

**Пассивный солнечный дом:  
Строительные правила Правила  
строительства Пассивных  
Солнечных Домов  
в Лос-Аламосе (Нью-Мексико,  
США)**

**Ben Luce**

---

# **Пассивный солнечный дом: Строительные правила Правила строительства Пассивных Солнечных Домов в Лос-Аламосе (Нью-Мексико, США)**

Ben Luce

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

Введение .....	vi
1. Общий баланс стоимости .....	1
2. Теплоизоляция .....	2
Тепловое сопротивление .....	2
Стены .....	2
Потолок .....	2
Периметр .....	2
Стены отапливаемого подвала .....	2
3. Окна .....	3
4. Карнизные свесы .....	4
5. Тепловые вентиляционные потери .....	5
6. Воздуховоды и направления воздушных потоков .....	6
7. Пределы использования солнечной энергии .....	7
8. Правильное количество, размещение и цвет термической массы .....	8
9. Ресурс строительных узлов и деталей .....	10
10. Преграды солнечному свету .....	11
11. Деревья .....	12
12. Правильная внутренняя планировка .....	13
13. Правильная ориентация .....	14
14. Клерестории (окна верхнего света) .....	15
15. Правила косвенного обогрева (стена Тромба) .....	16
16. Теплицы .....	18
17. Альтернативы: Строительство из соломенных блоков и самана .....	19
18. Процесс проектирования .....	20

---

## Список иллюстраций

4.1. Рекомендуемые углы карнизных свесов .....	4
10.1. Углы солнечного затенения .....	11
12.1. Рекомендуемое расположение помещений .....	13

---

## Список таблиц

3.1. Рекомендуемые площади остекления окон .....	3
15.1. Толщина стены Тромба .....	17

---

# Введение

Настоящие правила основаны на мастерской продвижения проектирования пассивных солнечных домов, проведенной д-ром Дж. Дугласом Балкомбом из Национальной лаборатории Возобновляемой Энергии в субботу 19 августа 2000 года в Лос-Аламосе (Нью-Мексико). Это начинание было поддержано: Vision 2020, New Mexico Solar Energy Association, New Mexico Solar Energy Association, Environmental Technology and Waste Management Division в Лос-Аламосе. Д-р Балкомб за последние три десятилетия получил значительную известность в области проектирования пассивных солнечных систем. Раздел «Строительство из соломенных блоков и самана» создан на основе дополнительных мастерских, проведенных Тони Перри и Марком Шаломом, тех, кто непосредственно специализируется в строительстве по этим специфическим технологиям.

Документ составлен Беном Люисом для Vision 2020 и Ассоциации солнечной энергетики штата Нью-Мексико.

План работ и Правила были розданы посетителям мастерской д-ра Балкомба. Этот план содержит значительную часть материала, представленного здесь, но более детально. Копию можно получить у Бена Люиса, 662-6259.



Все примечания выделены мной в отдельные блоки.

Все данные переведены в метрическую систему.

Олег Б. Меньшенин

[info@mensh.ru](mailto:info@mensh.ru) [mailto:info@mensh.ru]

---

# Глава 1. Общий баланс стоимости

Существуют три области расходов, связанные с энергоэффективностью дома и которые должны быть сбалансированы для достижения минимальной стоимости систем за период срока службы дома:

- стоимость элементов теплосбережения — теплоизоляция, высокоэффективные окна и т.п.;
- стоимость элементов солнечного обогрева — окна увеличенной площади на южном фасаде, дополнительная каменная кладка внутри (теплоаккумулирующая масса) и т.п.;
- стоимость систем отопления и охлаждения на весь период эксплуатации.

Общие правила для достижения наилучшего баланса среди них следующие:

- Первые два пункта затрат (стоимость элементов теплосбережения и стоимость элементов солнечного обогрева) должны быть приблизительно равны, скажем, \$4000...6000 за каждую. (Если общие первоначальные инвестиции менее \$4000, то баланс должен быть смещен к области теплосбережения).



Первые два пункта затрат представляют собой начальные инвестиции в энергоэффективность.

Если полные затраты на энергоэффективность за весь период службы дома представить как значение начальной инвестиции, тогда это значение должно быть минимум \$8000...10000 для дома площадью 140 м<sup>2</sup> для климата Лос-Аламоса.

