие различных условий среды (см. рис. 8.7).

В начале процесса сбраживания выделяется больше углекислого газа (CO_2), чем метана (CH_4). Затем кислотность смеси уменьшается и начинается выделение метана. Значение pH должно составлять 6–8, а наиболее оптимальное для канализационных осадков — 7. Если значение pH несколько выше 7, формирующаяся угольная кислота будет понижать его, но если кислотность еще больше увеличится, то нарушатся условия жизнедеятельности бактерий и процесс может прекратиться. Для обработки сырого осадка, содержащего растительную и животную органику, необходима более щелочная среда (pH = 8÷8,5). Значение pH можно легко контролировать с помощью индикаторной бумаги.

Процесс сбраживания зависит и от соотношения количеств твердого вещества и жидкости. Обычно поступающий на сбраживание материал содержит не менее 18% твердого вещества, и поэтому его надо разбавлять, доводя содержание твердых веществ до 7–9%.

Как уже было указано, критическим фактором, определяющим продолжительность жизнедеятельности бактерий, является отношение количества углерода к азоту (C/N). Основная идея анаэробного

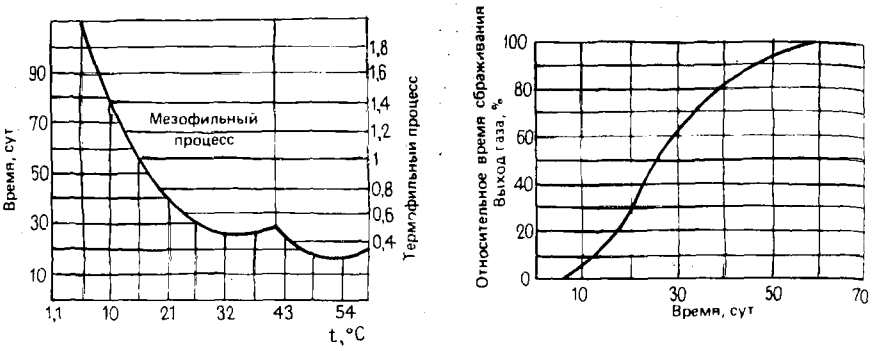


Рис. 8.7. Зависимость времени сбраживания, температуры и выхода газа

сбраживания заключается в преобразовании имеющегося в жидкости углерода в метан при минимальных потерях азота [10]. Отношение C/N в исходном материале составляет 30:1, причем углерод потребляется в 30 раз быстрее, чем азот.

Желательно перед подачей отходов на сбраживание провести анализ действительного соотношения C/N, чтобы в случае необходимости скорректировать его. В состав стока входят и другие вещества, способствующие сбраживанию. Это кальций, магний, углекислый калий, цинк и железо. Однако к основным питательным веществам относятся, конечно, углерод, азот, фосфор и сера.

Есть целый ряд токсичных элементов: большие количества таких металлов, как хром (Cr), медь (Cu), никель (Ni), цинк (Zn) и ртуть (Hg), аммиак (NH_3) и детергенты. В домашних условиях следует избегать попадания этих веществ в перегниватель.

8.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕГНИВАТЕЛЕЙ И ИХ ТИПЫ

Анаэробное сбраживание — обычный технологический процесс полной биологической очистки сточных вод. Однако пока очистные станции редко используют получаемый метан, а когда он все-таки расходуется на собственные нужды станции, то избыток его стравливается в атмосферу. Как уже было сказано, производство метана в условиях населенного пункта, даже уже имеющего очистные сооружения, не представляет труда, а затраченные средства могут быть быстро компенсированы за счет использования производимого газа.

Перегниватели постоянного и периодического действия имеют свои достоинства и недостатки. Для перегнивателей периодического действия характерна периодичность загрузки и производства газа; они не требуют большого внимания при эксплуатации в течение суток, и в них можно принимать более крупные отходы. В то же время они требуют больших трудозатрат на загрузку и выгрузку. Вследствие того что производство газа в них происходит периодически, рекомендуется устройство нескольких установок, работающих таким образом, чтобы в целом процесс выделения газа носил непрерывный характер.

Непрерывно действующие перегниватели принимают в течение суток относительно небольшое количество сырого материала. Они не

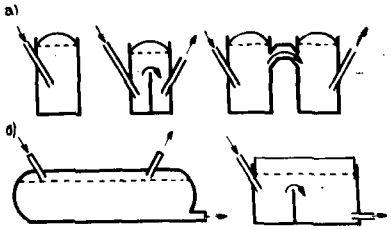


Рис. 8.8. Типы перегнивателей продленного действия
а — вертикальные; б — горизонтальные

требуют больших затрат труда, но в случае каких-либо нарушений процесса необходимо их полностью остановить. Непрерывно действующие перегниватели работают по двум принципам: вертикального смешения и вытеснения (рис. 8.8). В вертикальном перегнивателе имеются две вертикальные камеры — в одну поступает сырой материал, а из другой отводится сброженный осадок. Наличие второй камеры позволяет добиться лучшего сбраживания и большего выхода газа.

Принцип действия перегнивателя-вытеснителя можно сравнить с действием кишечника живого организма. Поступающий с одной стороны сырой материал проходит зону "максимальной ферментации", в которой бактерии обладают наибольшей активностью, и затем выходит с другого конца сооружения. Преимущество этого типа перегнивателя заключается в том, что в случае неудовлетворительных результатов сбраживания материал может быть направлен на рециркуляцию. В этом сооружении образуется меньше пены, его проще промыть, чем вертикальный перегниватель.

Размеры перегнивателя для каждого конкретного случая определяются с учетом:

- типа перегнивателя;
- характеристик сырого материала;
- продолжительности сбраживания, которая зависит от желательного выхода газа;
- количество отходов;
- размеров имеющегося пространства для строительства сооружений.

Количество газа должно быть определено на основании анализа его возможного выхода из сырого материала.

Выход метана:
1 корова — 0,85 м^3 биогаза в сутки;
1 кг кукурузных стеблей — 0,82 м^3 биогаза;
1 кг сухих листьев — 0,45 м^3 биогаза;
1 кг сухой соломы — 0,93 м^3 биогаза;
1 кг разложившейся органики — 1,1 м^3 биогаза;
1 кг коровьего навоза — 0,06 м^3 биогаза при 15 °С; 0,27 м^3 биогаза при 35 °С;
1 кг сухой органики — 0,45 м^3 биогаза при 10 °С; 0,61 м^3 биогаза при 20 °С; 0,76 м^3 биогаза при 30 °С.

Суточную нагрузку определяют как количество сырого материала (часто по беззольному веществу), подаваемого в перегниватель. Беззольное вещество (БВ) — это твердые вещества, которые в процессе жизнедеятельности бактерий превращаются в метан. Их определяют как количество органического вещества, сгорающего при температуре 537 °С. Они представляют собой углеродсодержащие вещества, которые могут быть преобразованы в метан. Обычно их содержание в

сухом материале близко к 80%. После сжигания остается инертный материал, называемый зольным веществом (ЗВ). Сбраживаются продукты жизнедеятельности человека и животных, растительная органика (овощи, пищевые отходы и т.п.), трава, листья и другие материалы, компостируемые в обычных условиях.

Время разложения отходов зависит от температуры, консистенции поступающего материала и объема перегнивателя. Например, при сбраживании навоза он должен быть разбавлен до 7–9% по твердому веществу вместо исходных 18%. Ил может иметь консистенцию сметаны [11]. При разбавлении материала время сбраживания уменьшается, но при избытке воды ухудшается процесс ферментации.

Как было указано, оптимальная температура сбраживания 35 °С, однако постоянное поддержание ее на этом уровне может привести к избыточным затратам энергии. На рис. 8.7 показана зависимость выхода газа от температуры. С учетом местных климатических условий можно применять различные способы подогрева жидкости или изоляции емкости. Например, в Индии или других теплых районах емкость можно устанавливать на земле и окрашивать в черный цвет для лучшей абсорбции солнечной энергии.

В районах с умеренным климатом емкости должны быть хотя бы частично заглублены, необходимо иметь теплоизоляцию и подогрев. Методы подогрева могут быть различными. Один из лучших методов — укладка в перегнивателе труб, по которым может циркулировать вода от системы горячего водоснабжения, нагретая с помощью солнечной энергии, или циркуляционная вода от теплообменников. Другой метод — устройство вокруг емкости водяной рубашки. Этот метод применяют, главным образом, для вертикальных перегнивателей, имеющих небольшую по сравнению с вытеснителями площадь поверхности. Можно использовать газовые водонагреватели, но они сами потребляют определенное количество газа. В очень пористых изолирующих материалах в результате утечек газ может накапливаться, что делает сооружение в целом весьма опасным. Стирофом рекомендуется укладывать по стеклоткани.

Чтобы улучшить циркуляцию материала в вертикальном перегнивателе, удалить пену и избежать осаждения крупных частиц на дне емкости, необходимо отходы перемешивать. Для регулирования температуры и давления в перегнивателе и газгольдере применяют термометры, клапаны и измерительные приборы. Рекомендуется применение пламегасителей.

Компрессию метана необходимо производить с исключительной осторожностью. Первую порцию газа, достаточную для заполнения системы, следует стравить в атмосферу, так как она содержит большое количество воздуха и взрывоопасна. Все трубопроводы для передачи и компрессии газа должны быть освобождены от воздуха. Это легко сделать, поддерживая в системе небольшое избыточное давление газа. Некоторые приборы требуют, чтобы газ аккумулировался при определенном давлении.

Перед использованием метана в приборах, предназначенных для обычного природного газа, метан следует очистить от двуокиси углерода и ряда других элементов путем промывки. Двуокись углерода (CO_2) и аммиак (NH_3) можно удалить, пропуская газ через известковую воду [$Ca(OH)_2$]. Сероводород (H_2S) удаляют пропусканием газа

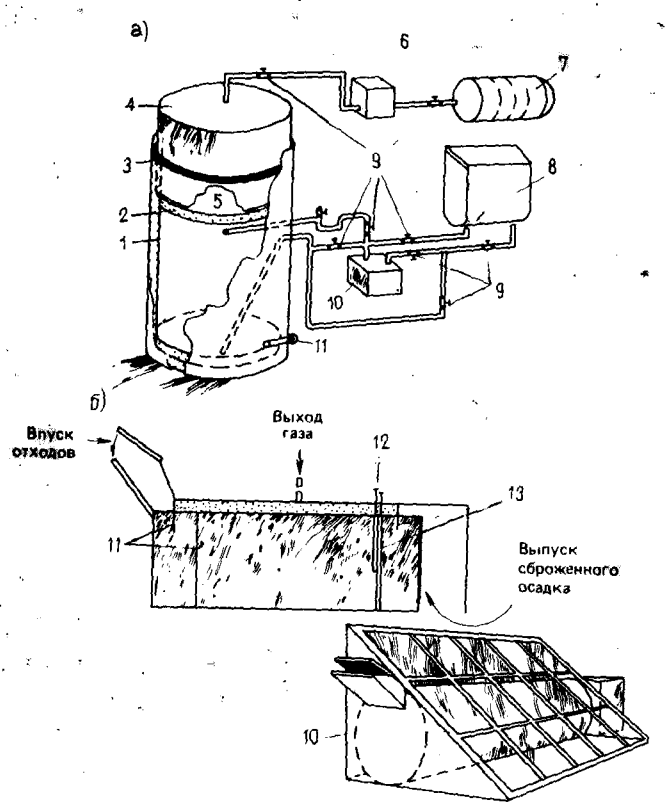


Рис. 8.9. Схемы простейших перегнивателей фирмы "Мозес"
а — сравнительно сложный вертикальный перегниватель, построенный в 1973 г.; б — горизонтальный перегниватель непрерывного действия, построенный весной 1974 г.; 1 — осадок; 2 — пена; 3 — водяная рубашка; 4 — плавающий газосборник; 5 — газ; 6 — компрессор; 7 — газгольдер; 8 — накопитель-усреднитель; 9 — клапаны; 10 — насос; 11 — выпуск; 12 — горизонтальный перегниватель, объединенный с солнечным коллектором; 13 — перегородки

через железную загрузку. Если необходимо удалить из газа пары воды, то это делается с помощью абсорбирующих химикатов. Очищенный метан не имеет запаха.

Согласно заключению Нового института алхимии [12], эффективность преобразования органических веществ в метан составляет 60–70%. Здесь не учтены энергетические затраты на поддержание процесса. Если же учесть эти затраты, то можно получить цифру, называемую норма преобразования. Эффективность сбраживания можно также оценить определением количества углерода на входе и выходе материала из сооружения.

Хорошо известно, что сброженный осадок является прекрасным удобрением. Его качество зависит от содержания в нем азота N, фосфора P, калия K, и солей различных металлов. Азот содержится в осадке в виде аммония (NH_4). Большинство растений, наземных и водных,

предпочитает азот именно в этой форме, а не в форме оксидов азота, получающихся в результате аэробного сбраживания [13].

Если осадок не предполагается использовать в качестве удобрения, то он может быть пропущен через септик, а затем захоронен, или может быть использован как питательная среда для некоторых бактерий и водорослей, которые, в свою очередь, могут вырабатывать метан.

Водоросли (например, хлорелла и др.) оптимальны с точки зрения фотосинтеза, потому что в процессе участвует каждая их клетка [14]. Эксперименты, проведенные Лабораторией санитарной техники в Ричмонде (шт. Калифорния), а также компанией "Артур Д. Литтл инк", показали, что водоросли, выращенные на питательной среде, содержащей CO_2, собранные и помещенные в сбраживатель, служат источником дополнительного количества метана, хотя в настоящее время такое решение пока еще не относится к экономически выгодным.

Основная проблема заключается в том, что необходимы огромные площади под пруды для выращивания водорослей. Определено, что с 1 акра поверхности пруда при лучших условиях можно получить 15 кВт энергии. Другая проблема заключается в том, что для выращивания водорослей требуется затратить довольно большое количество энергии, даже если необходимая температура поддержится за счет солнца. Основное достоинство этой системы состоит в том, что она повышает процесс преобразования органики, а в случае быстрого разложения может служить хорошей добавкой, содержащей большое количество азота, если сброженный осадок используется в качестве удобрения. В гл. 9 подробно рассмотрен проект Грэхема Кейна "Эко Хаус", в котором используется система выращивания водорослей.

