

**Пассивный солнечный дом:
Простой метод проектирования
Методика проектирования
систем отопления пассивных
солнечных домов на основе
принципов прямого и косвенного
обогрева**

Dennis Holloway

Пассивный солнечный дом: Простой метод проектирования Методика проектирования систем отопления пассивных солнечных домов на основе принципов прямого и косвенного обогрева

Dennis Holloway

Copyright © 2003, 2004, 2005, 2006 Автор перевода О. Меньшенин.

Издание предназначено для некоммерческого использования и распространения «как есть» с обязательной ссылкой на источник:

mensh.ru : Построй Свой Дом [<http://www.mensh.ru/>]

Содержание

От автора	vi
1. Введение	1
2. Характеристики пассивного солнечного дома	2
3. Методы пассивного солнечного отопления	4
Прямой солнечный обогрев	4
Теплицы прямого солнечного обогрева	6
Продовольственная теплица/оранжерея	7
Коллектор солнечного отопления	7
Жилое помещение	8
Основные принципы проектирования	8
Косвенный солнечный обогрев	11
Вентилируемые стены Tromba	12
4. Проектирование пассивного солнечного дома	13
Выбор наилучшего решения для проекта пассивного солнечного дома	13
Ориентация	13
Буферная зона	13
Методика проектирования	13
Шаг 1: Показатель тепловых потерь	14
Шаг 2: Рекомендуемые значения теплоизоляции и инфильтрации	14
Шаг 3: Коэффициент отопительной нагрузки	15
Шаг 4: Коэффициент нагрузки коллектора	16
Шаг 5: Площадь пассивного солнечного коллектора	16
5. Пассивные солнечные концепции	17
6. Будущее пассивных солнечных домов	20

Список иллюстраций

2.1. Возможности пассивного солнечного отопления	2
3.1. Ориентация внутренних теплоаккумулирующих стен	5
3.2. Одноэтажные теплицы	6
3.3. Двухэтажная теплица	7
3.4. Теплица с наклонной остекленной южной стеной	9
3.5. Аккумуляция тепла в теплице	10
4.1. Нахождение показателя тепловых потерь	14
4.2. Нахождение коэффициента нагрузки коллектора	16
5.1. Остекленная стена, стена Тромба, двухсветная теплица	17
5.2. Ориентация пассивного солнечного дома	18
5.3. Встроенная теплица	18
5.4. Интеграция стен Тромба с фасадом	19

Список таблиц

4.1. Показатель геометрии, GF	16
-------------------------------------	----

От автора

Д. Холлоуэй (непреклонный солнечный архитектор)



Все примечания выделены мной в отдельные блоки.

Олег Б. Меньшенин

info@mensh.ru [<mailto:info@mensh.ru>]

Глава 1. Введение

В использовании Солнца в качестве источника теплоты нет ничего нового. Еще 2400 лет тому назад Сократ писал: «Сейчас в домах с видом на юг солнечные лучи проникают в галерею зимой, а летом путь солнца лежит над нашими головами и выше крыш так, что имеется тень. Если тогда это наилучшее устройство, то мы должны будем строить южный фасад дома более высоким, чтобы в дом поступали лучи зимнего солнца и северный фасад более низким, чтобы защитить дом от зимних ветров».

В то время как Греческий дом, описанный Сократом, терял тепло так же быстро, как и собирал из-за конвективных и радиационных потерь, римляне обнаружили что если портик (галерею) и окна южной ориентации остеклить, то солнечная энергия будет уловлена и можно будет сохранить полученное тепло на ночной период времени. Этот простой феномен получил название «тепличный эффект». Сегодня дом, в котором используется эффект теплицы для отопления, мы называем «пассивным солнечным домом».

Существует общее эмпирическое правило, согласно которому грамотно спроектированный пассивный солнечный дом в сравнении с традиционно спроектированным домом той же площади поможет снизить затраты на отопление на 75% при удорожании строительства всего лишь на 5...10%. Во многих районах США пассивные солнечные дома не требуют никакой дополнительной энергии на отопление или охлаждение. С учетом текущих и будущих планируемых затрат на отопление дополнительная стоимость строительства пассивного солнечного дома возмещается очень быстро. Официальные обзоры указывают на 100000 пассивных солнечных домов, построенных в США (1984), но неофициальные источники говорят об одном миллионе зданий, в которых использованы те или иные положения пассивного солнечного дизайна (чаще всего теплицы, пристроенные с южной стороны дома).

Глава 2. Характеристики пассивного солнечного дома

Рисунок 2.1. Возможности пассивного солнечного отопления



Возможности пассивного солнечного отопления в различных районах США.

Пассивный солнечный дом имеет некоторые отличительные проектные особенности:

1. В северном полушарии значительная часть его окон ориентирована на юг (в южном — на север). Солнечная радиация, главным образом видимая часть солнечного спектра, проникает через ориентированное на солнце остекление окон дома или теплицы и поглощается поверхностями материалов, находящихся внутри теплоизолированной оболочки дома. Поскольку эти нагретые поверхности вторично излучают энергию в интерьер дома, температура воздуха в нем повышается, но теплота не проникает назад через остекление, таким образом результатом является уловленная солнечная энергия.
2. В идеале, внутренние поверхности — материалы высокой плотности: бетон, кирпич, камень, саман. Эти материалы из-за эффекта тепловой инерции (способность поглощать энергию и отдавать ее через какое-то время) могут запасать тепловую энергию для постоянного медленного ее излучения, снижая температурные колебания в здании и вероятность перегрева внутреннего воздуха. Таким образом, значительную часть отопительной нагрузки зданий может нести солнечная энергия.
3. В ранних пассивных солнечных зданиях 1970-х годов, архитекторы и строители всячески стремились уменьшить площади восточных, западных и северных окон дома в противовес увеличению площади окон южной ориентации. Это все еще общее эмпирическое правило, но появление экономических и изменяющих излучение пленок (теплопоглощающих и теплоотражающих), располагаемых с разных сторон остекления окна, позволило проектировщикам и строителям снизить жесткость требований этого правила. Это хорошая новость для мест, в которых есть красивый вид на окружающую природу не только в южном направлении. Западные окна — источник перегрева в летнее время, и летом должны быть обязательно затенены. Вообще, план дома с удлинением по оси запад-восток и оптимизированным фасадом южной ориентации будет самым лучшим для пассивного солнечного дома.

4. Пассивные солнечные дома должны быть хорошо теплоизолированы и иметь незначительные вентиляционные потери для сохранения солнечного тепла в пределах оболочки здания.
5. Поскольку требования в отношении дополнительных источников тепла в пассивном солнечном доме существенно уменьшены по сравнению с обычным домом, то дровяные печи на длительные облачные периоды — часто являются оптимальным выбором для системы вспомогательного отопления.
6. Пассивные солнечные дома часто имеют открытые планы (перетекающие пространства) для облегчения термосифонного эффекта в перемещении солнечного тепла от южного фасада через весь дом. Для распределения теплого воздуха в зданиях с закрытыми планами иногда используются небольшие вентиляторы.