Почему указан минимум? Минимум существует потому, что если инвестиция чересчур мала, то затраты на отопление и охлаждение за весь период службы дома будут слишком высоки, а если начальная инвестиция чересчур высока, то она превысит долгосрочные сбережения, полученные на отоплении и охлаждении. Заметьте, однако, что аргумент этой функции при этом изменяется незначительно.

Хотя и имеется минимум, тем не менее, график является достаточно плоским, что означает, что полная экономия за весь период срока службы дома изменяется в большую или меньшую сторону незначительно при изменении размера инвестиций в пределах 20% от оптимальной начальной инвестиции. К сожалению, эта «плоскость» почти всегда используется для того, чтобы оправдать вложение капитала меньшего, чем оптимальное количество первоначальной инвестиции.

Тем не менее, фактически лучше несколько превысить оптимальную первоначальную инвестицию, потому что некоторое превышение инвестиции обеспечивает:

- лучшее страхование при резких неожиданных увеличениях затрат в отоплении и охлаждении;
- меньшее воздействие на окружающую среду;
- улучшенный комфорт;
- улучшенную способность функционировать на период отсутствия энергии.

---

# Глава 2. Теплоизоляция

Следующий раздел содержит определенные рекомендации для специфического климата Лос-Аламоса, которые предлагают оптимальные значения с точки зрения достижения наименьших суммарных затрат за период срока службы дома, с учетом постоянного повышения стоимости топлива.

## Тепловое сопротивление



R —коэффициент теплового сопротивления и степень теплоизоляционных свойств материала. Чем выше коэффициент теплового сопротивления, тем лучше изоляция.

### Стены

R = 3,7

### Потолок

R = 6



Включает воздушное пространство чердака.

### Периметр

R = 2,6



Теплоизоляция по периметру дома относится к теплоизоляции, смонтированной ниже поверхности земли с внешней стороны фундаментных стен и, как правило, на 0,6 м ниже перекрытия 1 этажа, или, если перекрытие 1 этажа находится над подпольем, то это уровень теплоизоляции пола, или, по крайней мере, теплоизоляция по периметру фундаментной стены вниз до ее основания.

### Стены отапливаемого подвала

R = 2,8

(на 1,2 м ниже поверхности земли),

R = 1,4

(от уровня -1,2 м до основания фундамента).



Использование этих уровней теплоизоляции для обвалованных земель стен также хорошо. Этот уровень теплоизоляции рекомендуется в тех случаях, когда перекрытие над отапливаемым подвалом теплоизолировано.

---

## Глава 3. Окна

Таблица 3.1. Рекомендуемые площади остекления окон

Ориентация	Доля от общей площади пола, %
Восток	4
Север	4
Запад	2
Юг	7...12 (в зависимости от наличия дополнительной термической массы)

Мансардные окна в крыше превосходны, но их суммарная площадь должна составлять не более нескольких процентов от общей площади пола дома.



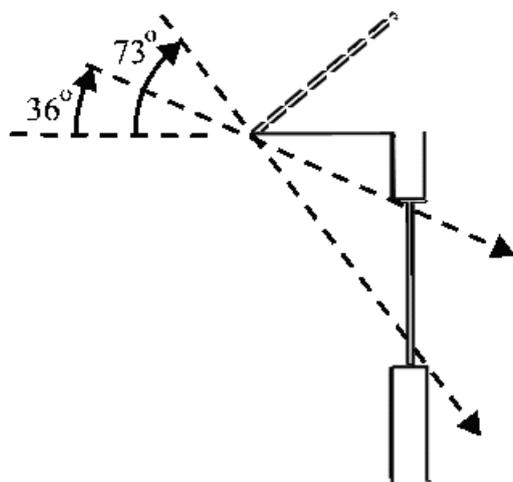
Стекла с низкой эмиссией в окнах с двойным остеклением должны использоваться для всех слоев остекления (особенно в окнах не южной ориентации). Они предотвратят чрезмерные тепловые потери и перегрев, в то же время пропуская достаточно солнечного тепла и предотвращая сквозняки от преобладающих западных ветров в летнее время.

---

## Глава 4. Карнизные свесы

Карнизные свесы настоятельно рекомендованы для окон южной ориентации и стен Тромба в Лос-Аламосе. Следующие углы карнизных свесов были предложены Дугом Балкомбом. Это не те углы, которые соответствуют зимним и летним солнцестояниям и которые можно получить из большинства книг. Скорее они были рассчитаны для климата Лос-Аламоса таким образом, чтобы обеспечивать 6 недель полного солнечного теплопоступления зимой (а не только в зимнее солнцестояние) и полных 6 недель затенения летом (а не только в летнее солнцестояние).