8.5. ТОПОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

Топочные устройства бывают трех основных видов: реформеры, которые преобразуют гидрокарбонатные топлива (например, метан) в обычные топлива; сжигающие устройства, производящие постоянный ток, и инверторы, преобразующие постоянный ток в переменный.

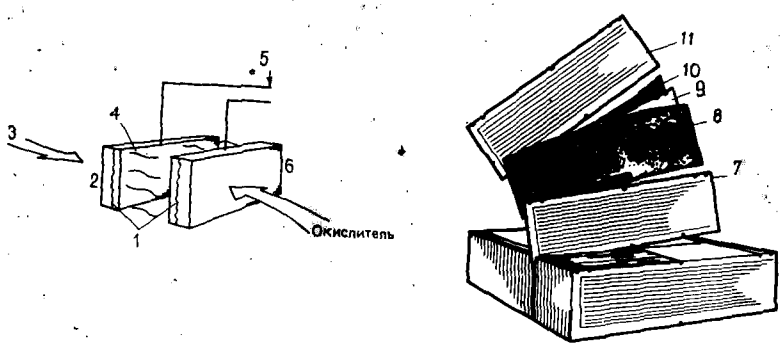


Рис. 8.10. Схема топочной камеры
1 — поверхность реакций; 2 — электрод; 3 — топливо; 4 — электролит; 5 — постоянный ток; 6 — электрод; 7 — сепарационная панель; 8 — воздушный электрод; 9 — электрический материал; 10 — топливный электрод; 11 — элементы топочной камеры

В реформере гидрокарбонатные топлива, такие, как метан, водород, природный газ или нефть, с помощью химикатов разлагаются на углерод и водород. Углерод соединяется с кислородом и водородом и поступает в установку в качестве топлива. При использовании энергии ветра водород можно получать с помощью электролиза. Затем с помощью топочного устройства вырабатывается постоянный ток, преобразуемый инвертором в переменный.

Сейчас преобразование органического топлива в электроэнергию осуществляется путем сжигания его для получения тепла, а затем тепло с помощью механического преобразователя вырабатывает электроэнергию. Максимальная эффективность преобразующих машин 40—43%. Топочное устройство исключает тепловую и механическую фазу и непосредственно преобразовывает химическую энергию топлива в электрическую с эффективностью, в 2 раза превышающей эффективность лучших машин [15].

Основные преимущества этой системы заключаются в том, что она "чистая", работает без шума и вибраций, характеризуется длительным сроком работы и требует минимальной эксплуатации. Это простая и гибкая система.

8.6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕРЕВА

Дерево и прочие виды топлива с большой биомассой имеют ряд преимуществ перед другими источниками энергии. Во-первых, они возобновляемы. Пока светит солнце и биосфера находится в равновесии, деревья будут расти. Во-вторых, природа наделила их способностью аккумулировать энергию (с помощью хлорофилла листьев) и предотвращать ее потери за счет механизма саморегулирования. В-третьих, при сжигании дерева значительно меньше загрязняется атмосфера, чем при сжигании других видов топлива. Дерево содержит очень мало двуокиси серы SO_2 (менее 0,1—0,05%), тогда как ископаемые топлива, например уголь и нефть, содержат 1—3% серы. Двуокись серы вызывает заболевания легких и замедляет рост растений. Поскольку при сгорании топлив выделяется большое количество двуокиси серы, возникает необходимость строительства дорогостоящих систем очистки отходящих газов. В-четвертых, использование древесины не нарушает углеродный баланс земли.

В отличие от ископаемых топлив дерево потребляет столько двуокиси углерода, сколько затем выделяется ее при сгорании древесины. Выделяемая при горении древесины двуокись углерода изъята из атмосферы сравнительно недавно, а двуокись углерода, выделяемая при сгорании ископаемых топлив, изъята из кругооборота миллионы лет назад, и теперь ее выделение приводит к увеличению ее концентрации в атмосфере.

До сих пор двуокись углерода не считалась загрязнителем, однако исследования последних лет показали, что повышение содержания в атмосфере Земли двуокиси углерода приводит к возникновению "парникового эффекта", что сказывается на климате. Происходит увеличение температуры, которое ведет к изменению характера циркуляции воздушных масс, перераспределению осадков и возможному подъему уровня мирового океана за счет таяния полярных льдов.

Никто не может гарантировать, что отходы сжигания древесины

абсолютно безвредны. Были проведены исследования полного воздействия продуктов горения древесины на окружающую среду. Уже сейчас выяснилось одно очевидное обстоятельство, что большинство продуктов горения древесины по своему составу аналогично продуктам ее гниения.

Мы должны хорошо представлять себе все взаимоотношения, существующие между экологическими процессами. Это нужно для того, чтобы правильно определить возможность использования древесины в качестве топлива и возможные последствие этого для окружающей среды.

С ростом использования древесины в качестве топлива будут предъявляться более жесткие требования к топочным устройствам, которые должны обеспечивать наиболее полное сгорание, так как при этом, во-первых, можно получить из того же количества древесины большее количество тепла и тем самым уменьшить потребление древесины, а, во-вторых, более полное сгорание обеспечивает лучшие санитарные показатели отходящих газов.

8.6.1. Возможности использования древесины. Ларри Гей в "Книге по дровяному отоплению" пишет: "В настоящее время в США имеются огромные запасы древесины, хотя в прессе обычно пишут обратное". Действительно, наблюдается уменьшение количества некоторых пород, особенно крупной высококачественной древесины. Однако это не имеет никакого отношения к дровяному отоплению, так как для этой цели можно использовать древесину любого качества.

Рост потребления древесины связан с изменением условий окружающей среды. Эрозия почвы и потеря питательных веществ — это две основные проблемы, возникающие в этом случае, особенно если деревья вывозятся целиком, т.е. вместе с мелкими ветками и листвой, содержащими большое количество питательных веществ. И вопрос уже заключается не в том, сколько древесины можно получить с данного участка леса, а в том, сколько ее можно вывезти, не нарушая равновесия, экосистемы леса.

Продуктивность леса может быть увеличена, если проводить выборочную вырубку леса, расходуемого на отопление. Еще один громадный ресурс заключается в потреблении древесных отходов.

Только применение высокоэффективных топочных устройств позволит использовать отходы древесины и свести к минимуму их воздействие на окружающую среду.

8.6.2. Процесс горения древесины можно разделить на три этапа: на первом ведется подсушка древесины, на втором древесина превращается в древесный уголь, выделяя летучие газы и жидкости, а на третьем идет собственно процесс горения угля.

В летучих газах содержится 60% тепловой энергии данного количества древесины. В камине летучие газы выходят в дымовую трубу, что приводит к низкой эффективности этого вида топочных устройств. Чтобы добиться максимальной эффективности сжигания древесины, ее лучше всего сжигать в закрытых топках. В этом случае можно регулировать подачу воздуха и траекторию выхода летучих газов. Итак, полное сжигание древесины происходит, когда:

- подается необходимое количество воздуха;
- воздух хорошо смешивается с летучими газами;

• обеспечивается зажигание газовоздушной смеси;
• создается достаточное пространство для полного сгорания газов.

Чтобы пояснить это, рассмотрим такой пример. В камине воздух поступает к дровам сверху и с боков. Древесный уголь потребляет количество воздуха, пропорциональное толщине слоя угля, поэтому слой угля толщиной 5 см поглощает весь кислород, который контактирует с ним. Более толстый слой угля сгорает не полностью, образуя окись углерода, что приводит к неполному сгоранию в условиях дефицита кислорода. В результате недогоревшие летучие газы уходят в дымоход, конденсируясь на стенах и образуя креозот.

В правильно сконструированной топке вторичный воздух вводится в зону над углем. Смешиваясь с летучими газами, он способствует их дожиганию. В результате полного сгорания образуются только двуокись углерода и водяные пары.

8.6.3. Проектирование топочных устройств, работающих совместно с системой аккумулирования тепла. В результате развития конструкций дровяных топок, совмещенных с системой аккумулирования тепла, стало возможным создание топок непрерывного горения с регулируемой производительностью. Тепло из топки сначала поступает в аккумулятор и только из него, по мере необходимости, в здание.

Если топка работает в комбинации с системой аккумулирования тепла, то нет необходимости искусственно уменьшать ее эффективность. Топка может работать при высоких температурах, что обеспечивает полное сгорание топлива и уменьшает загрязнение воздуха. Одно из таких устройств было разработано Ричардом К. Хиллом в университете Майка. Топка служит дополнительным источником тепла в солнечной системе теплоснабжения центра Мейн Одубон (см. рис. 8.11 и 8.12).

Дровяная топка используется как второй источник тепла в дополнение к плоскому коллектору площадью 186 м^2, который должен обеспечить 60—70% общей потребности в тепле, а остальные 40—30% должна обеспечивать топка. Это означает, что годовая потребность в древесине составит около 10 м^3.

Нагретый воздух от коллектора и дровяной топки поступает в общую аккумулирующую систему, заполненную 105 т дробленого гранита размером 2,5 см. Камень лежит на решетке (21х3 м), имеющей гальванопокрытие. С помощью вентиляторов воздух восходящим потоком проходит через аккумулятор, что позволяет снизить потери на трение по сравнению с горизонтальной циркуляцией воздуха.

Емкость аккумулятора позволяет обогревать дом в течение двух пасмурных дней при температуре наружного воздуха —4 °С. В зависимости от скорости снижения температуры аккумулирующего тела и прогноза погоды принимается решение о включении дополнительной топки.

Топка имеет усиленную теплоизоляцию, поэтому во время ее работы все тепло поступает в аккумулятор, не излучаясь в пространство. Материал должен выдерживать температуру до 550 °С. Для сооружения топки применяют изолирующий кирпич для наружных стен и огнеупорный для внутренних, теплоизоляцию из перлита.

Топка "Мейн Одубон" не требует регулирования выхода тепла, потому что оно накапливается в аккумуляторе. Это позволяет сжи-

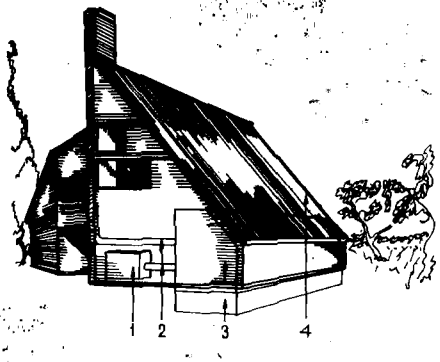
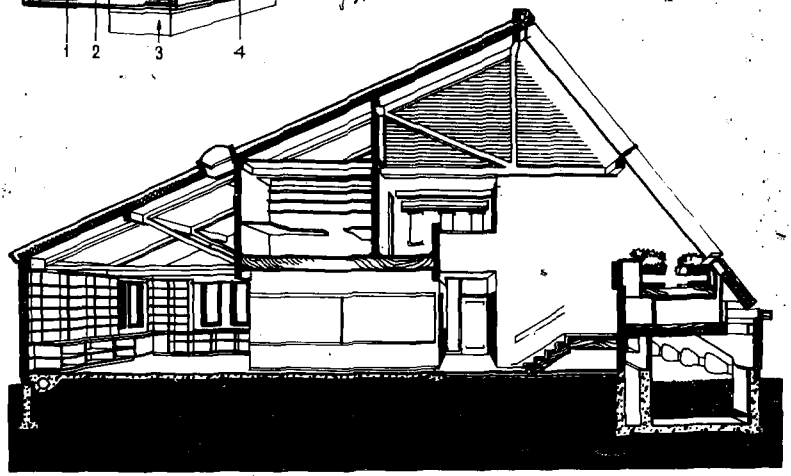


Рис. 8.11. Здание центра Мейн Одубон
1 — дровяная топка; 2 — теплообменник; 3 — теплоаккумулятор; 4 — солнечный коллектор

Рис. 8.12. Разрез здания центра Мейн Одубон



гать топливо быстро, при высоких температурах, подавая в топку избыточное количество воздуха. При этом обеспечивается полное сгорание топлива и минимальное загрязнение воздуха.

Топка работает следующим образом (рис. 8.13 и 8.14): вентилятор производительностью 1,5 $м^3$/мин вдувает воздух в топку через приточную камеру и трубу Вентури. Воздух, попадая в трубу Вентури, развивает большую скорость на выходе, создавая подсос на входе. Этот вакуум направляет непрогоревшие газы из камеры сгорания обратно в пламя на дожигание. Во время дожигания газов пламя имеет перевернутую конфигурацию. Поток газов подхватывается тепловым потоком и смешивается с воздухом, поступающим в печь.

Теплообмен между газом и аккумулирующим телом обеспечивается за счет увеличения поверхности контакта. Подача газа производится с помощью газодувки. Теплообменник представляет собой ребристую стальную трубу диаметром 20 мм, имеющую защитное гальваническое покрытие. Температура отходящих газов, проходящих по трубе, подвешенной над аккумулирующим устройством, понижается с 550 до 65 °С, они становятся тяжелыми, и для обеспечения их дальнейшей циркуляции необходима установка газодувки.