Глава 3. Методы пассивного солнечного отопления

Прямой солнечный обогрев

Имеются 2 основных пути получения пассивными солнечными домами солнечной энергии, прямой и косвенный обогрев. Дома с прямым обогревом, считающиеся простейшими типами, обогреваются через окна южной ориентации, называемые солнечными окнами. Они могут быть в виде традиционных открывающихся или глухих окон южного фасада дома или стандартными изолирующими стеклянными панелями в стене теплицы или солярия. В то время, когда часть теплоты используется немедленно, стены, полы, потолки и мебель запасают избыточную теплоту, излучающуюся в пространство днем и ночью. Во всех случаях эффективность системы и комфорт помещения с прямым обогревом возрастут при увеличении термической массы (бетон, бетонные блоки, кирпичи), размещенной в пределах этого помещения.



Обычно эту систему подразделяют на системы:

- прямого солнечного обогрева жилых помещений через окна южной ориентации (direct gain);
- обогрева изолированного объема, т.е. теплицы (isolated gain).

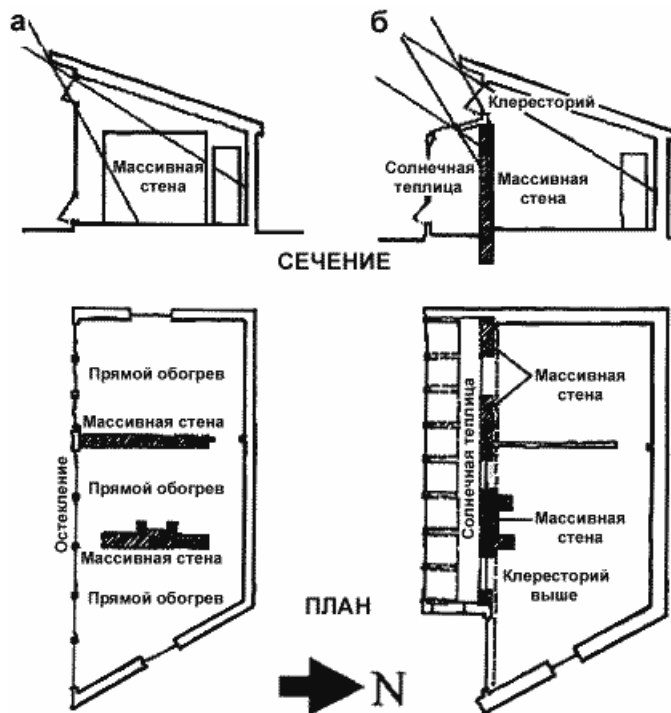
Дж. Дуглас Балкомб (J. Douglas Balcomb) и его исследовательская группа в Национальной лаборатории Лос-Аламос рекомендует распределять термическую массу по всей площади помещения, оборудованного системой прямого солнечного обогрева. Предпочтительно располагать термическую массу на пути лучей прямого солнечного света (радиационный нагрев), но масса, размещенная за его пределами (нагрев конвекцией воздуха) также важна для общей эффективности системы. Теплоаккумулирующая масса в 4 раза эффективнее в том случае, когда она находится на пути лучей прямого солнечного света и передает свое тепло конвекционным потокам воздуха нежели тогда, когда она лишь нагревается конвекционными потоками. Рекомендуемое соотношение между площадями поверхности теплоаккумулирующей массы и остекления южной ориентации 6:1. Вообще, *комфорт и эффективность системы солнечного отопления увеличиваются с увеличением термической массы и для ее количества нет никакого верхнего предела.*

Помните, что покрытия, расположенные поверх термической массы из таких материалов, как: ковры, пробка, древесноволокнистая плита, с коэффициентом теплоизоляции $R > 5$ будут эффективно изолировать термическую массу от поступающей солнечной энергии, затрудняя ее аккумуляцию. Такие материалы, как: керамические плитки для пола или кирпич являются значительно лучшим выбором для покрытия пола, на который падает поток прямого солнечного излучения. Плитки должны быть уложены на цементный раствор для полного термического контакта с основанием, а не наклеены точечно.

В термической массе, на которую падает прямое солнечное излучение, основное значение имеет площадь поверхности, поэтому тонкие теплоаккумулирующие плиты эффективнее толстых. Наиболее эффективная толщина для бетонной теплоаккумулирующей плиты — 100 мм, увеличение толщины более 150 мм является бессмысленным. Наиболее эффективная толщина для древесины — 25 мм.

Наиболее эффективно расположение термической массы между двумя помещениями, в которые поступает прямое солнечное излучение, т.к. в этом случае теплоаккумулирующая стена поглощает солнечное тепло обеими поверхностями.

Рисунок 3.1. Ориентация внутренних теплоаккумулирующих стен



Внутренние теплоаккумулирующие стены, ориентированные по оси север-юг и находящиеся между помещениями, в которые поступает прямое солнечное излучение (а), и по оси запад-восток, между теплицей, в которую поступает прямое солнечное излучение и расположенным к северу от нее помещением с клересторием (окнами верхнего света) (б).

Предметы с незначительной массой и поверхности, покрытые материалами с низкой плотностью, должны иметь светлую окраску для отражения солнечного излучения на материалы с высокой плотностью. Если более половины площади стен в пространстве, куда поступает прямое солнечное излучение, имеют большую массу, то они должны быть светлых тонов. Если теплоаккумулирующая масса сконцентрирована в единственной стене, то эта стена должна иметь темную окраску, но если ее поверхность ориентирована таким образом, что на нее падает солнечный свет ранним утром, то окраска ее должна быть светлой, чтобы рассеять свет и теплоту в остальную часть помещения. Массивные полы должны иметь темную окраску для аккумуляции теплоты. Клересторий должен быть расположен таким образом, чтобы обеспечить максимально равномерное освещение на всю глубину помещения. Если же клересторий освещает только верхнюю часть помещения, то окраска стен должна быть настолько светлой, чтобы рассеять свет и теплоту по всей площади помещения.

В холодном климате перемещаемая теплоизоляция в виде драпировок, панелей, внутренних ставней, объемных штор часто используется для снижения теплопотерь через остекление в холодные зимние ночи. В связи с тем, что значительное количество солнечного света отражается летом от ориентированного на юг вертикального остекления, то приток тепла не столь велик в летнее время и консольные затеняющие карнизы не настолько необходимы, как считали ранние пассивные солнечные проектировщики.

В связи с тем, что через остекление сохраняется хорошая видимость, эта методика наиболее приемлема там, где существуют приятные виды на окружающую природу через остекление южной ориентации. Некоторым людям неприятен ослепительный солнечный свет, присутствующий в помещениях с прямым солнечным обогревом, кроме того, он приводит к выцветанию обивочных и драпировочных тканей. Проблемой также является то, что если жильцы дома могут видеть все, что происходит снаружи, то и снаружи виден весь интерьер жилища.