**Рисунок 4.1. Рекомендуемые углы карнизных свесов**



---

## Глава 5. Тепловые вентиляционные потери

Суммарная площадь отверстий, через которые происходят неконтролируемые тепловые вентиляционные потери, не должна превысить  $0,06 \text{ м}^2$  (для дома общей площадью  $140 \text{ м}^2$ ), что соответствует обычной норме воздухообмена равной  $0,25 \dots 0,3/\text{ч}$ .



Испытания должны выполняться после установки пароизоляции для обнаружения всех мест утечки. Утечки часто происходят по основанию и верху пароизоляции. Другим главным источником утечек является использование осветительной арматуры в потолках. Давление, производимое тепловой стратификацией (образование тяги) в воздухе —доминирующий фактор, вызывающий воздушную утечку (больше, чем ветер) и может вызвать существенную утечку.

Кроме того, при снижении утечек заметно улучшается звукоизоляция, что является тоже немаловажным фактором.

---

## Глава 6. Воздуховоды и направления воздушных потоков

Избегайте располагать воздуховоды выше теплоизолированного потолка.



Расположение воздуховодов над теплоизолированным потолком ведет к большим тепловым потерям. Лучше смонтировать их под полом или слегка заниженным потолком в некоторых частях дома.

Или не используйте воздуховодов вообще! Центральное кондиционирование не является необходимостью в Лос-Аламосе и подогреваемый пол, т.е. система труб с горячей водой под полом — хороший путь обеспечения дополнительных теплопоступлений.

В грамотно спроектированном доме естественные конвективные петли через дверные проемы вообще достаточны для распределения тепла. Специальные открытия и воздуховоды рекомендуются не потому, что, по словам Дуга Балкомба, они обычно только «решают проблему, не существовавшую первоначально».

Но следует учитывать, что с помощью конвективных петель трудно обогреть комнаты, находящиеся в северной части дома и расположенные на более низком уровне, чем южные комнаты (возвращающийся вдоль пола прохладный воздух не сможет легко подняться на уровень южных комнат). В тех случаях, когда такая ситуация неизбежна, радиационный нагрев пола помогает обогреву северных комнат.

Резюме: планировка с расположением северных комнат на несколько более высоком уровне, чем южных может быть очень выгодна.



Дополнительная информация о распределении воздушных потоков помещена в разделе Теплицы.

---

# Глава 7. Пределы использования солнечной энергии

Без дополнительной термической массы площадь окон южного фасада не должна превышать 7% площади пола.



Дом с окнами такой площади можно назвать «условно-солнечным» домом.

Даже в том случае, если добавлена требуемая термическая масса, например, добавлены внутренние каменные стены или полы с каменной кладкой толщиной более 2,5 см, то тогда площадь окон южного фасада может быть увеличена, но не более чем до 12% площади пола.



Термин «термическая масса» относится к материалу, расположенному внутри теплового конверта дома и способному аккумулировать тепло. Термическая масса очень важна по ряду причин:

- в пассивном солнечном доме она используется для сохранения тепла в холодные ночи;
- в любом доме она может поглощать тепло в течение дня, таким образом помогая поддерживать прохладу;
- обычные плитки, металлическая фурнитура, мебель и т.п. дома представляют собой некоторое количество базовой термической массы.

При добавлении требуемой термической массы площадь системы косвенного обогрева (например, стены Тромба) тоже может увеличена, но не более чем до 8% площади пола.

Общая площадь поверхности, улавливающей солнечную энергию в доме с добавленной термической массой, в любом случае не должна превысить 20% общей площади пола.

---

# Глава 8. Правильное количество, размещение и цвет термической массы

Самое простое правило «большого пальца» —то, что площадь термической массы должна быть, по крайней мере, в 6 раз больше площади поверхности остекления системы прямого обогрева.

Эффективность термической массы увеличивается пропорционально ее толщине до толщины 10 см. После этого эффективность ее увеличивается незначительно. Следовательно, термическая масса должна иметь значительную площадь без чрезмерной толщины.

Вопреки распространенному убеждению, не важно располагать всю тепловую массу таким образом, чтобы на всю ее поверхность солнечные лучи падали под углом, близким к прямому. Просто стремитесь располагать тепловую массу во всех освещаемых солнцем поверхностях.