Теплообменник позволяет аккумулятору отбирать тепло, содержащееся в водяных парах — обязательном побочном продукте горения. Дерево содержит водород, который в процессе горения форми-

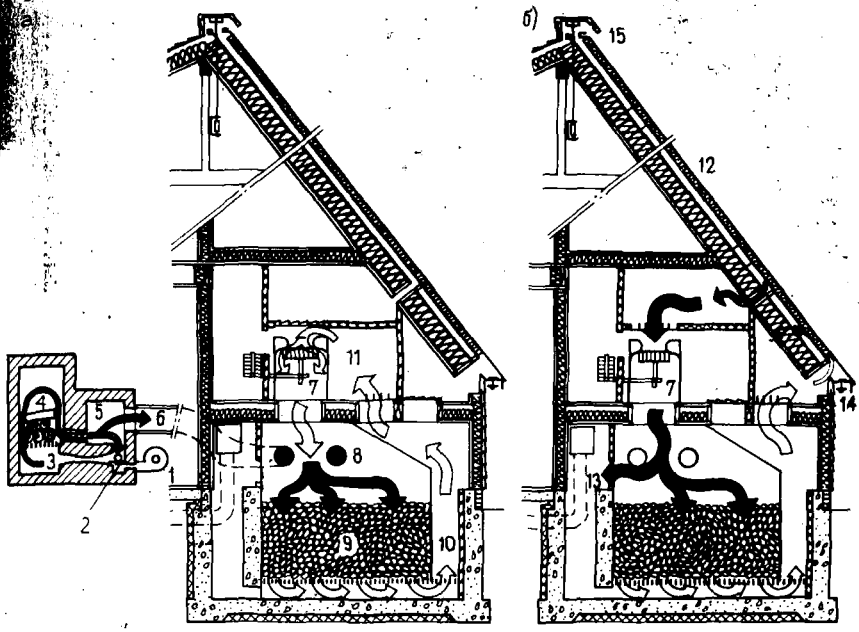


Рис. 8.13. Схема комбинированной системы солнечного и дровяного отопления Мейн Одубон

а — дровяная топка с системой аккумуляции тепла. Высокоскоростной вентилятор 1 создает повышенное давление под решеткой 2 и через сопло Вентури 3 вытесняет горячие топочные газы через вытяжную камеру, а часть обратно через сопло Вентури. После прохождения через решетку пламя 4и топочные газы попадают в вытяжную камеру 5, часть их поступает на рециркуляцию для первичного подогрева воздуха, а остальная часть через газоход 6 с помощью вентилятора 7 направляется по борову 8 в аккумулятор с каменной загрузкой 9. Затем по циркуляционному каналу 10 поступает в камеру вентилятора 11; б — солнечная система отопления. Вентилятор 7 нагнетает нагретый в солнечном коллекторе 12 воздух в аккумулятор с каменной загрузкой 9 и затем вновь в коллектор через циркуляционный воздуховод 13, что позволяет раздавать воздух, нагретый в коллекторе или топке, после аккумулятора. Заслонки внизу крыши 14 и на коньке 15 позволяют вентилировать коллектор летом. Для наглядности они показаны открытыми, но при работе коллектора должны быть закрыты

рует водяной пар. Водяной пар содержит "скрытое тепло", выделяемое при конденсации пара.

При сжигании дров в печи или камине водяной пар уносится с отходящими газами. Потери тепла в этом случае весьма значительны.

Подводя итоги, можно сказать, что комбинированная система солнечного отопления с дровяной топкой имеет целый ряд достоинств:

- она дешевле обычной системы;
- стоимость дров ниже, чем стоимость других видов топлива;
- дерево имеет широкое распространение, весьма доступно, и поэтому цены на него стабильно невысоки;

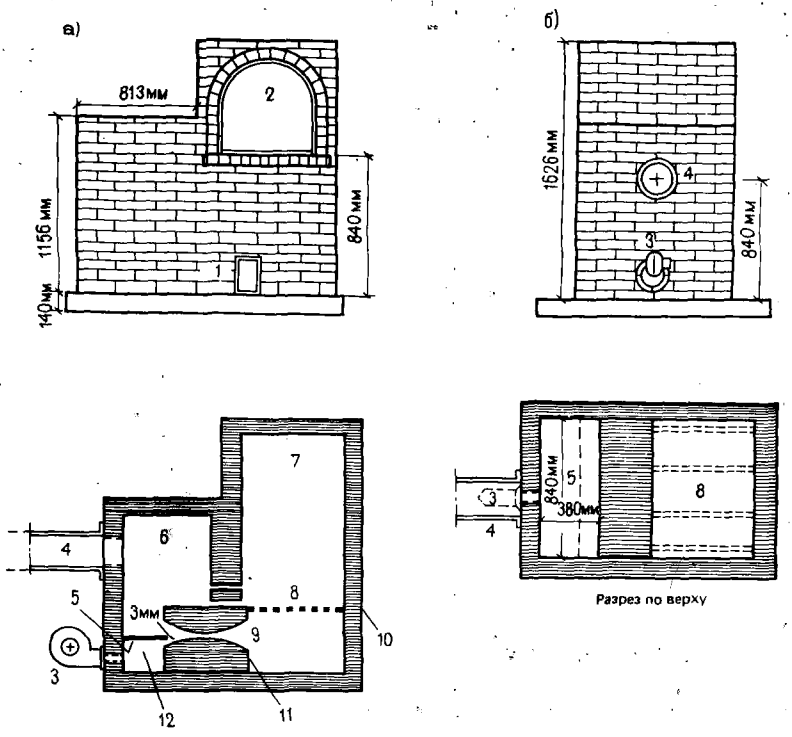


Рис. 8.14. Схема дровяной топки (*а* – вид спереди, *б* – вид сзади)
1 – зольник; 2 – чугунная дверца; 3 – вентилятор (1,5 м³/мин); 4 – газоход; 5 – стальная плита; 6 – вытяжная камера; 7 – топка; 8 – решетка; 9 – трубка Вентури; 10 – огнеупорный кирпич $t = 2200\ ^{o}C$; 11 – пластичный огнеупорный цемент; 12 – приточная камера

- дерево является возобновляемым источником энергии;
- влияние сжигания древесины на окружающую среду значительно меньше, чем сжигание других видов топлива;
- дровяные топки просты по конструкции и надежны в эксплуатации;
- дровяные топки могут работать в различных режимах и поэтому легко сочетаются с солнечной системой.

Список литературы

1. "Stop the Five Gallon Flush". School of Architecture, McGill University, 1973.

2. Ibid.

3. Winblad Uno. Evaluation of Waste Disposal Systems for Urban Low Income Communities in Africa,. Scan Plan Report No. 3, Copenhagen, 1972.

4. Moorcraft Colin. "Plant Power", Architectural Design, Jan. 1974, vol. 44, no. 1, p. 19.

5. Deevey E. "Mineral Cycles", Scientific American, Sept. 1970, vol. 223, no. 3.

6. MacKillop Andrew. "Low Energy Housing", The Ecologist, Dec. 1972, vol. 2, p. 8.

7. Ram Bux Singh. Bio–Gas Plant, Gobar Gas Research Station, Ajitmal, Etawah (u.p.), India.

8. Methane Digesters, New Alchemy Institute, Newsletter No. 3, Spring, 1973.

9. Bell Boulter and Keiller Dunlop. Methane, Fuel of the Future, published by Andrew Singer, Bottisham Park Mill, Bottisham, Cambridgeshire, England.

10. Op. cit. Ram Bux Singh, p. 26.

11. Op. cit. New Alchemy Institute, p. 21.

12. Ibid., p. 24.

13. Ministry of Agriculture, Fisheries & Food, 1964, Nitrogen and Soil Matter, National Agricultural Advisory Service, Her Majesty's Stationery Office, London.

14. Daniels Farrington. Direct Use of the Sun's Energy, Ballantine Books, Inc., 1964, p. 225.

15. Powercells in Ground Applications, Pratt & Whitney Aircraft, East Hartford, Connecticut.

16. Meier R. L. "Biological Cycles in the Transformation of Solar Energy into Useful Fuels", Solar Energy Research, ed., F. Daniels & J. A. Duffy, p. 180.

17. Alternative Sources of Energy, Book One, ed. Sandy Eccli, et. al., 1974 by A.S.E., p. 112.

Alternative Sources of Energy, "Special Eco Section", No. 11, July 1973, pp. 12–24.

Anderson L.L. "Energy Potential from Organic Wastes: A Review of the Quantities and Sources", U.S. Gov't Printing Office, 1972.

Appell H.R., et. al. "Converting Organic Wastes to Oil", Bureau of Mines, Report of Inv. 7560, 1971.

"The Biosphere", Scientific American, No. 3, vol. 223, September 1970, p. 10.

Bloodgood D. and F. A. Sanders. "The Effect of Nitrogen to Carbon Ratio on Anaerobic Decomposition", Journal of Water Pollution Conf. Fed., no. 37, 1965, p. 1741.

Bohn Heinrich L. "A Clean New Gas", Environment, vol. 13, no. 10, pp. 4–9.

Boyle G. and P. Harper, ed. Radical Technology, Pantheon Books, New York, 1976.

Cook J., ed. Wood Burning Quarterly (quarterly publication available from Wood Burning Ouarterly, 8009–34th Avenue, S. Minneapolis, Minnesota, 55420.).

Daniels F. and J.A. Duffie, ed. Solar Energy Researsh, University of Wisconsin Press, Madison, Wisc, 1961.

Davis E.C., Feld I.L. and J.H. Brown. "Combustion Disposalof Manure Wastes and Utilization of the Residue".

Dugan G.L., et. al. "Recycling System for Poultry Wastes", Journal W.P.C.F., vol. 44, no. 3, March 1972, pp. 432–439.

Feldman H.F., et. al. "Cattle Manure to Pipeline Gas: a process study", Mech. Engr., October 1973, pp. 36–40.

Feldman H.F. "Pipeline Gas from Solid Wastes", Chem. Engr. Progress, vol. 67, no. 12, December 1971, pp. 51–52.

Fisher A.W., Jr. "Economic Aspects of Algae as a Potential Fuel", Solar Energy Research, F. Daniels and J.A. Duffie, ed.

"Fuel from Wastes: a Minor Energy Source", Science, vol. 178, November 1972, pp. 599–602.

Gay Larry. The Complete Book of Heating with Wood, Garden Way Publishing, Charlotte, VT, 1974.

Golueke C.G. and W.J. Oswald. "An Algal Regenerative System for Single–Family Farms and Villages", Compost Science – Journal of Waste Recycling, May–June, 1973, vol. 14, no. 3.

Golueke C.G. and W.J. Oswald. "Biological Conversion of Light Energy to the Chemical Energy of Methane", Applied Microbiology, vol. 7, 1959, pp. 219–227.

Golueke C.G., et. al. "Anaerobic Digestion of Algae", S.E.R.L., Dept. of Engineering, Univ. of Calif., Berkeley, vol. 5, 1957, pp. 47–55.

Gotaas H.B. and W.J. Oswald. "Utilization of Solar Energy for Waste Reclamation", Trans. of the Conference on the Use of Solar Energy, vol. 4, Tucson, Arizona, October 31 – November 1, 1955.

Handbook of Homemade Power, Mother Earth News, Bantam Books, N.Y., May 1974.

Havens David. The Woodburners Handbook, Media House Publications, Portland, Maine, 1973.

Hughes F.P. "The Eco House", Mother Earth News, no. 20, March 1973, pp. 62–65.

Hydrocarbon Powercells for U.S. Air Force Missions, Pratt & Whitney Aircraft.

Kern K. The Owner–Built Home, Owner–Builder Publ., Oakhurst, Calif., 1974.

Kern K. The Owner–Built Homestead, Owner–Building Publ., Oakhurst, Calif., 1974.

Kotze J.P., et. al. "Anaerobic Digestion II", Water Research, vol. 3, no. 7, July 1969.

Leicke J., et. al. Other Homes and Garbage, Sierra Club Books, San Francisco, Calif., 1975.

Maine Audubon Society, Maine Audubon Headquarters Energy Systems. (Blueprints and system description, $8.00. Available from Maine Audubon Society, 53 Baxter Blvd., Portland, Maine, 04101)

Merrill R., et. al. Energy Primer, Portola Institute, Menlo Park, Calif., 1974.

"Methane Power", Architecture Design, February 1972, vol. 42, no. 2, p. 131.

Oswald W.J. and C.G. Golueke. "Solar Power via a Botanical Process", Mech. Engr., February 1964, pp. 40–43.

"Plowboy Interview with Ram Bux Singh", Mother Earth News, No. 18, pp. 7–13.

Shelton J. The Woodburners Encyclopedia, Vermont Crossroads Press, Vermont, 1976.

Singh Ram Bux. Bio–Gas. Plant Designs with Specifications, Gobar Gas Research Station, Hjitmal, Etawah (v.p.), India.

Swift Wesley R. "Methane Digester Design", Alternatives, Autumn 1973, vol. 3, no. 1.

Weichett Stephen. "An Organic Answer to the Fuel Shortage", Environment Action Bulletin, December 15, 1973.

Winkleman Hans. Wood Burning, Occasional Paper No. 1, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, December 1958.

9. СОВМЕЩЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Совмещение систем в одной установке позволяет использовать вторичное тепло, воду и возобновляемые источники энергии, такие, как солнце и ветер. Совмещенная система преобразовывает эти различные формы энергии в одну форму, удобную для накопления и подачи энергии потребителю.

В прошлом все попытки удовлетворить потребности в энергии с помощью природных средств сводились к использованию только одного переменного источника энергии. Большинство этих попыток оказались безуспешными потому, что не удалось преодолеть такие трудности, как крупные размеры и высокая стоимость установок.

Если удавалось согласовать работу двух периодических источников энергии, то это лишь увеличивало надежность работы системы. Применяемые в совмещенной системе устройства для получения энергии от различных возобновляемых источников могут иметь меньшую производительность, чем аналогичные устройства, используемые в автономных системах. Когда автономные системы объединены в одну,

каждая из них становится многофункциональной, что позволяет уменьшить общие размеры системы.

Объединение подсистем в большой степени зависит от типа аккумулирующей системы, ее соответствия форме накапливаемой энергии. Возможное сочетание систем и мощность каждой из них определяются с помощью анализа.

Приведем факторы, которые необходимо принимать во внимание:

- связь с окружающей средой;
- эффективность преобразования;
- простота совмещения систем;
- возможность работы с единой аккумулирующей системой;
- возможность повторных циклов и максимизации эффективности системы;
- экономические показатели.

Для дальнейших усовершенствований был выбран ряд систем. В процессе анализа оценили их взаимосвязь между собой, с окружающей средой, ограждающей конструкцией и, самое главное, установили, насколько они отвечают предъявляемым к ним требованиям.