Помимо обеспечения теплом в зимнее время, хорошо спроектированный пассивный солнечный дом должен создавать прохладу и хорошую вентиляцию летом. В некоторых районах существует устойчивый миф, распространяемый через средства массовой информации и идущий от проектов некоторых первых ранних пассивных солнечных домов, что перегрев в летнее время вообще характерен для зданий этого типа.

Архитекторы и строители выяснили, что двухсветная теплица, пристроенная к дому, с открывающимися вентиляционными окнами в верхней части и вблизи пола, способна обеспечить естественную вентиляцию дома в течение всего лета. Через открытые в солнечный день верхние вентиляционные окна, поднимающаяся масса нагретого воздуха, выходит наружу и из-за понижения атмосферного давления в теплицу засасывается прохладный воздух через нижние вентиляционные окна или через смежные с теплицей окна помещений дома. Названный «эффектом дымовой трубы» этот принцип, используемый для охлаждения в индейских типи, может также поддерживать прохладу в Вашем пассивном солнечном доме в летнее время в любом климатическом районе США без использования вентиляторов или кондиционеров.



Этот эффект чаще называют «эффектом солнечной трубы».

Затеняющие устройства, смонтированные на южном фасаде дома, также могут защитить от перегрева в летнее время. Опускающиеся затенения или парусиновые навесы с наружной стороны окон южной ориентации, солярия, стен Тромба могут значительно снизить теплопоступления. Лиственные деревья и кусты, посаженные таким образом, чтобы затенить остекление южной ориентации, могут также создавать микроклимат, позволяющий понизить температуру на несколько градусов. После того, как осенью листья опадут, излучение зимнего солнца будет беспрепятственно проникать в дом



Исследования, проведенные в последние годы доказывают, что в холодных районах высаживать деревья и кусты перед южным фасадом все же не следует, т.к. в зимнее время ветви заметно снижают поступление солнечной энергии.

Теплицы прямого солнечного обогрева

Для отопления прямым солнечным обогревом весьма широко используется теплица. Для многих домовладельцев теплица с красивыми видами, открывающимися из нее, является любимым помещением в доме. Теплица может, если должным образом спроектирована и расположена, обеспечить до 50% потребностей дома в отоплении. В этом случае жилые помещения (в том числе и спальни) лучше всего расположить в южной части дома (сделать их смежными с теплицей), а с северной стороны дома расположить помещения не требующие много тепла (подсобные помещения). В крупных зданиях для освещения северных комнат можно применить клересторий.

Рисунок 3.2. Одноэтажные теплицы



Одноэтажные теплицы: зима, теплица изолирована от дома (а); зима, теплица обогревает нижний этаж через открытые двери (б); лето, теплица помогает охлаждению нижнего этажа, подсасывая воздух через северные окна (в).

Рисунок 3.3. Двухэтажная теплица



Двухэтажная теплица: зима, теплица изолирована от дома (а); зима, теплица обогревает оба этажа дома (б); лето, теплица помогает охлаждению обеих этажей дома (в).

Если Вы планируете включить теплицу в Ваш проект, то Вы должны будете предварительно определить основную функцию этого помещения. Проектные соображения для продовольственной теплицы, жилого помещения и вспомогательного солнечного нагревателя различны, хотя можно построить теплицу, в которой были бы объединены все 3 функции, компромиссы будут необходимы.

Продовольственная теплица/оранжерея

Оранжерея, например, должна в первую очередь являться комфортабельным и здоровым помещением для растений. Растения нуждаются в свежем воздухе, воде, большом количестве света и защите от экстремальных температур. *Оранжереи потребляют значительное количество энергии при испарении воды. 1 литр испарившейся воды — это потеря около 2,32 МДж энергии, которая могла бы быть использована для отопления.*

Для укрепления здоровья и освобождения от насекомых и болезней растения нуждаются в адекватной вентиляции, даже зимой. Имеются системы кондиционирования воздуха типа воздухо-воздушных теплообменников, которые вентилируют помещение без значительных потерь теплоты, но они заметно увеличивают стоимость проекта. Световые требования к помещению для выращивания растений — верхнее остекление, усложняющее строительство и обслуживание, и остекление торцевых стен, увеличивающее потери тепла.

Будут существовать некоторые экономические выгоды от выращивания овощей и конечно много можно говорить о получении удовлетворения от вида помещения, пристроенного к Вашему дому, полного здоровых растений. Тем не менее, теплица, спроектированная как идеальная садоводческая среда, вряд ли будет иметь достаточно энергии для использования ее в качестве дополнительного источника отопления помещений дома.

Коллектор солнечного отопления

Если задача теплицы — улавливание солнечного тепла и распространение его в смежные с теплицей жилые помещения, то Вы стоите перед выбором различных проектных критериев. Максимальная эффективность будет достигнута с наклонным остеклением, незначительным количеством растений, и теплоизолированными незастекленными торцевыми стенами.

Помните, что Вы получите большее количество поступления полезной теплоты в Ваши жилые помещения, если в теплице отсутствуют растения и, соответственно, поглощение большого количества теплоты. Нагретый солнцем воздух может быть перемещен в дом через двери или открытые окна в смежной с теплицей стене, а также передан по воздухопроводу в более отдаленные области.

Жилое помещение

Если Ваша теплица будет являться жилым помещением, то Вы должны будете рассмотреть комфорт, удобство и свободу пространства в дополнение к энергетической эффективности. Комната, в которой Вы планируете жить, должна быть теплой зимой, прохладной летом, иметь невысокую контрастность освещения и умеренную влажность.

Вертикальное остекление — выбор значительного числа проектировщиков по разным причинам. Прежде всего, хотя наклонное остекление улавливает большее количество теплоты, но зимой оно также и теряет большее количество этой теплоты в ночное время, что сводит на нет получение дневного тепла. Применение наклонного остекления может также привести к перегреву в более теплую погоду, обычно весной и осенью, когда Вы не нуждаетесь в отоплении.

Вертикальное остекление южной стены намного более соответствует требованиям отопительной нагрузки. Оно эффективно зимой, когда солнце находится низко над горизонтом и позволяет уменьшить поступление солнечного тепла, когда солнце находится вблизи зенита в летнее время. Хорошо спроектированный карниз над южным остеклением — может быть все, что необходимо, чтобы затенить его от солнечных лучей, когда помещение не нуждается в дополнительном тепlopоступлении. Вертикальное остекление также более дешевое и более простое в монтаже и изоляции, и не склонно к протечкам, конденсату и поломкам.

Теплица, разработанная для проживания, требует тщательного размещения термической массы, и, как мы упомянули ранее, специальные меры должны быть приняты для того, чтобы прямые солнечные лучи не падали на эту теплоаккумулирующую массу. Каменный пол, покрытый коврами и мебелью, очевидно не столь эффективная термическая масса как каменная кладка, находящаяся на пути прямых солнечных лучей.