Основная задача состоит в том, чтобы получить свет внутри теплового конверта. Попав внутрь дома, за счет отражения и теплового излучения солнечная энергия может передаваться от освещенных солнцем поверхностей к другим поверхностям с термической массой. Совсем не освещенная солнцем поверхность пола, например, не будет функционировать хорошо в качестве термической массы по сравнению с участками пола, на которые попадает отраженный солнечный свет.

Термическая масса стен и потолков должна быть светлой, в то время как полы должны иметь темную окраску. Делая полы темными мы делаем их более теплыми и более легко поддающимися чистке.



Также, вопреки распространенному убеждению, нежелательно окрашивать все поверхности термической массы в темные тона, за исключением стен Тромба в системе косвенного обогрева или контейнеров «водяной стены», которые должны быть очень темными. Стены, освещенные клересториями (окнами верхнего света), например, лучше окрашивать в белый цвет, чтобы они отражали свет на другие поверхности большой термической массы, например, полы. Если стена становится слишком горячей, термосифонный воздушный поток будет направляться вверх и перегревать воздух в помещении.

За пределами шести правил, описанных выше, более точная методика для добавления термической массы свыше базовой в 7%, с учетом некоторых из этих соображений заключается в следующем:

- на каждый дополнительный  $1 \text{ м}^2$  площади остекления системы прямого солнечного обогрева необходимо добавлять  $5,5 \text{ м}^2$  площади, ничем не прикрытого освещенного солнцем массивного пола, а максимальная площадь пола, рассматриваемая в качестве «освещенной», должна в 1,5 раза превышать площадь окон южной ориентации;
- на каждый дополнительный  $1 \text{ м}^2$  площади остекления системы прямого солнечного обогрева необходимо добавлять  $40 \text{ м}^2$  площади не освещенной солнцем термической массы пола комнаты;

- на каждый дополнительный  $1 \text{ м}^2$  площади остекления системы прямого солнечного обогрева необходимо добавлять  $8,3 \text{ м}^2$  термической массы, помещенной в стену или потолок, на которые падают отраженные солнечные лучи. Это относится к термической массе с плотностью около 2,4. Их площадь должна быть увеличена до  $20 \text{ м}^2/1 \text{ м}^2$  площади остекления, при плотности термической массы 1,2...1,6 и до  $30 \text{ м}^2/1 \text{ м}^2$  площади остекления при плотности термической массы 0,8.

---

## Глава 9. Ресурс строительных узлов и деталей

Самым значительным источником является Energy Efficient Building Association. Ее сайт

<http://www.eeba.org/>

тел. 952-881-1098

Руководство по строительству в холодном климате стоит \$40.



В этом руководстве прекрасно описаны методы предотвращения утечек тепла, материал богато иллюстрирован.

# Глава 10. Преграды солнечному свету



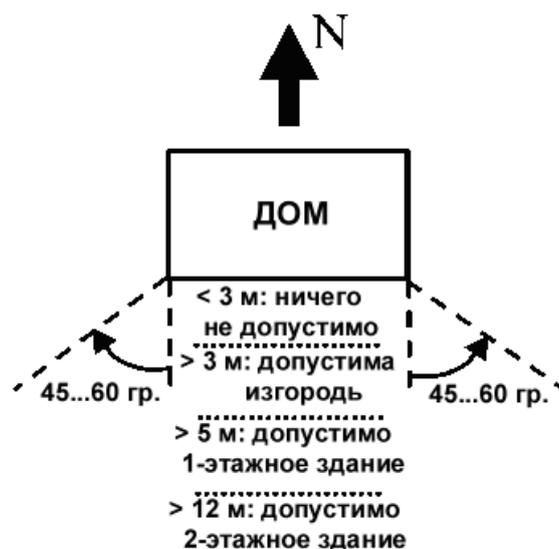
Основная задача состоит в том, чтобы добиться освещения южного фасада прямым солнечным светом с 9 до 15 часов в зимние месяцы.

Основное правило гласит, что преграды должны отсутствовать в пределах  $60^\circ$  от географического юга от южных углов дома по возможности и минимально в пределах  $45^\circ$  (см. рисунок ниже).

Для преград в пределах этого диапазона южной экспозиции на широте Лос-Аламоса ( $36^\circ$  с.ш.) мы имеем следующее:

- не должно быть никаких преград вообще в пределах 3 м с южной стороны;
- невысокие ограждения должны находиться на расстоянии более 3 м;
- одноэтажные здания могут находиться на расстоянии более 5,5 м;
- двухэтажные здания могут находиться на расстоянии более 12 м.