Приводимые ниже примеры совмещенных систем не отражают образ жизни людей (хотя некоторые из подсистем зависят от этого) или какие-либо конкретные архитектурно-строительные решения, а просто показывают, каким образом различные факторы (источники энергии, производство продуктов питания, способы очистки воды, ограждающие конструкции, образ жизни людей и т.д.) могут быть сведены в единую гармоничную систему.

9.1. РЕЦИРКУЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОДНОСЕМЕЙНЫХ СЕЛЬСКИХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

К.Г. Голюк и У. Дж. Освальд из Калифорнийского университета, Беркли, разработали рециркуляционную систему, в которой рециркулируют бытовые стоки и используется солнечная энергия. Авторы ставили перед собой цель создать установку, минимально воздействующую на окружающую среду и использующую доступные источники энергии. Это было достигнуто путем максимальной интеграции жилища с окружающей средой. Интеграция заключается в объединении нескольких систем, с помощью которых различные отходы жизнедеятельности людей рециркулируют в тех системах, в которых они получаются. Такое решение сегодня представляется наиболее близким к природным циклам кругооборота веществ. Энергия вырабатывается в результате полного цикла взаимодействия растительных и животных организмов, как это происходит в природе.

Считается, что такая система применима для дома, в котором проживает семья из четырех человек, имеющая корову и 50 кур. В систему входят следующие основные элементы:

- анаэробный сбраживатель;
- несколько секций для выращивания водорослей;
- отстойник;
- гравийное основание;
- солнечный дистиллятор;
- газообменная установка.

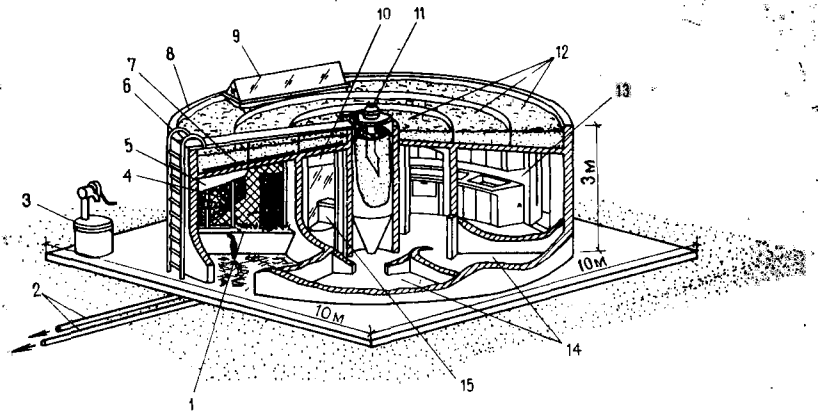


Рис. 9.1. Схема односемейного жилого дома с микробиологической рециркуляционной системой

1 — корыто с водой и кормом для кур; 2 — перелив в яму с песком из перегнивателя и поилки; 3 — колодец с насосом; 4 — птичник; 5 — отстойник; 6 — обходной мостик с лестницей; 7 — трубопровод для избыточного газа; 8 — перелив в колодец; 9 — аккумулятор дождевой воды и солнечный дистиллятор; 10 — емкость питьевой воды; 11 — анаэробный перегниватель; 12 — культура водорослей; 13 — кухня с газовым холодильником, газовым освещением и плитой; 14 — спальни; 15 — туалет и душ

Все эти элементы, обеспечивающие условия жизнедеятельности людей и животных, совмещены в одном блоке диаметром 10 м и высотой 3 м.

9.1.1. Работа элементов системы. Все органические отходы хотя бы один раз в день сбрасываются в анаэробный сбраживатель вместимостью 1,6 м^3. Получаемый в результате анаэробного разложения метан накапливается в верхней части сбраживается, имеющего купольное покрытие. Газ под куполом аккумулируется до тех пор, пока его давление не станет достаточным, чтобы он по трубопроводу мог поступать к соответствующим приборам. Отходы в сбраживатель подаются под уровень жидкости. Сбраживатель расположен под центральной частью зданий таким образом, что изоляция здания и тепло, выделяемое людьми (метаболическое тепло), поддерживают в нем оптимальную рабочую температуру.

Поступающая в сбраживатель органика вытесняет соответствующее количество растворимой органики, которая направляется в резервуары для выращивания водорослей, расположенные на крыше. Эта растворимая органика служит субстратом для развития водорослей.

Крышный резервуар состоит из трех концентрических емкостей. Наружная емкость — последняя ступень очистки — оборудована бункером, в котором происходит отстаивание и накопление водорослей. Эти водоросли в смеси с водой можно использовать в качестве корма для коровы, обеспечивая ее суточную потребность в белке. Они могут быть обезвожены и подсушены на иловых площадках и затем использованы в качестве корма для кур.

Увеличив площадь крышного резервуара, можно получить дополнительное количество водорослей и добавлять их затем как дополнитель-

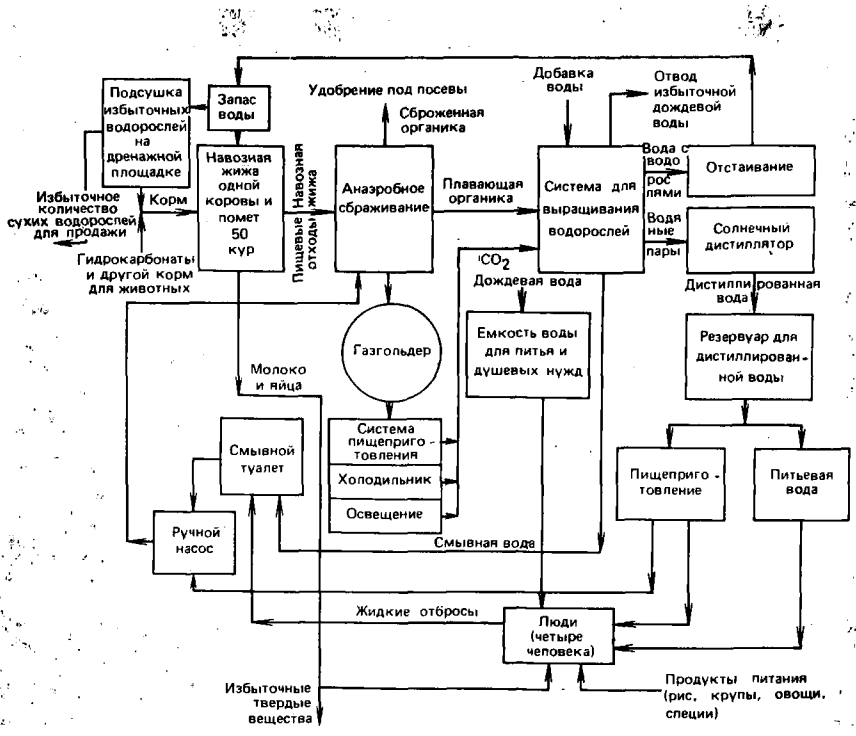


Рис. 9.2. Схема биологического цикла односемейного автономного жилого дома

ный источник органики в сбраживатель. Получаемый при сжигании метана углекислый газ отводится в резервуар, где часть этого газа усваивается водорослями, которым для питания требуется углерод.

Питьевое водоснабжение осуществляется с помощью солнечного дистиллятора. Дистиллятор перегоняет из культуры водорослей воду, которая может быть использована для питья и пищеприготовления в количестве, достаточном для семьи из четырех человек. Солнечный дистиллятор может быть использован в качестве собирателя дождевой воды. Дополнительное количество воды нужно для душевых потребностей и уборки помещений. Оно может быть получено из подземного или поверхностного источника.

Ожидается, что такая система позволит полностью обеспечить потребности семьи из четырех человек, имеющей небольшое приусадебное хозяйство. Система может быть построена из местных материалов и иметь сравнительно низкую стоимость. Поскольку работа системы зависит от роста водорослей, зона ее применения определяется климатическими условиями, в которых могут развиваться водоросли. В районах с суровым климатом можно рекомендовать перекрытие резервуаров для выращивания водорослей, что позволит расширить область применения таких систем.

9.2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ДОМ

Проект экологического дома, разработанный группой по строительству дешевых домов университета Макгил, Монреаль, Канада, демонстрирует, что дом, построенный при минимальных затратах и учитывающий экологические принципы, может стать практической и весьма привлекательной реальностью.

Группа Брейс Резерч ставила перед собой цель создать дешевое здание и существенно уменьшить расход воды, используемой в системах водоснабжения и канализации.

9.2.1. Конструкции из серных блоков. Сера — один из наиболее распространенных в природе, но мало используемых материалов. Некоторые преимущества использования серы в качестве строительного материала заключаются в следующем:

- доступность;
- хорошая вяжущая способность;
- водостойкость;
- хорошие изолирующие свойства в смеси с различными материалами (песком, гравием и землей);
- сопротивление сжатию, близкое к бетону;
- малая энергоемкость при плавлении (114—119 °С);
- легкая смена агрегатного состояния;
- не разрушается термитами.

Основное преимущество сернистых материалов заключается в том, что они имеют низкую температуру плавления, легко получаемую с помощью простейших методов. В университете Макгил для приготовления бетона использовали обычную бетономешалку, снабженную подогревом и теплоизоляцией. Песок и другие инертные материалы добавляли в расплавленную серу и смесь затем подогревали в электроподогревателе. Наибольшей прочностью обладает материал, содержащий 40% серы и 60% песка.

Расплавленный материал заливали в формы из инертного материала, не содержащего извести, где он застывал в течение нескольких минут. Эти формы позволяют использовать неквалифицированную рабочую силу. Некоторую стоимость представляет только укладка первого ряда, которую необходимо выполнять по монолитному бетонному основанию. После того как первый ряд уложен и выверен по уровню, дальнейшая укладка блоков не представляет трудности.

Крыша жилой части здания выполнена из асбестоцементных канализационных труб. Каждая труба разрезается вдоль на четыре части. Эти секции формируют желоба, которые затем притягиваются в специальные выемки в деревянном каркасе покрытия.

Ванная комната отделена от основных жилых помещений. Стены ее выполнены из 12-мм асбестоцементных панелей. Покрытие представляет собой комбинацию солнечного коллектора и коллектора дождевой воды.

Собираемая дождевая вода накапливается в высокорасположенном резервуаре и используется для душа. Вся использованная вода собирается в 200-л бензиновой бочке, установленной под полом ванной комнаты. Из этой емкости вода либо перекачивается на крышу, где с помощью дистиллятора превращается в питьевую, либо подается в специальный резервуар и затем используется для смыва в туалете. Пос-

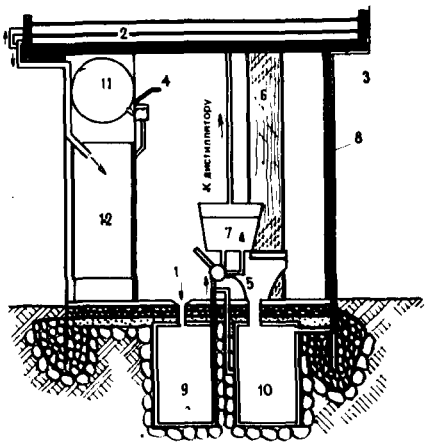


Рис. 9.3. Схема экологического туалета
1 — ручной насос; 2 — солнечный дистиллятор; 3 — изоляция; 4 — душ; 5 — туалет; 6 — окно; 7 — смывной бачок; 8 — вентиляционный стояк; 9 — резервуар душевых вод; 10 — резервуар смывных вод; 11 — резервуар дождевой воды; 12 — резервуар питьевой воды

ле двухкратного использования вода подается в другой 200-л резервуар или в расположенное рядом с помещением очистное сооружение.

В очистное сооружение с помощью аквариумного 12-В компрессора постоянно подается воздух для интенсификации аэробного сбраживания. По переливной трубе сточная жидкость из очистного сооружения попадает в обычный грязеотстойник с каменной загрузкой. Подсчитано, что твердые вещества будут накапливаться в нем со скоростью 5—7 см в год; это значит, что опорожнять грязеотстойник придется только один раз в 5 лет.

Другой способ экономии воды — установка ванны и туалета в едином блоке. Ванну располагают выше туалета, и спускаемая из нее вода попадает в накопитель, из которого затем забирается для смыва туалета.

Электрические установки. Разработанный в ФРГ 12-полюсный ветрогенератор позволяет получать постоянный ток напряжением 12 В, используемый для пищеприготовления, освещения и горячего водоснабжения. В качестве накопителей энергии служат 12-В аккумуляторы. Получаемое от них электричество расходуется на питание аквариумного компрессора, который подает воздух в очистные сооружения.

Экологический дом университета Макгил подтверждает не только применяемость на практике существующей технологии и экологических принципов проектирования, но и то, что это может быть сделано с достаточно малыми затратами. Общая стоимость конструкций здания, за исключением стоимости участка и стоимости работ, составила около 2 тыс. долл., сантехнических систем — около 450 долл., а электрооборудования — около 1 тыс. долл., что дает общую стоимость здания 3450 долл.

Экологический дом Грэхэма Кейна следует рассматривать как попытку создать здание, которое использует инфраструктуру солнечного света для поддержания биологических циклов жизнеобеспечения здания и комфортных условий проживания. Автор проекта — студент 5-го курса Архитектурного института в Лондоне.