Когда солнце садится, те же самые окна, что улавливали теплоту в течение всего дня начинают излучать полученную теплоту в окружающее пространство. Для минимизации ночных потерь теплоты и повышения комфорта (человеческое тело тоже излучает теплоту в направлении холодных поверхностей) Вы можете захотеть включить в Ваш проект подвижную теплоизоляцию окна или решить вопрос с установкой стеклопакетов, имеющих минимальные тепловые потери.

Основные принципы проектирования

: Независимо от проектной стратегии, которую Вы выбрали, имеются некоторые другие критерии, которые важны для рассмотрения. Значительная часть следующей информации взята из главы «Основы проектирования теплиц» *A Guide to Passive Solar Heating, by Robert W. Jones and Robert D. McFarland, (Van Nostrand Reinhold Co., New York, New York, 1984).*

Остекление

Идеальная ориентация для остекления Вашей теплицы — строго на юг, хотя отклонение до 30° к западу или востоку вполне допустимо. Для получения максимального количества солнечного тепlopоступления стекло должно быть наклонено под углом 50...60° к горизонту. Многие проектировщики в их проектной стратегии предпочитают вертикальное остекление или комбинацию вертикального и наклонного остекления.

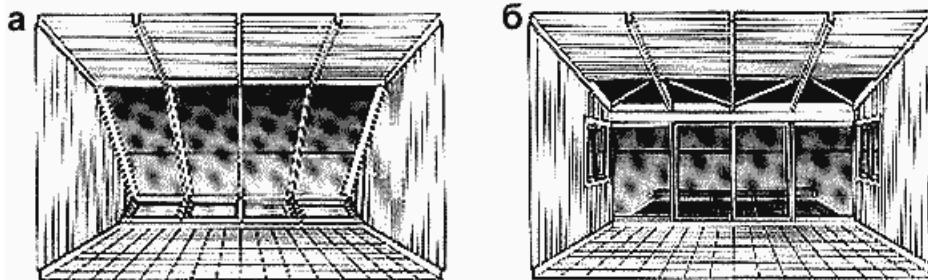
Вертикальное остекление южной ориентации имеет преимущество перед наклонным остеклением, т.к. с ним проще защититься от протечек и от высоко стоящего летнего солнца, но его зимние характеристики на 10...30% хуже, чем у наклонного остекления при той же площади. Эффективность помещения, в котором скомбинированы верти-

кальное остекление и остекление крыши, выше, чем помещения, в котором остеклена лишь южная стена.



В районах с постоянным зимним снежным покровом вертикальное остекление может оказаться более эффективным за счет высокой отражательной способности снега.

Рисунок 3.4. Теплица с наклонной остекленной южной стеной



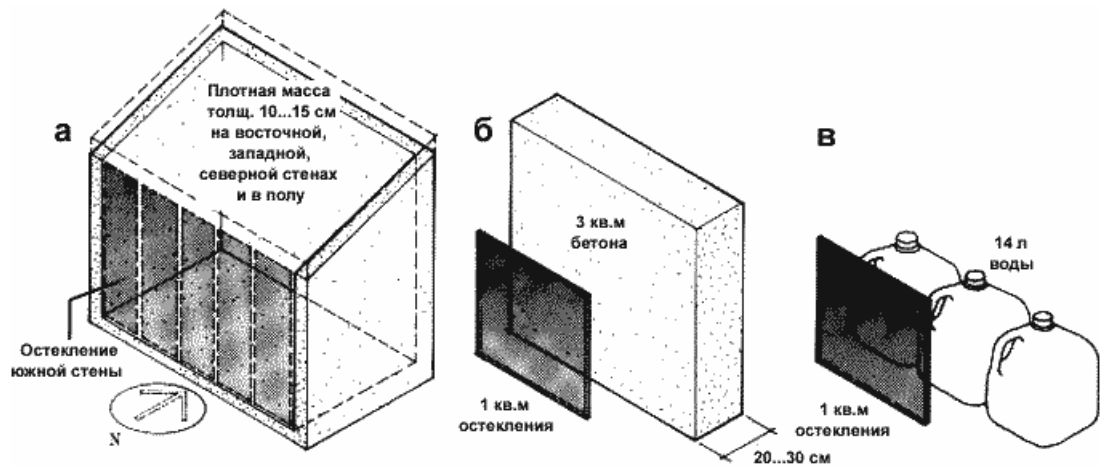
Теплица с наклонной остекленной южной стеной над вентиляционными окнами, имеющими обратный наклон (а). Теплица с вертикально остекленной южной стеной (сдвижные двери), боковыми вентиляционными окнами, и наклонным остеклением крыши (б). (Проект архитектора Денниса Холлоуэя).

Аккумуляция тепла

Если глубина теплицы больше ее высоты, само пространство уловит излучение, если цвета поверхностей, на которые падает свет, приемлемы. Иными словами, поверхности теплоаккумулирующих материалов (термическая масса) должны быть темных тонов для поглощения по крайней мере 70% энергии падающего на них солнечного света. Чтобы дать Вам некоторое понятие об относительном коэффициенте поглощения света поверхностями различных цветов следует сказать, что сажа имеет коэффициент поглощения около 95%, поверхность темно-синего цвета около 90% и поверхность темно-красного цвета приблизительно 86%. Материалы, не используемые для аккумуляции тепла должны быть светлых тонов для того, чтобы отражать свет на термическую массу, не расположенную на пути лучей прямого солнечного излучения.

Пол, северная стена, восточная и западная боковые стены — хорошее место для теплоаккумулирующей массы. В них должны быть применены материалы с высокой теплопроводностью: бетон, вода, кирпич, землебит. Пенобетон не приемлем в качестве теплоаккумулирующего материала, а бетон наиболее эффективен при толщине от 100 до 150 мм. При использовании пустотелых бетонных (цокольных) блоков все пустоты должны быть залиты цементным раствором.

Рисунок 3.5. Аккумуляция тепла в теплице



Аккумуляция тепла в теплице (а). Необходимо 3 м^2 бетона (б) или 14 л (в) на каждый 1 м^2 остекления.

Если каменный пол и массивные стены — единственные материалы, аккумулирующие тепло в помещении, 3 м^2 поверхности каменной кладки на 1 м^2 южного остекления — рекомендуемое соотношение. Если вода в контейнерах — единственная используемая теплоаккумулирующая среда, рекомендуемое отношение — 14 л воды на 1 м^2 остекления.

Увеличение массы стабилизирует внутренние температуры, делая помещение удобнее для людей и растений. Общая стратегия состоит в том, чтобы использовать от 100 до 150 мм неизолированной каменной стены в качестве северной стены теплицы. Стена остается неизолированной для того, чтобы теплота из теплицы могла проходить через нее во внутренние помещения дома.

Сохранение тепла

Если теплица должна использоваться для выращивания растений или в качестве жилого помещения, то рекомендуется как минимум двойное остекление. В случае применения однослойного остекления потери теплоты в ночное время весьма велики, что делает помещение некомфортабельным для пребывания людей и растений. Подвижная теплоизоляция или система остекления с более высоким термическим сопротивлением значительно улучшат характеристику остекления.