Рисунок 10.1. Углы солнечного затенения



---

## Глава 11. Деревья

Вопреки постоянному, но ошибочному мнению, присутствия лиственных деревьев с южной стороны дома следует по возможности избегать.

Лиственные деревья, растущие с восточной и западной сторон, могут быть выгодны. Они позволяют получить некоторое дополнительное солнечное тепло с восточной и западной сторон поздней весной (потому, что они все же не создают полного затенения), когда теплопоступление все еще необходимо в существенных количествах, а одного южного солнечного обогрева еще не достаточно. Аналогично, до опадания листьев осенью, они помогут затенить восточные и западные окна в то время, когда солнечное тепло поступает еще в достаточном количестве.

---

# Глава 12. Правильная внутренняя планировка

Расположение помещений следует выполнять таким образом, чтобы можно было использовать утренний солнечный свет для освещения кухни и, возможно, спальни, зимний солнечный свет для гостиной и, кроме того, использовать подсобные помещения и гаражи в качестве дополнительных северных и западных буферных пространств, как показано на следующем рисунке.

**Рисунок 12.1. Рекомендуемое расположение помещений**



Значительный эффект дает расположение теплицы к югу от гостиной.

---

## Глава 13. Правильная ориентация

Здание может быть ориентировано с отклонением направления на географический юг до 15° к западу или востоку без существенного снижения эффективности теплопоступлений.

Всячески избегайте больших открытых ориентированных на запад стен.

---

## Глава 14. Клерестории (окна верхнего света)

Клерестории — окна с вертикальным остеклением, смонтированные на крыше. Они очень эффективны для освещения и обогрева северных комнат и настоятельно рекомендуются для Лос-Аламоса. Клерестории должны рассматриваться как часть системы прямого солнечного обогрева. По своим характеристикам превосходят мансардные окна, т.к. через них не происходит теплопотупления в летнее время.

---

# Глава 15. Правила косвенного обогрева (стена Тромба)

И эстетически и термически стены Тромба работают лучше всего тогда, когда они объединены с окнами южной ориентации. Например, они весьма эффективны при устройстве окон между стенами Тромба, или тогда, когда окна расположены над стенами Тромба.



Стена Тромба — это ориентированная на юг, темная стена большой термической массы с остеклением. Она обычно выполнена в виде тяжелой каменной кладки, но иногда при ее строительстве используются вода или фазо-переходные соли. Солнечное тепло, поглощенное непосредственно стеной, может выпускаться в комнату в течение относительно длительного времени.

Системы косвенного обогрева, такие как стены Тромба и «водяные» стены являются эффективным средством прибавления более 8% солнечного теплопоступления и прежде всего предназначены для поступления тепла в дом в ночное время.

Внешняя поверхность должна быть массивной с коэффициентом поглощения более 0,92. Достигается это применением селективных покрытий. Использование селективных покрытий позволяет увеличить эффективность стены до 30% (более 60% в более северном климате).

Подробную информацию о применении селективных покрытий можно получить здесь:

MTI Solar Inc., 220 Churchill Ave. Somerset, NJ 08873. Phone: (201) 246-1000



Селективное покрытие — медная фольга (для лучшей теплопроводности) с клеевым слоем сзади, покрытая хромом (для низкого теплового излучения) и затем покрытая окисью меди (которая имеет черный цвет и обеспечивает высокую поглощающую способность в видимой части солнечного спектра).

Селективное покрытие должно наклеиваться очень тщательно для достижения 100% адгезии с массивной стеной. MTI Solar Inc. дает некоторые хорошие советы для выполнения этого.

При использовании селективного покрытия, как правило, достаточно однослойного остекления стены Тромба. Без селективного покрытия необходимо двойное остекление.

Расстояние между массивной стеной и остеклением должно быть в пределах 2,5–7,5 см. Большее расстояние может привести к конвекции в этом пространстве и ухудшить аккумуляцию тепла.

Стены Тромба не должны вентилироваться, т.е. не должно быть никаких открытий между застекленным пространством и интерьером.



Некоторые исследователи считают, что некогда популярные, вентилируемые стены Тромба показали свою неэффективность. Вентилирование стен вероятно развилось от Феликса Тромба, использовавшего вентиляционные трубы в его первой стене, которая нуждалась в вентиляционных трубах потому, что была чересчур толста (0,6 м!) для того, чтобы тепло передавалось через нее непосредственно. Вентиляционные трубы не только работают плохо, но они имеют тенденцию забиваться пылью, насекомыми и другими нежелательными объектами.