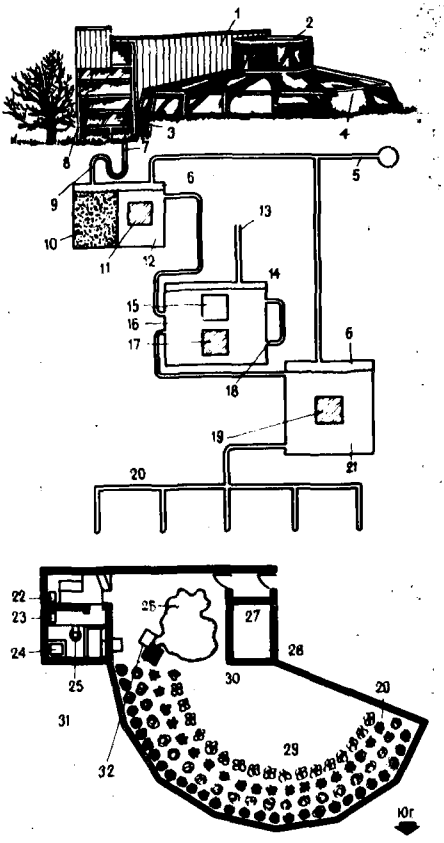


Рис. 9.4. Схема экологического дома Грэхема Кейна

1 — рабочие помещения второго этажа; 2 — вентиляционные проемы; 3 — резервуар для выращивания водорослей; 4 — открывающиеся двойные окна из пластика; 5 — метан для пищеприготовления; 6 — метан; 7 — слив отходов; 8 — солнечный абсорбер системы горячего водоснабжения; 9 — сифон; 10 — твердая органика; 11 — солнечная панель, $t = 21–32\ ^{o}C$; 12 — жидкость; 13 — воздух; 14 — освещенность 500 фут-свечей; 15 — световой фонарь; 16 — водоросли; 17 — солнечная панель; 18 — труба для дыхания водорослей, расположенная в здании с целью создания благоприятных температурных и световых условий; 19 — солнечная панель, $t_{ж} = 43\ ^{o}C$; 20 — резервуары для гидропоники; 21 — емкость для сбраживания водорослей и получения метана; 22 — раковина; 23 — ванна; 24 — душ; 25 — туалет; 26 — водоем для выращивания рыбы; 27 — теплица; 28 — бананы и другие тропические культуры; 29 — овощи, фрукты и цветы; 30 — оранжерея; 31 — все сточные воды поступают в перегниватель; 32 — питьевая вода (собирается дождевая вода с крыши и фильтруется на песчаном фильтре)

Основной элемент экологического дома — двухсекционный анаэробный сбраживатель. Одна секция заполняется жидкими отходами, а другая — твердыми. Как только органическое вещество в обеих секциях пройдет частичное разложение, содержимое секций перегружается в другой резервуар, в котором на этой питательной среде выращиваются водоросли. Водоросли заканчивают процесс декомпозиции. Содержащиеся в канализационных стоках патогенные микроорганизмы должны быть обезврежены, для чего во второй резервуар подается кислород и обеспечивается поступление солнечных ультрафиолетовых лучей. Хотя водоросли не требуют для своего развития большого количества света, тем не менее в некоторых районах в зимнее время возникает необходимость в дополнительном искусственном освещении. В проекте Кейна предусматривается дополнительное освещение внутреннего помещения резервуара для выращивания водорослей посредством 40-В люминесцентной лампы.

Когда водоросли заканчивают процесс разложения органики, жидкость перепускается во вторичный сбраживатель, где получается метан. Метан и газ из первичного сбраживателя подаются к кухонной плите.

Оба сбраживателя работают при оптимальной температуре (21—35 °С), которая поддерживается с помощью водяной рубашки, получающей тепло от плоского солнечного коллектора. Коллектор в зимнее время обеспечивает температуру воды 21 °С, необходимую для роста водорослей.

Осадок, остающийся во вторичном сбраживателе, используют для выращивания растений методом гидропоники. С жилыми помещениями совмещена теплица площадью 46,5 м^2. По Кейну, при 24 м^2 обрабатываемой площади теплицы можно будет получать по 40 кг овощей с 1 м^2. Этого было бы достаточно для того, чтобы обеспечить потребность владельцев здания в овощах в течение всего года.

Питьевая вода получается из дождевой воды, которая собирается с помощью коллектора площадью 56 м^2 и фильтруется через песчаный фильтр. Во время фильтрации удаляются различные загрязнения, попавшие в воду из атмосферы. Отфильтрованная вода поступает в другую емкость и затем перед использованием пропускается через фильтр с загрузкой из активированного угля. Если вода собирается на городской территории, то ее следует подвергать более тщательной фильтрации.

Солнечная система горячего водоснабжения состоит из ряда окрашенных в черный цвет радиаторов, расположенных на южной стене здания. Горячая вода накапливается в 113-л емкости; дополнительный подогрев осуществляется погруженным нагревателем, присоединенным к обычному источнику энергии.

Кейн планирует дополнить систему ветрогенератором, чтобы приблизить экологический дом к полной автономии.

Проект "Оуроборос". Оуроборос — мифологический дракон, который питался собственным хвостом. Сегодня это понятие ассоциируется с основными природными принципами нашего существования на планете.

Проект "Оуроборос" представляет собой двухэтажное здание, построенное студентами архитектурного факультета Миннесотского университета в 1973 г. Это была попытка проверить применимость в жилищном строительстве различных "ритмов и потоков энергии, пронизывающих окружающую среду, и разработать взаимоувязанные системы, позволяющие эту энергию использовать". Здание имеет трапецеидальную форму, что позволяет уменьшить поверхность здания и, следовательно, теплопотери через ограждающие конструкции, а также максимально использовать южную ориентацию. Площадь солнечного коллектора 54 м^3, площадь пола 140 м^2. Теплица ориентирована на юг, чтобы получить как можно больше тепла. Грунт уложен на искусственном основании с целью уменьшения влияния экстремальных погодных условий и колебания температуры поверхности. Одернованная крыша облегчает охлаждение помещений в летнее время. Применение малоэнергоемких приборов, дровяной топки с нижним дутьем, аэробного обезвреживания сточных вод, приборов, сокращающих расход воды и 4-кВт ветрогенератора, делает дом малоэнергоемким. Авторы проекта установили, что здание полностью отапливается солнечной энергией, и теперь планируют использовать рециркуляцию воды и выработку метана.

Проект "Оуроборос" демонстрирует преимущества одернованных крыш, мало распространенных в США, но широко применяемых в Северной Европе. Одернованные крыши считаются весьма дорогостоя-

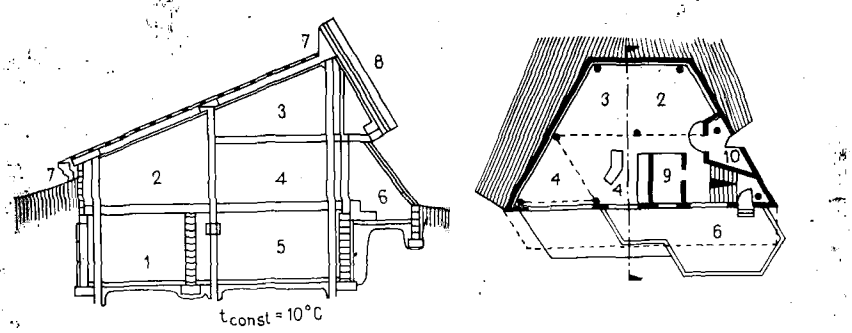


Рис. 9.5. Проект "Ороборос"
1 — аккумулятор солнечной системы; 2 — жилые помещения; 3 — спальни; 4 — кухня, столовая; 5 — подвал; 6 — теплица; 7 — вентиляция; 8 — солнечный коллектор; 9 — ванная; 10 — вход

щими из-за применения усиленных строительных конструкций. Реальная стоимость зависит от того, применяется ли собственный или привозной дерн. Кровля, покрытая битумом служит 15—25 лет, а одернованная — около 60 лет.

Конструкция кровли может состоять из слоя рулонного материала, защитной цементной стяжки, слоя черного полиэтилена и еще одного защитного слоя. По верху такой кровли может быть уложен дерн. Подсчитано, что эффективность слоя дерна толщиной 150 мм равна эффективности слоя фиберглассовой изоляции толщиной 75 мм. Кроме изолирующих свойств дерн обладает способностью задерживать воду и тем самым улучшать охлаждение здания. Более важно учитывать это, чем рассматривать только стоимость одернованной кровли.

Совмещенные системы жизнеобеспечения. Приблизительно в часе езды от Альбукерка находится исследовательская лаборатория Роберта Рейпса, называемая "Совмещенная система жизнеобеспечения". Вместе с коллегами он построил два купольных сооружения. Первое представляет собой жилое здание диаметром 9,45 м и полезной площадью 61 $м^2$ на первом этаже и 18,6 $м^2$ на втором. Здание выполнено из стальных элементов с внутренней изоляцией из огнестойкого полиуретана толщиной 7,5 см. Для отопления нижней части здания на склоне холма установлены три солнечных коллектора. Второй этаж имеет коллектор, встроенный в конструкции. В аккумулирующей емкости находится 11,3 $м^3$ водного раствора этиленгликоля, а теплоносителем служит вода. Электроэнергия вырабатывается тремя ветрогенераторами, накапливается в аккумуляторах и через твердые преобразователи распределяется по помещениям к приборам и оборудованию.

Совмещенная система со встроенным ядром. Совмещенные системы не следует относить только к экспериментальным системам; уже сейчас многие из этих систем могут найти применение для существующих систем пищеприготовления и отопления. Обычно в здании приборы и оборудование расположены в разных местах, что создает неудобства для преобразования и использования энергии. В результате большое количество энергии теряется.

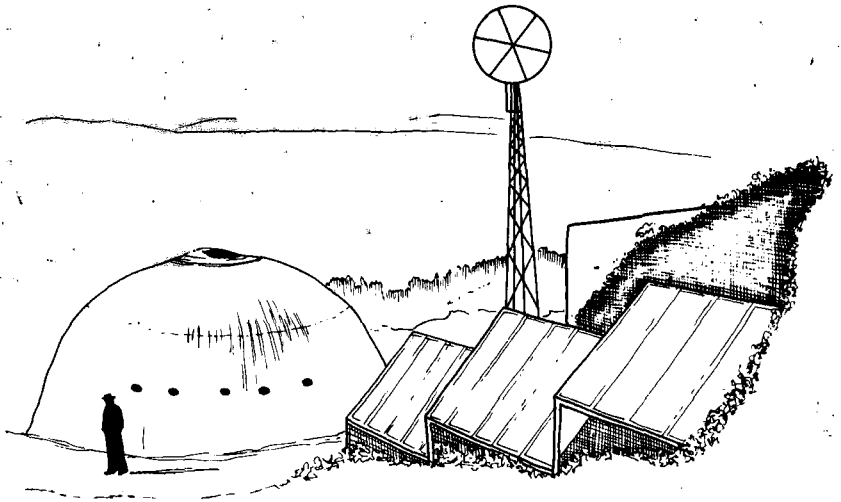


Рис. 9.6. Комбинированная система жизнеобеспечения

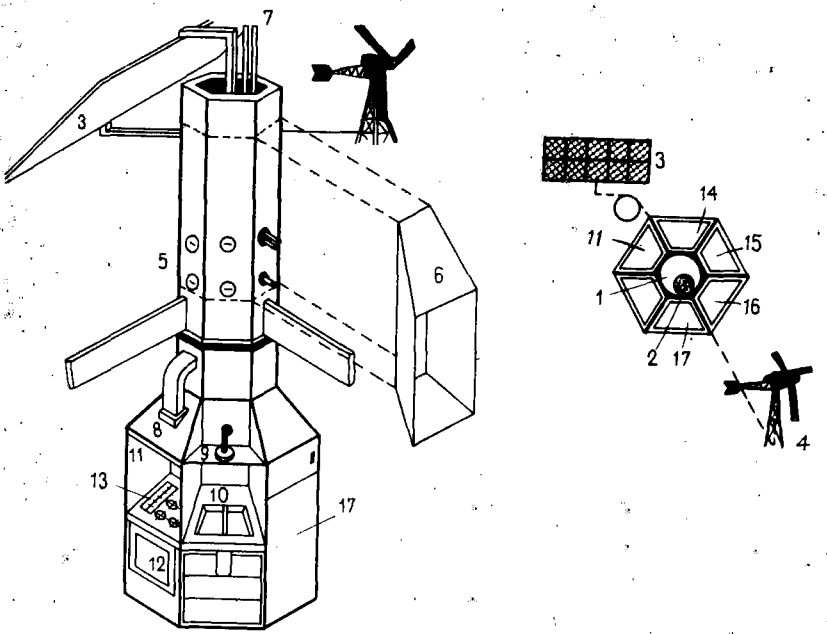


Рис. 9.7. Схема системы совмещенной в ядре
1 — вытяжная труба; 2 — перегниватель; 3 — солнечный коллектор; 4 — ветрогенератор; 5 — ядро жесткости, используемое в установке оборудования; 6 — возможное решение II этажа; 7 — вентиляционные стояки; 8 — вентилятор и теплообменник; 9 — осветительные приборы; 10 — мойка; 11 — газовая плита; 12 — печь; 13 — газовая плита; 14 — раковина; 15 — туалет; 16 — аккумулятор, преобразователь и распределительное устройство; 17 — холодильник

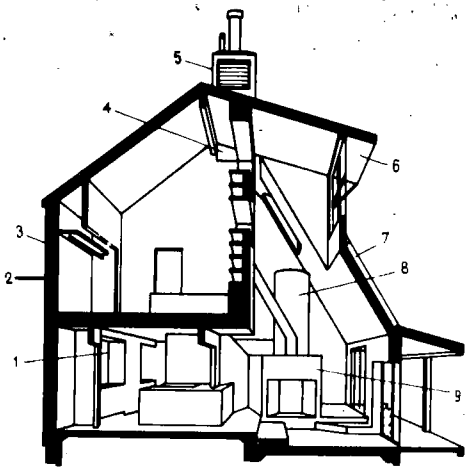


Рис. 9.8. "Резиденция Эверетта Барбера"
1 — внутренние изолирующие ставни уменьшают теплопотери; 2 — стены из бетонных блоков; 3 — наружная поверхность стены изолирована вспененным полиуретаном толщиной 7,5 см; 4 — вентиляционный короб к вентиляционной башне; 5 — вентиляционная башня улучшает вентиляцию помещений летом, создавая тягу; 6 — навес, позволяющий использовать солнечную радиацию зимой и затеняющий помещения летом; 7 — солнечный коллектор; 8 — аккумулятор солнечной системы; 9 — камин — дополнительный источник тепла, используемый также для горячего водоснабжения

Совмещение различных систем в одном ядре позволяет увеличить их эффективность за счет уменьшения потерь тепла. Аккумулирование потерь тепла и его повторное использование увеличивают общую эффективность системы.