Любой из этих методов увеличивает стоимость проекта, а очевидное неудобство подвижной изоляции заключается в том, что кто-то должен перемещать ее ежедневно, и некоторые проектировщики отказываются по этой причине ее использовать. С другой стороны, существует возможность управления теплоизоляцией автоматически с использованием электродвигателей и термостатов, и теплоизоляция может создавать закрытость, летнее затенение, повышать комфорт в холодные зимние ночи.

Распределение тепла

Для распределения нагретого воздуха из теплицы в другие помещения дома вентиляционные отверстия размещены в стене, разделяющей теплицу и остальные помещения дома. Теплота передается термосифонной циркуляцией воздуха. Нагретый воздух поднимается к потолку теплицы, проходит в смежное помещение через верхние вентиляционные отверстия, а прохладный воздух из смежного помещения всасывается в теплицу через нижние вентиляционные отверстия для нагрева и повторения цикла.

Если отверстия являются дверями высотой 2 м, то рекомендуемая минимальная площадь отверстий $0,08 \text{ м}^2$ на 1 м^2 остекления теплицы. Если используются отверстия в верхней и нижней части смежной стены с расстоянием между ними 2,4 м, то рекомендуемая минимальная площадь каждого из отверстий — $0,025 \text{ м}^2$ на 1 м^2 остекления теплицы.

Средства управления

Воздух в теплице может сильно перегреться если система вентиляции была спроектирована неправильно. Результат — мертвые растения и непригодное для проживания помещение. Мы упомянули, что перегрев наиболее вероятен в конце лета или ранней весной, когда солнце уже невысоко на небосводе, а температура наружного воздуха все еще высока в течение дня.

Вентиляционные проемы размещены в верхней части теплицы, где температура самая высокая, и в нижней ее части, где температура самая низкая, для создания эффекта «дымовой трубы». Электродвигатели, управляемые термостатом, могут быть установлены для открывания вентиляционных проемов автоматически, если никого не будет дома, чтобы открыть их.

Площадь этих вентиляционных проемов должна точно соответствовать расчету. Заданная площадь вентиляционного проема зависит от:

- угла наклона стекла;
- расстояния между верхними и нижними вентиляционными проемами;
- допустимой внутренней температуры;
- мощности двигателя вентилятора в случае применения принудительной вентиляции.

Немногие проектные стратегии предлагают ту же эстетическую привлекательность и экономическую целесообразность, которые может предложить тщательно спроектированная и построенная теплица. По нашему представлению деньги будут потрачены разумнее, если предварительный проект передать солнечному инженеру или архитектору для изучения и компьютерного анализа. Намного дешевле сделать изменения на бумаге, чем переделывать проект по которому уже построено здание.

Косвенный солнечный обогрев

Еще одним типом пассивного солнечного дома является дом с косвенным обогревом, в котором энергия улавливается и запасается в одной зоне дома и используется естественное перемещение теплоты для нагревания остальных зон дома. Один из наиболее изобретательных проектов косвенного обогрева использует теплоаккумулирующую стену или стену Тромба, расположенную на расстоянии 75...100 мм от остекления южной ориентации. Названная по имени ее французского изобретателя Феликса Тромба стена возводится из материалов высокой плотности: камень, кирпич, кирпич-сырец (adobe), наполненные водой контейнеры и окрашена в темные тона (черный, темно-красный, коричневый, фиолетовый или зеленый) для более эффективного поглощения солнечной радиации.

Некоторые проектировщики используют материалы с селективной поверхностью (хромированную медную или алюминиевую фольгу), позволяющие увеличить поглощательную способность стены до 90% по сравнению с 60% для окрашенной поверхности. Эти материалы помогают стене Тромба поглощать радиационную теплоту и в значительной степени снижать количество теплоты, теряющейся посредством излучения в окружающую среду в ночное время.

Некоторые строители испытывали трудности с получением хорошей адгезии имеющейся в продаже селективной поверхностной фольги со стеной Тромба. Согласно отчета от 1 июля 1985 года Solar Energy Intelligence Report, в Национальной лаборатории в Лос-Аламосе испытана селективная поверхностная краска, имеющая очень хорошую адгезию. Если Вы хотите узнать об этом больше, то обратитесь в National Technical Information Service, 5285 Port Royal Road, Springfield, VA 22161, (703)487-4600 и запросите отчет «Толщина селективной поверхностной краски». Краска может наноситься кистью или распылителем и по своим характеристикам превосходит черную сажу на 10...20%.

Теплота, собранная и аккумулированная в стене в течение дня, может затем медленно излучаться в помещение почти сутки. Стена Тромба обеспечивает эффективное солнечное отопление без повреждения ультрафиолетовым излучением обивочных и драпировочных тканей и деревянной отделки в отличие от домов с системой прямого солнечного обогрева. Стены Тромба также обеспечивают визуальную защиту там, где это необходимо.

Возможно, самой полезной книгой по вопросам пассивного солнечного проектирования для самостоятельных строителей является *THE PASSIVE SOLAR ENERGY BOOK* Эдварда Мазриа (Edward Mazria), где рекомендуются следующие размеры стены Тромба: «В холодном климате (средняя зимняя температура $-7...-1^{\circ}\text{C}$) следует применять для стены Тромба двойное остекление южного фасада и каменную теплоаккумулирующую стену (Trombe Wall) с площадью поверхности 40...100% или стену из контейнеров с водой (Drum Wall) с площадью поверхности 30...70% от площади пола жилого помещения. В умеренном климате (средняя зимняя температура $2...7^{\circ}\text{C}$) следует применять каменную теплоаккумулирующую стену с площадью поверхности 20...70% или стену из контейнеров с водой с площадью поверхности 15...45% от площади пола жилого помещения.»

Вентилируемые стены Тромба

В нескольких самых ранних публикациях о домах со стенами Тромба небольшие вентиляционные трубы применялись в верхней и нижней части стены; нагретый воздух в пространстве между стеной и остеклением, поднимаясь вверх перемещался через отверстие в верхней части стены в верхнюю часть комнаты, в то время как холодный воздух из нижней части комнаты втягивался в пространство между стеной и остеклением через нижнее отверстие для формирования конвективной отопительной петли. Это особенно эффективно в домах, где тепло требуется немедленно. Конвективное перемещение воздуха в стене приводит через некоторое время к уменьшению эффективности системы. Вентилируемые стены Тромба, как известно, являются приблизительно на 5% эффективнее невентилируемых. Для домов постоянного проживания рекомендуется использовать невентилируемые стены Тромба.



Некоторые исследователи указывают большую эффективность вентиляруемых стен Тромба.

Глава 4. Проектирование пассивного солнечного дома

Когда термин «пассивный солнечный дом» вводился в язык профессиональных солнечных исследователей в 1970-х, большинство людей не имело никакого понятия о том, что это такое. Позже, когда этот термин был популяризирован средствами массовой информации и значительным числом публичных образовательных конференций, люди предположили, что если они захотят построить пассивный солнечный дом, то должны будут нанять не только архитектора, но и профессионального солнечного инженера, способного произвести на компьютере комплексные математические вычисления.