Избегайте использовать древесину на внешней стороне стены Тромба, т.к. при высоких температурах древесина быстро деградирует.

Компания Brother Sun в Санта-Фе продает каркасную систему «Sure Seal» для монтажа остекления стены Тромба и не препятствующую температурному расширению стекла без потери герметичности.

Материалы высокой плотности предпочтительны для теплоаккумулирующей части этой системы. Вообще, не желательно увеличивать толщину стены более 0,3 м. Рекомендуемая толщина стены несколько зависит от плотности применяемых материалов.

**Таблица 15.1. Толщина стены Тромба**

Материал	Плотность	Толщина, м
Бетон	2,2	0,2...0,6
Бетонный блок	2,1	1,18...0,46
Глиняный кирпич	1,9	0,18...0,41
Пустотный бетонный блок	1,8	0,15...0,30
Кирпич-сырец	1,6	0,15...0,30

---

## Глава 16. Теплицы

Расположите теплицу с южной стороны. Если она имеет остекленную крышу, то в крыше следует использовать теплоотражающее стекло, для предотвращения перегрева в летнее время.

Площадь теплоаккумулирующей массы, размещенной в теплице, должна приблизительно в 3 раза превышать площадь остекления. Заметьте, что это меньше значения, приведенного в Правилах для термической массы потому, что в теплице можно допустить существенно большие температурные колебания чем в доме (обычно до 17°C в зимнее время).

Не следует теплоизолировать теплицу от остальной части дома. Фактически, Вы должны стремиться к естественному конвективному потоку воздуха через естественные архитектурные проемы. Наличие нескольких открывающихся дверей и окон обеспечивает идеальные условия и для движения воздушных потоков и для перемещения людей.

Наличие специальных открытий не рекомендуется просто потому, что двери и окна им адекватны.

Общая площадь вентиляционных проемов между теплицей и домом должна составлять 15% площади остекления теплицы.

---

# Глава 17. Альтернативы: Строительство из соломенных блоков и самана

Конструкции из соломенных блоков и самана значительно отличаются от каркасной конструкции специфическими подходами к пассивному солнечному проектированию. Дома из соломенных блоков обладают исключительно высокой теплоизоляцией (коэффициент теплового сопротивления  $R = 7 \dots 8,8$  для стен), но иногда имеют недостаточную термическую массу. Саманные конструкции, с другой стороны, обладают огромной термической массой, но они, как правило, имеют недостаточную теплоизоляцию (современная саманная стена в Нью-Мексико имеет коэффициент теплового сопротивления  $R = 2,6$ ). Они представляют два противоположных направления в проектировании, каркасная же конструкция находится приблизительно посередине между ними.

Следовательно, дома из соломенных блоков целесообразнее всего строить там, где солнечной радиации меньше, чем предполагают Правила, особенно если эти дома имеют небольшую теплоаккумулирующую массу. Недостаточное количество поступающей солнечной радиации компенсируется чрезвычайно высокой теплоизоляцией стен.

Саманные же дома целесообразнее всего строить в таких районах, где имеется значительно большее количество поступающей солнечной радиации, чем предполагают Правила. Эти очень большие поступления солнечного тепла аккумулируются огромной термической массой и аккумулированное тепло используется в ночное время для компенсации низкой теплоизоляции стен.

В обоих случаях необходимо иметь оптимальные коэффициенты теплового сопротивления ограждений дома, рассчитанных программой такой как, например, Energy-10. Дома из соломенных блоков, вероятно, будут особенно чувствительны к изменениям площади остекления окон потому, что для них самые большие потери тепла в ночное время будут происходить именно через окна. Кроме того, если термическая масса низка, то легко перегреть дом, в который поступает значительное количество солнечной радиации.

---

## Глава 18. Процесс проектирования

Сначала, должен быть создан приблизительный набор проектных данных, предшествующий разработке определенной планировки дома. Эти спецификации должны быть перепроверены с Energy-10 [<http://www.nrel.gov/>] и соответствующим образом скорректированы.

Затем спецификации передаются архитектору, который рисует план дома в соответствии со скорректированным проектным заданием.

После разработки эскизного проекта дома повторяется анализ с помощью Energy-10 [<http://www.nrel.gov/>] для проверки и утверждения окончательных проектных решений.