Основным элементом системы, способствующим повышению эффективности, служит теплоаккумулирующая установка. Аккумулируемое тепло накапливается в форме реального тепла в твердой или жидкой среде или же в форме скрытого тепла (тепла плавления). Передача теплопотерь в аккумулятор может быть осуществлена с помощью газоходов и теплообменников. Газоходы применяют для отвода тепла от различных поточных устройств и горелок открытого пламени. Теплообменники используются для отвода теплопотерь системы горячего водоснабжения.

"Резиденция Эверетта Барбера". Проект "Резиденции Эверетта Барбера" разработан владельцем (президентом фирмы "Сануоркс") в сотрудничестве с архитектурной фирмой "Чарльз У. Мур ассошиэйтс". Здание площадью 120 м^2 с тремя спальнями оборудовано устройствами, сохраняющими энергию и использующими альтернативные источники энергии.

На крыше "Резиденции Эверетта Барбера", имеющей угол наклона 57^o и ориентированной на юг, установлен солнечный коллектор площадью 40,5 м^2. Для аккумулирования тепла используется заполненный водой вертикальный резервуар диаметром 1,5 м и высотой 3,6 м. Предполагается, что солнечная энергия будет обеспечивать 60% годовой потребности здания в энергии. Дополнительное тепло поступает в аккумулятор от водонагревателя, имеющего несколько завышенную мощность.

Большой камин служит дополнительным источником тепла для аккумулятора. Вокруг дымохода уложены трубы, по которым циркулирует вода, аккумулирующая тепло отходящих газов. Нагретая вода поступает в аккумулирующую емкость. Полное сгорание в ка-

мине достигается за счет первичного подогрева воздуха. Он осуществляется путем прокладки приточного воздуховода параллельно дымоходу и установки между ними теплообменника. Потери тепла через дымоход предотвращаются с помощью автоматической заслонки, закрывающейся, когда прекращается горение топлива.

В теплое время года дымоход служит для вентиляции помещений. Камера в верхней части дымохода создает тягу, когда воздух в помещении нагревается. В результате возникает естественная циркуляция, при которой теплый воздух через вытяжную систему покидает здание, а холодный поступает через окна первого этажа. Для интенсификации тяги избыточное тепло от солнечного коллектора направляется в камеру на дымоходе, где, подогревая воздух, создает большую разницу температур приточного и вытяжного воздуха.

Крыша имеет затеняющее устройство, которое позволяет использовать пассивную солнечную энергию зимой, но исключает избыточное ее поступление летом. Такие же устройства сделаны над окнами восточного и южного фасадов. Над дверями западного фасада установлены подвижные навесы, предотвращающие избыточное теплопоступление в дневное время летом. Бóльшая часть остекления предусмотрена на южной стороне здания для лучшего использования пассивной солнечной энергии зимой и лучшего освещения помещений. На северной стороне имеется лишь несколько окон, но они снабжены изолирующими ставнями, чтобы избежать потери тепла во время холодных ночей.

Здание выполнено из бетонных блоков с нанесением теплоизоляции из полиуретана толщиной 7,5 см.

Доказано, что нанесение теплоизоляции на наружную поверхность каменных конструкций более эффективно, чем нанесение ее на внутреннюю поверхность. В этом случае изоляция служит буфером между сравнительно большой тепловой массой стены и наружным воздухом.

Значительная часть общего потребления энергии зданием приходится на горячее водоснабжение. В "Резиденции Эверетта Барбера" применяются три метода, с помощью которых вода предварительно подогревается, прежде чем поступить в водонагреватель. Чем выше температура поступающей воды, тем ниже расход энергии в водоподогревателе. Первый способ предварительного подогрева заключается в использовании тепла отводимой горячей воды. Во втором случае используется тепло конденсатора холодильника, что, кроме того, улучшает работу холодильника, так как его конденсатор работает при более низкой температуре. В третьем случае используется аккумулирующая емкость солнечной системы.

Уменьшить потребление энергии за счет предварительного подогрева можно не только в системе горячего водоснабжения. Количество энергии, потребляемой нагревательными элементами сушилки одежды и посудомоечной машины, также можно уменьшить, предварительно подогревая подаваемый в них воздух. Предварительный подогрев воздуха можно осуществить, пропустив его через теплообменник, работающий от солнечной системы горячего водоснабжения.

Планируется создание системы рециркуляции сточных вод и повторного их применения для смыва.

Для улучшения надежности системы электроснабжения используют два ветрогенератора диаметром 3 м.

Разработка Нового института алхимии для острова Принца Эдварда.

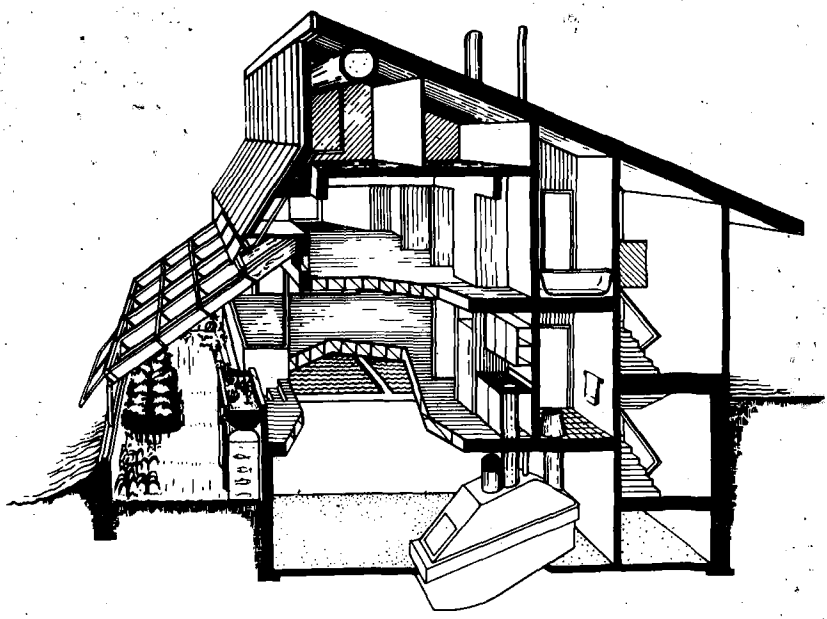


Рис. 9.9. Дом на острове Принца Эдварда

Новый институт алхимии (НИА) в 1969 г. был определен головным по разработке технологий будущего. Обобщая практические и философские концепции, НИА занял лидирующее положение в США и находится в числе ведущих институтов, занятых разработкой проблем, связанных с экологией, замкнутыми циклами производства пищевых продуктов и использованием возобновляемых источников энергии. Одно из таких решений названо "дом с теплицей и рыбным хозяйством". В результате был создан мини-ковчег с солнечным отоплением и энергоснабжением подсобного хозяйства от ветрогенератора.

В дальнейшем был разработан проект "Кейп Код ковчег" с целью проверки возможности создания "биологического убежища", способного полностью обеспечить потребность его обитателей в пище и энергии.

Последняя разработка НИА — здание для острова Принца Эдварда, небольшой канадской провинции на севере Нова Скотии. Особенность этого "ковчега" заключается в том, что удалось совместить прежде несовместимые системы. Теплицу, солнечный пруд и солнечный коллектор удалось соединить в единое целое с 25-кВт ветрогенератором. При разработке этого проекта его авторы поставили задачу — создать систему, которая бы обеспечивала себя энергией, использовала свои отходы и сама производила для себя продукты, не нанося ущерба окружающей среде.

Здание на острове Принца Эдварда было решено в противовес концепции использования в будущем ядерной энергии, и в качестве источников энергии для этого здания были выбраны уголь, ветер и солнце.

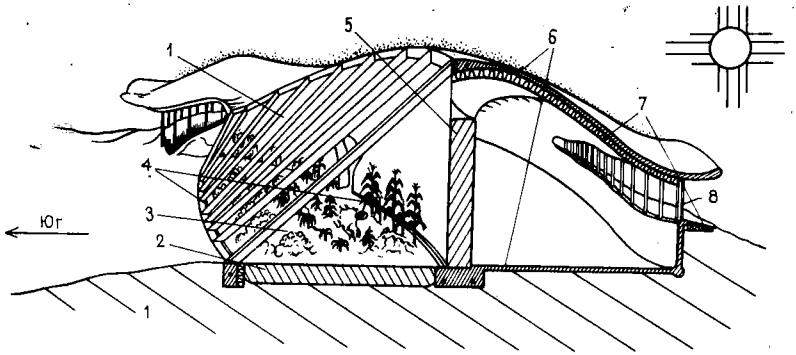


Рис. 9.10. Дом "Биосфера"
1 — солнечный коллектор; 2 — резиновая гидроизоляция; 3 — оранжерея; 4 — лоток коллектора воды; 5 — аккумулирующая стена; 6 — фиберцементные конструкции; 7 — изоляция; 8 — окно

Биосфера — это здание, в состав которого входят теплица, солнечный коллектор и солнечный дистиллятор. Некоторые функции, обычно выполняемые жилыми помещениями, — обеспечение продуктами, теплом, свежей водой, а также обезвреживание отходов в данном случае выполняет теплица.

Теплица имеет общую стену с жилой частью здания и ориентирована на юг. Площадь, занятая растительностью, составляет 1/2—1/3 общей площади теплицы. Прозрачная стена теплицы снабжена съемным покрытием из вспененного синтетического материала толщиной 75 мм, покрытого фольгой.

Накопление тепла осуществляется одним из двух возможных способов — можно накапливать тепло, используя влажную землю теплицы, или же это избыточное тепло может быть аккумулировано массивной внутренней стеной.

Между коллектором и аккумулирующей стеной находится корыто для конденсации влаги, стекающей с их поверхностей. Получаемая дистиллированная вода пригодна для питья. Для уменьшения потерь воды под грунтом теплицы уложен слой гидроизоляции, что делает теплицу герметичным сооружением.

Эксперимент замкнутого цикла. Эксперимент по сооружению здания, имеющего замкнутый цикл жизнеобеспечения, был начат Джоном Шором летом 1971 г. Здание сложной конструкции имеет внутреннюю теплицу, отапливаемую с помощью коллектора; электроэнергия вырабатывается ветрогенераторами.

Описание систем. Собираемая дождевая вода пропускается через песчаный фильтр, корпусом которого служит труба диаметром 150 мм и длиной 500 мм. Нижняя часть трубы заварена и снабжена патрубком с вентилем, что позволяет регулировать скорость фильтрования. Принцип действия фильтра носит скорее механический, чем биологический характер. Во время ливней вода переполняет фильтр и собирается в резервуаре-накопителе, из которого с помощью ручного насоса или насоса с ветроприводом может быть поднята в крышный резервуар-накопитель. Их этого резервуара вода поступает на фильтр, солнечные нагре-

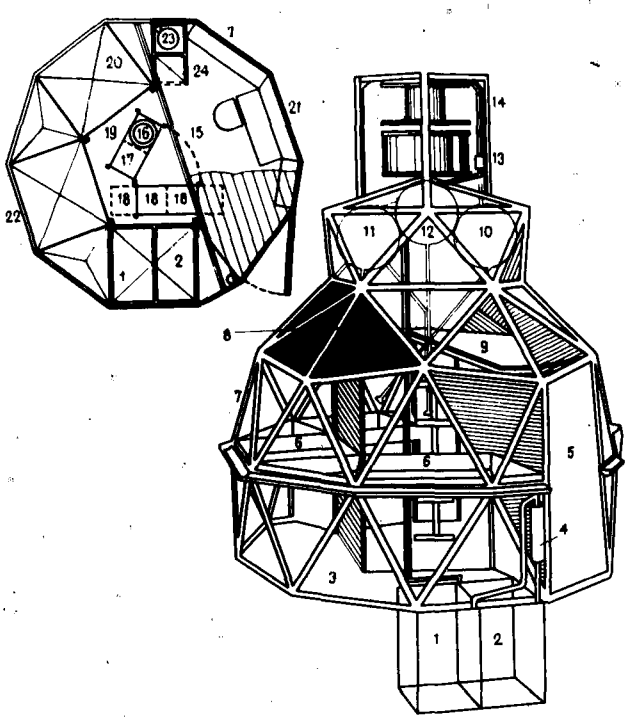


Рис. 9.11. "Органическая жизнь" — эксперимент № 1
1 — резервуар для дождевой воды; 2 — резервуар для фильтрованной воды; 3 — грунт; 4 — песчаный фильтр; 5 — дверь; 6 — ящик для растений; 7 — сбор дождевой воды; 8 — солнечные панели; 9 — перекрытие; 10 — использованная вода; 11 — горячая вода; 12 — фильтрованная вода; 13 — фильтр питьевой воды; 14 — S-образные роторы с контрвращением, обеспечивающие работу насоса и освещения; 15 — жилые помещения; 16 — пищеприготовление; 17 — кладовая; 18 — заготовочная; 19 — изолирующие шторы; 20 — производство продуктов питания; 21 — изоляция; 22 — двойное остекление; 23 — туалет с перегнивателем; 24 — душ

ватели и систему орошения теплицы. Эта вода, подаваемая на питьевые нужды, проходит две ступени фильтрования на песчаных фильтрах.

С помощью аэробного перегнивателя продукты жизнедеятельности людей и отмершие растения превращаются в удобрение. Перегниватель представляет собой изолированный контейнер, снабженный решеткой для поддержания разлагающегося материала. Вентиляция перегнивателя осуществляется с помощью двух воздушных патрубков. В перегнивателе погибают патогенные бактерии, чувствительные к температурам ниже температуры перегнивания компоста.

Площадь теплицы не в состоянии полностью обеспечить человека овощами, но позволяет получить некоторое дополнительное количество их, пригодных для выращивания в условиях искусственного грунта. Вода, нагреваемая с помощью параболического концентратора, обеспечивает медленное приготовление полуфабрикатов. Для горячего водоснабжения используются плоские коллекторы.