Сегодня, благодаря, прежде всего знанию, полученному от финансируемых правительством исследований и большому количеству данных о построенных передовых пассивных солнечных домах, мы находимся на стадии, когда даже студент может спроектировать пассивную солнечную структуру. Следующая информация объединяет последние публикации для становления домовладельца-самодеятельного строителя на путь домовладельца-проектировщика пассивного солнечного дома.

Выбор наилучшего решения для проекта пассивного солнечного дома

Ориентация

Помните, что направление на географический полюс отличается от направления на магнитный полюс. Южный фасад дома должен быть идеально ориентирован по направлению на географический юг, чтобы дом мог получать максимум зимнего и минимум летнего тепла. Однако следует заметить, что отклонение от идеальной ориентации на 30° к востоку или западу снижает теплоступление лишь на 15%.

Буферная зона

Проектируйте Ваш дом так, чтобы комнаты с невысокими потребностями в отоплении и естественном освещении (например, кладовые, технические помещения, гараж) и комнаты, производящие внутреннюю теплоту (кухня), были бы расположены в северной части дома для уменьшения зимней отопительной нагрузки.

Методика проектирования

В 1983 г. Дуглас Балкомб и его исследовательская группа в Национальной Лаборатории Лос-Аламоса разработали основополагающие принципы прямого и косвенного обогрева для систем отопления пассивных солнечных домов, расположенных на территории США. В них была включена информация о коэффициентах инфильтрации и выборе коэффициента теплового сопротивления R для стен, потолка, и пола. Они также предложили виды остекления для восточных, западных и северных окон, а также рассчитали оптимальные площади солнечных коллекторов.

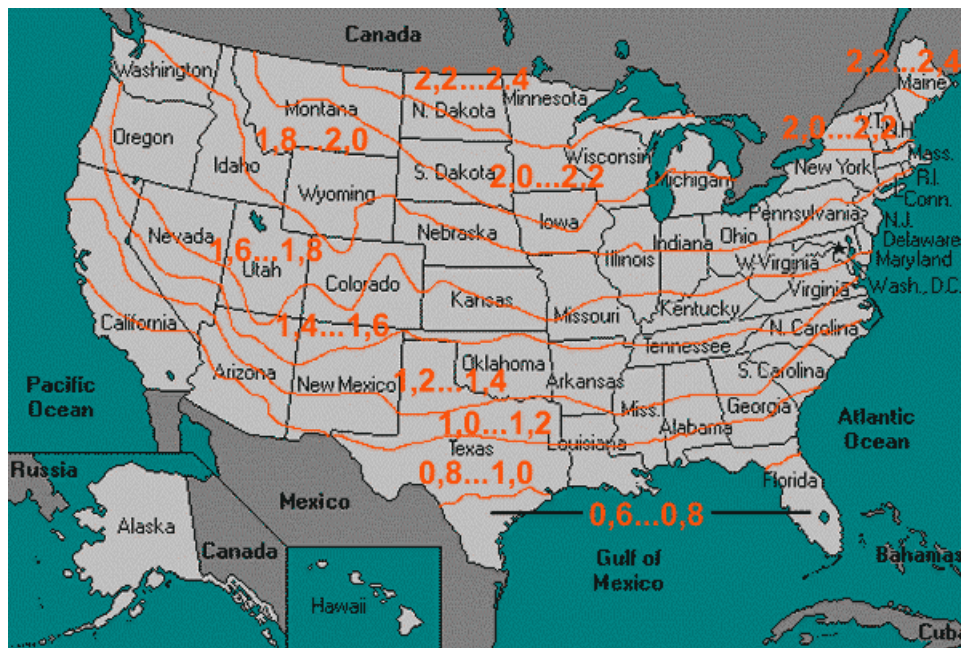
Предложенная методика не заменит более точный тепловой анализ, смоделированный на компьютере профессиональным инженером, но она дает самодеятельному строителю-домовладельцу твердую базу для выбора правильного проектного решения. Эта изящная упрощенная методика в соединении с мероприятиями по экономии тепловой энергии дает хорошие результаты. Методика, состоящая из 5 шагов, была разработана

с учетом данных, полученных от анализа работы системы в уже построенных пассивных солнечных домах.

Шаг 1: Показатель тепловых потерь

Расположите Ваш строительный участок на карте для выбора показателя тепловых потерь (CF), который должен быть заложен в проект Вашего дома. Заметьте, что для каждой географической зоны CF выражен как диапазон определенных значений. Если Ваши топливные затраты высоки (*и не планируют уменьшаться в настоящее время!*), выберите самое большое значение.

Рисунок 4.1. Нахождение показателя тепловых потерь



Используйте эту карту для нахождения показателя тепловых потерь CF (Источник: J. Douglas Balcolmb).

Шаг 2: Рекомендуемые значения теплоизоляции и инфильтрации

Используйте следующие формулы для определения рекомендуемых значений теплоизоляции и инфильтрации (CF — Показатель тепловых потерь, выбранный Вами в Шаге 1).

Коэффициент теплового сопротивления стены

$$R = CF * 14$$

Включает изоляцию, наружную и внутреннюю облицовки и воздушные прослойки.

Коэффициент теплового сопротивления потолка

$$R = CF * 22$$

Включает изоляцию, наружную и внутреннюю облицовки и воздушные прослойки.

Коэффициент теплового сопротивления твердой теплоизоляции по периметру фундамента

$$R = CF * 13 - 5$$

Используйте то же значение для теплоизоляции перекрытия над подпольем.

Коэффициент теплового сопротивления твердой теплоизоляции, размещенной снаружи стены отапливаемого подвала или обвалованной землей стены

$$R = CF * 16 - 8$$

Используйте полученное значение для теплоизоляции, простирающейся на 1,2 м ниже поверхности земли. Используйте половину этого значения от уровня -1,2 м до основания фундаментной стены.

Коэффициент воздухообмена АСН (воздухообмен/час)

$$ACH = 0,42 / CF$$

Если полученный результат ниже 0,5 АСН, выберите методы суперизоляции с напорной приточной вентиляцией, чтобы сохранить качество воздуха в помещении.

Количество слоев остекления восточных, западных и северных окон

$$N = CF * 1,7$$

Выберите самое близкое целое число. Если полученное значение от 2 до 3, выбирайте окна с тройным остеклением. Если полученное значение выше 3, следует применять теплоизоляционное стекло и/или подвижную теплоизоляцию.

В зависимости от результатов этих расчетов, выберите показатель теплопотерь с 20% запасом. Ваш бюджет будет являться самым лучшим руководством, но он зависит от выбора сроков окупаемости проекта и когда возникают сомнения в правильности выбора этого срока, ориентируйтесь на более высокий показатель тепловых потерь.

Шаг 3: Коэффициент отопительной нагрузки

Вычисляем коэффициент отопительной нагрузки (NLS). Чтобы сделать это посмотрите на показатель геометрии Вашего дома (GF) в таблице 1 (ниже). К примеру, если полная площадь 3-этажного дома около 2900 кв. футов, то GF будет равен 5,7.