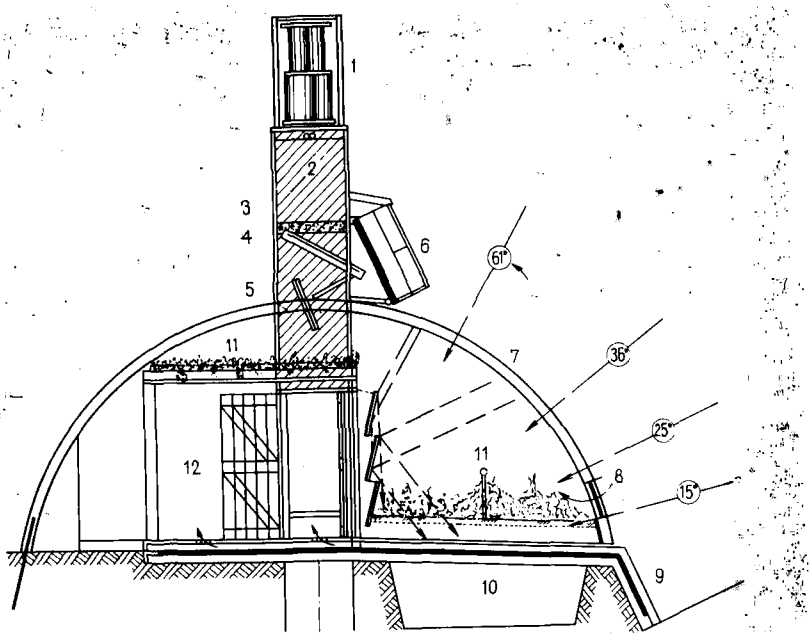


Рис. 9.12. Солнечный дом № 1

1 — S-образные роторы; 2 — емкость для горячей воды; 3 — песчаный фильтр; 4 — плоский солнечный коллектор; 5 — регулируемая вентиляция; 6 — параболический коллектор; 7 — полиэтилен; 8 — вентиляционный проем; 9 — солнечный коллектор-воздухоподогреватель; 10 — пруд для разведения рыбы; 11 — грунт; 12 — жилые помещения

Электроэнергия вырабатывается двумя S-образными роторами, которые вращаются в противоположных направлениях. Роторы этого типа были выбраны из-за их простоты и легкости изготовления. Они соединены с генераторами переменного тока Стурми—Аргера—Дипохуба. Вследствие того что роторы соединены с роторами напрямую, из системы исключены редукторы. Генератор, помещенный между двумя роторами, посредством якоря соединен с одним из них, а коллектор с другим, но поскольку роторы вращаются в противоположных направлениях, относительная скорость вращения генератора в 2 раза выше. От кольцевого токосъемника энергия поступает в жилые помещения. Вместо генератора при необходимости может быть установлен насос для подачи воды.

Здание было построено в мае 1971 г. и функционировало по декабрь 1973 г. С тех пор Джон Шор разработал еще два аналогичных проекта. Первый вариант, разработанный в октябре 1973 г., был отвергнут из-за большого расхода пластика. Второй вариант был разработан с учетом требований доступности производства работ. Здесь рассмотрены оба варианта, потому что они совершенно одинаковы и отличаются только применяемыми конструкциями.

В качестве ограждающих конструкций жилых помещений использованы наклонные деревянные стены с надежной пароизоляцией по

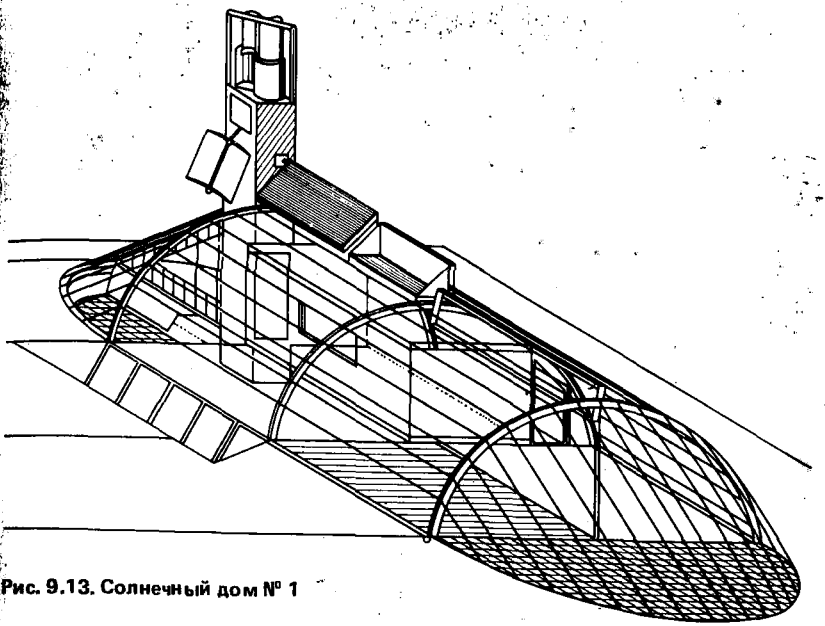


Рис. 9.13. Солнечный дом № 1

деревянному каркасу, засыпанные землей толщиной 5 см, на которой посеяна трава.

Стена между жилыми помещениями и теплицей выполняет функции аккумулятора тепла. Режим теплообмена в здании можно устанавливать, применяя различные материалы, конструкции и краски.

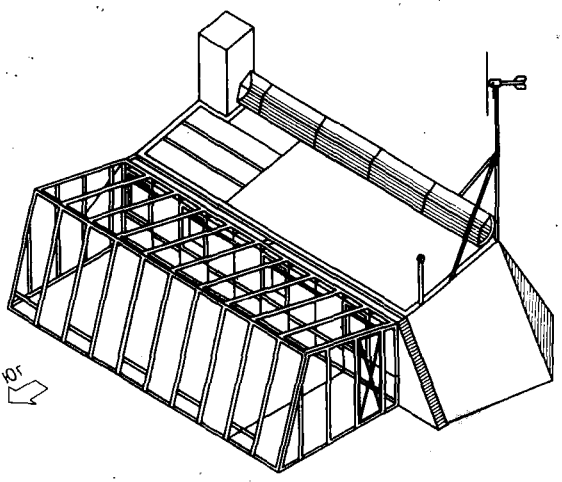
Теплица используется для того, чтобы продлить время роста растений. Теплица разделена на две зоны: теплую для выращивания овощей и холодную для выращивания фруктов. Кроме того, имеется пруд, предназначенный для выращивания рыбы или других водных продуктов.

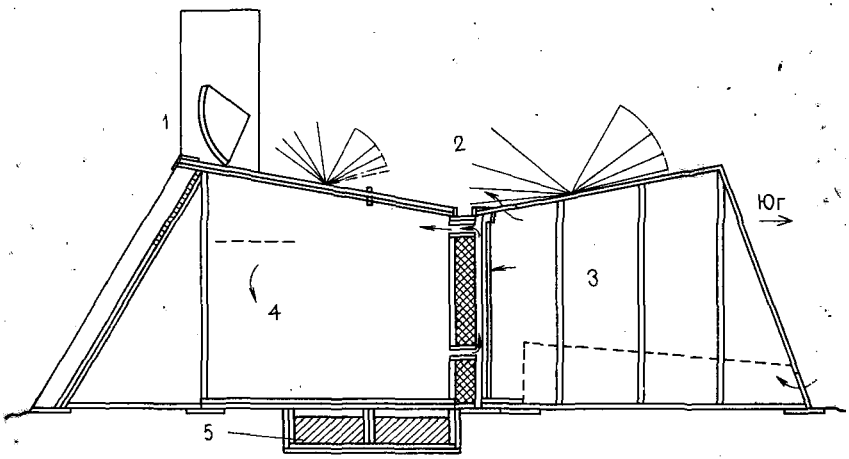
Под жилыми помещениями расположены резервуары дождевой и горячей воды. В башне на крыше установлен бак горячей воды системы солнечного отопления.

Солнечные воздухонагреватели используются для подогрева воздуха. Установленный на земле солнечный коллектор нагревает воздух, циркулирующий по воздуховодам внутри бетонных блоков.

Поселок "Грасси Брук Виллидж" состоит из 20 домов, решенных таким образом, чтобы свести к минимуму воздействие на окружающую среду и создать системы жизнеобеспечения, работающие от природных источников энергии и не загрязняющие окружающую среду.

Поселок "Грасси Брук Виллидж" строится на лесном участке площадью 172 м^2 на территории города Бруклин, Вермонт. Архитектор — Роберт Ф. Шеннон из компании "Человек и пространство", Бостон; инженер по совмещенным системам Фред С. Дубин из "Дубин—Минделл—Блум ассошиэйтс", Нью-Йорк; генеральный проектировщик





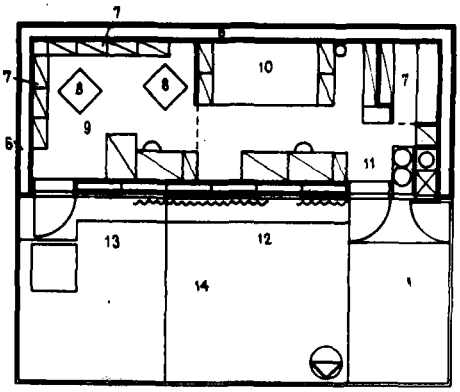


Рис. 9.14. Солнечный дом № 2
1 — параболический коллектор; 2 — солнечная стена; 3 — грунт; 4 — жилые помещения; 5 — емкость для воды; 6 — стена с земляной засыпкой; 7 — кладовая; 8 — места отдыха; 9 — прохладная зона для работы и отдыха; 10 — спальня; 11 — кухня; 12 — холодное помещение; 13 — теплое помещение; 14 — помещение для выращивания растений

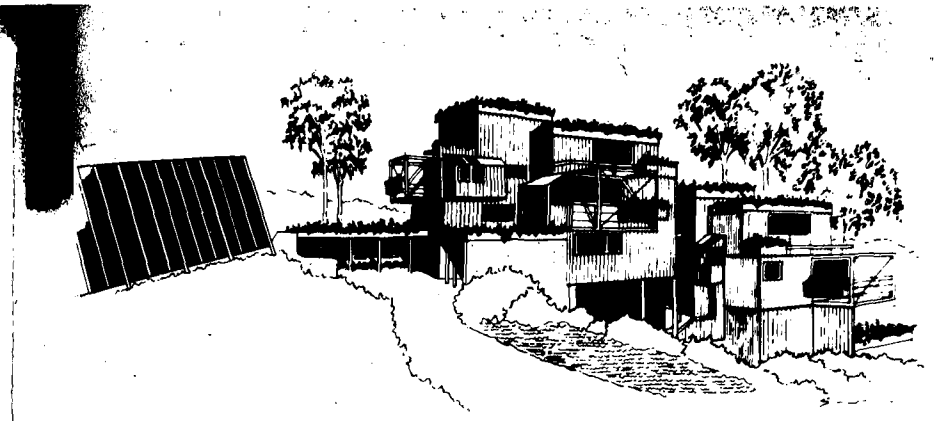


Рис. 9.15. Поселок "Грасси Брук Виллидж"

Ричард Блезей, Бруклин, Вермонт. Срок окончания строительства первой группы зданий 1974 г.; должны быть построены еще 10 зданий.

Каждая группа состоит из 10 зданий площадью 900 м^2 каждое, имеющее по три спальни. Эти здания будут пользоваться одной общей системой солнечного отопления и одной установкой по обезвреживанию отходов.

Установка солнечного отопления имеет коллектор площадью 400 м^2, размещенный под углом 57° на южном склоне холма к западу от первой группы зданий. Применение общего коллектора на группу зданий позволяет проектировщикам более свободно расположить их на местности, хотя и может привести к несколько большим потерям тепла, чем установка индивидуальных коллекторов.

Каждое здание имеет приточную вентиляционную установку со спиральным теплообменником, получающим воду с заданной температурой от теплового насоса. Такие установки расположены у наружной стены каждой комнаты, которая имеет по две аналогичные установки (работа их регулируется термостатом). Центральный тепловой насос подает либо горячую воды для отопления, либо холодную для охлаждения. Источником тепла для теплового насоса служит акку-

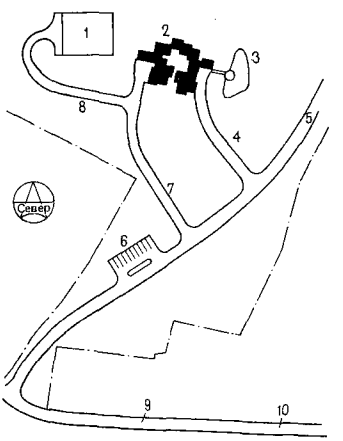


Рис. 9.16. План участка
1 — солнечный коллектор; 2 — первый этаж дома 1–10; 3 — пруд; 4 — первая подъездная дорога; 5 — проектируемая магистраль; 6 — автостоянка; 7 — вторая подъездная дорога; 8 — служебная дорога; 9 — Хилл-роуд; 10 — дорога на Грасси Брук

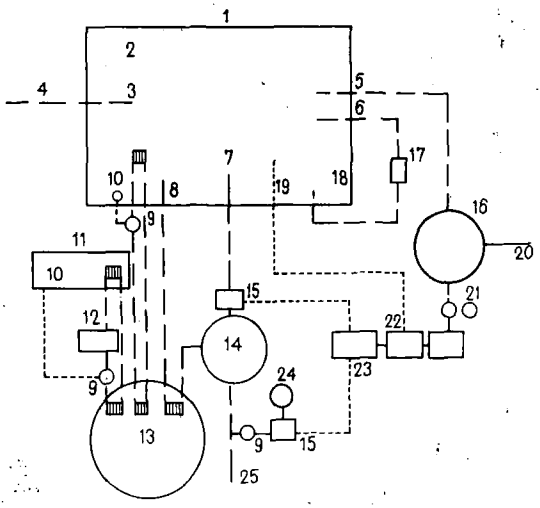


Рис. 9.17. Система жизнеобеспечения поселка "Грасси Брук"
1 — блок зданий; 2 — дровяная топка; 3 — тепло; 4 — солнце через остекление; 5 — отходы кухонь и туалетов; 6 — сточные воды; 7 — холодная вода; 8 — горячая вода; 9 — насос; 10 — пусковое устройство; 11 — солнечный коллектор; 12 — газовый нагреватель; 13 — аккумулятор скрытого тепла; 14 — резервуар для воды; 15 — генератор; 16 — перегниватель; 17 — фильтр; 18 — отвод воды после мытья и стирки; 19 — генератор переменного тока 110 В; 20 — компост; 21 — метан; 22 — преобразователь; 23 — аккумулятор; 24 — ветрогенератор; 25 — колодец

мулирующая емкость солнечного коллектора. Минимальная температура воды, подаваемой тепловым насосом, 10 °С. В качестве низкопотенциального источника тепла для теплового насоса может быть использована родниковая или колодезная вода.