Теперь умножьте GF на полную площадь Вашего дома
 $2900 \times 5,7 = 16530$

Полученное значение следует разделить на CF. Если CF, например, равен 2,0, то
 $16530 / 2 = 8265$

Полученное значение — NLC.

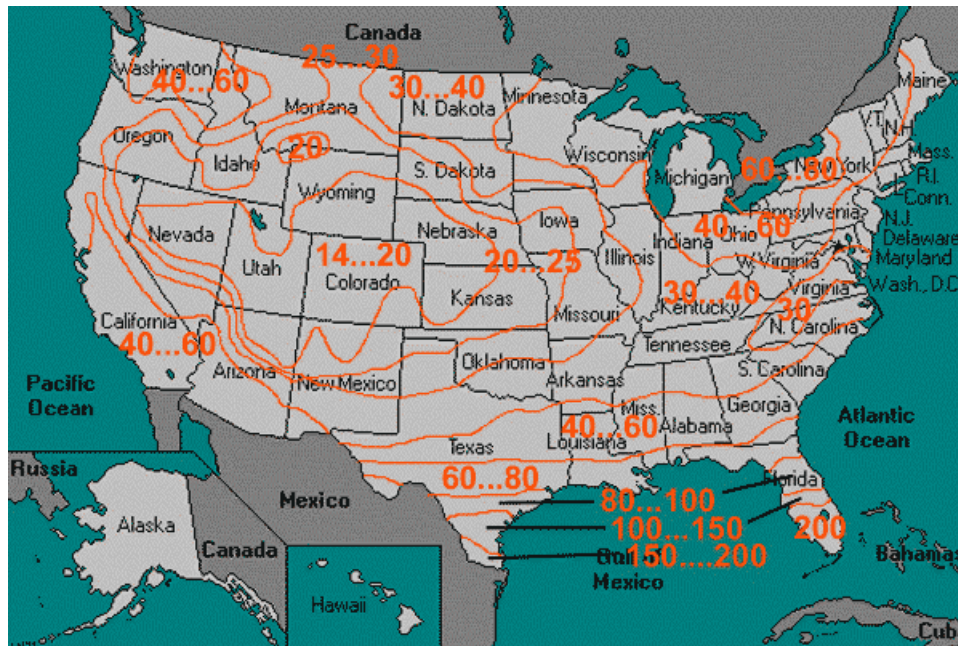
Таблица 4.1. Показатель геометрии, GF

Площадь пола (кв. футы)	Количество этажей			
	1	2	3	4
1000	7,3	-	-	-
1500	6,5	6,7	-	-
3000	5,4	5,4	5,7	-
5000	4,9	4,7	4,9	5,1
10000	4,3	4,0	4,0	4,2

Шаг 4: Коэффициент нагрузки коллектора

Расположите Ваш строительный участок на карте коэффициента нагрузки коллектора LCR. Это даст Вам возможность определить коэффициент нагрузки коллектора для Вашего дома. Заметьте, что для каждой географической зоны LCR — диапазон значений. Если Ваши топливные затраты велики, то выберите самое низкое значение.

Рисунок 4.2. Нахождение коэффициента нагрузки коллектора



Используйте эту карту для нахождения коэффициента нагрузки коллектора (LCR) Вашего дома (Источник: J. Douglas Balcomb).

Шаг 5: Площадь пассивного солнечного коллектора

Для определения площади пассивного солнечного коллектора (стена Тромба, теплица и т.п.) для Вашего дома, разделите NLC (значение, полученное в шаге 3) на LCR (значение, которое Вы получили в шаге 4). Например, если NLC равен 8265, а LCR равен 20, то тогда Ваш пассивный солнечный коллектор будет иметь площадь около 413 кв. футов ориентированного на юг остекления
 $8265/20 = 413,25$

Вы можете изменить это значение в большую или меньшую сторону на 10%. В теплом климате возможно уменьшение полученного значения на 20...30%.

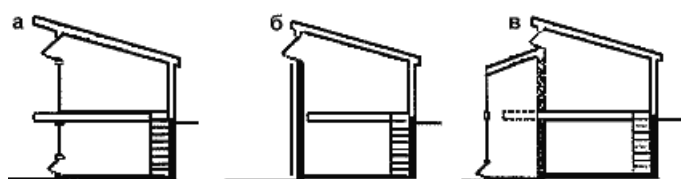
Глава 5. Пассивные солнечные концепции

Наиболее популярные методы обогрева солнечной энергией, применяемые в пассивных солнечных домах:

- система прямого обогрева солнечным теплом остекленных соляриев;
- система косвенного обогрева с использованием массивной стены Тромба.

Каждый из этих методов повлияет на проект потому, что все они имеют специфические требования.

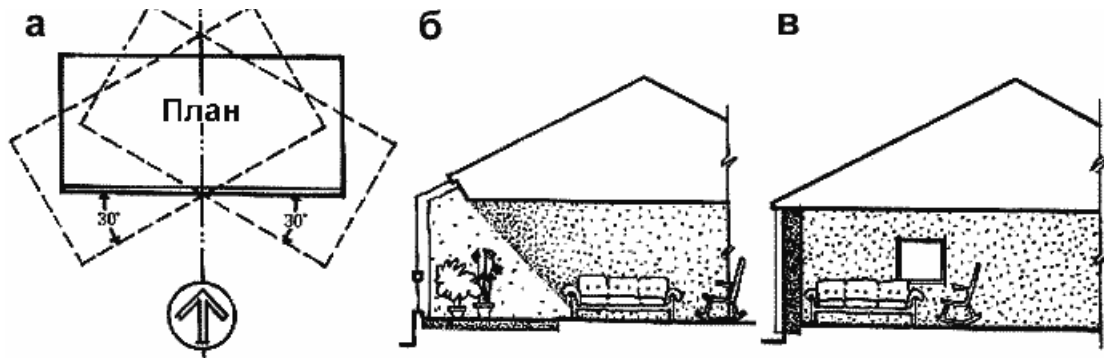
Рисунок 5.1. Остекленная стена, стена Тромба, двухсветная теплица



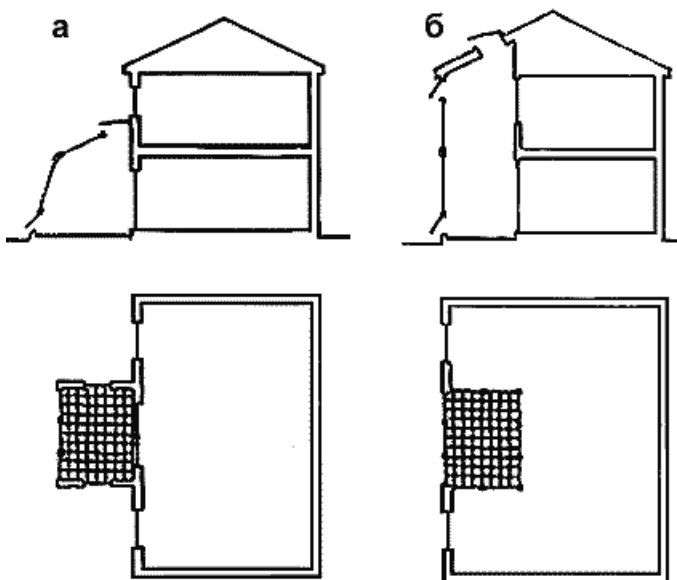
Большая ориентированная на юг остекленная стена и эффективная вентиляция (а); стена Тромба (б); двухсветная теплица (в). Черные и пятнистые участки на рисунке — термическая масса.