Если зимой температура воды, выходящей из солнечного коллектора, превышает 43 °С, то вода направляется в теплообменник по обводной линии, минуя тепловой насос.

Объем аккумулирующей емкости, расположенной под жилыми помещениями, составляет 76 м^3. Аккумулирующая емкость имеет несколько отсеков, позволяющих накапливать воду с разными температурами. В расчете на длительные периоды густой облачности или очень холодной погоды аккумулирующая емкость снабжена мазутной горелкой.

Здания решены так, что нагрузка на отопление каждого составляет приблизительно 7900 Дж/градусо-день. Такая низкая потребность в энергии является результатом следующих мер, направленных на уменьшение потребления энергии:

- помещения имеют максимальное число общих для всей группы зданий стен (что позволило уменьшить площадь открытых поверхностей);
- полы и потолки имеют мощную фиберглассовую теплоизоляцию;
- стены покрыты изоляцией из вспененного полиуретана;
- где возможно, применено двойное остекление;
- световые фонари имеют тройное остекление;
- двери снабжены полиуретановой теплоизоляцией;
- окна закрываются на ночь изолированными ставнями.

Здания имеют плоские крыши, на которых устроены сады, создающие дополнительную теплоизоляцию. Стабильная температура и влажность крыши обеспечиваются наличием толстого слоя земли, произрас-

тающих растений и усиленной изоляции самих конструкций, что исключает возникновение влажности в помещениях.

Каждый дом имеет на случай необходимости небольшую дровяную топку.

Согласно санитарным требованиям штата Вермонт, предусмотрено устройство системы канализации. Она будет работать как резервная система доочистки после применяющихся экспериментальных установок для аэробной и анаэробной очистки. Эти экспериментальные установки решены в блочном исполнении и в случае неудовлетворительной работы могут быть легко демонтированы.

На более поздних стадиях эксперимента предполагается проверить еще ряд экспериментальных систем:

- ветрогенераторы для электролиза воды с целью получения кислорода, который затем с помощью "топливной камеры" может быть использован для получения постоянного тока. Постоянный ток через преобразователь может быть подан потребителям;
- вакуумную систему канализации и вакуумный анаэробный перегниватель. Эта система позволяет экономить воду и уменьшить за счет этого нагрузку на перегниватель;
- систему рециркуляции воды, в которой стоки от ванн, моек и стирки после очистки возвращаются в систему смыва туалетов.

Все эти системы только еще разрабатываются и могут оказаться неприемлемыми в условиях Грасси Брук.

"Грасси Брук"— это не только эксперимент по проверке работоспособности совмещенных альтернативных источников энергии, но и эксперимент в области социологии. Успех этой работы будет зависеть от желания жителей поселка сотрудничать с проектировщиками и жить в условиях некоторых ограничений, которые обусловлены применением альтернативных источников энергии.

Каждый житель имеет свое собственное чувство ответственности перед другими людьми, и успех дела зависит от того, насколько это чувство развито у других участников эксперимента. В такой небольшой замкнутой системе человек более полно может ощутить разницу между небольшими, но достаточно эффективными системами жизнеобеспечения, работающими от природных источников энергии и сохраняющими чистой окружающую среду, и соответствующими привычными системами, распространенными в настоящее время. А это может изменить его взгляды на взаимоотношения с окружающей природой и людьми.

Список литературы

Recycling System for Single—Family Farms and Villages

Clarence G. Golueke and W.J. Oswald
University of California, Berkeley
Sanitary Research Lab 1301 S. 46th Street Richmond, CA 94804

Golueke, C. G. and W. J. Oswald. "An Algal Regenerative System for Single—Family Farms and Villages", Compost Science, vol. 14, no. 3, May—June 1973.

Ecol Operation

Minimum Cost Housing Group Brace Research Institute McGill University Montreal, Canada

Ferrabee Linda. "Waste Watcher's Sylfur House", Design, no. 296, August 1973, pp. 72–75.

Ecol Operation, Architectural Design, no. 243, April 1973, p. 242.

Graham Caine Eco–House

Grahame Caine

c/o Architectural Assoc. of London
London, England

Hughes, F. P. "The Eco–House", The Mother Earth News, no. 20, March 1973, p. 62.

Caine Grahame. "The Ecological House", Architectural Design, no. 141, March 1973, p. 140.

Project Ourodoros

Boyle G. and P. Harper Radical Technology, Pantheon Books, New York, 1976.

Marcovich S. "Autonomous Living", Popular Science, December 1975, p. 80.

Integrated Core Unit

Clinton G. Bush, Jr. President
Concepts & Directions, Inc.
Oyster Bay, New York

Bush Clinton G. "Supercore", Catalyst, vol. 3, no. 2, 1973, p. 22.

Everett Barber Residence

Everett Barber Sunworks, Inc. 669 Boston Post Road Guilford, Conn. 06437

Watson Donald and Everett Barber, Jr. "Energy Conservation in Architecture", Connecticut Architect, March/April 1974.

Prince Edward Island Ark

Todd John. "The New Alchemist", Coevolution Quarterly, Spring 1976, pp. 54–65.

The Biosphere

Day Chahroudi Massachusetts Institute of Technology 77 Massachusetts Avenue Cambridge, Mass. 02139

Organic Living Experiment

John Shore 36 Bedford Square London, WCIB 3ES England

Shore John. "Organic Living Experiment #1", Undercurrents, no. 6, January 1973.

Grassy Brook Village

Grassy Brook Village, Inc. R.F.D. 1, Box 39 Newfane, Vermont 05345

"Grassy Brook Village . . . An Ecologically Sound Community in the Works", Lifestyle, no. 2, December 1972, p. 76.

Blazej, Richard D. and Philip M. Moriarty. "Living within Our Means", Crassy Brook Village, 1974.

Eccli, Sandy, et. al., eds. Alternative Sources of Energy: Book One, A.S.E., 1974, p. 19.

Оглавление

Предисловие 5
1. Введение 6
1.1. Энергия и ее взаимосвязь с характером застройки. 6
1.2 Современные решения 12
1.3. Альтернативные решения 13
2. Учет климатических факторов 17
2.1. Взаимосвязь человеческого организма с окружающей средой 17
2.2. Виды тепла 18
2.3. Солнечная радиация. 19
2.4. Углы стояния солнца над горизонтом и солнечные часы . . 22
2.5. Микроклимат 22
2.6. Ориентация 28
3. Сохранение энергии 34
3.1. Введение 34
3.1.1. Эксплуатационные расходы (34). – 3.1.2. Экономия энергии путем выбора материалов (34) . — 3.1.3. Учет условий окружающей среды (35).
3.2. Устройство окон. 35
3.2.1. Естественное освещение (36) . – 3.2.2. Регулирование освещенности путем устройства наружного затенения (37) . — 3.2.3. Типы остекления, применяемые с целью уменьшения потребления энергии (38) . — 3.2.4. Регулируемые тепловые барьеры в остеклении (39).
3.3. Отбор и использование вторичного тепла 40
3.3.1. Групповые энергетические системы (40) . — 3.3.2. Подземные тепловые сети (40) . — 3.3.3. Повышение эффективности использования тепла в зданиях (41) . — 3.3.4. Тепловые трубы (41).
3.4. Освещение в зданиях 44
3.5. Тепловая эффективность и изоляция здания 46
3.6. Коэффициент теплопередачи 48
3.7. Расчет отопительных и охладительных нагрузок 53
4. Естественное охлаждение и вентиляция 59
4.1. Основы проектирования систем охлаждения 59
4.2. Основные принципы проектирования систем охлаждения . 60
4.3. Пруды-охладители 61
4.4. Естественная вентиляция 63
4.5. Три функции вентиляции 64
4.6. Ориентация окон, их размеры и воздушные потоки 68
4.7. Расположение и тип окон 72
4.8. Проектирование внутренних помещений 75
4.9. Влияние ландшафта. 75
5. Энергия воды 78
5.1. Условия для расчета количества энергии воды 78
5.2. Местоположение плотины и измерение потока 79
5.3. Водяное колесо 83
5.4. Гидравлический насос 87
6. Энергия ветра 90
6.1. Энергия, получаемая от ветра. 90
6.2. Зависимость скорости ветра от характера поверхности. . . 90
6.3. Элементы ветряных энергетических установок. 92

6.3.1. Роторы (коллекторы) (92) . — 6.3.2. Поддерживающие конструкции (97) — 6.3.3. Регулирующие механизмы и передача энергии (98) . — 6.3.4. Генераторы, аккумуляторы и преобразователи (99)
6.3.5. Другие методы накопления энергии (102).
7. Солнечная энергия 106
7.1. Использование солнечной энергии для отопления и охлаждения. 106
7.2. Элементы гелиосистем. 106
7.2.1. Коллекторы (107) . — 7.2.2. Теория плоского коллектора (110) . — 7.2.3. Аккумуляция тепловой энергии (119).
7.3. Подсистема (объединенная) отопления и охлаждения . . . 123
7.3.1. Система отопления с прямым теплообменом (123).— 7.3.2. Абсорбционная система солнечного охлаждения (124). — 7.3.3. Охлаждение — цикл Стирлинга (компрессионный) (126). — 7.3.4. Комбинированные системы отопления-охлаждения с тепловыми насосами (127). — 7.3.5. Комбинированные системы отопления-охлаждения с тепловыми насосами, работающими от солнечной энергии в режиме отопления (128). — 7.3.6. Комбинированная система отопления-охлаждения с тепловым насосом, работающим по циклу Ренкина (129).
7.4. Взаимосвязь различных систем солнечного теплохладоснабжения с архитектурно-конструктивными решениями зданий 130
7.4.1. Архитектурные соображения и коллектор (131).— 7.4.2. Архитектурные принципы установки аккумулирующей системы (133).
7.5. Определение размеров системы 133
7.6. Последовательность технологического проектирования объектов с использованием солнечной энергии 134
8. Использование органического топлива 141
8.1. Альтернативные системы удаления отходов 142
8.2. Анаэробное сбраживание для получения метана 146
8.3. Процесс выделения метана 150
8.4. Проектирование перегнивателей и их типы 152
8.5. Топочные устройства 156
8.6. Использование дерева 157
8.6.1. Возможности использования древесины (158).— 8.6.2. Процесс горения древесины (158). — 8.6.3. Проектирование топочных устройств, работающих совместно с системой аккумулирования тепла (159).
9. Совмещенные системы. 165
9.1. Рециркуляционная система для односемейных сельских жилых домов. 166
9.1.1. Работа элементов системы (167).
9.2. Экологический дом. 169
9.2.1. Конструкции из серных блоков (169).

А. Дэвис, Р. Шуберт

Альтернативные природные источники энергии в строительном проектировании

Редакция переводных изданий
Зав. редакцией *Р.Л. Рощина*
Редактор *М.Н. Кузнецова*
Младший редактор *Е.Г. Ежова*
Технический редактор *Р.Я. Лаврентьева*
Корректор *В.И. Галюзова*

ИБ № 2991

Сдано в набор 18.11.82 Формат 60x90 1/16 Печать офсетная
Набор машинописный Печ.л. 12,0 Усл.кр.-отт. 12,25
Уч.-изд.л. 13,45 Тираж 5000 экз. Изд.№ АУ1-9806 Зак.№567
Цена 90 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Тульская типография Союзполиграфпрома при
Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли
г. Тула, пр. Ленина, 109

ГОТОВЯТСЯ К ВЫПУСКУ

Проектирование заглубленных жилищ: Пер..с англ. /Р. Стерлинг, Дж. Кармоди, Т. Эллисон и др. — М.: Стройиздат, 1983.

Обобщен опыт США в проектировании и строительстве заглубленных жилых зданий, возводимых с использованием теплоизоляционных и защитных свойств грунта. Приведены интересные решения заглубленных зданий для различных климатических зон и рельефа местности с минимальной площадью поверхности наружных стен. Даны рекомендации по использованию в качестве строительных материалов таких дешевых природных ресурсов, позволяющих экономить энергию, как грунтовая изоляция и пассивное солнечное излучение.

Книга предназначена для архитекторов и проектировщиков.

Экономия энергии при застройке городов: Пер. с англ. / С. Лич, Х. Хаген, П. Миноуг и др.; Под ред. Р. Кортни. — М.: Стройиздат, 1983.

Рассматривается проблема большой социальной значимости: сохранение энергии при проектировании и эксплуатации зданий. Дан анализ проблем экономии энергии в различных странах при планировке микрорайонов и городов. Приведены методы исследования расхода энергии и технология ее сохранения в эксплуатируемых общественных и жилых зданиях. Отдельно рассмотрено использование солнечной энергии. В книгу вошли материалы симпозиума Международного совета по научным исследованиям и документации в области строительства.

Для научных и инженерно-технических работников

Крафт Г. Системы низкотемпературного отопления: Пер. с нем. — М.: Стройиздат, 1983.

В книге известного специалиста из ГДР рассматриваются санитарно-гигиенические, физиологические, конструктивные, технологические, метеорологические аспекты применения в различных зданиях отопительных систем с низкопотенциальным теплоносителем (максимальная температура не выше 45°С). Предложены новые схемы решения, конструкции отдельных устройств. Даны практические рекомендации по выбору систем отопления. Приведены алгоритмы для расчета теплового режима зданий, ограждающих конструкций, требования, предъявляемые к ним в условиях применения низкопотенциального теплоносителя.

Для инженерно-технических работников проектных и научно-исследовательских организаций.