Окна системы прямого обогрева солнечным теплом дают возможность солнечному свету проникать в дом непосредственно. Значительная часть солнечного тепла должна быть поглощена какими-либо теплоаккумулирующими материалами (например, каменная кладка); после заката солнца, теплота, аккумулированная этими материалами, будет способствовать поддержанию тепла в доме. Окна системы прямого солнечного обогрева должны быть ориентированы на географический юг, хотя изменение ориентации на 30° к западу или востоку ненамного снизит эффективность системы. Красивые виды в южном направлении могут стать важным критерием при выборе строительного участка — ведь Вы не хотите иметь дом с огромными окнами на южном фасаде, из которых открывается неприглядный вид. В связи с тем, что обивочные и драпировочные ткани в большинстве своем сильно выцветают на солнце и, кроме того, могут закрывать от инсоляции теплоаккумулирующие материалы, Вы должны будете использовать эти ткани там, где отсутствует прямой солнечный свет.

Солярий с системой прямого обогрева (известный также как солнечная оранжерея или теплица) подобен в принципе окну прямого обогрева и к нему применяются те же самые правила в ориентации на юг. Типичный солярий из ранних проектов домов начала 1970-х годов был пристроен к дому с южной стороны, имел застекленные южную, западную, восточную стены, а также — застекленную крышу. Остекление южной стены было обычно наклонным. Современный солярий модифицирован для большей эффективности и обычно встроен в южный фасад дома заподлицо для устранения потерь тепла через восточную и западную стены. Окруженное другими помещениями, пространство солярия может быть эффективным фокусом дома, функционируя подобно «солнечному очагу». Для минимизации перегрева, обычного в ранних проектах соляриев, крыша не остеклена, а остекление южного фасада скорее вертикальное, чем наклонное. Современный солярий иногда — двухсветное пространство со скользящими дверями, открывающимися в комнаты обоих уровней для лучшей циркуляции солнечного тепла во всех помещениях дома.

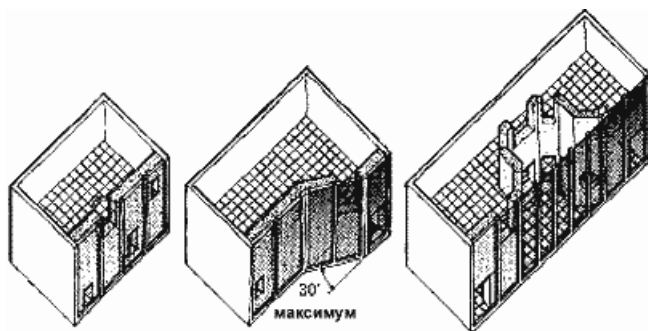
Рисунок 5.2. Ориентация пассивного солнечного дома

Ориентация на географический юг в пассивном солнечном доме может изменяться на целых 30° к востоку или западу с относительно небольшой потерей общей эффективности системы солнечного отопления. Система с прямым обогревом, например, теплица (а), заливает помещение прямым солнечным светом, который может вызвать выцветание тканей. Система косвенного обогрева, например, стена Тромба (б) передает солнечное тепло, блокируя солнечный свет.

Рисунок 5.3. Встроенная теплица

В первых проектах теплица (а) обычно выступала за южный фасад дома. Новые теплицы (б) — часто проектируются двухсветными и встроенными в южный фасад дома.

Стена Тромба — каменная стена с остеклением, расположенным в нескольких дюймах снаружи. Солнечное тепло улавливается в промежутке между каменной кладкой и остеклением, и проникает в дом через каменную кладку стены. Принимая во внимание, что окно с прямым обогревом и солярий фактически прозрачны, и зрительно объединяют внутренние помещения с внешним пространством, а стена Тромба закрывает вид на окружающую среду, то она предпочтительна там, где виды на природу нежелательны. Если Вы все же хотите иметь вид на юг, то Вы можете поместить окна в стене Тромба. Различные варианты стены Тромба включают половину стены Тромба с окнами прямого обогрева над ними и стены Тромба со встроенными каминами. Стена Тромба может быть также угловой для соответствия требованиям внутренней планировки дома.

Рисунок 5.4. Интеграция стен Тромба с фасадом

Стены Тромба могут быть спроектированы таким образом, чтобы интегрироваться практически с любым фасадом, ориентированным на юг.

При создании проекта пассивного солнечного дома в несколько этажей следует принять во внимание то обстоятельство, что будет происходить некоторое расслоение теплоты между теплыми верхними этажами и более прохладными нижними. Таким образом, в помещениях верхних этажей можно было бы поместить гостиную, кухню и помещения для активной семейной жизни, где семья будет находиться большую часть дневного времени, а помещения нижнего этажа могли бы использоваться для сна. Хотя подобное распределение функций между этажами и кажется нам нетрадиционным, но оно предлагает лучшие виды на природу и идеально для дома, расположенного на склоне с входом с северной стороны дома и северными стенами нижнего этажа, находящимися в этом случае фактически ниже уровня земли.

Глава 6. Будущее пассивных солнечных домов

Появление в 1970-х годах пассивного солнечного дома во всех его вариантах, явилось драматической демонстрацией изобретательности Янки в связи разразившимся национальным энергетическим кризисом и наши знания в области проектирования домов, отапливаемых солнечным теплом, были расширены словно квантовым скачком. Но во время написания этой статьи политический маятник качнулся в противоположную сторону, средства массовой информации словно забыли о пассивной солнечной архитектуре, а следом и Федеральные налоговые льготы были спокойно забыты.

В связи с нынешними разговорами об избытке энергии в последнее десятилетие потенциальный домовладелец-строитель может задаться вопросом, а имеет ли стремление к энергоэффективности в новом доме какой-либо смысл? Мы, конечно же, знаем, что энергетическая нехватка в 1970-х годах будет бледнеть перед тем, что лгут сейчас. Все возрастающее число домовладельцев-строителей доказывает остальному населению, что окружающий нас избыток солнечной энергии может обеспечить не только комфорт в гостиной комнате, но и освободит нас от тирании незначительных иностранных энергетических поставок.

В недавнем интервью Дуглас Балкомб, наш передовой пассивный солнечный исследователь, сказал, что целесообразность пассивных солнечных проектов стала свершившимся фактом и системы прямого солнечного обогрева, теплицы и стены Тромба будут использоваться нами еще в течение длительного времени.